

# Sistemas Agroflorestais

Bases Científicas para o Desenvolvimento Sustentável

## EDITORES

ANTONIO CARLOS DA GAMA-RODRIGUES  
NAIRAM FELIX DE BARROS  
EMANUELA FORESTIERI DA GAMA-RODRIGUES  
MARTA SIMONE MENDONÇA FREITAS  
ALEXANDRE PIO VIANA  
JANIE MENDES JASMIN  
CLÁUDIO ROBERTO MARCIANO  
JOSÉ GERALDO DE ARAÚJO CARNEIRO

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO  
EMBRAPA INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ 2006

**Projeto Gráfico e Diagramação**  
COMULT - Comunicação e Multimeios/UENF

**Impressão e distribuição**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Informação Tecnológica

Parque Estação Biológica - PqEB - Av. W3 Norte (final)

Caixa Postal 040315 - Brasília, DF - Brasil - 70770-901

Fone: (61) 3448-4162 / 3448-4155 - Fax: (61) 3272-4168

[sac@sct.embrapa.br](mailto:sac@sct.embrapa.br)

**1ª Edição**

1ª impressão (2006): 1000 exemplares

**FICHA CATALOGRÁFICA**

Preparada pela Biblioteca do **CCTA/UENF** 001/2006

Sistemas agroflorestais : bases científicas para o desenvolvimento sustentável / editores Antonio Carlos da Gama-Rodrigues, Nairam Felix de Barros, Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues...[et al].  
– Campos dos Goytacazes, RJ : Universidade Estadual do Norte Fluminense : Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais; Brasília ; EMBRAPA Informação Tecnológica, 2006.  
365 p. : il.

Inclui bibliografia.

1. Agrossilvicultura 2. Desenvolvimento sustentável I. Gama-Rodrigues, Antonio Carlos da. II. Barros, Nairam Felix de. III. Gama-Rodrigues, Emanuela Forestieri.

CDD– 634.99

# Participantes

**Albrecht, A.** IRD, Montpellier, France

**Araújo, Q.** CEPLAC/Centro de Pesquisas do Cacau, km 22 Rod. Ilhéus-Itabuna, Ilhéus – BA, Brasil CEP 45650-000

**Barros, N.F.** Universidade Federal de Viçosa/Dept<sup>o</sup>. de Solos, Viçosa – MG, Brasil C.P. 231 CEP 36571-000

**Bentes, J.L.S.** Universidade Federal do Amazonas/Faculdade de Ciências Agrárias - Setor Sul. Av. General Rodrigo Otávio 3000, Coroado I, Manaus – AM, Brasil CEP 69077-000

**Bolfe, A.P.F.** Embrapa Tabuleiros Costeiros, Av. Beira Mar, 3250, Aracaju – SE, Brasil CEP 49.025-040

**Bolfe, E.L.** Embrapa Tabuleiros Costeiros, Av. Beira Mar, 3250, Aracaju – SE, Brasil CEP 49.025-040

**Boye, A.** IRD, Montpellier, France

**Brown, G.G.** Embrapa Soja, Londrina - PR, Brasil C.P. 231 CEP 86001-970

**Cadisch, G.** Institute of Plant Production and Agroecology in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim, 70599 Stuttgart, Germany

**Camarão, A.P.** Embrapa Amazônia Oriental, Belém – PA, Brasil Trav. Enéas Pinheiro s/n<sup>o</sup> CEP 66 095-100

**Campello, E.F.C.** Embrapa Agrobiologia, BR 465 km 07, Seropédica – RJ, Brasil C.P.74505

**Carneiro, J.G.A.** Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/Laboratório de Fitotecnia, Av. Alberto Lamego 2000, Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil CEP 28013-602

**Carvalho, C.J.R.** Embrapa Amazônia Oriental, Belém – PA, Brasil Trav. Enéas Pinheiro s/n<sup>o</sup> CEP 66 095-100

**Carvalho, J.E.U.** Embrapa Amazônia Oriental, Belém – PA, Brasil Trav. Enéas Pinheiro s/n<sup>o</sup> CEP 66 095-100

**Castro, C.E.F.** Instituto Agronômico de Campinas, Centro de Horticultura, Campinas – SP, Brasil C.P. 28, CEP 13.012-970

**Comerford, N.B.** University of Florida, Gainesville, Florida 32611-0410, USA

**Cropper, W.** University of Florida, Gainesville, Florida 32611-0410, USA

**Denich, M.** University of Bonn/Center for Development Research, Walter Flex Str. 3, D53113 Bonn - Germany

**Dias, P.F.** Pesagro, BR 465 km 07, Seropédica – RJ, Brasil

**Fernandes, E.C.M.** Land Management Adviser, The World Bank, ESSD-ARD, Washington DC 20336, USA

**Figueiredo, R.O.** Embrapa Amazônia Oriental, Belém – PA, Brasil Trav. Enéas Pinheiro s/nº  
CEP 66 095-100

**Franco, A.A.** Embrapa Agrobiologia, BR 465 km 07, Seropédica – RJ, Brasil C.P. 74505

**Freitas, M.S.M.** Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/Laboratório de Solos, Av. Alberto Lamego 2000, Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil CEP 28013-602

**Gallardo-Ordinola, J.** Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Deptº. de Ecologia, Manaus – AM, Brasil C.P. 478 CEP 69011-970

**Gama-Rodrigues, A.C.** Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/Laboratório de Solos, Av. Alberto Lamego 2000, Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil CEP 28013-602

**Gama-Rodrigues, E.F.** Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/Laboratório de Solos, Av. Alberto Lamego 2000, Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil CEP 28013-602

**Gasparotto, L.** Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus – AM, Brasil C.P. 319 CEP 69011-970

**Gonçalves, C.** Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Leste Paulista, Monte Alegre – SP, Brasil C.P. CEP 13.910-000

**Grierson, P.F.** School of Plant Biology, University of Western Australia, Crawley, WA 6009, Australia

**Hairiah, K.** Brawijaya University, Faculty of Agriculture, Jl Veteran, Malang 65145, Indonesia

**Höfer, H.** Staatliches Museum für Naturkunde Karlsruhe, Erbprinzenstr. 13, Karlsruhe, 76133, Germany

**Jasmin, J.M.** Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/Laboratório de Fitotecnia, Av. Alberto Lamego 2000, Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil CEP 28013-602

**Jerolimski, A.** Conservação Internacional, Avenida Governador José Malcher 652, 2º andar, Belém - PA, Brasil CEP 66035-100

**Jose, S.** University of Florida, Gainesville, Florida 32611-0410, USA

**Kato, M.S.A.** Embrapa Amazônia Oriental, Belém – PA, Brasil Trav. Enéas Pinheiro s/nº CEP 66 095-100

**Kato, O.R.** Embrapa Amazônia Oriental, Belém – PA, Brasil Trav. Enéas Pinheiro s/nº CEP 66 095-100

**Leal, A.C.** Instituto Agronômico do Paraná, Londrina – PR, Brasil C.P. 481 CEP 86001-970

**Luizão, F.J.** Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Deptº. de Ecologia, Manaus – AM, Brasil C.P. 478 CEP 69011-970

**Luizão, R.C.C.** Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Deptº. de Ecologia, Manaus – AM, Brasil C.P. 478 CEP 69011-970

**Macedo, R.L.G.** Universidade Federal de Lavras/Departamento de Ciências Florestais, Lavras – MG, Brasil C.P. 3037 CEP 37200-000

**Machado, R.C.R.** Almirante Centro de Estudos de Cacau, Itajuípe – BA, Brasil C.P. 55

**Magalhães, L.L.** Votorantim Metais, Unidade Aço-Florestal, Vazante – MG, Brasil CEP 38780-000

**Marciano, C.R.** Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/Laboratório de Solos, Av. Alberto Lamego 2000, Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil CEP 28013-602

**Mattos, L.** Embrapa/Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, Brasília – DF, Brasil PqEB - Av W3 Norte (final) - Sala111 CEP 70.770-901

**May, A.** Instituto Agronômico de Campinas, Centro de Horticultura, Campinas – SP, Brasil C.P. 28 CEP 13.012-970

**Mercado, A.** World Agroforestry Centre, Southeast-Asia, Claveria, Phillipines

**Miller, R.P.** Instituto Olhar Etnográfico, Brasília – DF, Brasil SHIN CA 05 Conj. J Bl. B, Sala 105 Lago Norte, CEP 71503-505

**Moço, M.K.S.** Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/Laboratório de Solos, Av. Alberto Lamego 2000, Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil CEP 28013-602

- Mota, M.S.S.** Engenheiro Florestal, Alameda Joana Jennings 13, Alter do Chão, Santarém - PA, Brasil CEP 68109-000
- Mutuo, P.** World Agroforestry Centre, PO Box 30677, Nairobi, Kenya
- Nair, P.K.R.** University of Florida, Gainesville, Florida 32611-0410, USA
- Nóbrega, P.O.** Embrapa Agrobiologia, BR 465 km 07, Seropédica - RJ, Brasil C.P. 74505
- Nyamugafata, P.** Department of Soil Science & Agricultural Engineering, University of Zimbabwe, Box MP167, Mount Pleasant, Harare, Zimbabwe
- Pedroso, M.S.C.** Instituto Olhar Etnográfico, Brasília - DF, Brasil SHIN CA 05 Conj. J Bl. B, Sala 105 Lago Norte, CEP 71503-505
- Pereira, J.P.** Embrapa/Instituto Agrônômico do Paraná, Londrina - PR, Brasil C.P. 481 CEP 86001-970
- Ramos, A.L.M.** Instituto Agrônômico do Paraná, Londrina - PR, Brasil C.P. 481 CEP 86001-970
- Reis, H.A.** Universidade Federal de Lavras/Departamento de Ciências Florestais, Lavras - MG, Brasil C.P. 3037 CEP 37200-000
- Resende, A.S.** Embrapa Agrobiologia, BR 465 km 07, Seropédica - RJ, Brasil C.P. 74505
- Römbke, J.** ECT Oekotoxikologie GmbH, Böttgerstr. 2-14, Flörsheim, 65439, Germany
- Sá, T.D.A.** Embrapa Amazônia Oriental, Belém - PA, Brasil Trav. Enéas Pinheiro s/nº CEP 66 095-100
- Santana, D.L.Q.** Embrapa Florestas, Colombo - PR, Brasil C.P. 319 CEP 83411-000
- Sautter, K.D.** Unicenp, R. Prof. Pedro Viriato Parigot de Souza nº 5300, Curitiba - PR, Brasil CEP 81280-330
- Schroth, G.** Conservation International, 1919 M Street NW, Suite 600, Washington DC, 20036, USA
- Sgrillo, K.R.P.** Faculdade de Ciências e Tecnologia de Itabuna, Praça José Bastos, nº 55 - Centro, Itabuna - BA, Brasil CEP 45.600-000
- Sgrillo, R.B.** CEPLAC/Centro de Pesquisas do Cacau, km 22 Rod. Ilhéus-Itabuna, Ilhéus - BA, Brasil CEP 45650-000
- Silva, G.C.** Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Deptº. de Ecologia, Manaus - AM, Brasil C.P. 478 CEP 69011-970
- Silva, G.T.A.** Embrapa Agrobiologia, BR 465 km 07, Seropédica - RJ, Brasil C.P. 74505
- Silva, N.M.** Universidade Federal do Amazonas/Faculdade de Ciências Agrárias - Setor Sul. Av. General Rodrigo Otávio 3000, Coroado I, Manaus - AM, Brasil CEP 69077-000
- Siqueira, E.R.** Embrapa Tabuleiros Costeiros, Av. Beira Mar, 3250, Aracaju - SE, Brasil CEP 49.025-040
- Somarriba, E.** CATIE, Turrialba 7170, Costa Rica
- Tapia-Coral, S.** Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Deptº. de Ecologia, Manaus - AM, Brasil C.P. 478 CEP 69011-970
- Tavares, E.D.** Embrapa Tabuleiros Costeiros, Av. Beira Mar, 3250, Aracaju - SE, Brasil CEP 49.025-040
- Trindade Neto, I.Q.** Petrobras, R. do Acre 2504, Aracaju - SE, Brasil CEP 49.080-010
- Trujillo-Cabrera, L.** Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Deptº. de Ecologia, Manaus - AM, Brasil C.P. 478 CEP 69011-970
- Venturini, N.** Universidade Federal de Lavras/Departamento de Ciências Florestais, Lavras - MG, Brasil C.P. 3037 CEP 37200-000
- Verhaagh, M.** Staatliches Museum für Naturkunde Karlsruhe, Erbprinzenstr. 13, Karlsruhe, 76133, Germany
- Viana, A.P.** Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro/Laboratório de Melhoramento de Plantas, Av. Alberto Lamego 2000, Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil CEP 28013-602

**Vieira, A.L.M.** Embrapa Agrobiologia, BR 465 km 07, Seropédica – RJ, Brasil C.P.74505

**Vielhauer, K.** University of Bonn/Center for Development Research, Walter Flex Str. 3, D53113  
Bonn – Germany

**Wandelli, E.** Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus – AM, Brasil C.P. 319 CEP 69011-970

# Prefácio

A produção agrícola, no Brasil e no mundo, baseada na monocultura extensiva, no uso intensivo da terra e no alto consumo de insumos manufaturados, nas últimas décadas, encontra-se em grave crise socioeconômica e ambiental, apesar dos ganhos de produtividade. A degradação do solo, a redução da biodiversidade, a diminuição dos estoques de água, o aumento da emissão de gases de efeito estufa e a poluição ambiental, e mais a elevação dos preços dos insumos manufaturados, vêm acarretando acentuadamente na redução de área de terras cultivadas. O que gera a marginalização da atividade econômica de diversas regiões do mundo, por conseguinte, agrava ainda mais a exclusão social de uma grande parte da população rural.

Assim, para reverter esta situação, torna-se imperativo a adoção de um novo paradigma de produção vegetal, que é sustentado na integração dos recursos e fatores de produção, e nas interações entre os processos do sistema solo-planta. Nesse segundo paradigma, é relevante, portanto, o papel dos processos biológicos na otimização da ciclagem de nutrientes e no controle de pragas e doenças em minimizar as necessidades do ingresso de insumos manufaturados e maximizar a eficiência deles, possibilitando com isso uma acentuada redução dos custos de produção e do seu potencial de poluição ambiental.

Os sistemas agroflorestais (SAF's), no contexto do segundo paradigma, por enfatizar as funções ecológicas do sistema solo-planta para a manutenção ou melhoria da capacidade produtiva do solo, e por também prestar diversos serviços ambientais, seriam os mais viáveis para as condições dos trópicos úmidos e subúmidos, porque são sistemas de uso sustentável da terra que combinam, de maneira simultânea ou em seqüência, a produção de cultivos agrícolas com plantações de árvores frutíferas ou florestais e, ou, animais, utilizando à mesma unidade de terra e aplicando técnicas de manejo que são compatíveis com as práticas culturais da população local.

Nesse sentido, a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro realizou o VI Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, no período de 23 a 27 de outubro de 2006, na cidade de Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, com a promoção da Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais. No Congresso foram realizados três conferências, 19 palestras, dois fóruns e dois mini-cursos. Fruto deste evento foi a elaboração do livro **“Sistemas Agroflorestais – Bases Científicas para o Desenvolvimento Sustentável”**. Este livro tem grande importância por reunir os conhecimentos teóricos e práticos de 80 professores e pesquisadores de diversas instituições brasileiras e do exterior, que têm prestado relevantes contribuições científicas e técnicas à ciência agroflorestal. Esta publicação está estruturada em seis partes, a saber: Socioeconomia e Política; Biologia, Ecologia e Serviços Ambientais; Manejo de Sistemas Agroflorestais; Solos e Nutrição de Plantas; Modelagem e Estatística; Ensino, Extensão e Difusão de Tecnologia. Estes temas foram abordados integrando disciplinas como agronomia, floresta, biologia, ecologia, ciência do solo, matemática, economia, sociologia, antropologia e política.

Espera-se, com este livro, supri a demanda de informações científicas e tecnológicas sobre esse tema e que também sirva de referência para subsidiar estudantes, profissionais e empresas que atuam na cadeia produtiva do setor agroflorestal.

Na edição, com o objetivo de padronizar os trabalhos que fazem parte desta obra, os editores procederam à formatação e à correção ortográfica de alguns capítulos sem, no entanto, alterar os conteúdos e a estrutura dos trabalhos. Procurou-se, aperfeiçoar a apresentação das tabelas, figuras, gráficos, fotos e desenhos. Ainda assim, alguns capítulos não alcançaram a qualidade desejada, em função de deficiência nos originais apresentados. Existiram dificuldades na padronização da bibliografia de alguns trabalhos. Deste modo, os conceitos, os dados apresentados, as idéias, as opiniões e conclusões, enunciadas em cada trabalho são de inteira responsabilidade dos autores.

Os editores, em nome da Coordenação do Congresso, agradecem a todos os palestrantes, congressistas e participantes da equipe de apoio, e das instituições e empresas patrocinadoras que tornaram possível a realização do evento e desta publicação.

Os editores

Campos dos Goytacazes, RJ, outubro de 2006

# Agradecimentos

Os editores agradecem as instituições e empresas que tornaram possível a realização do VI Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais.





# Conteúdo

## Participantes

## Prefácio

## Agradecimentos

### Parte I Sócio - Economia e Política

#### Agroforestry for Productive and Sustainable Landscapes in the Face of Global Change 15

Erick C. M. Fernandes

#### Implantação e Manejo de SAF's na Mata Atlântica: A Experiência da Embrapa Agrobiologia 33

Eduardo Francia Carneiro Campello, Gabriela Tavares Arantes Silva, Pedro de Oliveira Nóbrega, André Luis Macedo Vieira, Avílio Antônio Franco & Alexander Silva de Resende

#### O Estado da Arte de Sistemas Agroflorestais na Região Centro-Oeste: Cerrado e Portal da Amazônia 43

Robert Pritchard Miller & Marcello S.C. Pedroso

#### Estado da Arte dos Sistemas Agroflorestais no Nordeste do Brasil 53

Edmar Ramos de Siqueira, Edson Luis Bolfe, Ana Paula Fraga Bolfe, Ismael Quirino Trindade Neto & Edson Diogo Tavares

### Parte II Biologia, Ecologia e Serviços Ambientais

#### Agroforestry and the Conservation of Forest Cover and Biodiversity in Tropical Landscapes – on-Site and off-Site Effects and Synergies with Environmental Legislation 67

Goetz Schroth, Maria do Socorro Souza da Mota & Adriano Jerozolinski

#### Ciclos Biogeoquímicos em Agroflorestas da Amazônia. 87

Flávio J. Luizão, Sandra Tapia-Coral, Jorge Gallardo-Ordinola, Guilherme C. Silva, Regina C.C. Luizão, Lucerina Trujillo-Cabrera, Elisa Wandelli & Erick C.M. Fernandes

#### Pragas e Doenças de Expressão Econômica de Culturas Exploradas em Sistemas Agroflorestais na Amazônia 101

Neliton Marques da Silva, Jânia Lília da Silva Bentes & Luadir Gasparotto

#### Uso de Agroflorestas no Manejo de Florestas Secundárias 119

Oswaldo Ryohei Kato, Maria do Socorro de Andrade Kato, Claudio José Reis de Carvalho, Ricardo de Oliveira Figueiredo, Ari Pinheiro Camarão, Tatiana Deane de Abreu Sá, Manfred Denich & Konrad Vielhauer

### **Parte III** Manejo de Sistemas Agroflorestais

#### **Sistemas Agroflorestais com Seringueira 141**

Jomar da Paes Pereira, Alex Carneiro Leal & André Luiz Medeiros Ramos

#### **¿Cómo Analizar y Mejorar el Dosel de Sombra en Cacaotales y Cafetales? 159**

Eduardo Somarriba

#### **Utilização de Espécies Frutíferas em Sistemas Agroflorestais na Amazônia 169**

José Edmar Urano de Carvalho

#### **Agrosilvicultura no Cerrado - Região Noroeste do Estado de Minas Gerais 177**

Henrique Augusto Reis & Luciano Lage de Magalhães

#### **Potencial de Uso de Zingiberales Ornamentais em Sistemas Agroflorestais 189**

Carlos Eduardo Ferreira de Castro, André May & Charleston Gonçalves

### **Parte IV** Solos e Nutrição de Plantas

#### **The Role of Soil Science in the Sustainability of Agroforestry Systems: Eliminating Hunger and Poverty 203**

P. K. Ramachandran Nair

#### **Biodiversity and Function of Soil Animals in Brazilian Agroforestry Systems 217**

George G. Brown, Jörg Römbke, Hubert Höfer, Manfred Verhaagh, Klaus D. Sautter & Dalva Luiz de Queiroz Santana

#### **Atributos Biológicos em Solos sob Sistemas Agroflorestais de Cacau: Um Estudo de Caso 243**

Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues, Maria Kellen da Silva Moço, Antonio Carlos da Gama-Rodrigues & Regina Cele Rebouça Machado

#### **Importância da Fixação Biológica de Nitrogênio na Sustentabilidade de Sistemas Agroflorestais 257**

Gabriela Tavares Arantes Silva, Alexander Silva de Resende, Eduardo Francia Carneiro Campello, Paulo Francisco Dias & Avílio Antônio Franco

#### **Organic Matter Management in Tropical Agroforestry Systems: Soil Quality, Soil C Storage and Soil Atmosphere Gas Exchange 275**

Georg Cadisch, Patrick Mutuo, Agustin Mercado, Kurniatun Hairiah, Philip Nyamugafata, Anja Boye & Alain Albrecht

### **Parte V** Modelagem e Estatística

#### **Modelagem de Sistemas Agroflorestais: Conceitos e Aplicações 291**

Ricardo Bohrer Sgrillo & Kátia R. P. de Araújo Sgrillo

#### **Modeling P Bioavailability and Uptake in Agroforestry Systems 303**

Nick B. Comerford, Wendell Cropper, Pauline F. Grierson, Quintino Araujo & Jose S.

### **Parte VI** Ensino, Extensão e Difusão de Tecnologia

#### **A Embrapa Contribuindo em Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação em Sistemas Agroflorestais para o Desenvolvimento Sustentável do Brasil 321**

Tatiana Deane de Abreu Sá

#### **Sistemas Agroflorestais: Interface Ensino-Extensão 331**

Renato Luiz Grisi Macedo & Nelson Venturin

#### **Capital Social na Concepção de Políticas Públicas: Importância Socioeconômica e Ecológica dos Sistemas Agroflorestais Frente aos Mecanismos de Desenvolvimento 343**

Luciano Mattos

# Parte I

Sócio - Economia e Política



# Agroforestry for Productive and Sustainable Landscapes in the Face of Global Change

ERICK C.M. FERNANDES

## INTRODUCTION

In the twenty-first century, food and fiber production systems will need to conserve ecosystem services. “An ecosystem is a dynamic complex of plant, animal, and microorganism communities and the nonliving environment interacting as a functional unit. Examples of ecosystems include natural forests, landscapes with mixed patterns of human use, and ecosystems intensively managed and modified by humans, such as agricultural lands and urban areas.” *Ecosystem Services* are the benefits people obtain from ecosystems. These include (MEA, 2005):

- Provisioning services that provide necessities such as food, water, timber, and fiber
- Regulating services that affect climate, floods, disease, wastes, and water quality
- Cultural services that provide recreational, aesthetic, and spiritual benefits
- Supporting services such as soil formation, photosynthesis, and nutrient cycling

Until fairly recently, the bulk of our land and natural resource management efforts have been focused on the provisioning services to meet the following major requirements:

1. Adequately supply safe, nutritious, and sufficient food for the world’s growing population.
2. Significantly reduce rural poverty by sustaining the farming-derived component of rural household incomes.
3. Reduce and reverse natural resource degradation, especially that of land.

In most industrialized countries, agriculture is characterized by the use of high -yielding varieties, low labor inputs, a high level of mechanization, and the use of plant nutrients and pesticides at economically optimal levels. The yields of cereals in such systems are high (4-10 t per ha). In many tropical countries, plantation crops or staple grains like rice and wheat currently occupy high quality farmland. Green revolution technologies involving improved varieties, chemical fertilizers, pesticides, and irrigation have raised the yields on these lands to levels approaching those of industrialized countries. In addition, there are numerous, well-documented cases of productive and sustainable food and fiber production systems based on agroecological principles. These systems depend on optimizing the synergies among the biological, chemical and physical factors of crop production and

the use, wherever possible, of organic inputs (Bunch, 1997; Thurston, 1998) and if necessary, some inorganic fertilizers to ensure adequate nutrient levels for effective biogeochemical processes and plant growth (Fernandes, 1999).

It is estimated that humans need about 2,700 calories of energy from food to lead active, healthy lives (Conway 1997). There are over 800 million people, however, who get less than 2,000 calories a day and are chronically undernourished (Bongaarts, 1995). The Food and Agriculture Organization (FAO 1996) estimates that for the period 1990 to 2050, food supplies will need to increase 2.4 times in Asia, 1.9 times in Latin America and the Caribbean, and 5 times in Africa. The bulk of the world's population increase will take place in the developing world. Tropical countries urgently need to take steps to at least double food production over the next fifty years and to do so in a manner that reduces poverty and conserves the natural resources and the environment.

It is now known that the above challenges will need to be resolved in the face of significant but highly unpredictable global change. A significant driver of global change will be climate change. This paper briefly focuses on the predicted impacts of climate change and the implications for current agroecosystems and highlights future land management strategies that are likely not only to enhance land productivity but also the ecosystem services of managed landscapes. The paper concludes by identifying key research and development priorities so that land users can harness the potential of agroforestry to both sustain land productivity and enhance landscape scale resilience in the face of global change.

### CLIMATE CHANGE AS A DRIVER OF GLOBAL CHANGE

The main land-related influences of climate change will be experienced by the changing availability of water resources, its effects on attainable agricultural production and food security, and the changing needs of natural resource management and maintenance of biodiversity. The effects of climate change will be felt in both agricultural and fisheries sectors. Changes in soil moisture and temperature, evapotranspiration, and rainfall, and possible increases in heat stress, will affect many provisioning services. For example, it is likely that global warming and the resulting climate change will affect the production of certain crops, such as rice, wheat, corn, beans, and potatoes, which are major food crops for many people in Africa (IPCC, 2001). Rising sea levels will increasingly impact coasts and islands and the resulting soil salinization will significantly reduce the productivity of crops with low salt tolerance.

Changes in farming systems may compensate for some yield reductions, although additional inputs such as fertilizers and increased irrigation may be needed, involving extra costs to the farmers. Furthermore, the predicted decline in marine and aquatic fish stocks will mean that people who currently depend on fishing for food and livelihoods will turn to already depleted land resources for food production. Several global climate models predict a decrease in mean annual precipitation of about 10–20 percent in the African range lands. Pastoral livelihoods in the semiarid zones of Africa are likely to be adversely affected by climate change, because rainfall reductions of 10-20 percent will affect the dry-matter intake of pastoralists' animal herds.

To increase the adaptive capacity of rural landscapes against climate change and the expected increase in the frequency and severity of extreme events such as floods and droughts, the land management paradigm will require significant shifts of at least two types:

1. A shift in focus and perspective, from a “view from the field” (or paddock) to a broader watershed or even a landscape. Though highly desirable, this shift could introduce an added complexity, because it not only would encompass a wider spatial reference, but it also would have to take into account interacting social, political (national and transnational), and economic domains.
2. Arresting and reversing the degradation of ecosystem services and the resultant biotic and abiotic stress. Increased efforts will be required to advance scientific knowledge in general, in particular knowledge of biotechnology (that is, agronomy, genetics, pest management, and near-real time monitoring and mapping, evaluation, and response).

## PROTECTING THE LAND RESOURCE: LAND INTENSIFICATION AND AGROFORESTRY

Production practices that emphasize integrated land, plant nutrient, and water management are essential to sustainable land management (SLM). Native stocks of available plant nutrients need to be managed to avoid having consumption exceed availability and, where necessary, ought to be supplemented from external (organic or chemical) sources in order to sustain system function and productivity. The maintenance of native biodiversity can also contribute positively to SLM. Biological diversity is required in a structural as well as a functional sense.

Traditional and modern agroforestry systems are generally made up of polycultures (species mixtures) that are assembled over several years to yield a complex multistrata association of tree, crop and, often, animal species (Fernandes et al., 1984; Michon & de Foresta, 1995). On most farmers' fields, various agroforestry practices are sequenced to meet household subsistence, cash, and service needs over time and eventually result in complex agroecosystems that can occupy entire catchments and landscapes.

The strategy of reducing risk by planting several species and crop varieties in different spatial configurations and rotations can stabilize yields over the long term, provide a range of dietary nutrients, and optimize returns with low levels of technology and limited resources. In drought-prone areas and for farmers using low-input regimes with little supplemental water, these characteristics maximize labor efficiency per unit area of land, minimize the risk of catastrophic crop failure due to drought or severe pest attack, and guarantee the availability of food and fiber at medium to high levels of species productivity.

A key hypothesis is that land management approaches that enhance not only the provisioning services but also ensure the regulating, cultural, and supporting services, will be key to enhance the resilience of agroecosystems against expected shocks from short term climate variability and long term climate change.

## AGROFORESTRY ECOSYSTEM SERVICES AND POTENTIALLY ENHANCED AGROECOSYSTEM RESILIENCE

### Woody Species Fallows

Traditionally, after cropping a patch of cleared land for two to four years, farmers abandon it to a natural forest fallow. Fast growing, leguminous and other tree species in fallows can significantly reduce the time taken for soil productivity to recover to original forest levels. In a study in the Peruvian Amazon, Szott et al. (1991) reported that eight months after establishment, managed fallows with leguminous species had higher nutrient stocks than the natural forest fallow control. By 29 months, treatments with tree species had significantly higher nutrient stocks than treatments with natural forest species or no tree species. On infertile soils (e.g. Oxisols), fallow vegetation may be unable to access deep nutrients (Schroth et al., 1999) or may deplete scarce nutrients (e.g. phosphorus) (Feldpausch et al (2004).

In southern Africa, thousands of farmers are using native *Sesbania sesban*, and introduced *Tephrosia vogelii*, *Gliricidia sepium*, and *Cajanus cajan* in a 2-year fallow followed by maize cropping for 2 to 3 years (Rao et al., 1998). The two-year leguminous fallows accumulate about 200 kg N/ha in their leaves and roots, which is sufficient to double yields for at least two subsequent maize crops. In western Kenya, 6-16 month woody fallows of *Crotalaria grahamiana*, *Sesbania sesban* and *Tephrosia vogelii* have tripled maize yields (Rao et al., 1998). In Madagascar, Styger et al., (1999) found that fallows often contained a variety of native fruit species that were an important source of nutrients for rural populations during times of food scarcity.

### Fallow with economically valuable species

The inclusion of species with economically valuable products (flowers, fruits, homeopathic medicines, essences, resins) provides an economic return to tide farmers over until the fallows biological,

ecological, and site rehabilitation potential has been realized. For example, Fernandes & Matos (1995) suggested that for the Amazon, economically valuable fruit and medicinal plant species are likely to provide earlier and more substantial monetary returns to farmers (relative to natural fallows). The strategy with economically enriched fallows is to use species that produce a low volume but high value product so as to avoid high nutrient exports from the site. Combining species that produce an economically valuable product with nutrient accumulating species gives the farmers a good incentive to maintain a forest fallow for the minimum time required for recovering soil productivity.

#### Alley Cropping or Hedgerow Intercropping

This system has potential to sustain crop productivity via improved soil protection, nutrient cycling and reduced weed pressure (Kang et al., 1990). The system involves the growing of annual food crops in the alleys formed by hedgerows of fast-growing, nitrogen-fixing trees. The hedgerows are pruned periodically to provide green manure or mulch for the crops in the alleys and to minimize shading and root competition by the hedgerows. Results from several studies on fertile soils show that alley cropping can sustain crop yields, maintain soil nutrient status and prevent soil organic matter decline (Kang et al., 1990). On acid, infertile soils, however, unsatisfactory crop yields have been reported by a number of authors (Fernandes et al., 1993; Ong, 1995).

Despite some claims that alley cropping is inappropriate for small farmers because tree-crop competition can reduce crop yields, there are major benefits to be gained if crop yields are not the sole criterion for judging the success of technologies. Contour hedgerow farming with leguminous trees (alley cropping on slopes) is a common feature of extension programs for sustainable agriculture on the sloping uplands (Garrity, 1995). These systems control soil erosion effectively, even on steep slopes. Extensive data from trials in S.E. Asia show that when hedgerow systems are correctly used, annual soil loss is reduced by 70 to 99 percent (Sajjapongse & Syers, 1995). On acid soils, alley cropping can be used to successfully grow perennial crops or high value timber species (Pennington & Fernandes, 1998; Fernandes et al., 2006).

#### Complex agroforests

Tree-based complex agroforests and homegardens involve a variety of both native and exotic species for fruit, timber, shade, medicines, spices, and forage. As many as 190 plant species at various stages of domestication have been recorded in these agrosilvopastoral systems in the tropics (Fernandes & Nair, 1986). The high species diversity and sustainability of homegardens make them ideal for use in buffer zones around extractive reserves and protected forests and improves the chances for gene flow from wild to semi-domesticated populations of selected food and fruit species. In the Amazon, systems involving around 30 perennial and annual plant species has been reported from Para, Brasil (Subler & Uhl, 1990) and over 70 species from Peru (Padoch & de Jong, 1991). Multi species, tree-based homegardens have a high degree of ecological and biological sustainability coupled with good social acceptability. The factors that promote sustainability include diversified production, reduced risk of crop failure, enhanced labor efficiency, continuous production thereby minimizing post harvest losses, good nutrient cycling and reduced erosion because of good ground cover. In Africa, where deforestation has caused significant loss of native biodiversity, homegardens have been identified as important *in situ* germplasm banks of semi-domesticated plant species (Okafor & Fernandes, 1987). In Sumatra, Leakey (1999) reported that complex agroforests contain over 50% of all the regional pools of resident tropical forest birds, most of the mammals, and about 70% of the plants. These biodiverse agroforests also yield considerable revenues to farmers.

#### Tree-pasture (silvopastoral) systems

As middle income and developing country economies grow, there will be a significant increase in the demand for livestock products (meat and milk) in the developing world relative to developed countries. Ehui et al., (1998) project that although meat consumption in the developed countries as a group will decrease from 53% to 36% between 1993 and 2020, in the developing world the share of total meat consumption will increase from 47% to 64%. In the past, the establishment and poor management of pastures has resulted in a significant amount of deforestation and land degradation in the tropics.

There is excellent potential to integrate livestock in perennial crop plantations. Fawzi et al. (1998) reported good profitability and a saving in labor for weeding when cattle were integrated in oil palm plantations in Malaysia. The addition of a cover crop and an animal component provides additional flexibility with respect to markets, economic returns and the purchase of required inputs. In addition to soil protection, leguminous cover crops (such as *Centrosema macrocarpum*, *Desmodium ovalifolium*, *Pueraria phaseoloides*) can contribute to improve tree root growth and soil N via nitrogen fixation (Broughton, 1977). In the Peruvian Amazon, Arevalo et al. (1998) measured improvements in soil physical properties and increased livestock weight gains when cattle were managed in a peach palm and *Centrosema macrocarpum* silvopastoral system relative to a traditional pasture.

Tapia-Coral et al. (2004) reported the development of a substantial and persistent litter layer in silvopastoral systems (SPS) in the Brazilian Amazon. Although naturally regenerating secondary vegetation control plots had a significantly higher litter layer than the SPS, the latter maintained a good litter layer in both dry and wet seasons. In a separate study, Barros et al. (2003) reported that the build up of the litter layer in the SPS resulted in significantly improved soil invertebrate populations and soil structure.

In all systems involving livestock, the use of fencing for animal control requires a large number of fence posts. The continuous removal of young trees from primary and secondary forests for establishing and maintaining fences is a serious and largely unnoticed form of deforestation. An agroforestry alternative involves the planting of large (1.5 - 2 m) woody cuttings that have the capacity to take root and continue growing, thereby producing live fence posts. Planting of such cuttings more densely can result in hedges. Species that are commonly used for live fence posts and hedges include *Gliricidia sepium*, *Erythrina* spp., *Spondias* spp., and *Pithecellobium dulce*. The widespread use of live fence posts and hedges could have a significant impact against deforestation, help reduce soil erosion from cropped fields, and help retain nutrients that would normally have been lost in rainfall runoff.

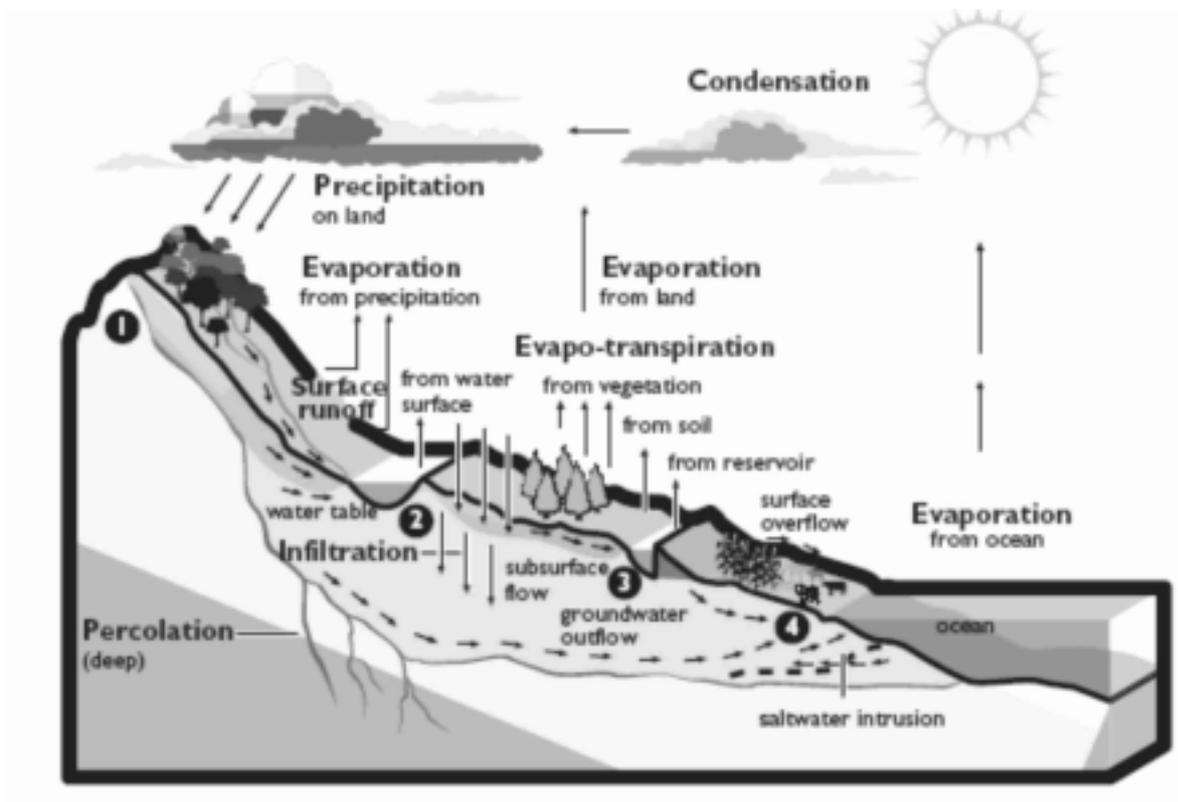
#### Integrated Silvi-Aquaculture

Aquaculture in developing countries can improve the sustainability of small-scale farms. Farm families and communities construct and manage farm ponds not just for fish production but with a holistic goal of optimizing fish husbandry as well as water storage, integrated nutrient and pest management, and soil conservation (Edwards et al., 1996). Lightfoot et al. (1993) predicted that the widespread adoption of integrated silvi-aquaculture might actually improve local environments by reducing soil erosion and increasing tree cover.

Small-scale, integrated aquaculture systems are more efficient at converting feeds into fish and produce fewer negative environmental impacts than purely commercial fish farms. They also have the advantage of not using one human foodstuff to produce another. Edwards et al. (1996) concluded that integrated agriculture/aquaculture alone may be sufficient to satisfy subsistence needs if on-farm resources are available, but it needs to be supplemented by off-farm inputs in resource-poor conditions and where labor costs are high. In addition, there is some evidence from Sri Lanka that mangroves (important traditional aquaculture sites) provided some protection to coastal communities during the tsunami.

#### AGROFORESTRY IMPLICATIONS FOR ECOSYSTEM SERVICES AT THE WATERSHED SCALE

Natural resource (biodiversity, forests, land, water) use has upstream and downstream impacts not only on soil and water productivity, but also on ecosystem services such as biodiversity niches, water flows and quality, erosion control, and flooding and sedimentation (Figure 1). Watersheds are generally managed to collect the water from the upper parts for use by people living lower down. The widespread establishment of agroforestry systems can have major impacts on soil cover in the upper parts of the watershed and thereby also influence those soil properties conducive to good water infiltration, ground water recharge and moderated surface water flow to avoid soil erosion and sediment flows to lower lying dams, lakes, and ponds.



Water evaporates from rivers, lakes, and soil. Plants transpire water during photosynthesis and respiration (transpiration). Direct evaporation from the soil and transpiration from plants is collectively termed evapotranspiration. Transpiration rates vary according to vegetation type due to differences in leaf area and the depth and density of root systems. Consequently, changes in vegetation type in response to land management practices can have significant impacts on the water balance at subcatchment and catchment scales. The total volume of evapotranspiration from a vegetated land surface depends on vegetation type, climate, and soil factors. In the figure above, the forests at the top of the catchment (1) are important for both interception of rainfall and partitioning the rainfall into surface and subsurface flows. Reservoirs and small dams (2 + 3) serve to collect and hold surface flow for local use but also create additional surfaces for evaporation of water that may have infiltrated into the soil. Newly established agroforestry systems and forestry plantations of fast-growing species can increase evapotranspiration and reduce subsurface flows. Intensive land use in riparian (river bank) areas can increase sediment and nutrient (especially nitrogen) loads to water bodies.

**Figure 1 - Impacts of agroforestry systems on hydrology. (Source: World Bank, 2006).**

Land and water users in the upper watershed, however, have little incentive to adopt agroforestry and other resource management practices that benefit downstream populations. Government regulations have generally been ineffective in promoting good resource (land, water, forest) stewardship. The World Bank has been supporting investments in improved natural resource management at the watershed scale for several decades (Table 1).

**Table 1 - Examples of investments in natural resource management projects at the watershed scale supported by the World Bank**

Country	Project type or name	Total project cost US\$ million	Total World Bank Investment US\$ million	WB % of total
Africa Burkina Faso	Environmental management project	25.5	16.5	65

<b>East Asia and Pacific</b>				
Indonesia	Yogyakarta Upland Area Development Project	25.1	15.5	62
China	Second Red Soils Area Development Project	296.4	150	51
China	Loess Plateau Watershed Rehabilitation Project	248.7	150	60
<b>Eastern and Central Asia</b>				
Turkey	Eastern Anatolia Watershed Rehabilitation Project	115.5	82.1	71
Turkey	Anatolia Watershed Rehabilitation Project	248.7	150	60
<b>Latin America and the Caribbean</b>				
Brazil	Land Management II Project—Santa Catarina	71.6	33	46
Brazil	Land Management III Project	124.7	55	44
<b>Middle East and North Africa</b>				
Tunisia	Northwest Mountainous Areas Development Project	50.7	27.5	54
Morocco	Lakhdar Watershed Management Pilot Project	5.8	4	69
<b>South Asia Region</b>				
India	Integrated Watershed Development (Plains) Project	91.8	62	68
India	Integrated Watershed Development (Hills) Project	125.6	88	70
India	Integrated Watershed Development (Hills-II) Project	193	135	70

To leverage existing public investment in enhanced watershed management for environmental services, the following opportunities exist:

1. The Kyoto Protocol is now operational following Russia's decision to ratify it. There are emerging opportunities for communities to obtain payments for carbon sequestration via reforestation and agroforestry systems. The World Bank's BioCarbon Fund is currently financing prototype operations of more than US\$ 410 million under management in six funds (either approved or under operation).
2. The GEF's OP 15 program has dedicated significant grant resources for the rehabilitation of degraded lands. These grants can be used to leverage private investor funds for enhanced irrigation water management and environmental benefits.
3. Payments for Ecosystem Services (PES)

#### Agroforestry, Carbon Sequestration, and Carbon Trading

Agroforestry systems have the potential to sequester considerable quantities of above and belowground carbon. Because the Kyoto protocol limited Clean Development Mechanism (CDM) payments for carbon sequestration to aboveground carbon via reforestation or afforestation, carbon trading in developing countries is currently limited to aboveground carbon. Tables 2 and 3 below

present biomass (carbon) stocks from empirical data obtained via measurements in a range of agroforestry systems in Brazil and Togo. On average, the systems accumulated around 2 to 5 Mg C per ha per year. These values are similar to various published values for agroforestry systems in other humid tropical regions. Although the systems identified in the tables below also sequestered significant quantities of soil carbon, current Kyoto CDM rules prevent trading of soil carbon and there is currently strong opposition from some non-governmental agencies to the idea of including soil carbon in future carbon trading.

Table 2 - Aboveground biomass (t ha<sup>-1</sup>) in shade and sun coffee systems in Togo. (Source: Dossa et al., 2006 submitted)

	Shaded coffee		Sun coffee
	Coffee	<i>Albizia</i> shade trees	Coffee
Leaves	1.64	3.36	2.64
Twigs	1.60	8.75	2.16
Branches	-	48.15	-
Stem	12.72	54.48	14.88
<b>Subtotal</b>	<b>15.96</b>	<b>114.74</b>	<b>19.68</b>
Litter		7.46	5.89
Weeds		1.80	4.11
<b>Total</b>		<b>139.96</b>	<b>29.68</b>

Table 3 - Above ground biomass (AGBM) and carbon stocks in three 9-year-old agroforestry systems established on abandoned pastures near Manaus, Brazil. (Source: McCaffery, 2003)

Agroforestry System and Species	Mean plant DW (± 1 SE)	AGBM Mg ha <sup>-1</sup> (No.) <sup>††</sup>	C % DM	C Stocks Mg ha <sup>-1</sup>	% Total C
<b>Home garden system</b>					
<i>Bertholletia excelsa</i> (Brasil Nut)	372.4 ± 22.0	29.42 (79)	0.543	15.97	46.6
<i>Eugenia stiptata</i> (Araça-boi)	14.9 ± 0.78	1.18 (79)	0.491	0.578	1.7
<i>Genipa americana</i> (Genipapo)	25.3 ± 1.26	3.64 (144)	0.531	1.93	5.6
<i>Gliricidia sepium</i>	12.0 ± 1.06	10.48 (373)	0.485	5.08	14.7
<i>Inga edulis</i>	32.9 ± 0.76	6.93 (119)	0.485	3.36	9.8
<i>Malpighia glabra</i> (Acerola)	3.6 ± 0.30	0.70 (194)	0.423	0.297	0.9
<i>Musa paradisiaca</i> (Banana)	6.1 ± 0.45	1.81 (300)	0.513	0.931	2.7
<i>Swietenia macrophylla</i> (Mahogany)	79.2 ± 3.27	3.17 (40)	0.506	1.59	4.6
<i>Tectona grandis</i> (Teak)	62.4 ± 11.10	5.68 (91)	0.497	2.82	8.2
<i>Theobroma grandiflorum</i> (Cupuaçu)	35.3 ± 0.65	3.56 (83)	0.497	1.77	5.2
<b>Totals</b>	-----	<b>66.7 (1502)</b>	-----	<b>34.3</b>	<b>100%</b>
<b>Palm-based system</b>					
<i>Bactris gasipaes</i> (Peach palm)	47.6 ± 2.45	30.95 (650)	0.536	16.59	39.8
<i>Columbrina glandulosa</i>	142.8 ± 3.81	17.56 (123)	0.497	8.73	20.9
<i>Euterpe oleracea</i> (Açaí)	15.2 ± 0.26	9.06 (596)	0.498	4.42	10.6
<i>Theobroma grandiflorum</i> (Cupuaçu)	42.9 ± 0.65	13.91 (324)	0.497	6.91	16.6
<i>Gliricidia sepium</i>	12.0 ± 1.06	10.48 (373)	0.485	5.08	12.1
<b>Totals</b>	-----	<b>82.0 (2066)</b>	-----	<b>41.7</b>	<b>100%</b>

Agroforestry System and Species	Mean plant DW (± 1 SE)	AGBM Mg ha <sup>-1</sup> (No.) <sup>††</sup>	C % DM	C Stocks Mg ha <sup>-1</sup>	% Total C
<b>Silvopastoral system</b>					
<i>Schizolobium amazonicum</i> (Paricá)	68.7 ± 3.67	5.86 (85)	0.521	3.05	19.0
<i>Swietenia macrophylla</i> (Mahogany)	79.5 ± 3.27	5.23 (66)	0.506	2.62	16.3
<i>Brachiaria humidicola</i>	0.419 kg m <sup>2</sup>	4.19	0.493	2.06	12.8
<i>Desmodium ovalifolium</i>	0.449 kg m <sup>2</sup>	4.49	0.483	2.17	13.5
Invasives <sup>^</sup>	0.225 kg m <sup>2</sup>	2.25	0.473	1.06	6.6
<i>Gliricidia sepium</i>	12.0 ± 1.06	10.48 (373)	0.485	5.08	31.7
<b>Totals</b>	-----	<b>32.5 (524)</b>	-----	<b>16.0</b>	<b>100%</b>

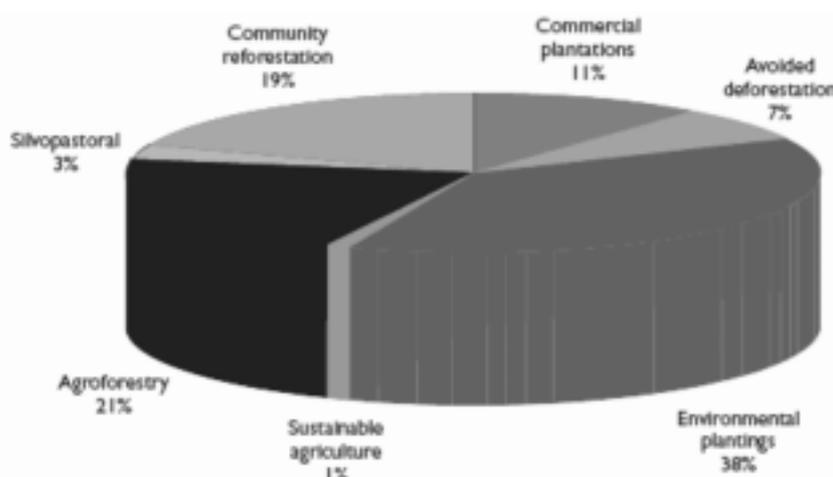
AGBM = Above-ground biomass.

Market research by the World Bank showed that during 2002, worldwide trading of credits in greenhouse gas emissions tripled to an estimated 67 million tons of carbon dioxide equivalent as companies prepared for the ratification of the Kyoto Protocol. But the same study also showed that only 13 percent of direct private-sector carbon emission reduction purchases were made from projects in the developing world. High transaction costs and the uncertainties of dealing in new and unfamiliar markets deterred most potential investors. To help develop these markets, the World Bank launched the Community Development Carbon Fund in April 2003 to provide carbon finance to small-scale projects in the least developed countries. And in November 2003, the Bank announced the BioCarbon Fund. This is a public and private initiative to finance projects that sequester carbon in vegetation and soils (“carbon sinks”) while helping to reverse land degradation, conserve biodiversity, and improve the livelihoods of local communities (Newcombe, 2003).

The scope of the BioCarbon Fund covers the entire range of land use activities (Figure 2). The kinds of projects financed by the fund include (World Bank, 2006):

1. Small SLM-oriented reforestation projects to restore landscape stability by reducing erosion and providing windbreaks.
2. Reforestation projects to conserve and protect unique and endangered forest ecosystems by connecting forest fragments with corridors to create viable long-term habitats.
3. Agroforestry projects such as those to shade coffee, intercrop trees with other crops, and establish trees to help restore degraded grazing lands.
4. Projects for community-promoted planting of timber, biofuel, and other forest products that fit within a broader landscape design.

Figure 2 - Carbon Value of BioCarbon Projects by Land Management Category. (World Bank, 2006).



### Agroforestry for Rehabilitation of Degraded Lands

At present, land use practices in many developing countries are resulting in land, water, and forest degradation, with significant repercussions for the countries' agriculture sectors, natural resource bases, and ecoenvironmental balances. Land degradation can be defined as the loss of land productivity through one or more processes, such as reduced soil biological diversity and activity, the loss of soil structure, soil removal due to wind and water erosion, acidification, salinization, waterlogging, soil nutrient mining, and pollution.

Land degradation also results in the loss of ecosystem services, which further undermines the sustainability of both managed and natural ecosystems. Our reviews of the literature suggest that both biological diversity and integrated nutrient management are key components of agroforestry systems for rehabilitating degraded lands. Native stocks of available plant nutrients need to be managed to avoid outputs exceeding inputs and, where necessary, need to be supplemented from external (organic and/or chemical) sources in order to sustain system function and productivity.

### Structural and Biological Diversity of Agroforestry Systems

The great majority of productive and long-lived, traditional farming systems have high species diversity and species associations of different age classes spread over several sites (Clawson, 1985; Thrupp 1998). In Latin America, much of the production of staple crops occurs in polycultures.

Another benefit of multiple species associations is the creation of additional niches for pollinators, decomposers, and natural enemies of crop pests (Andow, 1991). The plant diversity provides alternative habitat and food sources such as pollen, nectar, and alternative hosts to predators and parasites. Both above and belowground species and processes are impacted and can contribute to agroecosystem productivity and stability (Tillman et al., 1996). There is increasing empirical evidence that integrated farming systems sustain a higher level of agrobiodiversity than intensively managed, monoculture crop systems (Perfecto et al. 1996; Power 1996). Turner et al. (1995) suggested that there exists a three-way interaction among biodiversity, ecosystem processes and landscape dynamics. Any land management practices that increase biodiversity at a landscape level are also likely to benefit ecosystem services such as nutrient, water and soil conservation, biological pest control and efficient nutrient cycling (Culotta, 1996; Tilman et al., 1996). Although it appears that obtaining appropriate species mixtures rather than maximizing species numbers is more important in the provision of ecosystem services, high species richness may increase agroecosystem resilience following disturbance by increasing the number of alternative pathways for the flow of resources (Silver et al., 1996).

### Integrated Nutrient Management (INM)

A common feature of many traditional and other farming systems that have sustained populations over several decades and, in some cases centuries, is the continuous use of use of locally available, biological and organic resources to minimize nutrient losses from the system. Plant nutrients are usually removed from the system via harvests of grain, tubers, fruit, and wood and by surface erosion and sub-surface leaching. The literature on INM documents the following key requirements for effective nutrient management and sustainable cropping (Fernandes, 1999):

- 1) Reduced soil erosion and leaching.
- 2) Recycled flows of organic nutrients.
- 3) Enhanced biological sources of nutrients (e.g. biological nitrogen fixation).
- 4) Nutrient exports compensated for by addition of nutrients first as green or animal manure, and if necessary with inorganic fertilizers.
- 5) Adapted and efficient species used as components of improved systems that are designed to take advantage of the INM concept.

### Agroforestry and Payments for Ecosystem Services

Payments for environmental services (PES) could significantly improve and diversify the income

sources of land users, especially in the developing world. There are a variety of existing market-based mechanisms and criteria for rewarding good natural resources management via payments for the resulting environmental services. For trading purposes, the services need to be tangible, scientifically quantified, and in accordance with local legislation (Pagiola et al.; 2002). The payment mechanisms include private deals, public payments, and open trading schemes among local communities, municipalities, companies, and national governments. Economic valuation offers a way to compare the diverse benefits and costs associated with ecosystems by attempting to measure them and expressing them in a common denominator—typically a monetary unit used.

The market-based incentive systems that provide rewards in the hope of promoting sustainable land and water stewardship in catchments and basins generally work on the concept that enhanced resources management in upper catchments results in both productivity and ecosystem services that can benefit stakeholders in the lower catchments. In most incentive-based systems, the beneficiaries are charged an appropriate amount that is then equitably shared among the land users in the upper catchment. Emerging markets for payments for ecosystem services in Costa Rica (Miranda et al., 2003), India, the United States, and Australia have resulted in some positive behavioral changes in resource management on the part of upstream land users—with significant downstream benefits (Pagiola et al., 2004). Watershed services are very dependent on the watershed or subwatershed level, however, which limits market scale and size.

To ensure the success and sustainability of incentive-based systems to facilitate the improved management of irrigation water and associated natural resources, the following challenges may have to be overcome:

- Identifying and reliably quantifying the volume and quality of water flows and associated benefits (for example, vegetation biomass and soil cover, reduced erosion, and added food and fiber production) provided by good land and natural resources stewardship.
- Identifying the risks (for example, climate change) and opportunities for mitigating the risk to irrigation water and natural resources management operations (Burton & van Aalst, 2004).
- Identifying the beneficiaries of the improved volume and quality of water flows and charging them to provide the financing mechanism.
- Ensuring that payments are equitably distributed to all stakeholders and that the amount not only compensates them for the costs of changes in resources management but also reflects the value of the services provided.
- Because supply price and ecosystem benefits are based on location in the watershed or landscape, Chomitz et al. (1998) suggest a framework based on spatial information to guide prioritization and pricing.
- Creating an appropriate decision-making framework and institutional support structure that can be accessed by all stakeholders. Watershed-modeling tools are also very useful in engaging community, research, and policy stakeholders (Calder, 2005).

Although biodiversity itself is not an ecosystem service, conserving biodiversity can promote a wide range of ecosystem benefits and environmental services. It is the ecological interaction of taxonomic and functional groups of biota that maintain ecosystem function and provide a measure of resilience in the face of environmental shocks. Loss of biodiversity is commonly associated with a loss of system function that, in extreme cases, can lead to irreversible system breakdown. Rural farmers in marginally productive lands tend to be more acutely aware of the relationship between biodiversity and its role in the maintenance of livelihoods than are their counterparts, broad-scale agriculturalists. The irony for the rural poor is that a downward economic spiral rarely provides any leeway for biodiversity conservation. Under such circumstances, providing incentives directly through monetary payments, or indirectly through policy instruments that facilitate some form of tax relief, is most likely to generate positive feedback for land management and sustainable livelihoods.

### RESEARCH NEEDS AND DEVELOPMENT OPPORTUNITIES

Quantifying Agroforestry Tradeoffs: Researchers in the global Alternatives to Slash and Burn (ASB) program developed a tool known as the ASB matrix (see example in Table 4) to help policy

makers assemble accurate, objective information regarding the private and social costs and benefits of alternative land use systems on which to base their research and adaptation efforts, as well as their inevitably controversial decisions (Tomich et al., 1998).

In the ASB matrix (Table 4), natural forest and the land use systems that replace it are scored against criteria reflecting the objectives of different interest groups. To enable results to be compared across sites, the systems specific to each site are grouped according to broad categories, ranging from agroforests to grasslands and pastures. This approach can readily be extended to other cropping systems and environments involving common land use rights or hard-to-enforce private property rights.

An additional advantage of the cross-sector comparisons and tradeoff evaluations is the possibility to develop scenarios for scaling up of best bet practices. Most discussions on scaling up ignore the interactions among provisioning (productive), regulating, and support ecosystem services because of the lack of quantitative data on likely impacts of spatial and time scales for different agroforestry and other land management systems and ecosystem services (Stoorvogel et al., 2004).

Rehabilitating Degraded Lands and Riparian Zones: A priority is obtaining a better empirical understanding of how agroforestry systems can be used to rehabilitate the productive and service functions of approximately 20 million hectares of degraded pasturelands in Brazil and more than 200 million hectares of deforested and degraded former croplands that are currently occupied by *Imperata cylindrica*–*alang alang* in Southeast Asia and spear grass in West Africa. The hillsides of Central America and Southeast Asia, where soil erosion and nutrient mining has significantly reduced the productive capacity of the land and its resilience to storms, are also a priority. Agricultural and urban expansion into wetlands and coastal mangroves has severely compromised the flood protection provided by these lands. The devastating effect of the recent tsunamis along deforested coastlines in Asia and the flooding of New Orleans by Hurricane Katrina are but two examples of the effects of the degradation and loss of riparian and coastal forests, wetlands, and sediment banks, and their protective functions against wind and storm surges.

**Table 4** - The ASB matrix allows researchers, policymakers, environmentalists and others to compare agroforestry and other cropping systems and identify and discuss tradeoffs among the various objectives of different interest groups. (Source: Tomich et al., 2005)

ASB Summary Matrix: Forest Margins of Sumatra						
Land-use	Global environment		Agronomic sustainability	National policymakers' concerns		Adoptability by smallholders
	Carbon sequestration	Biodiversity	Plot-level production sustainability	Potential profitability (at social prices)	Employment	Production incentives (at private prices)
	Aboveground, Time-averaged (Tones/ha)	Aboveground, Plant species/standard plot	Overall rating	Returns to land (US\$/ha)	Average labour input (days/ha/yr)	Returns to labour (US\$/day)
Natural forest	306	120	1	0	0	0
Community-based forest management	136	100	1	11	0.2	4.77
Commercial logging	93	90	0.5	1080	31	0.78
Rubber agroforest	89	90	0.5	506	111	2.86
Oil palm monoculture	54	25	0.5	1653	108	4.74
Upland rice/bush fallow rotation	7	45	0.5	(117)	25	1.23
Continuous cassava degrading to <i>Imperata</i>	2	15	0	28	98	1.78

Understanding how Agroforestry Systems Impact Green Water-Blue Water Dynamics: Today's food production involves a consumptive water use of altogether 6800 km<sup>3</sup>/yr (out of which 1800 are supplied from blue water resources). To feed humanity by 2050 on 3000 kcal per person per day will require an additional 5600 km<sup>3</sup>/yr, out of which a maximum of 800 will come from blue water resources. The 2050 column shows that the remaining 4800 have to be contributed from new green water resources (e.g. horizontal expansion) or from turning evaporation into transpiration (Falkenmark et al., 1998). Because agroforestry systems contain all the major components of the green water category shown below, it is quite important to quantify the likely impacts of scaling up best bet agroforestry practices on green water-blue water dynamics.

Two essential key elements are missing in conventional water management: the evaporative demand involved in plant production, and the naturally infiltrated rainwater, available to meet that demand in a more productive way if more systematically managed. In order to better manage the basic freshwater (rainfall) resource, it is essential to distinguish between blue water flow of liquid water and green water flow of water vapor (Figure 3).

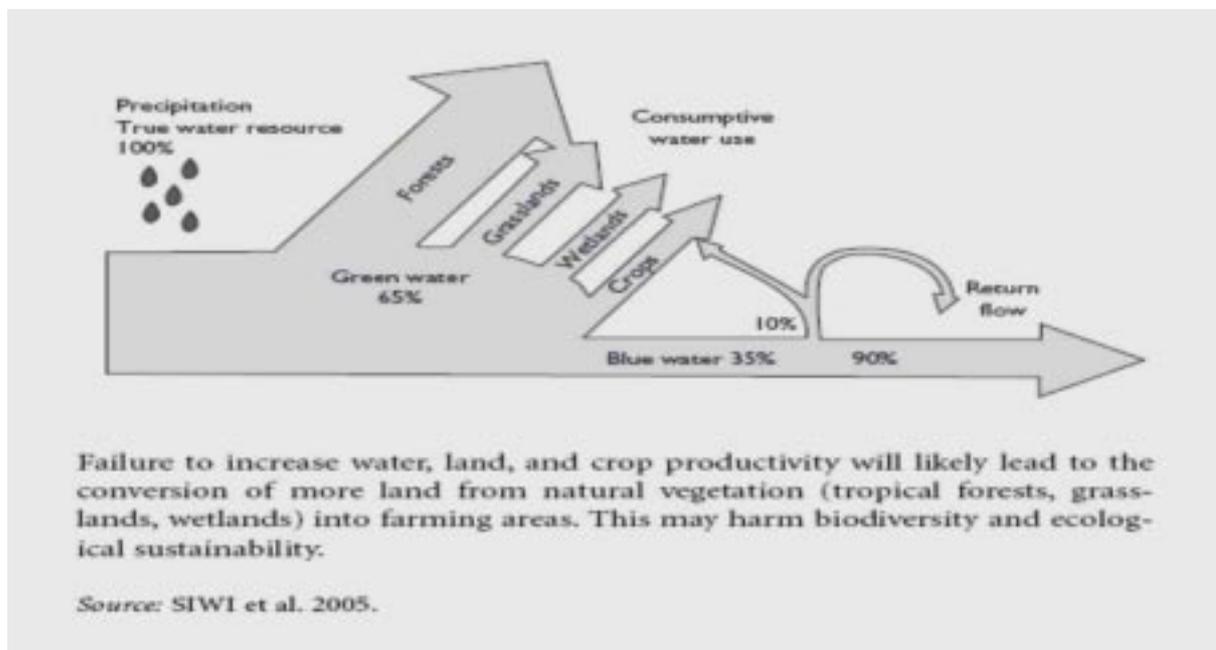


Figure 3 - Green Water-Blue water components.

Like the monitoring of nutrients in integrated nutrient management, the distinction between blue and green water components makes possible a water accounting and more organized allocation of the basic rainwater resource between consumptive green water uses, rainwater surplus generating blue water (streamflow and groundwater recharge), blue water withdrawals for throughflow-based uses, blue water return flows carrying pollutants and drained back to the water system, and water for natural terrestrial and aquatic ecosystems.

There is a major tradeoff that will have to be wisely managed in order to ensure an environmentally sustainable society. This is the fundamental tradeoff between water-consumptive crop production and the streamflow to maintain downstream societies and aquatic ecosystems supporting their livelihoods. This tradeoff exists because, in plant production, huge amounts of water evaporate through photosynthesis and transform to vapor while leaving the area. Thus, it is not available for reuse downstream. Changes in land use affect green water flows and determine the available blue water flows further downstream.

Although green water is the largest component of fresh-water resources, it has been neglected in policy, investment, action, and research. Green water deserves attention from policy makers, planners, land users, and investment agencies for the following reasons:

1. Rain-fed agriculture contributes most of the world's food production: 95 percent in Sub-Saharan Africa, where it makes use of only 15–30 percent of rainfall; the rest is lost, mostly as destructive runoff.
2. The partitioning of rainwater into green water and blue water is a dynamic process (governed by rainfall intensity, terrain, land cover, and soil) that may be controlled by SLM approaches.
3. Management of green water contributes to blue water. Soils process several times more water than they retain, while soil erosion, by runoff and bank erosion during peak flows, contributes nearly all the sediment load of streams, leading to the siltation of reservoirs and water courses.
4. More effective management of green water via appropriate agroforestry systems can mitigate the competition and potential conflict between agricultural water users on the one hand and the needs of industry, urban populations, and the environment on the other. A variety of modeling tools and decision support systems are now available (Calder, 2005).

In South Africa, a mega-scale water conservation project, the Working for Water program, has been initiated with the dual aim of saving 10 percent of the annual runoff and protecting native biodiversity by means of a countrywide clearing of invasive alien water-consuming plants. The effort will engage some 40,000 individuals over a 30-year period. The goal is to improve rain-fed agriculture by reducing the hydroclimatic constraints to rain-fed crop production and by making supplementary irrigation an efficient means to increase otherwise poor crop yields. This is an example of how land management and agroforestry practices can be used to manage the partitioning of rainwater between the vertical green and the horizontal blue water pools via clearing, reforestation, afforestation, and cropping system management.

### CONCLUSIONS

Agroforestry systems offer a large portfolio of land management options that can enhance not only the provisioning (productive) but also the regulating and support services of agroecosystems. Given the inevitability of climate change and the expected shocks on currently managed landscapes, there is an urgent need to harness the potential risk minimization and watershed resilience benefits of agroforestry. Unfortunately, however, despite the significant effort that has been devoted to improving and quantifying the productive services of agroforestry, there is a significant knowledge gap on the role of agroforestry practices for regulating and supportive services. An additional constraint to effective scaling up of agroforestry best bet practices is the lack of empirical data on the impact of spatial and temporal scales of agroforestry and the tradeoffs among the different provisioning and regulating services at watershed scales. Climate change is expected to increase the frequency and severity of extreme events as well as have major changes on rainfall patterns. Either too much or too little rain will have major impacts on the sustainability of existing agroecosystems.

This paper has highlighted the major opportunities for enhancing the positive impacts of agroforestry at appropriate scales and the need for objective evaluations of tradeoffs (especially with water flows) when best bet systems are scaled up at watershed and landscape scales.

### LITERATURE CITED

- ANDOW, D.A. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual Review of Entomology*, 36:561-586, 1991.
- AREVALO, L.A.; ALEGRE, J.C.; BANDY, D. E.; SZOTT, L.T. The effect of cattle grazing on soil physical and chemical properties in a silvopastoral system in the Peruvian Amazon. *Agroforestry Systems*, 40:109-124, 1998.
- BARROS, E.; NEVES, A.; BLANCHART, E.; FERNANDES, E.C.M.; WANDELLI, E. & LAVELLE P. Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in amazonia. *Pedobiologia*, 47:273-280, 2003.

- BONGAARTS, J. Global and regional population projects to 2025. In: ISLAM, N. ed. Population and food in the early twenty-first century: Meeting future food demands of an increasing population. Washington, DC, International Food Policy Research Institute (IFPRI), 1995. p.7-16.
- BROUGHTON, W.J. Effect of various covers on soil fertility under *Hevea brasiliensis* and on growth of the tree. *Agro-Ecosystems*, 3:147-170, 1977.
- BUNCH, R. Achieving sustainability in the use of green manures. *ILEIA Newsletter*, 13:12, 1997.
- BURTON, I. & van AALST, M.. Look before you leap: A risk management approach for incorporating climate change adaptation in World Bank Operations. Washington, DC, World Bank, 2004.
- CALDER, I. The blue revolution: Land use and integrated water resource management. London, Earthscan, 2005.
- CHOMITZ, K.M.; BRENES, E. & CONSTANTINO, L. "Financing environmental services: The Costa Rican experience and its implications." Paper prepared for Development Research Group (DRG) and Environmentally and Socially Sustainable Development—Latin America and Caribbean (ESSD-LCR). World Bank, Washington, DC, 1998.
- CLAWSON, D.L. Harvest security and intraspecific diversity in traditional tropical agriculture. *Economic Botany*, 39:56-67, 1985.
- CONWAY, G.R. The doubly green revolution. Penguin, London, 1997.
- CULLOTA, E. Exploring biodiversity's benefits. *Science*, 273:1045-1046, 1996.
- DOSSA, E.L., FERNANDES, E.C.M. & REID, W.S. Above-and belowground biomass, nutrients, and carbon stocks in open-grown and shaded coffee plantations in Southwestern Togo. *Agriculture, Ecosystems and the Environment (Submitted 2006)*.
- EDWARDS, P.; DEMAINE, H.; INNES-TAYLOR, N. & TURONGRUANG, D. Sustainable aquaculture for small scale farmers: need for a balanced model. *Outlook on Agriculture*, 25:19-26, 1996.
- EHUI, S.; LI-PUN, H.; MARES, V. & SHAPRIO, B. The role of livestock in food security and environmental protection. *Outlook on Agriculture*, 27:81-87, 1998.
- FALKENMARK, M.; KLOHN, W.; LUNDQVIST, J.; POSTEL, S.; ROCKSTRÖM, J.; SECKLER, D.; SHUVAL, H. & WALLACE, J. Water scarcity as a key factor behind global food insecurity: Round table discussion. *Ambio*, 27 (2), 1998.
- FAWZI, H.A., ZAINUDIN, M.N. & ABDUL-WAHAB, A.A. Cattle integration in oil palm - establishment and financial implications. *Planter*, 74:319-332, 1998.
- FELDPAUSCH, T.R.; RONDON, M.A.; FERNANDES, E.C.M.; RIHA, S.J. & WANDELLI, E. Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in Central Amazonia. *Ecological Applications*, 14:164-176, 2004.
- FERNANDES, E.C.M.; OKTINGATI, A. & MAGHEMBE, J. The Chagga homegardens: A multistoried agroforestry cropping system on Mt. Kilimanjaro, Tanzania. *Agroforestry Systems*, 2:73-86, 1984.
- FERNANDES, E.C.M. & NAIR, P.K.R. An evaluation of the structure and function of tropical homegardens. *Agricultural Systems*; 21:279-310, 1986.
- FERNANDES, E.C.M.; DAVEY, C.B. & NELSON, L. Alley cropping on an Ultisol in the Peruvian Amazon: Mulch, fertilizer and tree root pruning effects. In: RAGLAND, J. & LAL, R. eds. Technologies for sustainable agriculture in the tropics. ASA Special Publication, 56. Madison, ASA, WI., 1993. p.77-96.
- FERNANDES, E.C.M. & MATOS, J.C. Agroforestry strategies for alleviating soil chemical constraints to food and fiber production in the Brazilian Amazon. In: SEIDL, P.R.; GOTTLIEB, O.R. & KAPLAN, M.A.C. eds. Chemistry of the Amazon: Biodiversity, natural products, and environmental issues. Washington, DC., American Chemical Society, 1995. p.34-50.
- FERNANDES, E.C.M. Integrated farming systems to increase and sustain food production in the tropics. In: FAIRCLOUGH, A.J. ed. Sustainable agriculture solutions: The sustainable agriculture initiative action report. London, The Novello Press Ltd., 1999. p.268-275.

- FERNANDES, E.C.M.; WANDELLI, E.; PERIN, R. & GARCIA, S.A. Restoring productivity to degraded pasture lands in the Amazon through agroforestry practices. In: UPHOFF, N.; BALL, A.; FERNANDES, E.; HERREN, H.; HUSSON, O.; LAING, M.; PALM, C.; PRETTY, J.; SANCHEZ, P.; SANGINGA, N. & THIES, J. eds. *Biological approaches to sustainable soil systems*. New York, CRC Press, 2006. p.305–318.
- FOOD and AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). *Food requirements and population growth*. Rome, 1996.
- GARRITY, D.P. Improved agroforestry technologies for conservation farming: Pathways toward sustainability. In: *Proceedings of International Workshop on Conservation Farming for Sloping Uplands in Southeast Asia: Challenges, Opportunities and Prospects*. International Board for Soil Research and Management, Bangkok, Thailand. *Proceedings*, 14:145-168, 1995.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University Press, 2001.
- KANG, B.T., REYNOLDS, L. & ATTA-KRAH, A.N. Alley farming. *Advances in Agronomy*, 43:315-359, 1990.
- KEENAN, R. J.; PARSONS, M.; O'LOUGHLIN, E.; GERRAND, A.; BEAVIS, S.; GUNAWARDANA, D.; GAVRAN, M. & BUGG, A.. *Plantations and water use: A review*. Forest and Wood Products Research and Development Corporation. Canberra, Bureau of Rural Sciences, 2004.
- LEAKEY, R.R.B. Definition of agroforestry revisited. *Agroforestry Today*, 8:5-7, 1999
- LIGHTFOOT, C., BIMBAO, M.A.P., DALSGAARD, J.P.T. & PULLIN, R.S.V. Aquaculture and sustainability through integrated resources management. *Outlook on Agriculture*, 22:143-150, 1993.
- MCCAFFERY, K.A. *Carbon and nutrients in land management strategies for the Brazilian Amazon*. PhD dissertation. New York, Cornell University, 2003. 204p.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington, DC, Island Press, 2005.
- MICHON, G. & de FORESTA, H. The Indonesian agroforest model: Forest resource management and biodiversity conservation. In: HALLIDAY, P. & GILMOUR, D.A. eds. *Conserving biodiversity outside protected areas: The role of traditional agro-ecosystems*. IUCN. Gland., 1995. p.90-106.
- MIRANDA, M., PORRAS, I.T. & LUZ MORENO, M. *The social impacts of payments for environmental services in Costa Rica: A quantitative field survey and analysis of the Virilla Watershed*. London, International Institute for Environment and Development, 2003.
- NEWCOMBE, K. *Extending the carbon market to the world's poor*. Paper presented at the Carbon Trading Conference, Europe. Report No. 28732. World Bank, Washington, DC, 2003.
- OKAFOR, J.C. & FERNANDES, E.C.M. Compound farms of southeastern Nigeria: A predominant agroforestry homegarden system with crops and small livestock. *Agroforestry Systems*, 5:153-168, 1987.
- ONG, C.K. Alley cropping - ecological pie in the sky? *Agroforestry Today*, 6:8-10, 1994.
- PADDOCH, C. & de JONG, W. The house gardens of Santa Rosa: Diversity and variability in an Amazonian agricultural system. *Economic Botany*, 45:166-175, 1991.
- PAGIOLA, S.; BISHOP, J. & LANDELL-MILLS, N. *Selling forest environmental services: Market-based mechanisms for conservation and development*. London, Earthscan, 2002.
- PAGIOLA, S.; von RITTER, K. & BISHOP, J. *Assessing the economic value of ecosystem conservation*. Environment Department Paper No. 101. Washington, DC, World Bank Environment Department in collaboration with the Nature Conservancy and Conservation International, 2004.
- PENNINGTON, T.A. *The genus Inga - Botany*. Kew, Royal Botanic Gardens, 1997. 844p.
- PENNINGTON, T.A. & FERNANDES, E.C.M. *The genus Inga: utilization*. The Royal Botanic Gardens, Kew and International Center for Research in Agroforestry (ICRAF), 1998.
- PEOPLES, M.B. & HERRIDGE, D.F. Nitrogen fixation by tropical legumes. *Advances in Agronomy*, 44:155-223, 1990.

- PERFECTO, I.; RICE, R.A.; GREENBERG, R. & van der VOORT, M.E. Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity. *BioScience*, 46:598-608, 1996.
- POWER, A.G. Arthropod diversity in forest patches and agroecosystems of tropical landscapes. In: SCHELHAS, J. & GREENBERG, R. eds. *Forest patches in tropical landscapes*. Washington, Island Press, 1996. p.91-110.
- RAO, M.R.; NAIR, P.K.R. & ONG, C.K. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 38:3-50, 1998.
- SAJJAPONGSE, A. & SYERS, K. Tangible outcomes and impacts from the ASIALAND management of sloping lands network. In: *Proceedings of International Workshop on Conservation Farming for Sloping Uplands in Southeast Asia: Challenges, Opportunities and Prospects*. International Board for Soil Research and Management, Bangkok, Thailand. Proceedings No. 14, 1995. p.3-14.
- SCHROTH, G.; SILVA, L.F.D.; SEIXAS, R.; TEIXEIRA, W.G.; MACÊDO, J.L.V. & ZECH, W. Subsoil accumulation of mineral nitrogen under polyculture and monoculture plantations, fallow and primary forest in a ferralitic Amazonian upland soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 75:109-120, 1999.
- SILVER, W.L.; BROWN, S. & LUGO, A.E. Effects of changes in biodiversity on ecosystem function in tropical forests. *Conservation Biology*, 10:17-24, 1996.
- STOORVOGEL, J.J.; ANTLE, J.M.; CRISSMAN, C.C. & BOWEN, W. The tradeoff analysis model: Integrated bio-physical and economic modelling of agricultural production systems. *Agricultural Systems*, 80:43-66, 2004.
- STYGER, E.; RAKOTOARIMANANA, E.; RABEVOHITRA, M. & FERNANDES, E.C.M. Indigenous fruit trees of Madagascar: Potential components of agroforestry systems to improve human nutrition and restore biological diversity. *Agroforestry Systems*, 46:289-310, 1999.
- SUBLER, S. & UHL, C. Japanese agroforestry in amazonia: A case study in Tomé Açu, Brazil. In: Anderson, A.B. ed. *Alternatives to deforestation. Steps toward sustainable use of the Amazon rainforest*. New York, Columbia University Press, 1990. p.152-166.
- SZOTT, L.T.; FERNANDES, E.C.M. & SANCHEZ, P.A. Soil-plant interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management*, 45:127-152. 1991.
- TAPIA-CORAL, S.C., LUIZÃO, F.; WANDELLI, W. & FERNANDES, E.C.M. Carbon and nutrient stocks in the litter layer of agroforestry systems in central Amazonia, Brazil. *Agroforestry Systems*, 00:1-10, 2004.
- THRUPP, L.A. *Cultivating diversity: Agrobiodiversity and food security*. Washington, D.C., World Resources Institute, 1998.
- THURSTON, D. *Slash/mulch systems: Sustainable methods for tropical agriculture*. Boulder, Westview Press, 1998. 196p.
- TILLMAN, D.; WEDIN, D. & TELFORD, A.D. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature*, 379:718-720, 1996.
- TOMICH, T.P.; van NOORDWIJK, M.; VOSTI, S.A. & WITCOVER, J. Agricultural development with rainforest conservation: Methods for seeking best bet alternatives to slash-and-burn, with applications to Brazil and Indonesia. *Agricultural Economics*, 19:159-174, 1998.
- TOMICH, T.P.; CATTANEO, A.; CHATER, S.; GEIST, H.J.; GOCKOWSKI, J.; KAIMOWITZ, D.; LAMBIN, E.F.; LEWIS, J.; NDOYE, O.; PALM, C.A.; STOLLE, F.; SUNDERLIN, W.D.; VALENTIM, J.F.; van NOORDWIJK, M. & VOSTI, S.A. Balancing agricultural development and environmental objectives: Assessing tradeoffs in the humid tropics. In: PALM, C.A.; VOSTI, S.A. SANCHEZ, P.A. & ERICKSEN, P.J. eds. *Slash and burn: The search for alternatives*. New York, Columbia University Press, 2005.
- TURNER, M.G.; GARDNER, R.H. & O'NEILL, R.V. Ecological dynamics at broad scales: Ecosystems and landscapes. *Bioscience*, No. Suppl:S29S35, 1995.
- WORLD BANK. *Sustainable land management: Challenges, opportunities, and tradeoffs*. Washington, DC., 2006.



## **Implantação e Manejo de SAF's na Mata Atlântica: A Experiência da Embrapa Agrobiologia**

EDUARDO FRANCA CARNEIRO CAMPELLO, GABRIELA TAVARES ARANTES SILVA, PEDRO DE OLIVEIRA NÓBREGA, ANDRÉ LUIS MACEDO VIEIRA, AVÍLIO ANTÔNIO FRANCO & ALEXANDER SILVA DE RESENDE

### **INTRODUÇÃO**

A degradação do meio ambiente tem sido conseqüência de intensa ação antrópica, onde se incluem o extrativismo vegetal e a agricultura, que devido a falta de um planejamento adequado para sua execução resultam, principalmente, em perdas de solo das camadas mais férteis, em sua maioria, que podem chegar a 200 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Franco & Campello, 2005). Em conseqüência, grandes extensões de terra improdutivas são abandonadas com insuficiente cobertura vegetal, o que acelera as perdas de solo por erosão. Nestas condições, a menor infiltração da água da chuva reduz a recarga de aquíferos e compromete as nascentes, além de proporcionar o aparecimento de voçorocas e o assoreamento de rios e lagos. Além do impacto sobre a água, o processo de degradação do solo é acompanhado da diminuição da matéria orgânica do solo e conseqüente liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, contribuindo para amplificar o chamado “efeito estufa”. Segundo estimativas a matéria orgânica do solo tem três vezes mais carbono do que a existente em toda a biomassa vegetal terrestre (Batjes, 1996) e as emissões de CO<sub>2</sub> do solo, pela ação antrópica, somam aproximadamente 25% das emissões do CO<sub>2</sub> do planeta (Bouwmann & Germon, 1998).

A Mata Atlântica tem sofrido ações predatórias desde o início da colonização brasileira, inicialmente, fornecendo matéria prima para a crescente população do país, sendo seu espaço ocupado progressivamente por atividades agrícolas, industriais e por núcleos urbanos. Atualmente, restam apenas cerca de 7% da floresta original. A maior parte deste remanescente está fragmentada, sofrendo contínua perda de biomassa vegetal e erosão genética. Esta tendência pode ser constada pelos dados apresentados pelo Censo Agropecuário do Estado do Rio de Janeiro de 1995/96 que apontam, além do êxodo rural, uma tendência de urbanização do meio rural na região. Merece destaque a redução ocorrida entre 1970 e 1996 de 44% do número e 37% da área média de estabelecimentos, 90% da área plantada com lavouras, 50% do pessoal ocupado com atividades de agropecuária e um aumento de cerca de 50% nos estabelecimentos com menos de 10 ha, reduzindo a capitalização e dificultando o acesso ao crédito agrícola. A análise desses números revela uma forte retração das atividades rurais na região que poderiam aliviar as pressões antrópicas sobre os remanescentes florestais, pelo êxodo rural, mas isso não tem acontecido de maneira muito clara.

Os sistemas de produção agrícolas dominantes nos trópicos, com raras exceções, promovem redução rápida e significativa da qualidade do solo, o que se traduz num avanço alarmante da degradação das terras, afetando não só os solos como também os recursos hídricos. Um estudo denominado Avaliação Global da

Degradação de Solos (“Global Assessment of Soil Degradation”) reportou que a área de solos degradados no planeta passou de 6%, em 1945, para 17%, em 1990, e que com a manutenção dos modelos atuais de uso da terra, em 2025, cerca de 25% das terras agricultáveis estarão em estado de degradação, sendo a maior parte delas na região tropical do planeta (Hanson & Cassman, 1994). Sendo assim, a perspectiva futura é sombria, uma vez que a população continua crescendo (previsão de 8 a 10 bilhões de pessoas em 2050; Fischer & Heilig, 1998), o que, com o avanço da degradação das terras, resultará em crise de água potável e de alimentos. Além disso, com há a crescente saturação da atmosfera com CO<sub>2</sub>, se tornam imperativos os esforços para fixar parte deste carbono através do processo de fotossíntese.

Para reduzir esse problema é necessário o desenvolvimento e a adoção de novos sistemas de produção que sejam adequados para as diferentes condições ambientais, que aliem a produção de alimentos com a conservação e recuperação da biodiversidade e da qualidade do solo e da água, contribuindo, ainda, para o seqüestro do excesso de carbono na atmosfera.

Os sistemas integrados de produção, tais como os sistemas agroflorestais, possibilitam a melhoria do ambiente e a promoção sócio-econômica do setor, possibilitando a redução de custos de produção e a inserção de seus produtos em nichos de mercados altamente competitivos, que valorizam a qualidade dos serviços sócio-ambientais.

As árvores são fundamentais na recuperação das funções ecológicas de ecossistemas degradados ou perturbados, uma vez que possibilitam o restabelecimento de boa parte das relações entre as plantas e os animais. A condição de ausência de matéria orgânica no solo é desfavorável ao estabelecimento de espécies mais exigentes, o que torna necessário o plantio de árvores de rápido crescimento, na fase inicial de recuperação ambiental, possibilitando, assim, o restabelecimento da ciclagem de nutrientes, o que permitirá o plantio de espécies mais exigentes (Campello & Franco, 2001; Resende et al., 2005; Resende et al., 2006).

### SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Os sistemas agroflorestais (SAF's) têm um papel relevante como alternativa de produção, permitindo equilibrar a oferta de produtos agrícolas e florestais (Passos, 2003), com a prestação de serviços ambientais. Os SAF's são formas de uso e manejo dos recursos naturais, nos quais espécies lenhosas são utilizadas em associações deliberadas com cultivos agrícolas e animais, de maneira simultânea ou seqüencial (OTS/CATIE, 1986), para se tirar benefícios das interações ecológicas e econômicas resultantes (Ludgren & Raintree, 1982).

Dentre os SAF's propostos, o Sistema Agroflorestal Regenerativo Análogo (SAFRA), é um dos que mais enfocam os processos naturais de ciclagem de nutrientes e sucessão vegetal (Vivan, 1998). É um sistema de multi-estratos, onde se aproveita o espaço horizontal e vertical da área de plantio, adensando o maior número de espécies, de forma a explorar os diferentes estratos que compõem a floresta tropical (Götsch, 1995). Sua alta diversidade e densidade de espécies, o torna adequado às regiões tropicais, principalmente na proteção do solo contra os processos erosivos. Porém, sua grande complexidade implica em dificuldades de manejo, sendo que a principal delas consiste em regular, para várias espécies em um mesmo espaço, a oferta de luz, água e nutrientes, de forma a obter uma boa produtividade. O componente florestal pode reduzir o rendimento dos cultivos devido a maior competição entre as plantas, sendo vital a escolha das espécies florestais, e a intervenção da poda na época adequada (Dubois, 1996).

As experiências com o SAFRA, embora careçam de maior validação científica, vêm sendo incorporadas por agricultores na região do Vale do Ribeira-SP, na região Nordeste e em Minas Gerais e por cafeicultores no estado do Espírito Santo. Estes, se baseando em evidências de aumento na qualidade dos frutos e sanidade das plantas de café em sistemas agroflorestais.

Neste trabalho são apresentadas algumas experiências da Embrapa Agrobiologia na Mata Atlântica com sistemas agroflorestais.

### IMPLANTAÇÃO E MANEJO DO SAF MODELO SAFRA

Implantar o SAFRA demanda um conhecimento prévio da evolução do sistema e de como será sua dinâmica. Os erros e acertos no momento da implantação determinarão o grau de sucesso ou fracasso

do futuro do sistema (Nair et al., 1984). O sucesso da implantação está na soma de decisões a serem tomadas, quanto à escolha das espécies e o método de plantio, visando a composição do mosaico agroflorestal, de acordo com o estágio sucessional.

Para isso, é necessário utilizar espécies de diferentes grupos ecológicos (pioneiras; secundárias iniciais e tardias; e clímax). Esses grupos apresentam comportamentos diferenciados quanto à altura, porte, estrutura radicular, necessidade de luz e nutrientes, tornando a competição entre elas menos acentuada. Um esquema básico para implantação de um Safra é mostrado na figura 1.

A ciclagem de nutrientes constitui-se numa das funções mais importantes para a regulação do funcionamento e do desenvolvimento dos ecossistemas (Jorgensen et al., 1975). O manejo da área é feito com base nos fenômenos naturais responsáveis pela ciclagem de nutrientes e pelo avanço da sucessão vegetal. Visando acelerar esses processos, utiliza-se a poda das árvores, para acelerar a disponibilização de biomassa e nutrientes, luz e água ao sistema, além de favorecer a evolução da comunidade vegetal. Nas podas parciais retiram-se de 30% a 60% da copa da árvore, e nas totais, 100%, cortando-se a árvore no tronco, à altura do peito. Todo material orgânico disponibilizado pela poda passa a ser depositado sobre o solo. As podas parciais ocorrem ao longo do ano, de acordo com a necessidade de luz pelas plantas, e para a condução de seus ramos. A poda total ocorre no início da estação chuvosa, quando a rebrota é favorecida pela disponibilidade de água, visando, principalmente, estimular a ciclagem de nutrientes, através do aporte de biomassa. Essa prática de podas visando favorecer o desenvolvimento de uma cultura comercial pode ser entendida por adubação verde.

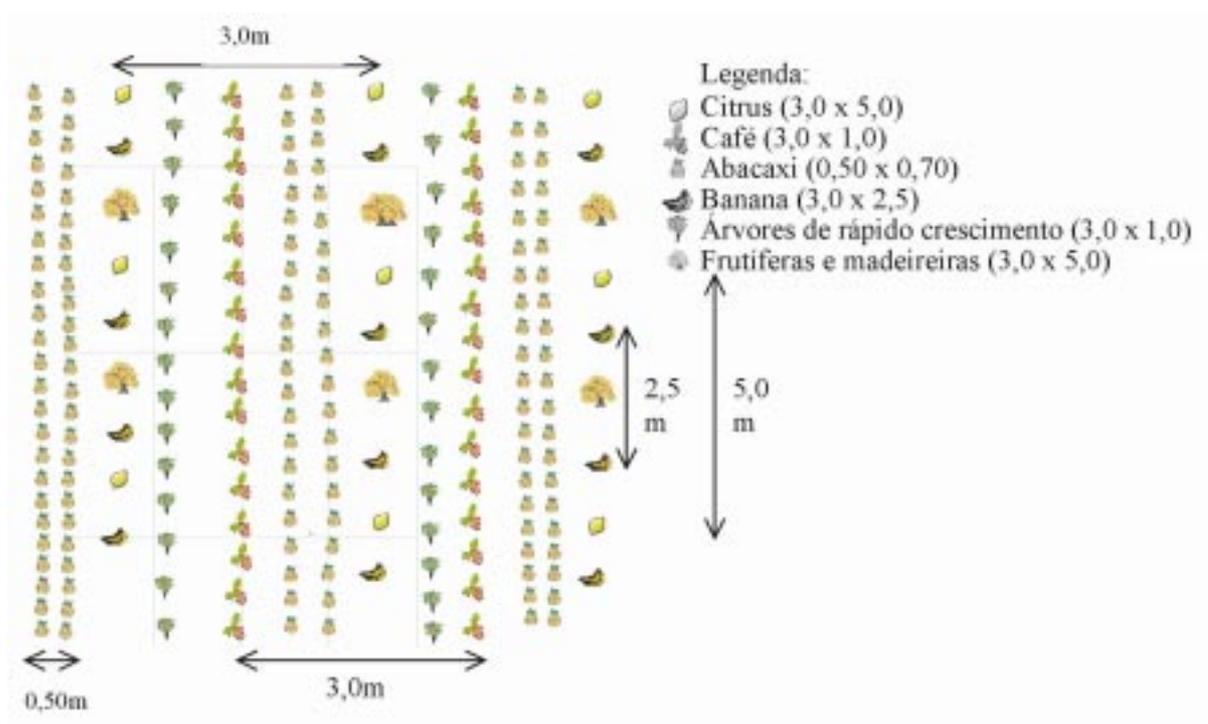


Figura 1 - Esquema básico utilizado para implantação de um SAFRA, no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), Seropédica, RJ. (Desenho a mão livre).

### ADUBAÇÃO VERDE

A necessidade de se encontrar alternativas baratas e ecológicas para fornecer nutrientes a culturas de valor econômico, tem aumentado o interesse pela adubação verde no meio agrícola. As pesquisas nessa área se concentram em identificar as melhores espécies para essa finalidade. Caracteriza-se o comportamento das espécies em potencial, quanto à capacidade de produzir biomassa vegetal, os nutrientes contidos nela,

e a velocidade em que eles estarão disponíveis para as culturas, e a sua capacidade de rebrotar após a poda. A espécie que apresentar um bom crescimento vegetativo, com um material rico em nutrientes, principalmente P e N, boa penetração das raízes e capacidade desta a associar-se a fungos micorrízicos ou bactérias diazotróficas e boa capacidade de rebrota, será uma espécie em potencial para a adubação verde.

A família das leguminosas é a mais utilizada como adubo verde. De acordo com Miyasaka et al. (1984), a principal razão para essa preferência está em sua capacidade de fixar o N atmosférico mediante a simbiose com bactérias. Outros motivos citados pelo autor são seu alto teor de compostos orgânicos nitrogenados e a presença de um sistema radicular geralmente bem profundo e ramificado, capaz de extrair nutrientes das camadas mais profundas do solo. O uso de leguminosas herbáceas, arbustivas ou arbóreas na adubação verde altera as condições físicas e químicas do solo melhorando sua fertilidade e reduzindo os gastos com a adubação nitrogenada (Blevins et al., 1990).

Como exemplo da importância da adubação verde nos sistemas agroflorestais, têm-se duas situações de manejo do modelo SAFRA na Embrapa Agrobiologia. Uma avaliação realizada em 2002, na primeira poda drástica com o sistema com dois anos de estabelecimento, obteve-se um valor médio de biomassa seca de 22,75 Mg ha<sup>-1</sup>, contendo 248, 18, 106, 170 e 35 kg ha<sup>-1</sup> de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente (Tabela 1).

**Tabela 1 - Nutrientes contidos na serrapilheira disponibilizada pela poda realizada no SAF, em Seropédica, RJ, em julho/2002**

Componente	N	P	K	Ca	Mg
	kg ha <sup>-1</sup>				
Folhas	165	7	53	72	20
Galhos	83	11	53	98	15
Total	248	18	106	170	35

Em 2005, foi feita a segunda poda drástica, com cinco anos do sistema implantado, avaliou-se a quantidade de serrapilheira sobre o solo e seus respectivos conteúdos de nutrientes, antes e após a poda. Na semana anterior da poda foram obtidos na serrapilheira, em média, 15 Mg ha<sup>-1</sup> e 153 kg ha<sup>-1</sup> de matéria seca e nitrogênio, respectivamente. Após a poda obteve-se, em média, 51 Mg ha<sup>-1</sup> e 829 kg ha<sup>-1</sup> de matéria seca e nitrogênio, respectivamente. Esses valores indicam um aporte de 36 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca e a entrada de 675 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio com a poda. Esses valores indicam a importância do manejo adequado dos SAF's para fins de favorecimento da cultura comercial.

Na mesma região, Froufe (1999) encontrou, pela deposição natural de folhas e galhos, o aporte de 7,9, 12,8, 9,9 e 7,6 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de matéria seca, e 123, 111, 52 e 68 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N em um plantio, de quatro anos, de *Pseudosamanea guachapele*, *Acacia mangium*, *Eucalyptus grandis* e no consórcio de eucalipto e guachapele, respectivamente.

Em relação ao tempo que os nutrientes contidos nesse material disponibilizado na poda estarão disponíveis, foram avaliadas as taxas de decomposição das espécies *Acacia mangium* e *Melia azedarach*. A *Acacia mangium* apresentou menores constantes de decomposição (k), e conseqüentemente, maiores tempos de meia vida, indicando uma taxa de decomposição dos resíduos e mineralização do nitrogênio mais lenta. Cerca de 50% da matéria seca foi decomposta, e 50% do N total liberado em até 44 e 42 dias, respectivamente (Tabela 2).

**Tabela 2 - Relação C:N, taxa de decomposição (k) e tempo de meia vida (t<sub>1/2</sub>) da matéria seca e do nitrogênio das espécies *Acacia mangium* e *Melia azedarach***

Espécie	C:N	Matéria seca			Nitrogênio		
		k	t <sub>1/2</sub> (dias)	R <sup>2</sup>	k	t <sub>1/2</sub> (dias)	R <sup>2</sup>
<i>A. mangium</i>	15	0,016	44	0,96**	0,017	42	0,92**
<i>M. azedarach</i>	10	0,022	31	0,90**	0,023	31	0,92**

Valores acompanhados do símbolo \*\* representa o nível de significância P < 0,001, determinado pelo teste F na análise de variância da regressão.

*Melia azedarach* apresentou maiores constantes de decomposição (k) e menores tempos de meia vida, indicando uma decomposição dos resíduos e mineralização do nitrogênio mais rápida. Neste caso, o tempo para que 50% da matéria seca possa ser decomposta e 50% do N total ser liberado foi de até 31 dias para ambos.

No entanto, para que essas árvores sejam eficazes no fornecimento de nutrientes, deve haver sincronia entre os nutrientes liberados pelos resíduos da planta de cobertura e a demanda da cultura de interesse comercial. Se houver alta taxa de mineralização dos nutrientes contidos nas espécies utilizadas como adubo verde, antes do crescimento logarítmico da cultura, pode haver perdas por lixiviação. Por outro lado, se a mineralização ocorrer após esse período, a cultura não será beneficiada (Stute & Posner, 1995).

Informações sobre os nutrientes contidos em espécies arbóreas e o tempo que estes levam para estarem passíveis de aproveitamento pelas culturas comerciais estão dispersas na literatura especializada, o que dificulta a escolha da espécie e a recomendação do manejo pelos técnicos do setor. Visando dar subsídios para essa tomada de decisão, a Embrapa Agrobiologia vem desenvolvendo uma base de dados agregando informações sobre esse tema. O resultado obtido até o momento encontra-se disponível no endereço eletrônico [http://www.cnpab.embrapa.br/adubacao\\_verde/](http://www.cnpab.embrapa.br/adubacao_verde/), e pode ser consultado gratuitamente.

Outra característica importante para a escolha de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais é a capacidade de rebrota das plantas após a poda. Na mesma área onde foi feita a segunda poda drástica, avaliou-se a capacidade de rebrota de três espécies: *Acacia angustissima*, *Melia azedarach* e *Acacia mangium*. Nas espécies *Acacia angustissima* e *Melia azedarach*, 100% das árvores avaliadas rebrotaram, em um período de 127 dias após a poda. No caso da *Acacia mangium*, no mesmo período de tempo, apenas 40% das árvores avaliadas apresentaram rebrota, resultando na morte das árvores restantes e indicando que o uso dessa espécie em sistemas agroflorestais deve ser reavaliado.

*Melia azedarach* apresentou média de crescimento de seu maior broto superior às outras espécies, atingindo 251 cm de comprimento, aos 163 dias após o corte. *Acacia angustissima* apresentou crescimento inferior ao da *Melia azedarach*, atingindo 225 cm na última medição (Tabela 3).

**Tabela 3** - Médias e erro padrão do número e comprimento (cm) de brotos de três espécies arbóreas, aos 88, 141 e 163 dias após o corte no SAF, em Seropédica, RJ

Espécies	Dias após corte					
	88		141		163	
Número e comprimento (cm) dos brotos, respectivamente.						
<i>A. mangium</i>	13 ± 3,9	13 ± 3,4	14 ± 8,8	25 ± 10,4	13 ± 6,3	30 ± 11,9
<i>A. angustissima</i>	23 ± 5,4	154 ± 13,3	12 ± 3,5	205 ± 7,2	10 ± 2,2	225 ± 14,5
<i>M. azedarach</i>	11 ± 2,1	110 ± 9,2	15 ± 4,3	212 ± 6,9	8 ± 1,2	251 ± 13,0

### CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DO SAFRA

Em abril de 2005, na Embrapa Agrobiologia, foi instalado um modelo agroflorestal do tipo SAFRA, numa área de 6.000 m<sup>2</sup>, com o objetivo de interligação de fragmentos florestais. Os custos e as receitas obtidos, até o momento, foram quantificados e convertidos para uma área equivalente a um hectare. Após converter a preços de mercado todos os custos com operações e insumos utilizados, verificou-se que o custo total de implantação do sistema agroflorestal foi de R\$ 13.500,00/ha (Tabela 4), o que a princípio parece ser bastante elevado. No entanto, esse cálculo se refere aos custos de implantação de um hectare de banana, abacaxi, aipim, espécies para adubação verde e mudas de espécies arbóreas que compõem o SAF, todas em espaçamento comercial. A soma de suas áreas seria equivalente a cinco hectares e, portanto, chega-se ao custo de R\$ 2.700,00/ha por cultura. Desta forma, deve-se ressaltar que foram plantados, em termos de mudas e sementes, o equivalente a cinco hectares, efetuando-se as operações de preparo do solo e tratamentos culturais em apenas 1 hectare, reduzindo-se assim os custos de implantação, em relação ao plantio em monocultivo de cada espécie.

Os resultados obtidos com os custos de implantação indicaram que cerca de 52% do total das despesas são referentes à mão-de-obra. Considerando que nas pequenas propriedades a maior parte da

força de trabalho é fornecida por membros da própria família, esses gastos tendem a ter menor impacto sobre os agricultores, reduzindo os custos da implantação. Tendo em vista que boa parte das mudas e sementes pode ser obtida na propriedade, os custos podem ser ainda menores.

Até o momento, foi realizada apenas a colheita do aipim e da cana-de-açúcar. A colheita do aipim totalizou 6.500 kg/ha, o que representa cerca de 48% da produtividade média nacional que é de 13.500 kg/ha. A colheita da cana totalizou 257 dúzias/ha, plantada num espaçamento de 3 x 3 m. Com os preços recebidos pelos agricultores em Seropédica, se chegou à receita de R\$ 3.900,00/ha para o aipim e R\$ 667,00/ha para a cana-de-açúcar, atingindo-se a renda total de R\$ 4.567,00/ha. Tendo em vista que as culturas de abacaxi e de banana, chaves do ponto de vista econômico, terão sua colheita iniciada ainda no ano de 2006, espera-se que seja possível pagar a maior parte dos custos de implantação já no segundo ano após o plantio, ajudando a derrubar alguns mitos de que os SAF's são economicamente inviáveis.

Tabela 4 - Custos de implantação do sistema agroflorestal (Fase de formação: Ano 1)

A. Mão de obra + encargos sociais	Valores em reais (R\$)
Preparo do solo	654,00
Abertura de sulcos e covas	1.580,00
Adubação/cova	225,00
Transporte mudas	1.080,00
Plantio	1.682,00
Tratos culturais e colheita	1.846,50
<b>SUBTOTAL A</b>	<b>7.067,50</b>
B. INSUMOS	Valores em reais (R\$)
Adubos	910,00
Mudas	4.265,00
Manivas aipim	650,00
Sementes adubos verde	580,00
<b>SUBTOTAL B</b>	<b>6.405,00</b>
<b>CUSTO TOTAL (A + B)</b>	<b>13.472,50</b>

Em relação ao crescimento dessas espécies arbóreas utilizadas neste sistema, destaca-se o *Eucalyptus grandis*, *Acacia angustissima*, *Morus nigra*, *Mimosa artemisiana*, *Litbraea melloides*, *Enterolobium contortisiliquum* e *Piptadenia gonoacantha* que apresentaram rápido estabelecimento inicial, atingindo até 2,5 m de altura em oito meses de crescimento no campo. Esses valores demonstram que a alta densidade de plantio não parece afetar negativamente algumas das espécies utilizadas e o rendimento comercial das espécies madeireiras e frutíferas que compõem o SAF, no futuro, poderão torná-lo viável não somente do ponto de vista ecológico, como também no econômico.

Tabela 5 - Altura e diâmetro à altura do colo das espécies. (Valores médios de crescimento durante oito meses, descontando-se o tamanho inicial da muda)

Espécie	Crescimento em altura (cm)	Crescimento em diâmetro (mm)
	Área inferior	Área inferior
<i>Trichilia hirta</i>	32,0 d	2,1 c
<i>Eugenia uniflora</i>	32,3 d	2,7 c
<i>Sparatoperma leucantrum</i>	37,0 d	2,7 c
<i>Albizia lebeck</i>	43,7 d	3,1 c
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	53,0 d	3,8 c
<i>Pterogyne nitens</i>	58,8 d	4,4 c
<i>Inga sp</i>	75,8 c	5,3 c
<i>Eugenia janborana</i>	77,0 c	5,4 c
<i>Samanea samam</i>	88,3 c	5,6 c
<i>Colubrina glandulosa</i>	101,7 c	5,9 c

Espécie	Crescimento em altura (cm)	Crescimento em diâmetro (mm)
	Área inferior	Área inferior
<i>Bixa orellana</i>	108,3 c	7,4 b
<i>Guazuma ulmifolia</i>	116,7 c	10,9 b
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	133,7 b	12,6 c
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	145,3 b	13,2 a
<i>Mimosa artemisiana</i>	149,4 b	17,9 a
<i>Lithraea molleoides</i>	156,3 b	20,8 b
<i>Morus nigra</i>	164,3 b	22,5 a
<i>Acacia angustissima</i>	235,3 a	24,1 a
<i>Eucalyptus grandis</i>	263,5 a	27,4 a

Médias seguidas por letras distintas nas colunas, diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5 %.

### CERCAS VIVAS E MOIRÕES VIVOS

Outras duas linhas de pesquisa em sistemas agroflorestais que vem sendo desenvolvidas na Embrapa Agrobiologia dizem respeito ao uso de sistemas silvipastoris (vide Silva et al., capítulo 17) e também o uso de cerca e moirão vivos.

Cercas vivas podem ser construídas com várias espécies leguminosas e não leguminosas. Entre as várias leguminosas, *caliandra* (*Caliandra spp.*) e *sabiá* (*Mimosa caesalpiniiifolia*) têm recebido maior atenção. A *sabiá*, também conhecida como *sansão do campo*, tem grande tolerância aos períodos longos de estiagem, mas não aos climas muito quentes com intermitência de veranicos como ocorre em algumas regiões da Amazônia (Franco et al., 2003). Apresenta plantas com acúleos ao longo do caule e ramos, mas também ocorrem formas sem acúleos, de controle genético recessivo. A presença de acúleos é aparentemente indesejável pois dificulta o manejo; entretanto, representa uma adaptação para que as plantas percam menos água quando crescendo em regiões com déficit hídrico e serve também para proteger o caule do ataque de animais, especialmente dos caprinos.

A *sabiá* tem várias características favoráveis para sua utilização em sistemas produtivos e reabilitação de áreas degradadas. Produz madeira dura de boa qualidade para estacas, moirões, postes e produção de energia (carvão e lenha). Moirões de *sabiá* podem ser cortados após 6-7 anos do plantio, com durabilidade de 15 a 20 anos sem tratamento químico. Apresenta rebrota abundante, tolerando cortes drásticos, fogo e pastejo. Por isso, e por apresentar muitas brotações laterais, é indicada para construção de cercas vivas.

Para a construção de cercas vivas com *sabiá* as sementes podem ser plantadas diretamente no campo, na base de 10 sementes por metro linear a 2 cm de profundidade, aplicando-se 200 g de rocha fosfatada por metro linear de plantio. Um ano após o plantio, as plantas já podem ser podadas de acordo com o formato que se queira dar (Figura 2). A otimização de uso da área pode ser obtida combinando o uso de cerca viva de *sabiá* com plantio de uma madeira de alto valor comercial, como a *teca* (Figuras 2 A e B).



Figura 2 - (A) Cerca-viva de *Caliandra surinamensis* em Seropédica, RJ; (B) Cerca-viva de *sabiá* (*Mimosa caesalpiniiifolia*) com *teca* (*Tectona grandis*) intercalada em Miracema, RJ.

Além das cercas vivas, as leguminosas se prestam para uso como moirões vivos, que tem por princípio básico a idéia de se plantar uma árvore na cerca em detrimento da derrubada para a utilização como moirão. Espécies do gênero *Erythrina*, com várias espécies ocorrendo no Brasil, e de *Gliricidia*, que tem como centro de origem a América Central, apresentam estacas que enraízam com facilidade e favorecem o uso como moirão vivo (Maradei & Franco, 2000; Mattos et al., 2005) (Figura 3). Mais informações à cerca da produção de estacas de moirão vivo e construção de cercas ecológicas podem ser obtidas no endereço eletrônico: <http://www.cnpab.embrapa.br/publicacoes/sistemasdeproducao/moirao/index.htm>.



Figura 3 – (A) Cerca com moirão-vivo de *Erythrina poeppigiana* com dois anos; (B) de *Gliricidia sepium* com nove anos.

### CONCLUSÕES

O setor agropecuário no Brasil, representa cerca de 7,8% do PIB do País (IBGE – Sistema de Contas Nacionais, 2003), ocupando mais de 13,8 milhões de pessoas (23% do total). No entanto, a remuneração *per capita* da atividade está próxima de R\$ 750,00, enquanto nas demais atividades produtivas (indústria, comércio, serviços, etc.) é bem maior (R\$ 6.500,00) (IBGE – Sistema de Contas Nacionais, 2003). Esses números refletem a realidade do agricultor brasileiro, em especial o pequeno, que é afetado pela baixa remuneração da atividade agropecuária, uma vez que essa se caracteriza pelo pequeno valor agregado, quando comparada às demais atividades do setor produtivo.

Neste contexto, os sistemas agroflorestais não fogem à regra e sua sustentabilidade econômica nem sempre tem sido suficiente para manter, principalmente dos jovens, a ocupação dos espaços rurais. As pesquisas no setor precisam caminhar com um maior rigor metodológico, buscando não somente viabilizar esses sistemas do ponto de vista econômico, mas valorizá-los ecologicamente. Dessa maneira, além da venda dos produtos agropecuários é possível que a única saída para o sucesso desses sistemas seja a venda de serviços ambientais, que em última instância funcionaria como um fator de equidade, para corrigir as distorções entre os preços recebidos pelos agricultores e os pagos pelo consumidor final e, assim, estimular a fixação do homem no campo, conservando a natureza.

### LITERATURA CITADA

- BATJES, N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47:151-163, 1996.
- BLEVINS, R.L.; HERBEK, J.H. & FRYE, W.W. Legume cover crops as a nitrogen source for no-till corn and grain sorghum. *Agron. J.*, 82:769-772, 1990.
- BOUWMANN, A.F. & GERMON, J.C. Introduction: Special issue – soils and climate change. *Biology Fertility Soils*, 27:219, 1998.

- CAMPELLO, E.F.C. & FRANCO A.A. Estratégias de recuperação de áreas degradadas. In: Sustentabilidade de produção de leite no Leste Mineiro. Juiz de Fora, Embrapa de Gado de Leite, 2001.
- DUBOIS, J. Manual agroflorestal para a Amazônia. Rio de Janeiro, REBRA, 1996. 3p.
- FISCHER, G. & HEILIG, G.K. Population momentum and the demand on land and water resources. In: Greenland, D.J. et al. eds. Land resources: On the edge of the Malthusian Precipice? Philosophical Transactions of the Royal Society of London B. Wallingford, CAB International, 1998. p.9-29.
- FRANCO, A.A.; RESENDE, A.S. & CAMPELLO, E.F.C. Introdução das leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas agroflorestais. In: Sistemas agroflorestais e desenvolvimento sustentável. Campo Grande, Embrapa CNPQ, 2003. p.1-24.
- FRANCO, A.A. & CAMPELLO, E.F.C. Manejo integrado na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas produtivos utilizando a fixação biológica de nitrogênio como fonte de nitrogênio. In: AQUINO, A.M.de & ASSIS, R.L.de. eds. Processos biológicos no sistema solo-planta: Ferramentas para uma agricultura sustentável. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p.201-220.
- FROUFE, L.C.M., Decomposição de serrapilheira e aporte de nutrientes em plantios puros e consorciados de *Eucalyptus grandis* Maiden, *Pseudosamanea guachapelle* Dugand e *Acácia mangium*, Wild. Seropédica, RJ: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1999. 73p. Tese (Dissertação em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1999.
- GÖTSCH, E. Break-through in agriculture. Rio de Janeiro, AS-PTA, 1995. 22p.
- HANSON, R.G. & CASSMAN, K.G. Soil management and sustainable agriculture in the developing world. In: 15<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Acapulco, Mexico, Vol. 7<sup>A</sup>: Commission VI Symposia. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Mexico, 1994. p.17-33.
- IBGE – SISTEMA DE CONTAS NACIONAIS – Tabela de Recursos e Usos 1999-2001. Rio de Janeiro, 2003. p.1-152.
- JORGENSEN, J.R.; WELLS, C.G. & METTZ, L.J., The nutrients cycle: key to continuous forest production. J. Forestry, 73:400-403, 1975.
- LUDGREN, B.O. & RAIN TREE, J.B. Sustained agroforestry. In: Nestel, B. ed. Agricultural research for development: Potentials and challenges in Asia,. ISNAR, The Hague, 1982. p.37-49.
- MARADEI, M. & FRANCO, A.A. Avaliação de dez espécies do gênero *Erythrina* no Rio de Janeiro, para uso como moirão vivo. Rev. Agronomia, 34:26-30, 2000.
- MATTOS, L.V.; CAMPELLO, E.F.C.; PEREIRA, J.A.R.; RESENDE, A.S. & FRANCO, A.A. Sistema de produção de moirão vivo. Seropédica, Embrapa Agrobiologia, 2005. (Sistema de Produção).
- MIYASAKA, S.; CAMARGO, O.A.; CAVALERE, P.A.; GODOY, I.J.; WERNER, J.C.; CURTI, S.M.; LOMBARDI NETO, F.; MEDINA, J.C.; CERVellini, G.S. & BULISANI, E.A. Adubação orgânica, adubação verde e rotação de culturas no Estado de São Paulo. Campinas, Fundação Cargill, 1984. 109p.
- NAIR, P.K.R.; FERNANDES, E.C.M. & WANGUBU, P.N. Multipurpose leguminous trees and shrubs for agroforestry. Pesq. Agropec. brasileira, 19:295-313, 1984.
- ORGANIZACIÓN PARA ESTUDIOS TROPICAIS (OTS) & CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANSA (CATIE) Sistemas agroflorestais: Principios y aplicaciones en los tropicos. San José, Trejos Hnos. Sucs., S.A., San José, 1986. 818p.
- PASSOS, C.A.M. Aspectos gerais dos sistemas agroflorestais. Cuiabá, Universidade Federal do Mato Grosso, 2003.
- RESENDE, A.S.; FRANCO, A.A.; MACEDO, M. & CAMPELLO, E.F.C. Leguminosas associadas a microrganismos como estratégia de recuperação de áreas degradadas. In: NOGUEIRA, R.J.M.C.; ARAÚJO, E.L.; WILLADINO, L.G. & CAVALCANTE, U.M.T. org. Estresses ambientais: Danos e benefícios em plantas. Recife, UFPE, 2005. p.475-489.
- RESENDE, A.S.; MACEDO, M.; CAMPELLO, E.F.C. & FRANCO, A.A. Recuperação de áreas degradadas

através da reengenharia ecológica. In: GARAY, I. & BECKER, B.K. org. Dimensões humanas da biodiversidade. Petrópolis, Vozes, 2006. p.315-340.

STUTE, J.K. & POSNER, J.L. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the Upper Midwest. *Agron. J.*, 87:1063-1069, 1995.

VIVAN, J.L. Agricultura & Floresta – Princípios de uma interação vital. Rio de Janeiro, AS-PTA/ Editora Agropecuária, 1998. 206p.

## **O Estado da Arte de Sistemas Agroflorestais na Região Centro-Oeste: Cerrado e Portal da Amazônia**

ROBERT PRITCHARD MILLER & MARCELLO S.C. PEDROSO

### **INTRODUÇÃO**

Este trabalho propõe traçar um panorama da situação atual das experiências com sistemas agroflorestais (SAF's) na região Centro-Oeste (estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Distrito Federal), por parte de órgãos governamentais, instituições de educação e entidades não-governamentais (ONGs) do chamado Terceiro Setor. Procuramos também inserir essas experiências dentro de uma visão histórica, que diz respeito à ocupação da paisagem e do solo, dos movimentos demográficos mais recentes e a presença de SAF's tradicionais.

A metodologia empregada neste levantamento consistiu na busca e consulta às seguintes fontes:

Anais do Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, Congressos II-V;  
Pesquisa na internet;  
Rede informal de contatos.

Observações pessoais foram também usadas, e quando o caso, algumas informações foram verificadas na literatura. No entanto, este levantamento deve ser considerado como uma amostragem, e não tem a pretensão de esgotar o tema de SAF's na região Centro-Oeste. Também, apesar do fato de muitas políticas que, direta ou indiretamente, fomentam os SAF's emanarem do Distrito Federal, sede do governo, optamos por não incluir uma análise dessas políticas, e sua tessitura, por entender que a abrangência destas vai muito além da região Centro-Oeste.

A região Centro-Oeste é caracterizada pela presença de três importantes biomas - o Cerrado, a Floresta Amazônica e o Pantanal, sendo que, com a exceção do Pantanal, presente apenas nesta região, os outros dois biomas têm uma presença igual ou maior em outros estados da federação (Figura 1). Destaca-se também, no Mato Grosso, a existência de uma larga zona de transição entre o Cerrado e Floresta Amazônica, onde as vegetações características se entremeiam. A ligação entre os biomas de Cerrado e Amazônia se dá também pelas matas de galerias que acompanham os rios e cursos d'água do Cerrado, e que contam com a presença de muitas espécies tipicamente amazônicas. Contudo, pelas suas diferenças tanto fitogeográficas como históricas, principalmente em termos dos padrões de ocupação pela sociedade nacional, para fins deste trabalho os biomas Cerrado e Amazônia, de acordo com sua ocorrência na região Centro-Oeste, serão tratados em separado, a seguir. Apesar da sua importância biológica e socioambiental, optamos por não incluir neste trabalho o bioma Pantanal neste trabalho, em decorrência das pouquíssimas informações sobre os sistemas agroflorestais empregados nesse bioma.

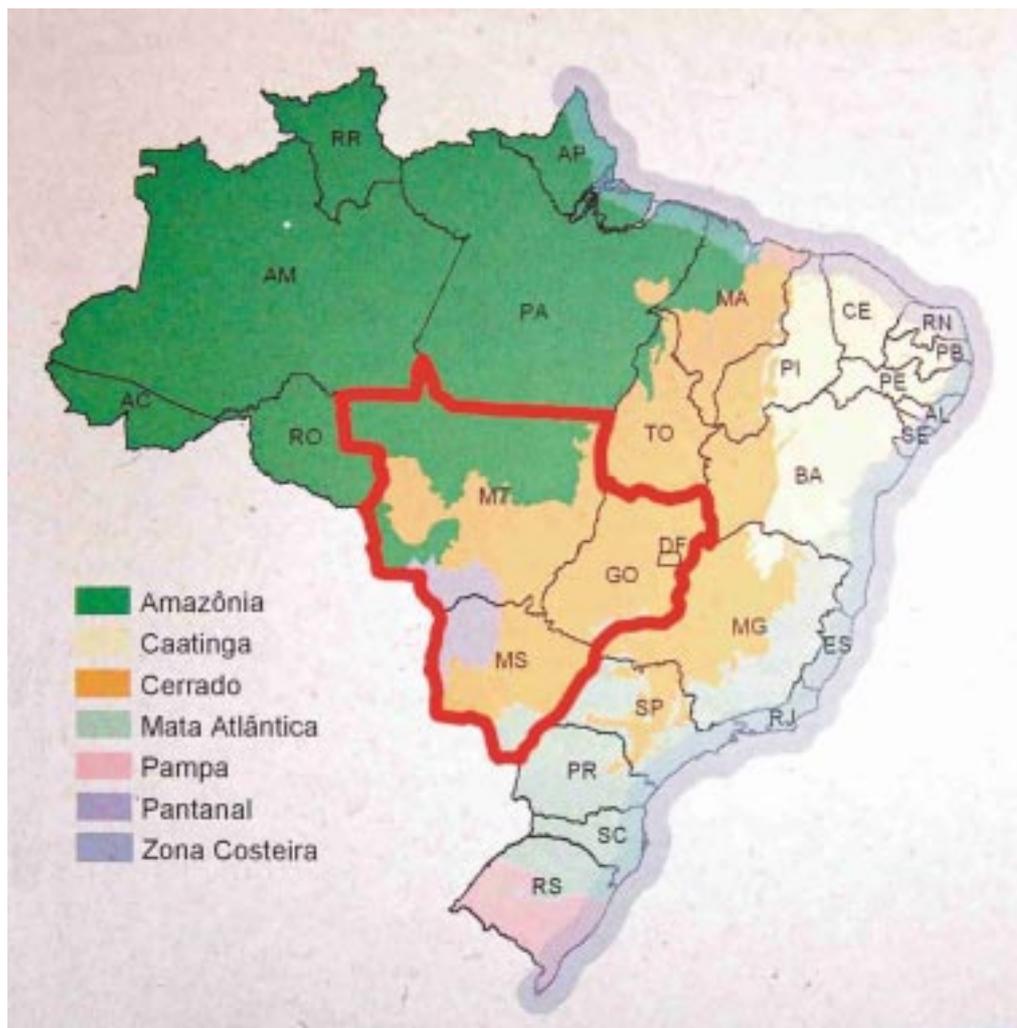


Figura 1 - Mapa do Brasil mostrando os principais biomas e a região Centro-Oeste (linha em negro). Adaptado de Instituto Socioambiental (2004).

## CERRADO

O Cerrado, que encontra na região Centro-Oeste seu principal núcleo, é uma das 25 regiões mais ricas em biodiversidade e mais ameaçadas do planeta, segundo o estudo *Hotspots* da Conservation International (2004). Neste bioma há uma grande diversidade de flora vascular, tanto pelo fato das plantas endêmicas das suas savanas e campos, como pela presença de plantas típicas de outros biomas; por exemplo, espécies das Matas Atlântica e Amazônica, que penetram na região por meio das matas de galeria que margeiam os rios e cursos d'água. Isto pode ser exemplificado na presença do palmitheiro ou jussara (*Euterpe edulis*) no Distrito Federal e Goiás, por ser uma planta típica da Mata Atlântica. As matas de galeria possuem grande importância tanto para a biodiversidade (vegetal e animal) quanto pelos seus serviços ambientais, apesar de representarem pouco mais de 5% da área do Cerrado. A presença de vegetação florestal na região do Cerrado não é limitada às matas de galerias: nos interflúvios ocorrerem as florestas secas, geralmente encontradas em solos mais férteis, e que exibem vários graus de caducifolia. Há também a vegetação denominada "cerradão", cujas árvores atingem uma altura média de 8 a 15 metros, com um dossel aberto ou quase fechado (Ribeiro & Walter, 1998; 2001).

A relação entre o homem e o bioma Cerrado está muito ligada a processos históricos, especialmente de ocupação do solo, que se tornou intensa a partir da década de 1960 com a forte expansão da fronteira agrícola, principalmente para o agronegócio de grãos. Hoje, o Centro-Oeste produz cerca de 50% da soja brasileira, 20% do milho, 15% do arroz e 11% do feijão (Novaes, 2004). O resultado

deste processo é que o total de vegetação nativa preservada representa pouco mais de 20% da sua área original (Instituto Socioambiental, 2004). Além da agricultura comercial, um dos processos responsáveis pela degradação da vegetação nativa do Cerrado é a produção de carvão vegetal. Muitas vezes esta atividade representa o primeiro passo na conversão do cerrado para uso agrícola, mas também pode ser feita de maneira isolada. A reposição florestal para fornecer matéria-prima para produção de carvão tem se dado a partir do plantio de eucaliptos, geralmente em sistema de monocultura. Apesar de existir a incorporação do eucalipto nas propriedades familiares em Minas Gerais, isto não tem sido observado em nenhuma escala significativa no Centro-Oeste .

Os ganhos econômicos oriundos desta ocupação recente do Cerrado não têm sido acompanhados por ganhos equivalentes na área social. Nas áreas do Cerrado, onde a agricultura comercial tem se consolidado, há menor disponibilidade de empregos por área utilizada. Em 1985, as áreas mais tecnificadas geravam em torno de quatro vezes menos emprego que as áreas ainda não incorporadas à economia de mercado (Novaes, 2004). Na região Centro-Oeste vivem cerca de 10 milhões de habitantes, sendo que apenas quase três milhões vivem na zona rural. Estima-se que a região Centro-Oeste tem mais de 1,5 milhões de indigentes, dos quais 45% encontram-se na zona rural (Almeida, 1998). Como em outras regiões do país, uma grande parcela dos problemas urbanos é resultado do êxodo rural e da aglomeração dos migrantes em bairros de periferia das cidades, onde há carência de infra-estrutura, tanto física como social. O grande desafio para o emprego em SAF's, portanto, é comprovar que podem dar uma resposta aos fatores que causam este êxodo; dentre eles, a inviabilidade econômica da produção familiar. Em razão disso, além de atender as questões de segurança alimentar e promover um aumento de renda na pequena propriedade, os SAF's deveriam merecer uma atenção muito maior das políticas agrícolas para a região, as quais têm privilegiado mais a agroindústria.

Práticas e iniciativas que podem representar as sementes de mudanças positivas na região dos Cerrados são encontradas, apesar do quadro socioambiental desalentador. Por exemplo, em algumas regiões do estado de Goiás, devido uma ocupação histórica e uma estrutura fundiária mais consolidada, é possível observar uma valorização das árvores nativas dentro da paisagem rural (Figura 2). Em comparação com regiões de colonização recente, como o norte de Tocantins e Mato Grosso, que são regiões mais próximas do núcleo da Floresta Amazônica, a impressão que se tem é que em Goiás existem mais árvores inseridas na paisagem agrícola. Apesar de não haver informações quantitativas sobre este hábito ou práticas, é interessante especular sobre as possíveis causas deste maior convívio com as árvores. Seria fruto de uma conscientização sobre a escassez do recurso madeireiro, sentimento menos existente na medida que se aproxima da região amazônica? Ou será em razão dos outros produtos das árvores, tais como frutos comestíveis (assunto que será discutido mais adiante) ou simplesmente por motivos estéticos e, ou, culturais?



Figura 2 - Árvores convivendo com a agricultura mecanizada, em Goiás.

O levantamento das árvores encontradas nos campos de cultivo e em outras partes da propriedade, bem como nos SAF's mais complexos, como os quintais, e o esclarecimento das percepções a respeito destas árvores, forneceria importantes subsídios para quaisquer programas de extensão agroflorestal na região. Por exemplo, algumas das perguntas levantadas poderiam seguir as seguintes linhas:

Qual é a origem das árvores? (Faziam parte da vegetação original e foram poupadas quando da abertura de pasto ou lavoura, ou nasceram posteriormente?)

Há uma preferência por determinadas espécies?

Qual o uso das árvores?

Há interesse em plantar ou estimular a regeneração das espécies mais desejadas?

Além da importância desse tipo de estudo para a região de Goiás, um entendimento de como se dá este "convívio" entre as árvores e a agricultura mecanizada e a pecuária poderá trazer subsídios para a pesquisa e, ou, extensão agroflorestal em outras regiões do país, como a amazônia, onde se discute muito o potencial dos sistemas silvipastoris.

Como aludido, determinadas árvores do Cerrado são importantes nos hábitos tradicionais de alimentação e culinárias. Atualmente, há um movimento crescente para a elaboração e comercialização de produtos das plantas do Cerrado que fazem parte desta tradição cultural. Iniciada em 2000, o maior expoente desta iniciativa de organizar esta produção é a Rede de Comercialização Solidária de Agricultores Familiares e Extrativistas do Cerrado (Rede Cerrado), que reúne famílias de Goiás, Minas Gerais e Bahia, contando com a própria marca *Empório do Cerrado* (Silva & Egito, 2005). As principais espécies aproveitadas são listadas na tabela 1, abaixo.

TABELA 1 - Alimentos tradicionais do Cerrado nativo processados e comercializados na região Centro-Oeste

Nome vulgar	Nome científico	Família	Parte utilizada	Produto
Baru (Cumbaru)	<i>Dipteryx alata</i>	Leguminosae	Semente	Castanha torrada, com rapadura, farinha, óleo
Buriti	<i>Mauritia flexuosa</i>	Arecaceae	Mesocarpo	Doce, polpa congelada
Cagaita	<i>Eugenia dysenterica</i>	Myrtaceae	Mesocarpo	Polpa congelada, geléia
Caju-do-campo	<i>Anacardium humile</i>	Anacardiaceae	Mesocarpo	Fruta cristalizado, fruta desidratada, polpa congelada
Guariroba	<i>Syagrus oleracea</i>	Arecaceae	Palmito	Conserva
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>	Leguminosae	Mesocarpo	Farinha, biscoitos
Mangaba	<i>Parahancornia mangaba</i>	Apocynaceae	Mesocarpo	Polpa congelada
Murici	<i>Byrsonima crassifolia</i>	Malpighiaceae	Mesocarpo	Polpa congelada
Pequi	<i>Caryocar brasiliense</i>	Caryocaraceae	Mesocarpo	Óleo, conserva, licor, polpa desidratada, farofa

Fonte: [cmbbc.cpac.embrapa.br/Alimentacao-productos.htm](http://cmbbc.cpac.embrapa.br/Alimentacao-productos.htm); ICV/ISPN (2005).

No momento, a comercialização de frutos do Cerrado, e dos seus produtos mais elaborados, depende na sua quase totalidade do extrativismo, ou seja, de árvores nativas espontâneas. Na medida em que há a valorização dos produtos do Cerrado, isto certamente contribuirá para uma maior conscientização e preocupação com a conservação da vegetação natural deste bioma. Resta saber, porém, se a demanda por estes produtos crescerá a ponto de estimular também o plantio em escala significativa das espécies nativas. Se for o caso, certamente os sistemas agroflorestais poderão participar deste modelo alternativo de uso da terra. Matta & Passos (2000) dão o exemplo da incorporação de

pelo menos uma das espécies citadas na tabela 1, o baru, junto com o angico (*Anadenanthera falcata*), em consórcio com bananeira e mandioca.

A pesquisa e, ou, a extensão com SAF's na região do Cerrado poderão trazer ao agricultor, além das espécies já conhecidas, um leque de outras opções, entre árvores de múltiplo uso para lenha, adubação verde, cercas vivas, etc. Por exemplo, é interessante notar que o mogno (*Swietenia macrophylla*), espécie de lugares baixos da periferia sul da Floresta Amazônica, tem se adaptado bem às condições do Cerrado, mostrando boa sobrevivência e crescimento (Figura 3).



Figura 3 - Mogno x milho (IPEC, Pirenópolis - GO); mogno x mandioca (Fazenda da Posse, Guapó - GO)

Em vista do grande número de espécies hoje indicadas ou disponíveis para incorporação em sistemas agroflorestais, qualquer programa de extensão na região do Cerrado deverá ter como passo fundamental um cuidadoso trabalho de base no qual se examina as percepções e aspirações dos agricultores a respeito de árvores, para só em seguida prosseguir à seleção de espécies a serem utilizadas. Não se deve esquecer que a extensão agroflorestal traz no seu bojo a possibilidade de discutir também conceitos mais amplos sobre sustentabilidade, diversificação econômica e ecológica, conservação do solo, e bem-estar social.

No estado de Mato Grosso do Sul, o interesse oficial pelos sistemas agroflorestais tem se dado pelo viés dos sistemas silvipastoris. Em 2003, foi realizado em Campo Grande um importante seminário intitulado “*Sistemas Agroflorestais e Desenvolvimento Sustentável*”, organizado por um consórcio de instituições, tais como a Embrapa (Agropecuária Oeste, Gado de Corte e Pantanal), UCDB, UFMS Dourados, Uniderp e as secretarias do estado de Mato Grosso do Sul. A Embrapa Gado de Corte tem procurado sistematizar e disponibilizar informações para o pecuarista interessado em estabelecer sistemas silvipastoris naquela região (ver [www.cnpqg.embrapa.br/sajf/index.htm](http://www.cnpqg.embrapa.br/sajf/index.htm)). Conforme Nicodemo et al. (2004) a inserção de árvores nas pastagens poderá trazer uma série de benefícios para pecuaristas no Mato Grosso do Sul. O principal benefício seria a redução do estresse térmico para o gado, principalmente do calor, mas também do frio de inverno, especialmente no sul do estado. Destacam-se também os efeitos positivos nas gramíneas do pasto, na medida que a atenuação do vento pela presença de árvores poderá melhorar o rendimento da pastagem. Os autores apontam também o potencial do emprego de árvores para cercas vivas e bancos de proteínas, além do potencial de renda da madeira. No entanto, a pesquisa propriamente dita com ensaios e experimentos com estas práticas ainda é muito incipiente.

Uma iniciativa interessante na área de sistemas silvipastoris no Mato Grosso do Sul é o sistema de “pastagem ecológica”, desenvolvida pelo professor aposentado da UFMT Jurandir Melado. Este sistema conta com a preservação das árvores nativas do Cerrado, sob as quais é feita a introdução de gramíneas forrageiras exóticas (Melado, 2000).

## PORTAL DA AMAZÔNIA

Estudos fitogeográficos no Mato Grosso demonstraram que a transição entre o Cerrado e Floresta Amazônica representa uma zona de algumas centenas de quilômetros, caracterizada por um gradiente de categorias de vegetação com biomassa crescente, passando de savanas (cerrado *sensu strictu*) para cerradões e florestas secas de vários tipos até atingir a floresta amazônica propriamente dita (Ackerley et al., 1989; Ratter, 1992). Essa zona pode exibir mudanças graduais na vegetação, como também mosaicos e interdigitação de floresta e cerrado, como também ilhas de floresta.

Após a conquista agrícola do Cerrado, nas últimas décadas, a frente pioneira avançou por esta região de transição, e hoje atinge plenamente o bioma amazônico, de forma que a região norte do Mato Grosso faz parte do chamado “*Arco do Desmatamento*”, onde o processo de conversão da floresta amazônica para uma paisagem agrícola segue em ritmo mais acelerado. Nesta região, a agricultura familiar e industrial, a pecuária, a exploração de madeira e a garimpagem são as principais causas do desmatamento e degradação ambiental (Passos, 2005; Nunes, 2005). Recentemente, a cultura da soja tem migrado do Cerrado do Mato Grosso para o norte do estado, ocupando áreas de pastagem onde outrora havia floresta.

Alves et al. (2004) exemplificam o processo de ocupação dessa fronteira com o caso do município de Alta Floresta - MT, onde a colonização na maior parte da região ocorreu por iniciativa privada a partir de 1976, sendo fomentadas culturas perenes como café, cacau e guaraná, além das anuais como arroz, milho e feijão. Recentemente, foram introduzidas novas culturas perenes como a pupunha, o cupuaçu e a seringueira. No entanto, a abertura de pastagens continua crescendo em ritmo forte, de modo que o município de Alta Floresta se tornou detentora do maior rebanho de bovinos do estado. Com a aceitação pelo IBAMA do plantio de teca (*Tectona grandis*) para reposição florestal, tem ocorrido um incremento do reflorestamento com essa espécie na região norte do Mato Grosso. Conforme Passos et al. (2000) Mato Grosso é o estado com maior área plantada desta espécie exótica, com pouco mais de 20 mil hectares.

Apesar do interesse em SAF's e de seu emprego incipiente, Alves et al. (2004) consideraram que faltam informações técnicas, econômicas, ambientais e sociais que possam viabilizar a sua adoção pelos produtores. Com relação à região que compreende Alta Floresta, esta lacuna se torna crítica, na medida que a polêmica sobre o asfaltamento da BR-163 (Cuiabá-Santarém), cujo objetivo principal é facilitar o transporte e exportação da safra de soja mato-grossense, via o porto de Santarém, é justamente baseado no modelo de uso da terra atualmente instalado na região. Este modelo é preocupante por suas implicações ambientais e sociais, e o asfaltamento da BR-163 sem os devidos resguardos só exacerbará os seus impactos negativos.

A possibilidade de implantar sistemas silvipastoris, em vista da importância da bovinocultura na região, esbarra, no entanto, no problema do fogo. Mesmo quando o produtor optar por não usar o fogo no manejo das suas pastagens, sempre há o risco do mesmo escapar de propriedades vizinhas, a não ser que haja medidas dispendiosas de controle ou uma consistente consciência ambiental.

#### A PRESENÇA DA REGIÃO CENTRO-OESTE NOS CONGRESSOS BRASILEIROS DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

Na tentativa de obter indícios sobre a produção científica e, ou, acadêmica na área de sistemas agroflorestais na região Centro-Oeste, levantamos os trabalhos referentes a esta região nos *Anais do Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais* (Congressos II a V). No total, foram encontrados 12 trabalhos sobre experimentos ou estudos realizados na região, os quais são listados na tabela 2. Esta pouca quantidade de trabalhos encontrada nos *Anais* impede que façamos considerações mais gerais sobre o estado da pesquisa com sistemas agroflorestais no Centro-Oeste, a não ser concluir que, em comparação a outras regiões, como a região Norte (Amazônia) ou Sudeste (Mata Atlântica), há pouca pesquisa formal sendo realizada com SAF's por instituições da região. No entanto, apesar de considerarmos os Congressos como bons indicadores da pesquisa agroflorestal, não pode ser descartada a hipótese que os pesquisadores podem estar apresentando seus trabalhos em outras vias, tais como congressos de solos e agronomia, revistas científicas, etc.

TABELA 2 - Presença da região Centro-Oeste em trabalhos apresentados nos Congressos Brasileiros de Sistemas Agroflorestais (CBSAF's II-V)

<b>II CBSAFs - 1998</b>			
<b>Sem trabalhos do Centro-Oeste</b>			
<b>III CBSAFs - 2000</b>			
<b>UF</b>	<b>TÍTULO</b>	<b>Pag.</b>	<b>AUTORES</b>
DF	A cultura da guariroba ( <i>Syagrus oleifera</i> Becc.) em sistemas agroflorestais na região do Cerrado	14	Melo e Guimarães
MT	Avaliação do método de Taungya com <i>Tectona grandis</i> no município de Cáceres, Estado do Mato Grosso	51	Passos et al.
DF	Influência dos sistemas agroflorestais e da textura do solo sobre a produtividade das culturas consorciadas	214	Guimarães et al.
MT	Sistema agrissilvicultural com angico ( <i>Anadenanthera falcata</i> ), cumbaru ( <i>Dipteryx alata</i> ), banana ( <i>Musa</i> sp.) e mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> ) na baixada cuiabana, estado de Mato Grosso.	296	Matta e Passos
<b>IV CBSAFs - 2002</b>			
DF	Teores de nutrientes em folhas de guariroba ( <i>Syagrus oleracea</i> Becc.) e pupunha ( <i>Bactris gasipaes</i> Kunth) em sistemas agroflorestais na região do Cerrado	-	Melo et al.
<b>V CBSAFs - 2004</b>			
MT	Formação de educadores agroflorestais no Noroeste do Estado de Mato Grosso	44	Bezerra et al.
MS	Avaliação genética de progênies de Leucena: contribuição para estabelecimento de SAFS na Reserva Indígena Kaiowá e Guarani, em Caarapó, MS	274	Costa et al.
MS	Avaliação genética de progênies de seringueira: subsídios para estabelecimento de SAFS em área de assentamento rural no Município de Dois Irmãos do Buriti, MS	277	Costa et al.
MT	Horta sucessional como técnica para formação de educadores agroflorestais no Estado do Mato Grosso	322	Nunes et al.
MS	Avaliação inicial de um sistema agroflorestal de milho e eucalipto em Dourados-MS	371	Pereira e Daniel
MT	Crescimento de espécies em um sistema agroflorestal tipo "alley-cropping" em Alta Floresta, MT	398	Melo e Corrêa
MT	SAF's: alternativa sustentável para agricultura familiar no norte do Mato Grosso	617	Alves et al.

É importante ressaltar que as informações referentes a outras regiões e estados, tal como Minas Gerais, presente nos *Anais* com um bom número de trabalhos, podem ser úteis e aplicadas a situações do Centro-Oeste. Trabalhos referentes a Rondônia, por exemplo, podem trazer subsídios para iniciativas agroflorestais no norte do Mato Grosso, que faz parte do bioma amazônico.

Em vista das poucas informações sobre a pesquisa agroflorestal na região Centro-Oeste, resolvemos enriquecer esta resenha com dados de outras fontes, principalmente a Internet, mas incluindo também a rede informal de contatos. Os resultados são apresentados no Anexo, onde estão discriminadas as instituições, entidades ou pessoas que desenvolvem atividades com sistemas agroflorestais na região. Ressaltamos que por ser uma investigação incipiente, esta lista representa somente uma amostragem, e tem como motivo maior estimular e motivar a troca de informações entre os praticantes de sistemas agroflorestais.

## CONCLUSÕES

Nas frentes pioneiras da parte amazônica da região Centro-Oeste, os SAF's podem contribuir à segurança alimentar (ex. frutíferas), geração de renda (culturas perenes) e diminuir a degradação ambiental, oferecendo uma alternativa à pastagem como uso da terra. Podem, ainda, ajudar a frear o processo denominado "pecuarização", evitando que o agricultor transforme seu lote em pasto, para depois vendê-lo e se mudar a um ponto mais longínquo na fronteira agrícola para recomeçar este processo, ainda mais distante dos serviços básicos de transporte, saúde e educação. Por outro lado, onde a ocupação agrícola já é centenária, podemos dizer que os SAF's, ao participar no melhoramento do bem-estar da população rural, poderão ajudar a diminuir o êxodo rural. Mesmo para pecuaristas donos de extensões maiores de terra, a incorporação de árvores nas pastagens poderá trazer vários benefícios, tanto para o gado (conforto térmico) quanto no rendimento das gramíneas forrageiras.

Com relação a outras regiões do país, a região Centro-Oeste apresenta pouca produção científica, baseada nos *Anais* dos últimos Congressos Brasileiros de Sistemas Agroflorestais como indicador. Em paralelo, a incorporação do conceito de SAF's nos discursos oficiais a nível estadual é bem recente, quando comparado aos estados da região amazônica, por exemplo, onde os SAF's estão presentes, pelo menos em nome, nas políticas estaduais de desenvolvimento. No entanto, a região Centro-Oeste possui uma interessante malha de ONGs que desenvolvem atividades relacionadas com sistemas agroflorestais. Progressos significantes serão atingidos se os setores de educação e pesquisa (universidades), órgãos de extensão e pesquisa agrícola e as ONGs consigam se interligar, sistematizando informações e experiências e pressionando por políticas que abram espaço para o fomento aos SAF's.

## AGRADECIMENTOS

À Carla Yamane de Albuquerque pela busca nos Anais dos CBSAF's.

## LITERATURA CITADA

- ACKERLY, D.A.; THOMAS, W.W.; FERREIRA, C.A.C. & PIRANI, J.R. The forest-cerrado transition zone in southern Amazonia: Results of the 1985 Projeto Flora Amazônica Expedition to Mato Grosso. *Brittonia*, 41:113-128, 1989.
- ALMEIDA, S.R. Frutas nativas do Cerrado: Caracterização físico-química e fonte potencial de nutrientes. In: SANO, S.M. & ALMEIDA, S.R., ed. *Cerrado: Ambiente e flora*. Planaltina, Embrapa Cerrados, 1998. p.247-285.
- ALVES, M.M.; MAEKAWA, L.; SILVA, D.; ANJOS, G.M. & MARCÍLIO, H.C. SAF's: Alternativa sustentável para agricultura familiar no norte do Mato Grosso. In: DOSSA, D.; RIBASKI, J. & VILCAHUAMAN, L.J.M., ed. *Anais V Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais - SAFs: Desenvolvimento com proteção ambiental*. Colombo, Embrapa Floresta, 2004. p.617-619.
- BEZERRA, R.G.; NUNES, L.A.; NUNES, P.C.; BRILHANTE, N.A. & ROSÁRIO, A.A.S. Formação de educadores agroflorestais no noroeste do estado de Mato Grosso. In: DOSSA, D.; RIBASKI, J. & VILCAHUAMAN, L.J.M., ed. *Anais V Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais - SAFs: Desenvolvimento com proteção ambiental*. Colombo, Embrapa Floresta, 2004. p.44-46.
- CONSERVATION INTERNATIONAL. *Conserving earth's living heritage: A proposed framework for designing biodiversity conservation strategies*. Washington, DC, 2004. 177p.
- COSTA, R.B.; RESENDE, M.D.V.; FERREIRA, J.S.; CONTINI, A.Z.C.; REGO, F.L.H.; ROA, R.A.R. & MARTINS, W.J. Avaliação genética de progênies de leucena: Contribuição para estabelecimento de SAF's na Reserva Indígena Kaiowá e Guarani, em Caarapó, MS. In: DOSSA, D.; RIBASKI, J. & VILCAHUAMAN, L.J.M., ed. *Anais V Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais - SAFs: Desenvolvimento com proteção ambiental*. Colombo, Embrapa Floresta, 2004. p.274-276.
- COSTA, R.B.; ROA, R.A.R.; MARTINS, W.J.; OLIVEIRA, L.C.S. & ARRUDA, E.J. Avaliação genética de progênies de seringueira: Subsídios para estabelecimento de SAF's em área de assentamento rural no município de Dois Irmãos do Buriti, MS. In:
- DOSSA, D.; RIBASKI, J. & VILCAHUAMAN, L.J.M., ed. *Anais V Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais - SAFs: Desenvolvimento com proteção ambiental*. Colombo, Embrapa Floresta, 2004. p.277-279.

- FERNANDES, F.D.; MELO, J.T.; GOMES, A.C. & GUIMARÃES, D.P. Valor nutricional em folhas de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) e guariroba (*Syagrus oleracea* Becc.) em sistemas agroflorestais na região do Cerrado. In: Anais IV Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais (CD-ROM), Ilhéus, CEPLAC, 2002.
- GUIMARÃES, D.P.; MELO, J.T. & AMABILE, R.F. Influência dos sistemas agroflorestais e da textura do solo sobre a produtividade das culturas consorciadas. In: Anais III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais: Manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural. Anais-Resumos expandidos. Manaus, Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p.214-216.
- ICV (Instituto Centro de Vida) e ISPN (Instituto Sociedade, População e Natureza). Cerrado que te quero vivo! Produtos e meios de vida sustentáveis apoiados pelo Programa de Pequenos Projetos (PPP-Ecos). Brasília, ISPN, 2006. 40p.
- MATTA, F.R. & Passos, C.A.M. Sistema agrissilvicultural com angico (*Anadenanthera falcata*), cumbaru (*Dipteryx alata*), banana (*Musa* sp.) e mandioca (*Manihot esculenta*) na baixada cuiabana, estado de Mato Grosso. In: III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais: Manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural. Anais-Resumos expandidos. Manaus, Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p.296-298.
- MELADO, J. Manejo da pastagem ecológica: um conceito para o Terceiro Milênio. Belo Horizonte, Aprenda Fácil Editora, 2000. 224p.
- MELO, A.C.G. & CORRÊA, C.A. Crescimento de espécies em um sistema agroflorestal tipo "alley-cropping" em Alta Floresta, MT. In: DOSSA, D.; RIBASKI, J. & VILCAHUAMAN, L.J.M., ed. Anais V Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais - SAFs: Desenvolvimento com proteção ambiental. Colombo, Embrapa Floresta, 2004. p.398-400.
- MELO, J.T. & GUIMARÃES, D.P. A cultura da guariroba (*Syagrus oleifera* Becc.) em sistemas agroflorestais na região do Cerrado. In: III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais: Manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural. Anais-Resumos expandidos. Manaus, Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p.14-16.
- NICODEMO, M.L.F.; SILVA, V.P.; THIAGO, L.R.L.S.; GONTIJO NETO, M.M. & LAURA, V.A. Sistemas silvipastoris – introdução de árvores na pecuária do Centro-Oeste. Documentos 146. Campo Grande, Embrapa Gado de Corte. 2004. 37p.
- NOVAES, P.C. Cerrado. Almanaque Brasil Socioambiental. São Paulo, Instituto Socioambiental, 2004. p.103-115.
- NUNES, L.A.; NUNES, P.C.; BEZERRA, R.G.; ROSÁRIO, A.A.S. & BRILHANTE, N.A. Horta sucessional como técnica para formação de educadores agroflorestais no estado de Mato Grosso. In: DOSSA, D.; RIBASKI, J. & VILCAHUAMAN, L.J.M., ed. Anais V Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais - SAFs: Desenvolvimento com proteção ambiental. Colombo, Embrapa Floresta, 2004. p.322.
- NUNES, P.C. SAF's em Juruena, noroeste de Mato Grosso. In: Iniciativas promissoras e fatores limitantes para o desenvolvimento de SAF's como alternativa à degradação ambiental na Amazônia: Memórias, resultados e encaminhamentos. Belém, ICRAF, Embrapa, CIAT, 2005. p.25.
- PASSOS, C.A.M.; GONÇALVES, M.R.; PERES FILHO, O., & MIYAKAWA, Y.M. Avaliação do método de Taungya com *Tectona grandis* no município de Cáceres, estado do Mato Grosso. In: III Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais: Manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural. Anais-Resumos expandidos. Manaus, Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p.51-54.
- PASSOS, C.A.M.. Sistemas agroflorestais como alternativa à degradação na Amazônia Matogrossense. In: Iniciativas promissoras e fatores limitantes para o desenvolvimento de SAF's como alternativa à degradação ambiental na Amazônia: Memórias, resultados e encaminhamentos. Belém, ICRAF, Embrapa, CIAT, 2005. p.8.
- PEREIRA, D.B. & DANIEL, O. Avaliação inicial de um sistema agroflorestal de milho e eucalipto em Dourados-MS. In: DOSSA, D.; RIBASKI, J. & VILCAHUAMAN, L.J.M., ed. Anais V Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais - SAFs: Desenvolvimento com proteção ambiental. Colombo, Embrapa Floresta, 2004. p.371-373.
- RATTER, J.A. Transitions between cerrado and forest vegetation in Brazil. In: FURLEY, P.A.; PROCTOR, J. & RATTER, J.A., eda. Nature and dynamic of forest-savanna boundaries. Cambridge, Cambridge University Press, 1992. p.417-429.

- RIBEIRO, J.F. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, S.M. & ALMEIDA, S.P., eda. Cerrado: Ambiente e flora. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1998. p. 89-166.
- RIBEIRO, J.F. & WALTER, B.M.T. As Matas de Galeria no contexto do bioma cerrado. In: RIBEIRO, J.F.; FONSECA, C.E.L. & SOUSA-SILVA, J.C., eda. Cerrado: Caracterização e recuperação de Matas de Galeria. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 2001. p.29-47.
- SILVA, A K. & EGITO, M. Rede de comercialização solidária de agricultores familiares e extrativistas do cerrado: Um novo protagonismo social. Agriculturas (AS-PTA), 2005. v.2, p.14-16.

**ANEXO - Levantamento de instituições, entidades e indivíduos desenvolvendo atividades com SAFs na região Centro-Oeste**

Entidade	Natureza	Responsável	UF	Município	Contato	Atividade
AJOPAM (Assoc. Juinense Organizada para Ajuda Mútua)	Associação		MT	Juína		SAF com café, pupunha e castanheira
Associação Indígena Halitina (Etnia Pareci)	Associação		MT	Tangará da Serra	Aldeia Kotitiko-T.I. Paresi (65) 726-1342	Consórcio agroflorestal (projeto financiado pela Carteira Indígena/MMA)
CEDAC-Centro de Desenvolvimento Agroecológico do Cerrado	ONG	Alessandra K. da Silva Marcelo do Egito	GO	Goiânia	cedac@cedac-ong.org.br; rede@emporiodocerrado.org.br	Produtos do Cerrado; Capacitação
CENESC – Centro de Estudos e Exploração Sustentável do Cerrado	ONG	Cirley Motta	GO	Pirenópolis	cenesc@brturbo.com.br	Produtos do Cerrado; Fomento a cursos de produção de mudas de árvores nativas p/ produtores
CEPLAC/Est. Exp. Alta Floresta	Orgão	Antônio Carlos Gesta de Melo	MT	Alta Floresta	gestamelo@click21.com.br	Cacau e cupuaçu consorciado com madeiras, frutíferas e leguminosas
Consultor		André Micolis	DF			SAF agroecológicos, Capacitação
Depto. Ciência do Solo/UFMS	Universidade	Omar Daniel	MS	Dourados	omard@ceud.ufms.br	SAF de milho e eucalipto
Embrapa Cerrados	Orgão	José Teodoro de Melo	DF		teodoro@cpac.embrapa.br	Guariroba consorciado com mogno, seringueira e neem; venda de mudas
Embrapa Gado de Corte	Orgão		MS	Campo Grande	www.cnp.gc.embrapa.br	Sistemas silvipastoris
Embrapa Sede	Orgão	Márcio Armandi	DF		armando@cpao.embrapa.br	Demonstrativo de SAF; capacitação
EMPAER-MT	Orgão	Marilene de Moura Alves	MT	Cuiabá	empaerpd@terra.com.br	Extensão com SAFs
Faculdade de Eng. Florestal, UFMT	Universidade	Carlos Alberto Moraes Passos	MT	Cuiabá	capassos@ufmt.br	Teca em sistema Taungya; Disciplina de agrossilvicultura desde 1996, para graduação e mestrado
Fazenda Ecológica Santa Fé do Moquem	Empresa	Jurandir Melado	MT	N.S <sup>a</sup>	www.fazendaecologica.com.br	Sistema agrossilvipastoril em Cerrado
Fundação Neotrópica	ONG		MS	Bonito	www.fundacao neotropica.org.br	Apoio à diversificação econômica de assentamentos no entorno do P.N. Serra da Bodoquena; plantio de árvores nativas
IPCP-Inst. de Permacultura do Cerrado e Pantanal	ONG		MS	Campo Grande		
IPEC-Inst. de Permacultura e Ecovilas do Cerrado	ONG		GO	Pirenópolis	(62) 3331-2111 www.permacultura.org.br/ipecc	Permacultura, SAFs
IPOEMA	ONG	Claudio Jacintho	DF		claudiocj@hotmail.com www.asabranca.org.br www.ocabrazil.org.br	Permacultura e SAF agroecológicos; capacitação
OCA	ONG		GO	Alto Paraíso		
Programa de Mestrado em Desenvolvimento Local/ Programa Kaiowá/Guarani-UCDB	Universidade	Reginaldo Brito da Costa	MT		rcosta@ucdb.br	Avaliação progênes Leucena; Avaliação progênes Seringueira
Proj. GEF/BRA/00/G31 "Uso e Conservação da Biodiversidade das Florestas do Noroeste do Mato Grosso	Projeto	Paulo César Nunes	MT	Juruena	gefjuruena@yahoo.com	Capacitar técnicos para implementação de SAFS com agricultores familiares
UnB-Grupo de Trabalho de Apoio à Reforma Agrária	Universidade	Cláudia Valeria de Assis Dansa	DF		valeria@unb.br	Capacitação em SAFs para assentamento
UNIKPBT-Conselho Indígena Intertribal	ONG		MT	Barra do Bugres	Aldeia Umutina, C.P. 53, 78320	Sistemas agroflorestais

## **Estado da Arte dos Sistemas Agroflorestais no Nordeste do Brasil**

EDMAR RAMOS DE SIQUEIRA, EDSON LUIS BOLFE, ANA PAULA FRAGA BOLFE, ISMAEL QUIRINO TRINDADE NETO & EDSON DIOGO TAVARES

### **INTRODUÇÃO**

O Nordeste do Brasil, assim como todo o país, emprega o modelo agrícola que foi adotado pelos países desenvolvidos após o término da II Guerra Mundial. Esta forma de praticar agricultura transformou ecossistemas naturais em agroecossistemas, privilegiando uma, ou apenas algumas poucas espécies, no processo de obtenção de biomassa útil. Iniciou-se, deste modo, um processo de biosimplificação; ou seja, a redução da diversidade biológica que, aliado ao uso intensivo e, às vezes, contra-indicados, de defensivos e fertilizantes químicos, mecanização e irrigação, provocou um processo de desequilíbrio ecológico, com elevados impactos ambientais negativos. Como consequência, observa-se, na atualidade, o pouco conhecimento de formas de manejo agroecológicos e dinâmica das composições florísticas, pertinentes aos sistemas familiares diversificados.

Uma solução que vem sendo proposta tem sido os sistemas de produção de base ecológica gerados dentro da lógica das leis naturais considerando os fatores locais, do ponto de vista econômico, social e ecológico; o respeito ao saber local e aos direitos de produtores e consumidores no que concerne à segurança alimentar quantitativa e qualitativa. Esses princípios configuram-se numa nova matriz tecnológica necessária como propulsora de um novo desenvolvimento rural, harmônico do ponto de vista ecológico, social e economicamente viável.

É urgente uma transição para agricultura sustentável e, nesse sentido, é a produção familiar que apresenta uma série de vantagens, seja pela sua menor escala, maior capacidade gerencial, mão-de-obra qualificada, por sua flexibilidade e, sobretudo por sua maior aptidão à diversificação de culturas e à preservação dos recursos naturais. Conforme PRONAF (2002) a produção familiar se encontra inserida numa realidade local comunitária, onde se transmite de geração para geração conhecimentos técnicos e produtivos, utilizando um conhecimento acumulado sobre os ecossistemas locais, e a proximidade das relações entre as pessoas (parentes e vizinhos) permite a existência de formas diversas de solidariedade, pela troca de bens e serviços. Sendo assim, destaca-se a agroecologia como um novo campo de estudos que pode contribuir para o desenho de estratégias de desenvolvimento rural familiar sustentável, sendo fundamental uma reflexão sobre a importância do desenvolvimento local, e destaca a necessidade de construção e reconstrução do conhecimento local como estratégia básica para processos de transição agroecológica (Guzmán, 2001).

O cerne da agroecologia está na idéia que um campo de cultivo é um ecossistema dentro do qual ocorrem outras formações vegetais, ciclagem de nutrientes, interações e sucessões; e por meio do

conhecimento deste processo de relações nos sistemas, os mesmos podem ser melhores administrados, com menos impactos negativos ao meio ambiente e a sociedade, sendo mais sustentáveis e com menor uso de insumos externos (Altieri, 1999).

Dessa forma, para ser completamente compreendida a agroecologia precisa relacionar a sustentabilidade à justiça social, atendendo simultaneamente às dimensões econômica, ecológica, social, cultural, política e ética (Embrapa, 2006).

A partir dessa percepção, técnicas, métodos e experiências há alguns anos vêm sendo resgatados, criados e desenvolvidos, originando algumas correntes que têm basicamente em comum premissas que vetam a utilização de técnicas degradantes aos meios físico, atmosférico e biológico. Nesse sentido, destacamos entre elas: a permacultura, a agricultura natural, a agricultura biodinâmica, a agricultura orgânica, e a agrossilvicultura.

A agrossilvicultura inclui tanto o conhecimento e uso de práticas agroflorestais quanto o desenvolvimento de sistemas agroflorestais - SAF's, que diferem de um sistema agropecuário por ter um componente lenhoso e perene que ocupa papel fundamental na sua estrutura e função; e são usados deliberadamente na mesma unidade de manejo da terra com espécies agrícolas e, ou, animais em alguma forma de arranjo espacial e seqüência temporal (ICRAF, 2004).

A agrossilvicultura como ciência desenvolveu-se a partir da década de 1970, quando as principais hipóteses do papel das árvores sobre os solos tropicais foram desenvolvidas. Promove uma interface entre agricultura e a floresta, que aproxima o ser humano ao ambiente que há séculos é visto como um empecilho, hostil e perigoso. Este sistema fundamenta-se na silvicultura (estudo e exploração de florestas), na agricultura, na zootecnia, no manejo do solo e em outras disciplinas ligadas ao uso da terra; tem por objetivos a produção de alimento, de produtos florestais madeireiros e não madeireiros (móveis e medicamentos), produção de matéria orgânica, melhoria da paisagem, incremento da diversidade genética, conservação ambiental, formação de cercas-vivas, quebra-ventos e sombra para criação animal.

Existe atualmente na literatura uma grande variedade de termos empregados para conceituar práticas que combinam espécies florestais com culturas agrícolas e, ou, com a pecuária. Também há uma grande confusão no uso da terminologia agroflorestal no Brasil. Muitos confundem sistemas agroflorestais com consorciação de cultivos. Resumidamente pode-se dizer que todo SAF é uma consorciação de cultivos; contudo, o inverso nem sempre é verdadeiro.

Na verdade, Agrofloresta é um termo novo para uma prática bastante antiga já utilizada pelos indígenas. SAF's são "*Sistemas sustentáveis de uso da terra que combinam, de maneira simultânea ou em seqüência, a produção de cultivos agrícolas com plantações de árvores frutíferas ou florestais e, ou, animais, utilizando a mesma unidade de terra e aplicando técnicas de manejo que são compatíveis com as práticas culturais da população local*". Este conceito talvez seja o mais adequado para caracterizar os SAF's porque faz alusão ao fator sustentabilidade e, também, a classificação temporal dos sistemas agroflorestais, implica que: a) SAF envolve normalmente duas ou mais espécies de plantas (ou plantas e animais), onde pelo menos uma delas é lenhosa; b) SAF tem sempre dois ou mais produtos e; c) mesmo o mais simples SAF é sempre mais complexo, ecologicamente (na sua estrutura e função) e economicamente, do que os sistemas de monocultivos.

Dentre os sistemas agroflorestais, os chamados sucessionais, apresentam-se particularmente, como uma solução muito interessante para a agricultura familiar e, que podem ser caracterizados como sucessionais em função da sucessão natural de espécies. Conforme Vaz da Silva (2003), a essência analógica do sistema é a semelhança e imitação da natureza, onde plantas vivem em consórcios com outras espécies para otimizar sua existência e reprodução. Esses sistemas aportam soluções, de forma sistêmica, que atende a nova matriz proposta, e foram concebidos com a lógica do mundo tropical, ou mais especificamente, com base no processo da sucessão secundária das florestas tropicais.

SAF's sucessionais consistem em sistemas de manejo florestal que visa conciliar produção agrícola e manutenção de espécies florestais, por meio de "capinas seletivas" das espécies que já cumpriram seu papel fisiológico na sucessão e "podas de rejuvenescimento", para revigorar e acelerar o sistema produtivo. Em quase todas as experiências com sistemas agroflorestais, observa-se o aumento de matéria orgânica nos solos, a redução da erosão e o aumento da diversidade de espécies (MMA, 2000).

Na região Nordeste do Brasil, apesar de uma certa tradição de sistemas diversificados, os recursos naturais foram sucessivamente exauridos ao longo da colonização, sendo afetados ainda pelos diferentes sistemas de produção agrícola vigentes aliado ao aumento populacional e à expansão dos mercados,

o que tem levado a super exploração do ambiente e ao decréscimo da biodiversidade. Assim, a agrossilvicultura nunca se instalou como tal e, considerando o grande passivo ambiental existente, especialmente o relativo à cobertura florestal, os sistemas sucessionais podem ser uma solução extremamente interessante, e totalmente aderente ao marco referencial relativo ao conceito de agroecologia, em construção, mas muito consistente e já compreendido e aceito pela comunidade científica pertinente.

### CARACTERIZAÇÃO ECOLÓGICA DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

O Nordeste Brasileiro abrange uma área de 1,54 milhões de km<sup>2</sup>, que corresponde a 18% do território nacional, e abriga 44,8 milhões de habitantes, que representam 28% da população brasileira (Embrapa, 2005c).

Nesta região está inserido o semi-árido brasileiro, que se estende do norte do Piauí ao norte de Minas Gerais, ocupa uma área de aproximadamente 1.037.000 km<sup>2</sup> e abriga uma população de 28,6 milhões de habitantes (Embrapa, 2005c).

Trata-se de uma região caracterizada por uma grande diversidade de quadros naturais e socioeconômicos. A compreensão sobre a diversidade do semi-árido, no que se refere aos seus recursos naturais e agrossocioeconômicos, tem sido objeto de estudos da Embrapa, que identificou 172 unidades geoambientais na região nordeste, das quais 110 estão dentro do semi-árido (Embrapa, 1993).

Dentro dessa diversidade, o crescente número de experiências organizacionais e produtivas bem-sucedidas, seja em condições de sequeiro, ou em regime de pequenas irrigações, desenvolvidas em torno da agricultura familiar, vem superando a vulnerabilidade dos agroecossistemas diante das secas e constituído alternativas econômicas sustentáveis. Várias delas derivam da dinamização de atividades produtivas tradicionais de reconhecida importância econômica e social, como são os casos de pecuária de leite, caprinovinocultura, apicultura, cotonicultura, fruticultura, dentre outras (Embrapa, 2005c).

A pecuária extensiva, principalmente caprinos e ovinos, forçada pelos mecanismos de intensificação da exploração dos recursos atua com grande pressão sobre a vegetação nativa, tanto pela eliminação das plantas como pela compactação do solo, sendo um fator de grande limitação da região.

Os tabuleiros costeiros acompanham o litoral de todo o Nordeste, com altitude média de 50 a 100 metros. Compreende platôs de origem sedimentar, que apresentam grau de entalhamento variável, ora com vales estreitos e encostas abruptas, ora abertos com encostas suaves e fundos com amplas várzeas. De modo geral, os solos são profundos e de baixa fertilidade natural, com uma área estimada de 8.420.000 hectares (Embrapa, 2005b).

A baixada litorânea acompanha a orla marítima, onde estão incluídas restingas, dunas e mangues. Os solos são formados por sedimentos areno-quartzosos, caracterizados especialmente pela baixa fertilidade e capacidade de armazenamento de água. A área total estimada é de 1.423.000 hectares, representando cerca de 15% da área de atuação da Embrapa Tabuleiros Costeiros (Embrapa, 2005c).

Os tabuleiros costeiros e a baixada litorânea apresentam precipitação média anual entre 500 mm e 1500 mm, com temperaturas médias anuais em torno de 26°C, havendo pouca variação entre as médias do mês mais quente e do mês mais frio, podendo ser sub-divididos em quatro sub-regiões (Figura 1): 1) Da divisa dos Estados da Bahia e Espírito Santo até a cidade de Valença, Bahia; 2) Da cidade de Valença até a divisa dos Estados de Sergipe e Alagoas; 3) Da divisa dos Estados de Sergipe e Alagoas até a cidade de Touros, Rio Grande do Norte e 4) Da cidade de Touros até a divisa dos Estados do Ceará e Piauí.

A sub-região 1 se caracteriza como a de maior precipitação média anual, girando em torno de 1.500 mm, com período de chuvas de novembro a julho. Os principais produtos cultivados são o cacau, café, olerícolas, plantios florestais e culturas de subsistência (feijão, mandioca e milho), além de uma pecuária extensiva à semi-intensiva com pastagens cultivadas. Ocorrem também alguns cultivos de frutíferas como mamão e outras de menor expressão.

Na sub-região 2, a precipitação média anual gira em torno de 1.200 mm distribuída nos meses de março a setembro. Os principais produtos cultivados são as frutíferas, principalmente a laranja, e as anuais, como o feijão, a mandioca, o milho e o fumo, além da cultura do coco, no litoral. É uma zona de agricultura

bastante diversificada, com presença de pecuária, principalmente a bovinocultura de corte.

Na sub-região 3, a precipitação média anual está em torno de 1.300 mm com período chuvoso de fevereiro a setembro. Há um predomínio marcante da cultura da cana-de-açúcar, apresentando também, de forma difusa, uma agricultura diversificada, com relativamente pequena expressão econômica, onde se encontram o coco, milho, feijão, mandioca e uma fruticultura diversificada.

Na sub-região 4, a atividade agrícola é limitada principalmente pela baixa precipitação média anual, de cerca de 900 mm, que ocorre entre os meses de janeiro e julho. Ocorrem as culturas do caju, coco, feijão, milho e mandioca, em geral num sistema de subsistência, com a integração de agricultura comercial e pecuária.



Figura 1 – Sub-regiões no Nordeste. (Adaptado de Embrapa, 1993).

As considerações sobre o uso agrícola nas quatro sub-regiões descritas acima são específicas dos tabuleiros costeiros. Para a baixada litorânea, de uso agrícola mais restrito, não são verificadas grandes diferenças entre sub-regiões, destacando-se o cultivo de coco associado às pastagens nativas, culturas de subsistência e frutíferas adaptadas, especialmente caju e mangaba (Embrapa, 2005b).

Nas unidades de paisagens dos tabuleiros costeiros e da baixada litorânea são encontradas diferentes formações vegetais, das quais se destacam a mata atlântica (formações florestais, restingas e dunas) e os manguezais, com pequenas ocorrências de caatinga (no litoral cearense) e cerrado (Embrapa, 2005b).

Nos tabuleiros as formações florestais eram predominantes, caracterizadas por sua fisionomia alta e densa, conseqüência da diversidade de espécies pertencentes a várias formas biológicas e estratos. Essa cobertura vegetal nativa apresenta alto grau de alteração. O sul da Bahia concentra a maior área de remanescentes florestais do Nordeste (Embrapa, 2005b).

Os solos dos tabuleiros costeiros (Latosolos, Argissolos e outros provenientes de sedimentos do tipo Barreiras ou similares) apresentam uso agrícola muito dependente das precipitações pluviiais, mas de forma geral são considerados de bom potencial. Como vantagem, a região apresenta um predomínio de áreas planas e de solos profundos. Deve ser enfatizada a vocação para cultivos que evitem o revolvimento do solo (cana-de-açúcar, pastagens, culturas perenes e reflorestamento) e os problemas relacionados ao uso dessas terras: necessidade de insumos (correção da forte deficiência de nutrientes), impedimento natural em subsuperfície (camadas coesas e presença de fragipã) e suscetibilidade à erosão, mesmo em declives suaves. Para além do colocado, os sedimentos tipicamente desferrificados, maduros e caulíníticos dos solos de tabuleiros são a causa de uma rápida degradação da camada superficial dos solos, quando submetidos ao constante revolvimento. Essa característica impõe limitações à mecanização, mesmo se considerando o relevo plano das terras locais, o que ajuda a explicar a ausência de grandes áreas de culturas anuais na região (Embrapa, 2005b).

Os solos da baixada litorânea (Espodosolos e Neossolos Quartzarênicos), formados por sedimentos areno-quartzosos, apresentam, de forma geral, baixo potencial de uso agrícola. As limitações englobam deficiência de nutrientes e água (baixa retenção de água pelo sedimento quartzoso) e muitas vezes excesso de água sazonal, naquelas posições de paisagem com lençol freático próximo a superfície ou mesmo embrejadas. Todavia, a maior pressão sobre essas terras está na intensa ocupação humana, iniciada nos primórdios do descobrimento e atualmente potencializada pela indústria do turismo. O uso agrícola fica basicamente restrito às pastagens nativas, ao cultivo de algumas frutíferas (coco, caju, mangaba) e às pequenas roças de subsistência. Dessa forma, não se comparando em importância e quantidade às paisagens dos tabuleiros, o uso agrícola da baixada litorânea apresenta papel crucial para alguns sistemas produtivos, como são os casos da produção de coco seco e da catação da mangaba por comunidades tradicionais (Embrapa, 2005b).

### SISTEMAS AGROFLORESTAIS E O NORDESTE

Existem muitas classificações dos sistemas agroflorestais (Montagnini et al., 1992; Nair, 1993; Dubois et al., 1997). Baseada nos aspectos estruturais, funcionais, sócio-econômicos e ecológicos os SAF's podem ser classificados:

1. **Quanto ao aspecto estrutural** - considera-se a natureza dos componentes: a. Sistemas Silviagrícolas; b. Sistemas Silvipastoris e; c. Sistemas Agrossilvipastoris.
2. **Quanto a sua função** - a. Sistemas Agroflorestais de Produção e b. Sistemas Agroflorestais de Proteção.
3. **Quanto ao aspecto sócio-econômico** - a. Sistemas Agroflorestais Comerciais; b. Sistemas Agroflorestais Intermediários e; c. Sistemas Agroflorestais de Subsistência.
4. **Quanto aos aspectos ecológicos** - a. considerando a localização geográfica (SAF trópicos úmidos, SAF planalto central, etc.); b. considerando a situação topográfica (SAF terra firme, SAF várzea, etc.) e; c. considerando o cultivo econômico (SAF seringueira, SAF cacau, SAF dendê, etc.).

A sustentabilidade é uma característica inerente aos sistemas agroflorestais, pois estão alicerçados em princípios básicos que envolvem aspectos ecológicos, econômicos e sociais. Todo método ou sistema de uso da terra somente será sustentável se for capaz de manter o seu potencial produtivo também para gerações futuras. Além disso, os SAF's para serem considerados sustentáveis devem envolver os aspectos sociais, econômicos e ecológicos, isto é necessitam que sejam socialmente justos, economicamente viáveis e ecologicamente corretos.

Os SAF's quando implantados em um determinado local ou região possuem uma importante função social, a de fixação do homem ao campo devido principalmente ao aumento da demanda de mão-de-obra e sem sazonalidade, ou seja, a sua distribuição é mais uniforme durante o ano (os tratos culturais e colheita ocorrem em épocas diferentes), e da melhoria das condições de vida, promovida

pela diversidade de produção (produtos agrícolas, florestais e animais). A conservação das espécies arbóreas medicinais e frutíferas, também é uma importante função social dos SAF's (Müller et al., 2003).

Os sistemas agroflorestais, quando comparados aos monocultivos, geralmente produzem maior número de serviços e produtos para o consumo humano tendo em vista, principalmente, a utilização de grande diversidade de espécies florestais arbóreas e arbustivas, e pelas diferentes alternativas de consorciação com espécies agrícolas e, ou, animais, em uma mesma área de terra.

A alternância da produção ao longo do ano e a diversificação de produtos conferem aos SAF's fluxo de caixa mais favorável, determinando uma função econômica, principalmente pelas receitas obtidas com os cultivos intercalares de ciclo curto; maiores lucros por unidade de área cultivada e maior estabilidade econômica pela redução dos riscos e incertezas de mercado.

Os sistemas agroflorestais, pela diversidade de culturas, necessitam para o seu manejo uma gama variada de mão-de-obra e, também, pelo fato de a maioria das culturas perenes utilizadas serem produtoras de matéria prima (madeira, látex, resinas, gomas, corantes, etc.) ou de alimentos (óleos, palmito, frutas, etc.), que podem demandar industrialização imediata, geram maiores oportunidades de emprego no meio rural.

A característica mais importante dos SAF's parece ser a estabilidade ou sustentabilidade ecológica. Esta sustentabilidade resulta da diversidade biológica promovida pela presença de diferentes espécies vegetais e, ou, animais, que exploram nichos diversificados dentro do sistema, atendendo também a uma função ecológica. A multiestratificação diferenciada de grande diversidade de espécies de múltiplos usos, que exploram os diferentes perfis verticais e horizontais da paisagem nos SAF's, otimizam o máximo aproveitamento da energia solar (Macedo, 2000).

Nas regiões mais úmidas do Nordeste do Brasil havia, tradicionalmente, sistemas complexos de consórcios de culturas envolvendo frutíferas, hortaliças e pequenos animais, mas nunca se caracterizaram, em tradição, como sistemas agroflorestais, exceto aquele com cacau (*Theobroma cacao*). Quando o cultivo não é realizado sob a mata, então, é feito sob o sombreamento das bananeiras, das eritrinas e de outras espécies arbóreas. Outros sistemas são descritos para a região envolvendo caju (*Anacardium occidentale*), coco (*Cocos nucifera*), babaçu (*Orbignya martiniana*), carnaúba (*Copernicia prunifera*) e dendê (*Elaeis guianensis*) (Johnson & Nair, 1985; May et al., 1985; Alvim & Nair, 1986).

Atualmente, destaca-se para a região Nordeste a condução de áreas com sistemas agroflorestais sucessionais, onde no município de Pirai do Norte, sul da Bahia, situa-se a primeira área no Brasil onde foi implantado esse sistema. Trata-se da fazenda "Fugidos", com aproximadamente 500 hectares, incrustada no bioma Mata Atlântica, e que se apresentava altamente degradada e com vastas áreas abandonadas. Esta área, de propriedade de Ernest Götsch, está sendo conduzida por agroflorestas sucessionais, possuindo áreas entre 1 e 24 anos de implantação. A fazenda serviu e serve de palco para as discussões técnico-científicas sobre os sistemas agroflorestais sucessionais, sendo utilizada para inúmeros trabalhos acadêmicos, como monografias, dissertações e teses, além de vários programas televisivos de repercussão nacional.

A exemplo da área em Pirai do Norte, outras mais recentes e em outros biomas – em Irecê, Bahia, no bioma Caatinga desenvolvido pelo Instituto de Permacultura da Bahia e no estado de Sergipe, abrangendo áreas de transição de Mata Atlântica e o Semi-Árido, conduzido pela Petrobrás e Embrapa – já estão desenvolvendo experiências e práticas com enfoque nos sistemas agroflorestais sucessionais.

Essas experiências, em termos de intervenções enérgicas e restauradores da capacidade de produção dos sítios ecológicos na região são muito frágeis. Há que se atuar fortemente para a geração e adaptação de conhecimentos e tecnologias para a construção de sistemas de produção impregnados com a lógica da agrossilvicultura. Neste contexto, é de extrema importância o conceito de agroecologia aplicado na produção familiar para que produção simultânea de alimento e biomassa traga no seu bojo o restabelecimento e, ou, manutenção do equilíbrio ecológico.

Assim, os sistemas agroflorestais apresentam-se como um exemplo de grande demanda de contextualização e necessidade da incorporação do saber local em sua concepção, implantação e manejo (Vivan, 2002). Para tanto, deve-se, primeiro, construir a apropriação coletiva dos princípios que regem os sistemas, ou agroecossistemas; e, segundo, os sistemas precisam funcionar localmente, ou seja, é de fundamental importância as particularidades do agricultor que participa do processo em sua região, sendo necessário experiências concretas na produção familiar (Bolfe, 2004a).

Sistemas agroflorestais são entendidos como arranjos seqüenciais de espécies ou de consórcios de espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas, por meio dos quais se busca ao longo do tempo, reproduzir uma dinâmica sucessional natural, visando atender demandas humanas de modo sustentável (Vivan, 2000). Podem ser caracterizados como sucessionais em função da sucessão natural de espécies, conforme Vaz da Silva (2003), a essência analógica do sistema é a semelhança e imitação da natureza, onde plantas vivem em consórcios com outras espécies para otimizar sua existência e reprodução.

A sucessão na vegetação natural, conforme Nowotny (1992), pode ser entendida como uma seqüência de modificações na composição das associações de comunidades vegetais e, conseqüentemente, animais, num determinado ecossistema ao longo do tempo. A sucessão é um processo de auto-organização, de especialização, de maturação, que se caracteriza pela ocupação progressiva de espaços, onde espécies ou agrupamentos de espécies de rápido crescimento, altas taxas de multiplicação e vida curta (espécies pioneiras e oportunistas) são substituídas por espécies de vida mais longa, crescimento mais lento (as espécies especializadas ou persistentes) que são típicas de estágios mais avançados da sucessão.

Segundo Vaz da Silva (2002), na sucessão as espécies são agrupadas, classificadas por sua função ecofisiológica em sistemas que, por sua vez, são constituídos por um ciclo ou mais ciclos de Pioneiras (normalmente herbáceas), Secundárias I (com ciclo de vida mais curto), Secundárias II (com ciclo de vida médio), Secundárias Tardias (com ciclo de vida longo), Transicionais (consórcio de espécies que domina o ciclo em sua fase adulta, pertencendo a ele, entre outros, os animais).

Pelas diferentes características dos sistemas que significam os ciclos de inspiração e expiração na sucessão natural, pode-se classificar em três grupos, que são Sistemas de Colonizadores, Sistemas de Ótima Ocupação e Sistemas de Abundância. Diferenciam-se entre eles quanto à quantidade e qualidade de vida consolidada, biodiversidade, caminho e destino de excedente de energia materializada, relação entre C e N do conjunto de massa viva das espécies participantes, número e tamanho (relativos) de animais necessários para otimizar os processos de vida entre espécies integradas nos consórcios que formam o sistema (Peneireiro, 1999).

Nestes sistemas, conforme Peneireiro (1999) apud Siqueira & Trindade Neto (2003), são identificados alguns grupos de espécies com características biológicas semelhantes, de acordo com suas funções nos consórcios, que podem ser englobados em quatro grupos assim colocados:

1. **Colonizadores** – São representados por algumas bactérias e fungos, certos líquens, algas, musgos, samambaias, ciperáceas e ervas. São responsáveis pelo início do processo de sucessão natural (no caso de sucessão primária), a partir de condições muito precárias, transformando o ambiente a fim de que seja possível sustentar formas de vida mais exigentes.
2. **Pioneiras** – São as plantas com hábito decumbente ou prostrado, não só árvores, que recobrem o solo, mais se desenvolvem bem a pleno sol e produzem grandes quantidades de semente dispersadas pelo vento, formam populações densas (muitos indivíduos) e, geralmente, formam comunidades de baixa diversidade e grande abundância.
3. **Secundárias, Intermediárias e Transicionais** – são espécies que apresentam ciclos de vida mais longos, seus frutos são geralmente carnosos e dispersos por animais, são mais exigentes em recursos e demandam sombra no início do seu desenvolvimento, formando banco de plântulas, quanto mais avançadas na sucessão dentro do consórcio.
4. **Primárias ou Climáticas** – são as espécies de ciclo de vida mais longo sendo emergentes no dossel da mata primária.

Além disso, durante o processo sucessional as espécies desses quatro grupos coexistem, e em cada fase haverá um consórcio dominante que dirigirá a sucessão, pois os indivíduos das espécies mais avançadas na sucessão não se desenvolvem enquanto os iniciais não dominam, já que precisam ser criadas pelas antecessoras.

Seguem-se diversos ciclos sucessionais: pioneiras, secundárias e transicionais; até que estejam consolidadas quantidade e qualidade de vida no ambiente suficientes para a instalação dos Sistemas de Abundância. Nestes, há uma maior disponibilidade de N e P, nutrientes necessários aos processos de exportação, característico desse sistema, em que as redes tróficas são bem mais complexas, há alta biodiversidade, a relação C/N é menor, é esse sistema que sustenta em seus consórcios grandes e pequenos animais e entre eles é possível situar o ser humano e a grande maioria de suas plantas cultivadas que são exigentes quanto a fertilidade e matéria orgânica do solo e a grande inter-relação entre espécies.

Nesse sentido, os sistemas agroflorestais são um modelo de desenho ecológico sustentável voltado para a agricultura e restauração florestal. É inclusivo, pois combina as instâncias sociais e naturais. O sentido da ação humana de compartilhar torna-se mais amplo: com semelhantes da espécie e com todos os demais seres vivos, uma vez que proporciona um espaço para a coexistência de todas as formas de vida (Trindade Neto, 2003).

Para se otimizar os processos existentes nos sistemas agroflorestais sucessionais é necessário, segundo Götsch (1995) apud Peneireiro (1999), atentar-se para: primeiro, identificar as espécies adequadas, os consórcios, e a sucessão entre eles, os que ocorrem na região, em solos ou climas similares; segundo, introduzir maior biodiversidade possível para preencher todos os nichos gerados; terceiro, identificar o momento mais apropriado para iniciar um ciclo, ou seja, o momento do plantio ou manejo de um consórcio mais avançado para que as espécies encontrem as melhores condições para se estabelecer e desenvolver; e por fim, empregar o instrumentário da remoção de plantas e da poda para acelerar a taxa de crescimento e evolução sucessional do sistema.

Explica Peneireiro (2004a) que a sucessão nos sistemas agroflorestais sucessionais pode ser resumida no estabelecimento de consórcios sucessivos, em que cada um chega a dominar na área até que se transforme e transforme o ambiente de tal forma que o próximo consórcio, que já foi plantado junto no início chegue a dominar e assim sucessivamente. Uma progressão, na qual os consórcios sejam caracterizados com espécies cada vez com ciclo de vida maior, um após o outro, até que venha a ocorrer uma nova perturbação que dará início ao um novo ciclo; novamente irá começar com o consórcio das espécies pioneiras, porém, já em condições ambientais mais propícias para espécies mais exigentes, pois a vida acaba por transformar o local onde atua, o que leva a uma melhoria da qualidade do ambiente, acumulando matéria orgânica e realizando interações bióticas.

São os sistemas agroflorestais sucessionais uma forma de produção agrícola e florestal que se baseia na estrutura e dinâmica das florestas naturais, pois se combina uma diversidade de espécies nativas com outras espécies aptas às condições do local e também com espécies cultivadas pelos seres humanos.

Portanto, os princípios dos sistemas agroflorestais sucessionais dizem respeito à diversidade e densidade das espécies no sistema, durante todo o processo sucessional, bem como a sincronia de crescimento entre as espécies dos consórcios, assim como, manter o solo sempre protegido e coberto, é fundamental.

Num Sistema Agroflorestal Sucessional completo, bem elaborado, com manejo adequado, não há danos econômicos por pragas e doenças e a demanda por mão-de-obra é bem reduzida. Não existem receitas, é fundamental compreender os conceitos ecológicos presentes na relação entre as plantas e fazer com que a intervenção humana se dê no sentido de gerar mais vida no local.

Assim, conforme Bolfe et. al. (2004), percebe-se que os sistemas agroflorestais sucessionais estão direcionados na perspectiva de otimizar o sistema produtivo e não de maximizá-lo. Os insumos a serem utilizados fundamentalmente neste modelo de agricultura sustentável, serão sementes e o conhecimento da ecologia. Para tanto, faz-se necessário o resgate cultural e do conhecimento, adquirido pelas pessoas do lugar, por meio da vivência das gerações, fruto de séculos de convívio com o ecossistema local, sendo de extremo valor e importância na elaboração de sistemas de produção sustentável.

Para tanto, é preciso estratégias ou redes de informações e evolução local das técnicas e sistemas já utilizados, sendo fundamental avançar além dos pacotes “difusionistas” de extensão rural que objetivam o maior número de pessoas em curto período de tempo.

A educação, segundo a Agenda 21 Brasileira (MMA, 2002), é vista como instrumento fundamental capaz de efetivar as mudanças necessárias para implementar o novo paradigma da sustentabilidade. A adoção de uma proposta mais avançada no sentido da sustentabilidade requer a construção de uma nova perspectiva, como coloca Peneireiro (2004b). Quando especialistas utilizam a metodologia participativa percebem que o modelo de transferência, ao qual estavam acostumados, era uma verdadeira invasão cultural, pois levam tecnologia, muitas vezes desconectada da família rural, e a repassavam; mas geralmente, o agricultor não a adota, por não ser sua prioridade, por não compreender os fundamentos e como fazer, enfim por não ter participado do processo.

Para falar de uma educação relativa aos sistemas agroflorestais sucessionais, ou seja, uma educação para a agrofloresta, é necessário ver a chamada extensão rural sob um prisma completamente diferente, como coloca Peneireiro (2004b), pois é preciso difundir agrofloresta, agroecologia, contextualizada na realidade dos agricultores, estes que são agentes de mudança, atores sociais reflexivos, e com muita

experiência, visto que quando lêem o mundo ao seu redor, podem construir novos conhecimentos a partir daqueles que já carregam consigo, fruto de sua trajetória de vida que se mesclam com conhecimentos dos outros e que fazem emergir novas visões ou compreensões a partir da reflexão, confrontando idéias e conceitos.

Assim, segundo Leff (2001), a educação converte-se num processo estratégico com o propósito de formar os valores que expressam uma nova cultura política, pois é nos projetos de educação não formal que se expressa a politização dos princípios ambientais, realizados em pequenos grupos nas comunidades, vinculados para defender o seu meio, apropriando-se da natureza e realizando a autogestão de seus recursos de produção; estes conhecimentos pessoais se constituem num processo dialético de validação com a realidade e dialógico de comunicação e confrontação com o outro.

Os desafios do desenvolvimento sustentável implicam a necessidade de formar capacidades para orientar um desenvolvimento fundado em bases ecológicas de equidade social, diversidade cultural e democracia participativa. Isto estabelece o direito à educação, capacitação e formação ambiental com os fundamentos de sustentabilidade, que permitem a cada pessoa e cada sociedade produzir e apropriar-se de saberes técnicos e conhecimentos para participar na gestão de seus processos de produção, decidir sobre suas condições de existência e definir sua qualidade de vida. Isto permitirá romper a dependência e iniquidades fundadas na distribuição desigual do conhecimento, e promover um processo no qual os cidadãos, os povos e as comunidades possam intervir a partir de seus saberes e capacidades próprias nos processos de decisão e gestão do desenvolvimento sustentável.

A questão ambiental passa por várias interpretações, é fruto de diferentes leituras de mundo, principalmente no que tange à produção agrícola. É com a participação que se procura consenso mínimo, a fim de que pessoas se aglutinem em busca de alternativas e possibilidades sustentáveis, no caso descobrindo, ou redescobrando e até mesmo construindo, os princípios que regem os sistemas agroflorestais sucessionais, pois estes são um conhecimento que se constrói em conjunto, e, portanto a participação é fundamental no processo de implantação e de receptividade desta corrente agroecológica (Bolfé, 2004a).

Como afirma Vivan (2002), a incorporação do saber local em estratégias e políticas de desenvolvimento e tecnologia se dá hoje tanto da forma oportunista e puramente extrativista, como pode se dar no sentido do empoderamento das comunidades detentoras do saber. Continua o autor afirmando que de todas as intervenções humanas nos sistemas naturais, os sistemas agroflorestais sucessionais são um exemplo de grande demanda de contextualização e necessidade da incorporação do saber local em sua concepção, implantação e manejo.

Freire (2001a) explica a situação de agricultores *versus* especialistas; daí que esses atores sociais não possam compreender e, quando compreendem, não dêem a devida importância ao fato de que, transformando a realidade natural com seu trabalho, os homens criam seu mundo. Mundo da cultura e da história que, criado por eles, sobre eles se volta, condicionando-os. Isto é o que explica a cultura como produto, capaz ao mesmo tempo de condicionar seu criador.

Assim, fica óbvio que o indispensável aumento da produção agrícola e a importância da sustentabilidade destinada pelas comunidades aos recursos naturais não podem ser vistos como separados do universo cultural em que se dão, pois a resistência dos agricultores a esta ou àquela forma mais eficaz de trabalho, que implicaria em uma maior produtividade, é de natureza cultural.

Portanto, é fundamental uma ação cultural, educativa, na qual engenheiros florestais, engenheiros agrônomos, técnicos agrícolas e educadores devem encontrar-se com os produtores rurais, dialogicamente, tendo a mesma realidade como mediadora, orientando o trabalho no sentido da síntese, que tem como ponto de partida a investigação temática de sua realidade objetiva, por meio da qual inicia-se uma reflexão crítica sobre eles mesmos, percebendo como estão sendo, e através de situações codificadas refazem sua percepção anterior da realidade, o que os leva a reconhecer erros ou equívocos no antigo conhecimento para, então, modificá-lo buscando novas alternativas que, no caso da produção agrícola, são sistemas agroflorestais sucessionais.

Parte-se do pressuposto que a ação cultural não pode sobrepor-se à visão de mundo dos agricultores invadindo-os culturalmente, com muitas e muitas tecnologias e procedimentos que não levam em conta seu trabalho, sua vida. Porém, por outro lado, tampouco os especialistas devem, nem podem adaptar-se a isto; é por isso que a educação e capacitação tornam-se a base de sustentação desse trabalho com sistemas agroflorestais, sendo sua função fazer o elo de ligação entre as tecnologias necessárias e

cuja eficácia foi cientificamente comprovada com a visão já materializada dos agricultores.

Como afirma Freire (2001b), a tarefa que se coloca ao técnico-educador é a de, partindo daquela visão tomada como um problema, exercer com os agricultores uma volta crítica sobre ela, de que resulte sua inserção, cada vez mais lúcida, na realidade em transformação, já que os educadores/técnicos devem aproveitar toda oportunidade para estimular os agricultores a que exponham suas observações, suas dúvidas, suas críticas.

Para que o trabalho seja feito de forma participativa, devem ser realizadas oficinas de sensibilização e capacitação com os agricultores e técnicos envolvidos, experimentação no campo, e a utilização do DRP, este que segundo Whiteside (1994) consiste, basicamente, na utilização de um grupo de técnicas que visam à obtenção de informações necessárias aos projetos, possibilitando o descobrimento das principais características, dos problemas prioritários que afetam a população e das possíveis soluções dentro da comunidade. As informações são alcançadas pela estruturação de questionamentos baseados em informações diversas, em vez de interpretação de dados por via meramente estatística. Por meio deste instrumental, é possível obter informações mais amplas e qualitativas que servem de apoio e referência para o desenvolvimento das diversas etapas do projeto; contribuem, inclusive, para a obtenção de informações básicas sobre a realidade local. As reuniões com a aplicação das técnicas de DRP, em geral, visam a obter dados qualitativos e também quantitativos, por meio do envolvimento da comunidade participante, e da escolha de cada técnica a ser utilizada, feita de modo a adquirir as informações que se deseja ou precisa, naquele momento.

## CONCLUSÕES

Com o avanço da conscientização ambiental, processos de intervenção com uma visão mais sistêmica e, com menos impactos negativos, estão sendo exigidos. Neste contexto, articula-se uma nova matriz tecnológica para a pesquisa agropecuária, que além do aumento de produtividade, tem como pressupostos a sustentabilidade, equidade social, segurança alimentar e a melhoria da qualidade de vida das pessoas (Embrapa, 2004a).

A precipitação pluviométrica deficiente e a superpopulação de animais, principalmente caprinos são as principais limitações de um desenvolvimento equilibrado da região semi-árida do Nordeste do Brasil; na região úmida as maiores limitações são os solos coesos e a erosão.

Como, praticamente, em todo o Brasil, os grandes potenciais da região Nordeste passam por uma localização tropical, com a conseqüente alta incidência de energia que incide sobre o território. Superfícies planas e solos pertinentes às várias possibilidades de manejo adequado às suas características, e uma altíssima biodiversidade são oportunidades extraordinárias de sistemas de produção de alta produtividade e pertinentes às condições tropicais.

A adoção pelos agricultores de sistemas de produção diversificados que considerem o saber local e utilizem um arranjo particular de espécies para cada condição específica permitirá aumento da produtividade e maior sustentabilidade social, cultural, econômica e ambiental da agricultura familiar do Nordeste do Brasil.

Encontrar novas formas de intervenção que integrem os princípios da diversidade de espécies e o manejo ecológico adequado dos novos sistemas que viabilizem economicamente a atividade agrícola familiar do Nordeste do Brasil é o desafio a ser enfrentado.

De outra parte, a capacitação com caráter educativo em um processo de pesquisa participativa é um instrumento fundamental para efetivar as mudanças necessárias e implementar o novo paradigma da sustentabilidade nas suas diversas dimensões. Neste contexto, a estratégia de definir sistemas diversificados, com base nos pressupostos da agroecologia e da pesquisa participativa, aportam soluções ideais para atender as expectativas dos beneficiários.

## PESQUISA FUTURA

As pesquisas para definir os arranjos em sistemas de cultivo múltiplo devem ter como base a sucessão ecológica de espécies, conforme a classificação em pioneira, secundária e clímax; a indicação das espécies pertinentes para cada sítio ecológico e a avaliação do desempenho conjunto no sistema.

Além de seguir com rigor os princípios ecológicos tropicais é, condição indispensável para a implementação desses sistemas, a incorporação do saber local em todas as suas fases.

Na implantação do sistema, o primeiro e, talvez, o mais importante passo a ser investigado é a identificação do estágio sucessional do sítio ecológico onde será implantado o sistema de produção. Isso implica em resgatar o histórico de ocupação da área e a determinação das condições atuais de resposta ao plantio das espécies. A interação dos saberes técnicos e dos agricultores é fundamental para um diagnóstico correto e o sucesso da intervenção.

Também em relação à definição de espécies a serem cultivadas (composição florística) e o plantio é exigida a experiência da comunidade em trabalhar o espaço e o seu conhecimento das espécies florestais nativas que ocorrem na região, assim como para a obtenção de sementes e propágulos, novamente o resgate do saber local é fundamental.

As condições socioculturais e econômicas, assim como componentes biológicos, podem ser evidenciados por meio do Diagnóstico Rápido Participativo e com práticas educativas, que orientarão as abordagens de interação com a comunidade.

Assim, haverá clareza da participação dos beneficiários na identificação dos problemas existentes para a implementação de soluções na busca do problema central de desconhecimento de formas de manejo agroecológicas e composições florísticas, pertinentes aos sistemas familiares diversificados.

Pode-se esperar como resultados dessas intervenções, a definição de sistemas de produção diversificados, de alta produtividade, com produção ininterrupta de alimentos, ao longo do ano que permitem a geração de renda e a segurança alimentar dos agricultores envolvidos, bem como, o resgate do saber local e a construção de conhecimento em sistemas diversificados de produção. No que tange ao aspecto ambiental a definição de sistemas diversificados deve disponibilizar serviços ambientais que contribuam para o equilíbrio ecológico da região, como restauração florestal, recuperação de áreas degradadas, proteção à flora e fauna e aumento da fixação de carbono na vegetação e no solo.

#### LITERATURA CITADA

- ALTIERI, M. Agroecologia: Bases científicas para uma agricultura sustentável. Montevideo, Editorial Nordan-Comunidad, 1999. 592p.
- BOLFE, A.P.F. Educação na floresta: Uma construção participativa de sistemas agroflorestais sucessionais em Japarutuba, Sergipe. São Cristóvão, SE: Universidade Federal de Sergipe, 2004. 155p. Tese (Dissertação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, 2004.
- BOLFE, A.P.F.; SIQUEIRA, E.R. de & BOLFE, E.L. Sistemas agroflorestais sucessionais: uma prática agroecológica. *Ciência & Ambiente*, 29: 85-97, 2004.
- DUBOIS, J.C.; VIANA, V.M. & ANDERSON, A.B. Manual agroflorestal para a Amazônia. Rio de Janeiro, REBRA, 1997. 228p.
- EMBRAPA. Zoneamento agroecológico do Nordeste: Diagnóstico do quadro natural e sócio-econômico. Petrolina, Embrapa-CPATSA/Rio de Janeiro, Embrapa-SNLCS, 1993. 155p.
- EMBRAPA. IV Plano Diretor da Embrapa 2004 - 2007. Brasília, Embrapa, 2005a. 48p.
- EMBRAPA. III Plano Diretor da Embrapa Tabuleiros Costeiros 2004 - 2007. Aracajú, Embrapa, 2005b. 57p.
- EMBRAPA. III Plano Diretor da Embrapa Semi-Árido 2004 - 2007. Petrolina, 2005c. 59p.
- EMBRAPA. Marco referencial em agroecologia. [S.L.]: Embrapa, 2006. no prelo.
- FREIRE, P. Ação cultural para a liberdade. 9. ed. São Paulo, Paz e Terra, 2001a. 176p.
- FREIRE, P. Extensão ou comunicação? 11. ed. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 2001b. 93p.
- GUZMÁN, E.S. Uma estratégia de sustentabilidade a partir da agroecologia. *Revista Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*, 2: 35-45, 2001.
- ICRAF (International Center for Research in Agroforestry). Agroforestry defined. In: International Center for Research in Agroforestry. <http://www.ciesin.org/ic/icraf>. 10 fev. 2004.
- LEFF, E. Saber ambiental: Sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder. Petrópolis, Vozes, 2001. 343p.

- MACEDO, R.L.G. Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais. Lavras, UFLA/FAEP, 2000. 157p.
- MMA. Agenda 21 Brasileira: Resultado da consulta nacional. Brasília, MMA, 2002. 156p.
- MONTAGNINI, F. (et al.) Sistemas agroflorestales: Principios y aplicaciones en los trópicos. San José, IICA, 1992. 622p.
- MÜLLER, M, W.; ALMEIDA, C.M.V.C. de & Sena-Gomes, A.R. Sistemas agroflorestais com cacau como exploração sustentável dos biomas tropicais. Anais... Uruçuca: Semana do Fazendeiro, 25ª, 2002. Agenda. Uruçuca, CEPLAC/CENEX/EMARC, 2003. p.137-142.
- NAIR, P.K.R. Introduction to agroforestry. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1993. 499p.
- NOWOTNY, K. Agrossilvicultura baseada na dinâmica e na biodiversidade da mata atlântica: A experiência agroflorestal de Ernest Götsch. Rio de Janeiro, AS-PTA, 1992. p. 55-66.
- PENEIREIRO, F.M. Sistemas Agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: Um estudo de caso. Piracicaba, SP: Universidade de São Paulo/ESALQ, 1999. 138p. Tese (Dissertação em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo/ESALQ, 1999.
- PENEIREIRO, F.M. Fundamentos da agrofloresta sucessional. In: Simpósio de Sistemas Agroflorestais, 2., 2004. Aracaju. Anais... Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2004a. p.77-88.
- PENEIREIRO, F.M. Educação agroflorestal: construindo o conhecimento. In: Simpósio de Sistemas Agroflorestais, 2., 2004. Aracaju. Anais... Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2004b. p.118-124.
- PRONAF. Buscando as raízes: Agricultura familiar e reforma agrária. Brasília, PRONAF, 2002. 48 p.
- SIQUEIRA, E.R. de & TRINDADE NETO, I.Q. Sistemas agroflorestais e sustentabilidade. In: III Simpósio de Sistemas Agroflorestais, 3., 2004. Aracaju. Anais... Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2004. p.1-2.
- TRINDADE NETO, I.Q. Reintegrando a floresta à natureza humana: Um estudo sobre a conservação florestal em consórcio com agricultura e produção de petróleo. São Cristóvão, SE: Universidade Federal de Sergipe, 2003. 157p. Tese (Dissertação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, 2003.
- VAZ da SILVA, P.P. Regenerative analog agroforestry in Brazil. Ilea News Letter. Ilea, Set. 2000. Disponível em: <<http://ileia.test.kolibrie.net/2/16-3/14-16.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2003.
- VAZ da SILVA, P.P. Sistemas agroflorestais para recuperação de matas ciliares em Piracicaba, SP. Piracicaba, SP: Universidade de São Paulo/ESALQ, 2002. 98p. Tese (Dissertação em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo/ESALQ, 2002.
- VIVAN, J.L. Diversificação e manejo em sistemas agroflorestais. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 3., 2000. Manaus. Anais...Manaus, Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p. 32-41.
- VIVAN, J.L. Extensão rural em sistemas agroflorestais. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 4., 2002, Ilhéus. Anais...Ilhéus, CEPLAC/UESC, 2002. CD-ROM.
- WHITESIDE, M. Diagnóstico (Participativo) Rápido Rural – manual de técnicas. Maputo, Moçambique, Comissão Nacional de Meio Ambiente, 1994. 82p.

# Parte II

Biologia, Ecologia e Serviços Ambientais



## **Agroforestry and the Conservation of Forest Cover and Biodiversity in Tropical Landscapes – on-Site and off-Site Effects and Synergies with Environmental Legislation**

GOETZ SCHROTH, MARIA DO SOCORRO SOUZA DA MOTA & ADRIANO JEROZOLIMSKI

### INTRODUCTION

The need for development pathways that are compatible with the conservation of biodiversity is not restricted to the tropical world, but is particularly urgent in tropical forest countries because of the frequent coincidence of high levels of native biodiversity with urgent development needs. In tropical forest regions, the setting aside and effective protection of sufficiently large and strategically selected areas of forest and other natural habitat is an essential measure to conserve the full species set of plants, animals and microorganisms that occur in these areas, as well as their genetic variability and ecological interactions. However, even in inhabited areas where full protection is not an option, land use planning objectives should include the conservation of forest cover and biodiversity because people depend on these for their livelihoods and well-being and because such areas can complement the role played by protected areas in biodiversity conservation.

This paper examines the conservation and restoration of forest cover and biodiversity in inhabited tropical landscapes, focusing on the role that agroforestry can play. Depending on the dominant land uses in a region, such inhabited landscapes may range from largely forested areas in the case of extractivist economies, through mosaics of fields, fallows and forest in areas of small scale farming, to largely deforested areas where pasture or mechanized agriculture predominate.

Although this paper focuses on the role of forests and agroforests in biodiversity conservation, forests have many other important functions. Forests provide environmental services on which local livelihoods – and in certain cases agricultural production itself – depend. These include the provision of forest products, such as timber, fuelwood, bushmeat, fruits and medicine (Shanley & Luz, 2003); the maintenance of pollinator populations (a factor that increases coffee yields in the proximity of forest remnants; Ricketts et al., 2004); protection against soil erosion and the regulation and maintenance of waterflow and water quality (Bruijnzeel, 2004). Forests also have esthetic and spiritual values and provide ecosystem services that are important at regional, national and global scales, including the protection of regional scale watersheds and the maintenance of carbon stocks in forest vegetation and soils.

Agricultural development in tropical forest countries is often accompanied by deforestation and thus constitutes a major threat to forest biodiversity and environmental services. In the Brazilian Amazon, a predominant development pathway over the past four decades has been the conversion of rainforest into cattle pasture, following logging (Andersen et al., 2002). Both large and small landholders are involved in the process. In the former case, forest is directly converted into pasture or

agricultural fields, often accompanied by substantial social conflict, while in the latter case there is often an intermittent phase of slash-and-burn agriculture (Fujisaka et al., 1996). In the 1970s and 1980s, the expansion of cattle ranching in the western Amazon provoked strong resistance by traditional forest inhabitants, notably rubber tappers, and resulted in the creation of the first Extractive Reserves by the Brazilian government (Cardosa, 2002).

Recently, the expansion of large-scale, mechanized soybean agriculture has caused significant conversion of both secondary and primary forest, as has been shown for the plateau region of Santarém in western Pará State. Soybean investors from southern Brazil who are attracted to this region by low land prices and transport costs are displacing smallholder farmers who, in turn, move to the poor suburbs of Santarém or into new forest areas, including the Tapajós National Forest (Cohenca, 2005).

Agroforestry has often been advocated as a development pathway for the Amazon region that combines economic development opportunities for local people with forest conservation and forest restoration on farmland (Smith et al., 1996). Agroforestry in its widest sense comprises land use practices that include trees on farmland. The term thus covers a wide and variable continuum between forest management for timber and non-timber products (that is, extractivism) and conventional agriculture or pasture management, and clear-cut distinctions are neither possible nor necessary (Pasquis, 1998). For example, the more intensively a natural forest is managed for the production of non-timber forest products through tending of tree regeneration and elimination of species and individual trees with undesirable properties, the more it becomes an agroforest (see examples below).

In this paper, we review the roles that tree-based land use practices can play in supporting the conservation and restoration of forest cover and biodiversity on a landscape scale, with a focus on the Brazilian Amazon and Atlantic Forest. We distinguish between the effects of agroforestry on tree cover and related wild biodiversity in agricultural areas (on-site or plot-level effects), and agroforestry's role in supporting the conservation of primary or secondary forest and associated biodiversity either on the same farm or on nearby land (off-site effects). In combination, on- and off-site effects determine the overall impact of a practice on tree cover and biodiversity conservation in comparison to non-agroforestry alternatives. We argue that especially the off-site benefits of tree-based land uses will often only be realized, or will be much greater, under certain enabling conditions such as the enforcement of environmental legislation that regulates forest conservation on private and public land, including in protected areas.

If agroforestry practices are to support biodiversity conservation on a landscape and regional scale, they must be profitable enough to compete with environmentally less desirable land use alternatives, such as cattle ranching and the commercial production of annual crops. Only profitable practices will keep traditional land users on their land and allow them an acceptable living standard; biodiversity friendly but unprofitable practices (under present conditions) will sooner or later disappear. These conditions, of course, are continuously changing, as for example when areas become more accessible or when indigenous communities integrate themselves progressively into the market economy. Increasing the profitability of traditional agroforestry practices without compromising their beneficial environmental characteristics is therefore a key task within a strategy to support the conservation of forest cover and biodiversity through tree based land uses. To illustrate our arguments, we will review examples from Brazil and provide some supporting evidence from other tropical regions.

### ON-SITE BENEFITS OF TRADITIONAL AGROFORESTRY PRACTICES ON TREE COVER AND BIODIVERSITY

Traditional land use practices are often, though not always, relatively biodiversity friendly as a result of the low intensity of their management (Pasquis, 1998). Many species of plants and animals find suitable living conditions in extensively managed agroforestry areas, which thus increase the overall amount of habitat and resources available to them. Other species may use agroforestry areas as temporary habitat and corridors, including wide-ranging species that would not find enough space and resources in small primary forest fragments or that do not cross open agricultural or pasture areas. Some migratory bird species can even occur at higher densities in agroforests than in natural

forest areas (van Bael et al., in press). Traditional agroforestry practices that support high levels of wild biodiversity on a plot scale abound both in Brazil and other tropical regions. We briefly discuss three examples of biodiversity friendly traditional agroforestry practices.

#### Cabruças in Southern Bahia

The traditional shaded cocoa plantations (“cabruças”) of southern Bahia are created by thinning and underplanting natural forest with cocoa trees and maintaining the remaining forest trees for shade. Because cabruças involve extensive management practices and conserve part of the forest canopy, including large, old forest trees, they offer habitat for many species of plants and animals. Cabruças can thus make an important contribution to biodiversity conservation in this extremely biodiverse region of the Atlantic Forest, over 90% of which has already been converted into agricultural fields, pastures and *Pinus* and *Eucalyptus* plantations, leaving the remaining natural forest areas highly fragmented (Johns, 1999).

Cabruças can provide important habitat for plant species. As a result of the protection from uncontrolled logging that privately owned cabruças can afford compared to unprotected forest, some high-value timber species such as *Cedrela odorata*, *Nectandra* sp. and *Cariniana* spp. can be found at higher densities in the shade canopy of cabruças than in unprotected logged forests (Sambuichi, 2002). To conserve this floristic richness over the long term, specific management practices are, however, needed. For example, the periodic slashing of the understory vegetation in many cabruças necessarily inhibits the regeneration of canopy trees (Rolim & Chiarello, 2004) and should thus be carried out in a way that enough tree seedlings are conserved.

Cabruças can also provide important habitat for fauna. In a study comparing cabruças and forest in southern Bahia, 173 species of birds and 41 species of bats were registered in cabruças, as compared to 150 species of birds and 27 species of bats in nearby forest. Despite the high species diversity in cabruças, some groups of forest understory species were underrepresented or missing, while generalists were more common in cabruça than in forest. Such species shifts from forest to agroforest habitat are common and are one of the reasons why agroforestry habitat cannot fully substitute for natural forest habitat (see below). Moreover, the richness of bird communities in cabruças decreased significantly as the amount of forest in the surrounding landscape decreased, indicating that forests play an important role as source habitat even for many bird species that occur in cabruça. In contrast, bat communities comprised almost all species that were found in forest, indicating that cabruças with their more open structure compared to forests are favorable bat habitat (Faria et al., 2006). Cabruças are also used as temporary habitat and corridors by endangered primates. The golden-headed lion tamarin (*Leontopithecus chrysomelas*), an endemic endangered primate species, was found to use hollow trees in cabruças as sleeping sites and to feed on insects in epiphytic bromeliads on the shade trees (Raboy et al., 2004).

A combination of factors now pose a growing threat to traditional, biodiversity-friendly cabruça systems, including the relatively high labor costs for cocoa production in Brazil compared to producer countries in Africa and Asia; the 1989 introduction from the Amazon to Bahia of the witches’ broom fungus (*Crinipellis perniciososa*), which reduces yields and increases management costs; and a trend towards replacing the native canopy species of traditional cabruças with rubber trees for income diversification.

#### Rubber Agroforests in Sumatra and the Amazon

On the Indonesian islands of Sumatra and Borneo, small farmers traditionally grow rubber trees in agroforests by planting seedlings into slash-and-burn fields with annual crops. Through extensive management and tolerance of many non-rubber tree species, these systems evolve into secondary forests with a high density of rubber trees (Beukema & van Noordwijk, 2004). Rubber agroforests have been shown to harbor up to 73 tree species per hectare, while natural forest had about 2-3 times as many species (Schroth et al., 2004b). The richness of forest species among terrestrial pterophytes in rubber agroforests was closer to that of natural forest than that of monoculture plantations (Beukema & van Noordwijk, 2004). The bird species richness of rubber agroforests was about 60% as high as that of natural forest, higher than in other common types of agroforests in Sumatra. As in cabruças,

some groups such as forest understory species were less common and gap species were more common in rubber agroforests than in natural forest (Thiollay, 1995). Rare wildlife species such as rhino and tiger have occasionally been seen in Sumatran rubber agroforests (Michon & de Foresta, 1999), which raises the issue of the potential value of these agroforests as wildlife corridors in a landscape that is now dominated by plantation agriculture. However, these rubber agroforests are severely threatened by conversion into oil palm and rubber monocultures.

Rubber agroforests also occur in the Brazilian Amazon, where the rubber tree is a native species (Schroth et al., 2003). On the banks of the lower Tapajós River, rubber agroforests have apparently been in use since the late 19<sup>th</sup> century. Similar to their Indonesian counterparts, these rubber agroforests do not result from the local inhabitants' desire to create species-rich, forest-like systems, but rather of extensive management or even periodic abandonment. Rubber seeds are sown into slash-and-burn plots. Once the rubber trees are big enough to be tapped, only narrow trails are kept open among the trees, thus allowing the regeneration of secondary forest over much of the planted area. The local people believe that the secondary forest vegetation does not reduce the productivity of mature rubber trees, although they are aware that it slows the growth of immature trees and thus delays tapping. The resulting structural diversity, together with a mix of spontaneous and planted fruit species as food sources, creates habitat for various wildlife species, as confirmed by local hunters. However, in contrast to the Sumatran rubber agroforests, which have been intensively studied, very little quantitative information about the floral and faunal diversity of these traditional Amazonian rubber agroforests is available. In a rapid survey, up to 27 tree species, including several primary forest species, were found in 400 m<sup>2</sup> sample plots, indicating that tree diversity can also be relatively high in these traditional Amazonian systems (Schroth et al., 2004b).

#### Traditional Shifting Cultivation Systems

Although slash-and-burn agriculture is often portrayed as inimical to biodiversity conservation, traditional shifting cultivation systems throughout the tropical world have been shown to provide habitat to many species of plants and animals provided that fallow periods are long enough (Finegan & Nasi, 2004). However, they need to be clearly distinguished in this regard from frontier development practices involving slash-and-burn methods that occur in many places as a consequence of population growth, government relocation programs, and broader land use transformations, and that may result in biologically impoverished landscapes. Traditional shifting cultivation landscapes are characterized by a mosaic of vegetation types including crop fields, different fallow stages, agroforests and forests (Finegan & Nasi, 2004). The rubber agroforests described above are derived from traditional slash-and-burn systems through the integration of rubber trees into the fallow phase and, therefore, occur within such mosaics of vegetation types both in Indonesia and in the Amazon (Dove, 1993; Schroth et al., 2003).

#### AGROFORESTS ARE NOT ENOUGH – THE IMPORTANCE OF FOREST FOR BIODIVERSITY CONSERVATION IN PRODUCTION LANDSCAPES

Forests are needed in production landscapes for many reasons besides biodiversity conservation, as discussed at the beginning of this paper. Forest services range from productive functions through ecosystem services to esthetic and spiritual values. While structurally complex agroforests can substitute for natural forests in many of these roles, this is not always the case. For example, the medicinal copaíba oleoresin can be extracted from planted *Copaifera* spp. trees only after many years (Plowden, 2003) and is therefore usually collected in natural forest. Traditional agroforestry systems can also only complement, but not fully replace natural forest habitat in the conservation of wild biodiversity. There are at least three reasons for this.

- 1) *Differences in species composition.* Although certain agroforestry systems, including those described above, can offer favorable habitat for many species, others depend on primary forest habitat. As mentioned before, certain species and guilds are typically underrepresented or missing from agroforestry habitat, even if its richness and diversity values are comparable or even higher than those found in natural forest in the same region. For example, because of the more dis-

turbed conditions in the understory of agroforestry systems, flora and fauna species that depend on understory habitat, such as tree regeneration (Rolim & Chiarello, 2004), understory ferns (Beukema & van Noordwijk, 2004) and certain species of birds (Thiollay, 1995; Tejeda-Cruz & Sutherland, 2004) and insects (Harvey et al., 2006) are often missing or underrepresented. The same is true for many species of mammals (Harvey et al., 2006), including species that are not tolerated in land use systems either because they damage crops or are dangerous to humans (Nyhus & Tilson, 2004; Naughton-Treves & Salafsky, 2004).

- 2) *Need for source habitat.* The level of species diversity in agroforestry systems may depend on the existence of nearby primary habitat, in ways that are not always obvious. In the aforementioned study comparing the diversity of bird and bat species in cabruças in two southern Bahia landscapes with different availability of primary forest habitat, the cabruças in the forest-dominated landscape had significantly more bird species than the cabruças in the landscape with less than 5% natural forest habitat. This suggests that primary forest may be necessary as source habitat for many bird species occurring in the cabruças (Faria et al., 2006). Absence of nearby forest habitat could also explain why, despite relatively diversified, planted shade, few resident forest bird species (as opposed to many migrant forest species) were found in cocoa plantations in Tabasco, Mexico (Greenberg et al., 2000). Other authors have shown that the number of forest bird species in shade coffee plantations decreased with increasing distance from natural forest (see Tejeda-Cruz & Sutherland, 2004). Such interactions between forest and agroforestry habitat are poorly understood but suggest that a minimum amount of natural forest cover is necessary to guarantee the persistence of certain species in landscapes. Furthermore, certain spatial arrangements of forest and agroforest habitat may be more efficient than others for the conservation of such forest-dependent species. These are questions in need of research.
- 3) *Traditional agroforestry practices under threat.* Even for those species that tolerate agroforest conditions, relying on agroforests alone, as a safeguard against extinction would be a very risky strategy over the long term. Many biodiversity-friendly traditional agroforestry practices are under threat as economic pressures oblige land users to intensify their practices. These pressures may lead to outright land use change, as when the opening of a new road in the Boca del Toro region in Panama increased the profitability of cattle production and led to the conversion of shaded cocoa farms into pasture, with negative consequences not only for terrestrial biodiversity but also for marine ecosystems because of increased sedimentation of nearby coral reefs (van Bael et al., in press). In other cases, economic pressures may lead to changes in management practices, such as the adoption of rubber tree shade in cocoa plantations in Bahia. Once such changes have taken place they are slow and difficult to reverse because of the long time that large trees require to regrow, and also because of the specific socio-economic conditions under which these extensive management practices often evolved.

All three factors underline, on the one hand, the need to prioritize the conservation of sufficient areas of primary habitat in production landscapes and, on the other hand, the need to conserve traditional, biodiversity friendly land use practices where these still exist. This brings us back to the question of how agroforestry practices can contribute to the conservation of forest and its biodiversity (off-site effects), in addition to their contribution to biodiversity conservation in managed areas (on-site effects).

### HOW CAN AGROFORESTRY CONTRIBUTE TO FOREST CONSERVATION?

Although natural forests are important to local and global societies for many reasons, including those listed above, forest conversion for agriculture and other high-impact land uses is occurring in most tropical regions, including the Amazon (Andersen et al., 2002). Other forest regions such as the Atlantic Forest have already undergone extensive deforestation in previous centuries (Dean, 1995). It has often been suggested that profitable and sustainable agroforestry practices could contribute to forest conservation by reducing the need to clear new forest when existing agricultural land has been exhausted by unsustainable practices (see the review of this argument by Angelsen & Kaimowitz, 2004). Examples to support this argument are scarce. For example, the expansion of the cocoa frontier in the West African countries Ghana and Côte d'Ivoire over the last century was in part driven

by the degradation of old cocoa groves and the inability of their owners to invest in maintenance and replanting, forcing cocoa growers ever deeper into the forest. However, there was also a large influx of migrants into the forest zone in search for land to plant cocoa and other agricultural crops (Ruf & Schroth, 2004). More sustainable cocoa agroforestry practices would probably have reduced the pressure on the forest from the former, but not from the latter group, and it is thus unclear to what extent sustainable agroforestry practices, if not combined with direct forest protection measures, would have affected forest conversion rates.

Generally speaking, profitable and sustainable agroforestry practices may reduce the *need* to convert more forest for agriculture in order to achieve or maintain a certain living standard for a given population of land users, but not the *economic incentive* to do so, especially if migration increases the available labor force and economic needs of an increasing population (Angelsen & Kaimowitz, 2004). Favorable off-site effects of agroforestry on forest conservation will therefore often only be realized under certain conditions. These conditions may include, for example, market based incentives such as price premiums or other forms of environmental service payments to farmers who conserve forest on their land, or environmental legislation that regulates forest conversion on farmland. Where such mechanisms exist, sustainable and profitable agroforestry practices can reduce the opportunity cost of forest conservation, thus making it easier for land users to respond to incentives and comply with legal obligations.

In the Brazilian Amazon, legislation that protects forests on private land includes the obligation to maintain a “Legal Reserve” of forest cover on 80% of each land holding (20% in other parts of Brazil), and to maintain riparian zones, steep slopes and hilltops under natural forest cover as “Areas of Permanent Preservation”. Furthermore, several types of inhabited reserves have been created to protect both forests and the livelihoods of their traditional inhabitants on public lands, complementing the network of strict protected areas, where no economic uses other than tourism are permitted. These inhabited reserves include Extractive and Sustainable Development Reserves, National Forests (which are set aside for sustainable forest management, but which may include inhabited areas), and Indigenous Lands. Each of these public reserve types places land use restrictions on their legal inhabitants, excluding, for example, the large scale clearing of forest for pasture and mechanized agriculture, and thereby making certain agroforestry practices relevant options. As will be shown below, areas that are now within the Tapajós National Forest and the Tapajós-Arapicums Extractive Reserve in western Pará State have been used for agroforestry for many decades.

Profitable agroforestry practices that can be carried out (with the necessary permits based on management plans) within Legal Reserves or Areas of Permanent Preservation on private farmland reduce the opportunity cost to land users of maintaining such a large percentage of land under forest cover, in compliance with the environmental legislation. Similarly, agroforestry practices that are compatible with land use restrictions that apply within Extractive Reserves, Sustainable Development Reserves or National Forests may help improve the living conditions of reserve inhabitants while maintaining high levels of forest cover. They may thus make such land use restrictions more acceptable to the population and easier to enforce which, in turn, may also facilitate the creation of new reserves.

Identifying agroforestry practices that are compatible with the legally permissible land use options, developing (special) markets for their products and, where necessary, increasing their productivity and profitability are therefore key activities to support forest conservation in production landscapes. The following section presents some examples of where such traditional agroforestry practices were identified or where new practices are being developed jointly with local land users.

### **BIODIVERSITY FRIENDLY AGROFORESTRY PRACTICES THAT SUPPORT FOREST CONSERVATION POLICIES: SOME EXAMPLES FROM THE AMAZON**

#### *Agroforestry Management of Legal Reserves: the example of tucumã (Astrocaryum tucuma)*

Brazilian environmental legislation obliges land users in the Amazon to maintain 80% of their land under permanent forest cover<sup>1</sup>. Setting aside such a large percentage of land obviously has a high opportunity cost, and many land users do not respect this legislation or had already deforested a larger percentage of their land before it came into effect. Sustainable management of the Legal Re-

serve, based on a management plan, is permitted, however, and can help reduce this opportunity cost. While this management may involve the extraction of timber, the harvesting of non-timber forest products tends to have less impact on the forest (and so a sustainable management plan based on non-timber products is easier to develop), and is also more compatible with the technical capacity of small farmers. The profitability of non-timber forest products will depend, among other things, on the density and productivity of the target species in the forest in question, on the costs for extraction and transportation, and on the market price for such product.

Tucumã is a palm species that attains heights of up to 20 m and can occur at densities of 50 or more mature individuals per hectare in disturbed areas in the central Amazon. Seed dispersal by rodents and germination by fire help to explain the high densities at which this weedy species occurs in slash-and-burn landscapes and pasture areas, whereas its density in primary forest is very low. In the city of Manaus and nearby towns, demand is generally high for tucumã fruit pulp, which is commonly eaten on sandwiches and manioc pancakes (“tapiocas”) (Kahn & Moussa, 1999).

Where land holdings in this region are situated in areas of secondary forest, they are likely to be rich in tucumã palms, unless these palms have been suppressed under previous management systems. The collection and commercialization of their fruits could thus be a profitable activity in Legal Reserves, complementing agriculture on cleared farmland where tucumã palms may also be present. In a 24-month study in the municipality of Rio Preto da Eva, near Manaus, a total of 3.9 t of tucumã fruits of commercial quality were harvested from a 9 hectare mosaic of homegardens, fields, fallows and secondary forest, yielding 1027 kg of pulp with an approximate value of R\$ 20,540, or about US\$ 7,200 (Schroth et al., 2004a). Only part of this production was obtained from palms in fallows and secondary forests that would qualify as a Legal Reserve if placed under permanent protection, but the values are nevertheless illustrative of the commercial potential of the species.

It is important to note that the commercial value of the palm fruits in itself would not provide a disincentive to the conversion of secondary forests into agricultural land. In fact, the palms can easily be (and are often) spared when clearing secondary forest and fallow for agriculture. They are moderately tolerant to fire and so also do not prevent the burning of a cleared plot. However, where the conservation of (secondary) forest cover is compulsory, as in a Legal Reserve, the sustainable harvest and commercialization of tucumã fruits under a sustainable management plan can be a way to reduce the cost of compliance with this legislation.

The principles of a management plan for tucumã palms were outlined based on the afore-mentioned research in a slash-and-burn landscape in Rio Preto da Eva (Schroth et al., 2004a). Besides regular monitoring of the palms for ripe fruits and complete harvesting of all bunches, facilitated by some clearing around the stems, this plan also involved rigorous quality control of the fruits and elimination of palms that produced fruits of inferior, non-commercial quality. Application of these management practices led to a rapid increase in fruit harvest from the area due to lower losses, improved quality of the fruits sold (variable fruit quality is a cause of price differentiation) and, over time, to a genetic improvement of the palm population through an “in situ domestication” process. This low cost domestication method differs fundamentally from traditional approaches to genetic improvement of tree crops that establish germplasm collections and produce superior genotypes through a lengthy and expensive breeding process.

The dissemination of these research results on a larger scale in the region of Manaus, which still needs to happen, could involve the development of a set of criteria for environmentally friendly production of high quality tucumã fruits or pulp (these would include the demarcation of the Legal Reserve), recognition of the criteria by the environmental authorities, certification of farms that apply these criteria, and development of a trademark for high quality fruits or pulp from environmentally friendly production systems for sale in supermarkets or other high-level outlets in Manaus and perhaps elsewhere.

#### Traditional Agroforestry Management of Riparian Buffer Zones in “Areas of Permanent Preservation”

Because of the high value of riparian forests for terrestrial and aquatic biodiversity and for protection of watercourses from siltation, Brazilian environmental legislation prohibits their clearing and

includes them in the “Areas of Permanent Preservation”. This means that riparian areas must remain under forest cover on every property. In practice, however, riparian zones are often cleared because they are valuable for agriculture, pasture, housing, and other uses.

Traditional inhabitants of the Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve in the lower Tapajós region have developed a unique agroforestry approach to managing riparian forests. Instead of clearing them for agriculture, they underplanted them with açai palms (*Euterpe oleracea*) and maintained other useful palm species, such as bacaba (*Oenocarpus distychnum*; Figure 1). From the fruits of both palm species a thick, nutritious juice is prepared. Açai fruits are also traded within and among the communities. These fruit-rich and well-watered palm agroforests provide valuable habitat for wildlife, as confirmed by hunters.

This agroforestry-based management of the riparian forests evolved several decades ago, long before the Extractive Reserve was created in 1998, and was probably not in response to any legal requirements. According to the legislation, harvesting from Areas of Permanent Preservation requires permission and should only occur if there is a specific societal interest in doing so. From a conservation standpoint, these riparian agroforests are clearly preferable to their conversion into agricultural fields, and the use of the palm fruits for subsistence and for local trade helps to reduce the cost of maintaining or restoring forest cover in these areas. Recognition of this traditional practice as an appropriate form of management and its promotion in the region, both within and outside the reserve, could be a way to bring deforested riparian zones back under forest cover.



Figure 1 - Riparian forest underplanted with açai palms (*Euterpe oleracea*) in the Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve, western Pará State, Brazilian Amazon.

## Agroforestry Practices for Inhabited Areas in the Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve, western Pará State

Extractive Reserves are one of several types of inhabited protected areas in the Brazilian Amazon. They emerged as an approach to conserving both the forest and the lifestyles of its traditional inhabitants from the conflict between cattle ranchers and rubber tappers in the western Amazonian states of Acre and Rondônia in the 1970s and 1980s, and thus have both a conservation and a human welfare objective. The first Extractive Reserve, Alto Juruá in Acre, was created in 1990, followed by three other Extractive Reserves in the same year (Cardosa, 2002). The Extractive Reserve system is still expanding; in November 2004 over 2 million hectares of Extractive Reserves were declared in Pará State.

The Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve was created in 1998 on the western side of the lower Tapajós River, facing the Tapajós National Forest (which was created in 1974) on the eastern side, after a history of conflict between local populations and logging companies. It occupies an area of about 650,000 hectares and is home to 15-20,000 inhabitants distributed in about 70 communities, most of them located on the banks of the two major rivers after which the reserve was named.



Figure 2 - Rubber agroforest in the Tapajós National Forest, Brazilian Amazon.

The livelihoods of the inhabitants of the Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve are mainly based not on extractivism but on traditional forms of smallholder agriculture, agroforestry and fishing. Some inhabitants also have a few cattle, pigs or chickens. During the Amazonian rubber

boom in the late 19<sup>th</sup> and early 20<sup>th</sup> century, before Henry Ford created the rubber plantations of Fordlândia and Belterra, the inhabitants of the Tapajós region developed the practice of growing rubber trees in the planted agroforests that are still widespread on both river banks (Figure 2; Schroth et al., 2003). As described above, these extensively managed, secondary forest-like plantations developed out of slash-and-burn fields where rubber seeds are planted between food crops and therefore have densities of several hundred rubber trees per hectare (Schroth et al., 2004c). In comparison, rubber extractivism in natural forest in other parts of the Amazon has to cope with rubber tree densities of only 1-3 trees per hectare. Growing rubber trees in agroforests thus allows concentration of the tapping effort in a much smaller area. This partially explains why the inhabitants of the Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve live in a strip of land along the two rivers, where agroforests are interspersed with slash-and-burn fields, fallows and secondary forests (Figure 3). Many reserve inhabitants spend their weekends in the communities on the riverbanks and the weekdays in *colônias* (colonies) a few kilometers inland where they have simple houses or shelters near their fields and groves. In contrast, in an area of rubber extractivism in natural forest, as in the Alto Juruá Extractive Reserve in Acre, the rubber tapper families are more dispersed over a large forest area (da Cunha & de Almeida, 2002).



Figure 3 - Satellite image from 2003 of the lower Tapajós River flowing northward into the Amazon (see the different water colour in the upper right corner, just above the city of Santarém). The 650,000 hectare Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve on the western side of the river is delimited by the Tapajós, Arapiuns and Inambú Rivers in the east, north and west, respectively (the southern limit of the reserve is not visible on the image). The “agroforest zone” along the two main rivers can be distinguished from the lightly used “forest zone” further inland. East of the Tapajós, the northern end of the Tapajós National Forest, which is also inhabited along the river, can be distinguished from the surrounding agricultural landscape, where land clearing has recently accelerated due to the expansion of mechanized soybean agriculture.

Despite their long history in the Tapajós region, the rubber agroforests did not expand far inland from the rivers, probably because of low population pressure and the dependency of the people on the rivers for transport, fish and water during the long dry season in this part of the Amazon. Furthermore, especially on the eastern side of the Tapajós, a concentration of relatively fertile black

earth soils on the edge of the plateau a few kilometers from the river probably also contributed to this distribution pattern (Schroth et al., 2003). The development of rubber agroforestry on the banks of the Tapajós river some 100 years ago thus provided a basis for the presently observed subdivision of the reserve area into a more intensively used “agroforest zone” along the rivers and a more lightly used “forest zone” further inland (Figure 3). This “zoning” does not eliminate interactions between the people and their forest, although for most reserve inhabitants these are certainly less intense and less frequent than in truly extractivist economies.

Outside of the protected areas, rapid forest clearing for mechanized soybean agriculture and cattle ranching are now taking place, especially on the plateau south of Santarém (Figure 3). Soybean and cattle production have also replaced some old rubber and Brazil nut agroforest areas on the plateau (G. Schroth, pers. observation). These traditional agroforestry practices can contribute to forest conservation in the face of these land use changes by maintaining the river banks and slopes both in and outside the reserves under (agro)forest cover and providing a land use option that is compatible with the objectives of the two forest reserves and a source of revenue for local farmers. However, a precondition for playing these roles is that rubber agroforestry be profitable enough to compete with other land use options available to the reserve inhabitants and other small farmers in the surrounding areas.

Rubber tapping was found to still have a high cultural value for the inhabitants of the Tapajós National Forest (Schroth et al., 2003); the same is true for the Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve. However, the importance of rubber agroforestry as a source of income has declined during the last two decades due to low rubber prices and is only now recovering with higher, subsidized prices and market access through a rubber processing factory in Santarém. The commercial production of roasted cassava flour (*farinha*) for the market of Santarém has become the predominant agricultural activity in the communities, including those in the Extractive Reserve. While the production of cassava and other food crops is the principal basis of local livelihoods, the Extractive Reserve administration considers the annual clearing and burning of large areas of fallow and secondary forest vegetation for the commercial production of *farinha* to be undesirable. Moreover, according to the reserve inhabitants, growing cassava and making *farinha* is hard and unpleasant work compared to rubber tapping in shaded groves. However, local people argue that *farinha* production is independent of the weather while rubber tapping is only possible if it is neither raining nor too dry which, together with the low productivity of the trees, limits the income that can be obtained from this activity.

Given that Extractive Reserve regulations limit immigration, an increase in the time spent on rubber tapping or other agroforestry activities would likely translate into a reduction in commercial slash-and-burn agriculture. The first two authors therefore initiated a project to increase the productivity and profitability of the agroforests while retaining their low-input character, in a way that fits well with local livelihoods strategies and maintains the secondary forest character of the agroforests (Schroth et al., 2004c). Another project had previously attempted to introduce grafted rubber clones into the local land use systems in the Extractive Reserve in order to increase the productivity of the trees, but it had failed due to very high seedling mortality. Grafted rubber trees require higher investments for planting and more intensive management, including regular weeding, than the local seed grown trees. They are also more susceptible to the endemic fungal disease, South American Leaf Blight (*Microcyclus ulei*), which had devastated the Ford plantations. We therefore only consider them an option for small areas close to the communities or colonies that can be intensively managed and supervised.

#### Improving the Productivity of Traditional Rubber Agroforests

Research on local knowledge and practices and a series of on-farm experiments in rubber agroforests were carried out in the Tapajós National Forest and its northern vicinity (Schroth *et al.*, 2003; Schroth *et al.*, 2004c), the results of which were found to also be broadly valid in the Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve. Based on the results, an “improvement package” was developed that combined local and scientific knowledge and that could be implemented and scaled up by the reserve inhabitants with little or no external assistance and at very little cost. The package involved the following elements:

- For immediate benefit, a more effective tapping technique was recommended following on-farm tests with various alternative techniques. The recommended method, which was first seen being used by a tapper in one of the villages, consists of the application of two cuts moving up and down on the same side of a tree, rather than two to three cuts on opposite sides as is common practice in the region. It avoids the partial girdling of the rubber trees and increases production, especially towards the end of the tapping season, without a significant increase in effort (Figure 4). Of the two tapping knives that are used in the region, only the Amazonian knife was recommended because it maintains the trees in better health than the Asian (“jebong”) knife, and it was also found to increase production per tree (Schroth et al., 2004c).

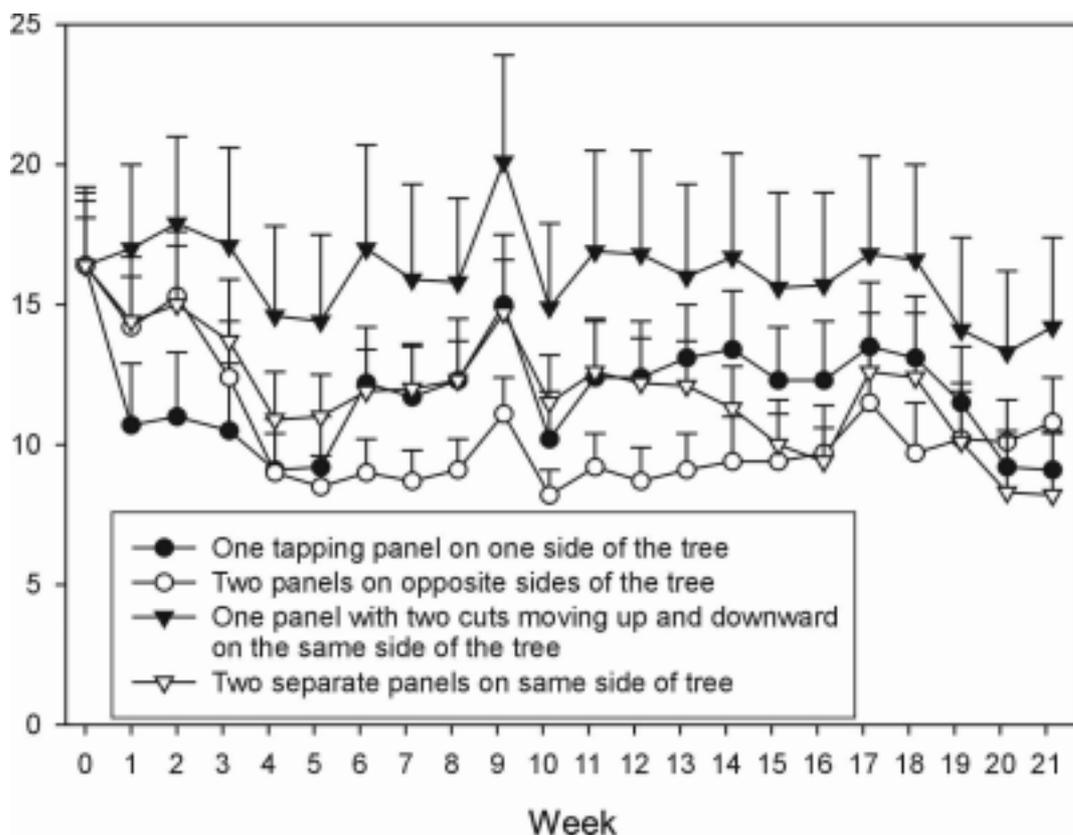


Figure 4 - Means and standard errors of dry rubber production obtained with four different tapping methods in an approximately 30 year-old rubber agroforest in the lower Tapajós region, Brazilian Amazon. The first method leads to “under-tapping”; the second (local practice) to partial girdling of the trees and low production; the third is the recommended method; the fourth method is complicated to apply and often leads to loss of latex. Experimental methods were similar to those in Schroth et al. (2004).

- For long-term improvement in grove productivity, the use of seeds from highly productive trees to establish a new grove was recommended, followed by elimination of seedlings with low production potential over the first two years. This recommendation was based on the finding that rubber agroforests contained a few highly productive trees among many trees of low (or no) productivity (Schroth et al., 2004c). The reserve inhabitants were trained to classify seedlings using the Testatex knife – a common tool in rubber breeding for evaluating latex exudation from one to two year old seedlings – and to retain only the most promising seedlings (Figure 5). This method was easily integrated with the traditional practice of sowing two or more seeds together to insure against germination failure or seed predation. If more than one seed germinated, people had no easy way to know which one to retain and so often maintained excessively dense rubber stands. With less intraspecific competition after eliminating low-potential seedlings, the remaining rubber trees would also grow faster and so reach the minimum

tapping size earlier. Furthermore, the selective thinning left more space for other useful tree species and spontaneous tree regrowth. All this could be achieved with very little additional effort.

- Tolerating the regeneration of valuable forest trees in the rubber agroforests is a traditional practice. However, reserve inhabitants were often unsure if this practice was appropriate or had a negative effect on the rubber trees. Based on research results showing that many rubber trees do not respond to more crown space with higher yields (Schroth et al., 2004c), it was recommended that valuable trees be maintained as an additional source of income. They were also shown how to prune resprouts with multiple stems back to a single stem and eliminate low branches to increase the growth and value of the companion trees.



**Figure 5** - An inhabitant of the Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve, Brazilian Amazon, uses the Testatex knife to identify and eliminate rubber seedlings with low productive potential.

Short training courses for this “improvement package” were given in 22 communities of the Extractive Reserve during 2004. Although the impact of the courses could not be evaluated, the interaction with the communities was an important basis for other income-generating projects. Especially the fact that the authors knew the local rubber agroforestry practices and had incorporated them into their recommendations made a positive impression on the reserve inhabitants and helped create trust and confidence with the communities.

#### Enrichment of Secondary Forests with Cocoa Trees to Create Cabruças

While the improvement of the productivity of rubber agroforests was based on the study of traditional land use practices, the initiative to promote the enrichment of secondary forests with cocoa trees, using the cabruca method, is a new practice for the majority of the reserve inhabitants. This initiative is based on the observation that small groves of cocoa trees are found in some communities in the reserve (both the cocoa and the rubber tree are native to the region), but there has seemingly been no commercial production of cocoa seeds, suggesting an unrealized diversification opportunity. Moreover, in the proximity of the communities in the “agroforest zone” along the river, fallow areas are abundant as a result of the predominance of slash-and-burn agriculture. These are eventually slashed and burned again before the valuable tree species that frequently occur in these

areas, such as ipê (*Tabebuia serratifolia*) and morototo (*Schefflera morototoni*), reach a commercial size. Underplanting such fallows with cocoa trees, which have an economic life cycle of 20 or more years, could be a way of extending the rotation length of these fallows, thereby introducing a form of secondary forest management. If cocoa cultivation is profitable enough, it could absorb labor and reduce the effort going into commercial cassava production. The expectation is that the area under slash-and-burn agriculture in the reserve would eventually decrease, while the area under the more biodiversity friendly cabucas would increase.

However, in places such as Bahia and West Africa, cocoa farms have shown a strong tendency to expand into forest, as mentioned before (Ruf & Schroth, 2004). It was therefore important to consider the risk that the introduction of commercial cocoa growing in the reserve would lead to an expansion of the anthropogenized zone and the conversion of primary forest. This risk was considered minimal for several reasons: immigration into the reserve is legally restricted and, therefore, there is no labor force for such an expansion of cocoa farming, unlike the afore-mentioned cases; the settlement pattern does not favor the expansion of agriculture into the forest at greater distance from the big rivers; the availability of areas with adequate soil for cocoa production in the reserve is limited; and cocoa planting in primary forest is actively discouraged in this program.

The cocoa planting initiative is currently being implemented in cooperation with the Brazilian cocoa development agency, CEPLAC<sup>2</sup>, in Santarém. Seeds of witches' broom-tolerant cocoa varieties were provided to a community nursery in the reserve during the 2004 and 2005 dry seasons, where seedlings were produced by the community and sold at a small price to reserve inhabitants during the following rainy season (the seedlings could also be paid for with work in the nursery). Inhabitants who wanted to plant cocoa were advised to select fallow or secondary forest areas on relatively clay-rich soils, including black earth soils. All areas were visited before planting and site preparation involved thinning but no clearing of the secondary vegetation or burning. During the two years since it began, 41 inhabitants in seven communities have joined the program and planted about 7,500 cocoa seedlings.

#### Reforestation of Reserve Land under the "Forest Replacement" Legislation

A further initiative to diversify land use systems in the Extractive Reserve through tree-based practices evolved out of discussions in late 2003 with the environmental agency IBAMA<sup>3</sup> in Santarém, which was preparing itself to implement the "forest replacement" (*reposição florestal*) legislation. This legislation is intended to reduce pressure on natural forests by obliging wood consuming companies to replant annually a certain number of trees (currently eight) for every cubic meter of wood that they consume in that year. These reforestation programs can also be carried out by a third party, which can then sell the reforestation credits to companies.

The Extractive Reserve has areas of deforested land, especially in the "agroforest zone" along the rivers (Figure 3), including some that were impacted by logging before the reserve was created. IBAMA therefore proposed that the authors work with community associations in the reserve to enable them to provide reforestation services under this legislation. This would allow reserve inhabitants to reforest reserve land and sell the reforestation credits to wood consuming companies in the region, while retaining the property and use rights over the planted trees. The annual sale of reforestation credits could provide a sustainable source of funding for agroforestry and reforestation programs, from which the reserve inhabitants could benefit by selling first the credits, then non-timber products, and finally the timber.

Responding to an enquiry drafted by the authors, IBAMA in Brasília decided in early 2004 that reforestation under this legislation can be carried out in Extractive Reserves (which are federal land), provided that they do not violate the reserve management plan. The authors then worked with the inter-community association APRUSPEBRAS<sup>4</sup>, which includes inhabitants of six communities in the reserve, to obtain its recognition as a provider of reforestation services with IBAMA. This involved training and improvements in an existing tree nursery in one of the communities and its recognition by the Ministry of Agriculture of Pará State. One of the authors served as the legally required technical advisor for both the nursery and the reforestation project.

In a pilot activity intended to test the feasibility of reforestation under this legislation, participants were free to choose the tree species, provided they produced timber and were native to the region.

They usually chose species with which they were familiar, such as ipê (*Tabebuia serratifolia*), maripá (*Simarouba amara*), cumarú (*Dipteryx odorata*) and andiroba (*Carapa guianensis*) – the latter two species also produce non-timber products – as well as mahogany (*Swietenia macrophylla*). Planting in crop fields was recommended because it imitates the traditional planting of rubber trees and causes relatively little additional work. Tree planting in crop fields also enriches the subsequent fallows. At the end of the trees' rotation period, the timber could be sold, the area could be cropped again and a new reforestation cycle could be initiated.

As with the cocoa project, it was important to consider the possibility under this reforestation initiative that the occupation of areas previously used for shifting cultivation by long-living trees might lead to additional clearing of primary or old secondary forest. Therefore, only previously deforested areas (verified by site visits) were accepted for the project. In the future, the effect of the project on forest clearing will need to be monitored and reserve inhabitants who are expanding their farmland into primary or old secondary forest will be excluded from new reforestation projects so that the project does not provide incentives to convert forest.

IBAMA has meanwhile recognized the association as a provider of reforestation services under the forest replacement legislation. Over the past two years, 20 members of the association from 5 communities planted about 5,000 tree seedlings, produced in the community nursery, in their slash-and-burn fields as part of the pilot project. However, the credits have not yet been sold because there is not enough pressure from IBAMA on companies to comply with the forest replacement legislation. Once the legislation is effectively enforced in the region, the experiences from this pilot project will be valuable for scaling up both within this reserve and to other reserves in the Amazon.

#### Supporting Economic Alternatives to High Impact Land Uses in the Kayapó Reserve, Northern Mato Grosso and Southern Pará State

Since the 1960s, government subsidies and infrastructure development aimed at promoting the occupation of the Brazilian Amazon drove the expansion of logging, cattle ranching and agriculture along the newly created highways and roads in northern Mato Grosso and southern Pará States. This led to the deforestation of most of the region between the Xingu and Araguaia river basins, contributing to the pattern known as the “arc of deforestation”. The region was not, however, an empty forest awaiting the arrival of the colonists but was inhabited by many different Amerindian tribes. These Indians have since struggled for their physical and cultural survival, but have also played an important role in environmental conservation (Nepstad et al., 2006). The case of the Kayapó, a *jê* speaking tribe, is a good example of this role. Through their active defense against invaders and their struggle for legal recognition of their traditional territories, they succeeded in protecting more than 11 million hectares of the highly threatened forests and cerrados of southern Pará and northern Mato Grosso, while most of the areas outside their reserves were converted into pastures (Figure 6).

However, in the early 1990s, when mahogany (*Swietenia macrophylla*) stocks outside indigenous reserves had been largely depleted, the pressure on the Kayapó territories for the exploitation of this extremely valuable timber species increased. Loggers persuaded many Kayapó communities to illegally sell the mahogany on their territories. Finally, in 2002, a combination of declining stocks of mahogany trees and increasing control by the Brazilian government brought logging in the Kayapó reserve to an end. Although the mahogany population had been severely impacted, the overall structure and composition of the forest in the reserve remained largely intact because mahogany had been the only commercially exploited species (Schwartzman & Zimmerman, 2005; Zimmerman et al., 2001). On the other hand, the commercialization of this timber species had profound impacts on the social and political organization of the Kayapó by stimulating conflicts among communities over mahogany stocks.

In the middle of this mahogany boom, Conservation International of Brazil (CI-Brazil) started a partnership with the Kayapó community of A'Ukre. In 1992, the 10,000-hectare Pinkaiti Reserve, where the community decided not to exploit any natural resources, was created within their territory with support from the David Suzuki Foundation. The reserve was designed to provide A'Ukre with a sustainable source of income from fees paid by Brazilian and foreign institutions to conduct ecological research there and from the employment they generated by hiring local field assistants. To-

day, the Pinkaiti Reserve is one of the last areas in the region where the natural mahogany population has not been exploited (Zimmerman et al., 2001).

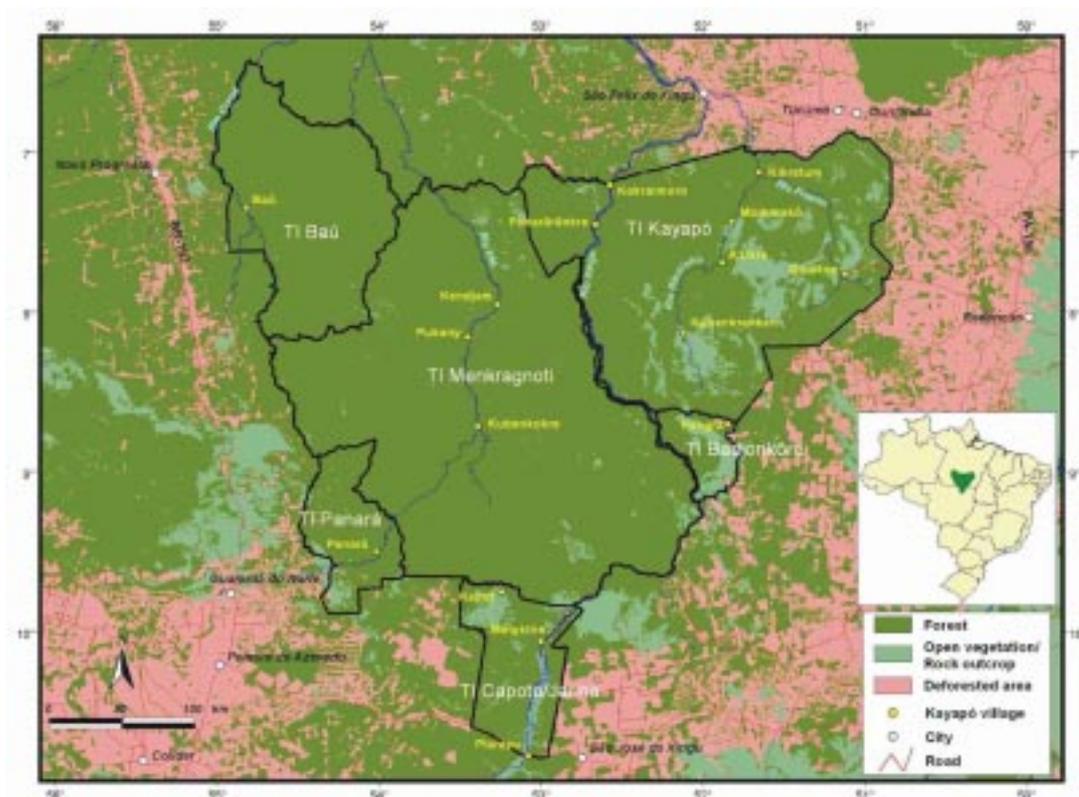


Figure 6 - The five indigenous territories inhabited by Kayapó and Panará indigenous groups in southern Pará and northern Mato Grosso states, Brazilian Amazon, have resisted the deforestation for cattle pasture and agriculture in the surrounding unprotected land.

This successful experience prompted CI-Brazil to expand its partnership to other Kayapó communities. At a meeting with Kayapó leaders in A'Ukre in 2000, the two most common requests by the Kayapó were for support for territorial surveillance and for the development of sustainable economic alternatives to logging and gold mining. Through their experience with mahogany logging, the Kayapó had become aware of the finite nature of their forest resources and the threat that their unsustainable exploitation posed to future generations. In a March 2006 meeting of 200 Kayapó representatives from 19 communities in the village of Piraçu, the leaders declared the development of sustainable economic alternatives to be their common goal. The Brazilian government, through FUNAI, and several non-governmental organizations (NGOs) are now supporting Kayapó communities in the development of economic activities, with a focus on Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) harvesting, processing and commercialization. The community of Baú, with support from Instituto Raoni and Friends of the Earth – Brazil, recently completed the Forest Stewardship Council process of certifying 1.5 million hectares of forest for Brazil nut oil production, the largest area certified in this category in the world. Other income generating activities under investigation in different villages in the reserve include the production of different oils and resins, dehydrated fruit pulp, handicrafts and honey. CI-Brazil joined these activities in 2005 with a view to strengthening the communities' ability to resist a predicted future increase in pressure from logging companies to exploit a wider range of timber species on Kayapó territory (Schwartzman & Zimmerman, 2005).

Presently, most of the Kayapó villages have only one (or no) income generation initiative under development. It is, however, recognized that the resilience of their economies, and thus their ability to resist logging company pressure to permit illegal logging on their territory, will benefit from a diversification of their income sources. Therefore, CI-Brazil began recently to support the planting

of timber trees and tree crops in Kayapó agroforestry systems. This builds on a Kayapó tradition of cultivating homegardens with different fruit tree species around their houses and also responds to the increasing size and permanence of the Kayapó settlements and the associated need for more subsistence and commercial crop production in the proximity of the settlements. As a first step in this initiative, the villages of A'Ukre and Moikarakô produced mahogany and cocoa seedlings and interested community members then planted them either in their homegardens or in crop fields together with banana, cassava, papaya, maize and other crops. Building on these early experiences, it is expected that this initiative will be expanded in the future and include a greater variety of commercial and subsistence species, thereby also reducing the dependence of the communities on food items obtained from outside the reserve.

Ensuring the long-term sustainability of resource use in the Kayapó territories represents an enormous challenge for the communities in the reserve and for the government and NGOs that support them. Although external pressures seem to pose the most immediate threats to this sustainability, increasing internal pressures on natural resources must not be overlooked and require appropriate adaptations in management strategies. The increasing permanence of settlements, population growth (Azevedo, 2000) and greater exposure to the market economy (Morsello, 2002) are some of the forces that will affect the future manner and intensity of resource use in the reserve.

### CONCLUSIONS

It is widely recognized that agroforestry practices can provide a basis for subsistence and a source of income to local people and therefore constitute a tool in the fight against poverty. Agroforestry systems also complement the role of natural forests in the provision of forest products and environmental services. One such service is the conservation of biodiversity in production landscapes, where agroforestry areas often occur in mosaics with forest remnants and deforested areas.

This paper discussed the on- and off-site effects of agroforestry practices on forest and biodiversity conservation. The on-site benefits of certain traditional agroforestry practices, such as extensively managed, shaded tree crops, for the conservation of tree cover and biodiversity in production landscapes have been relatively well documented. However, while the species richness of such traditional systems is often impressive, many forest species do not support the conditions in managed agroforestry systems; even species that do occur in agroforestry areas may still depend on the proximity of natural forest. Furthermore, extensively managed traditional agroforests are often in danger of losing their biodiversity through intensification or outright conversion, and relying on these land use systems alone for the conservation of tree cover and biodiversity in production landscapes would thus be very risky.

This raises the question of how agroforestry can contribute to the conservation of natural forest areas in production landscapes. The off-site effects of agroforestry on forest and biodiversity conservation are more difficult to pin down than the on-site benefits. The profitability and sustainability of agroforestry practices may reduce the *need* but not the *incentive* to convert forest for agriculture and cattle ranching, and traditional practices may not have a strong influence on land use dynamics under conditions of active immigration and land use intensification. Accordingly, rather than viewing sustainable agroforestry practices as a tool to *directly* reduce pressure on forests, we have considered here their potential to *indirectly* contribute to forest conservation by facilitating compliance with environmental legislation. Sustainable agroforestry practices can contribute to the effective implementation of legislation intended to protect forests by (i) reducing the opportunity cost of complying with legislation that protects forest on farmland, and (ii) offering land use options that are compatible with the objectives of inhabited forest reserves. If agroforestry practices make it more affordable for land users to set aside large parts of private farmland, then the enforcement of legislation that conserves forest on private land should become easier. Similarly, if agroforestry practices increase the ecological and economic viability of Extractive or Sustainable Development Reserves, then the creation and management of such reserves as a complement to fully protected areas should also become easier. The same may apply to Indigenous Lands whose integrity is threatened by the lack of sustainable sources of income; where agroforestry practices are compatible with the local context, they could increase

indigenous peoples' ability to resist pressures to allow unsustainable and illegal resource use activities within their territories.

In this sense, sustainable and profitable agroforestry options, based on traditional practices and modern science, may develop synergies with environmental legislation in the conservation of forest and biodiversity in inhabited forest landscapes. We recommend that:

- more agroforestry research be carried out to identify other types of synergism between agroforestry practices and forest conservation legislation as well as specific opportunities to implement them;
- governments create programs to promote agroforestry practices that facilitate the implementation of environmental legislation, such as those discussed in this paper, both on private land and in inhabited reserves;
- such government programs offer subsidies for agroforestry products from these conservation areas as compensation for frequently high transport costs and to reward inhabitants for maintaining the ecological integrity of such areas and the associated environmental services provided to the larger society.

### ACKNOWLEDGEMENTS

Partial funding of the work in the Tapajós-Arapiuns Extractive Reserve was provided by the Center for International Forestry Research (CIFOR); and for the Kayapó Project by the

United States Agency for International Development (USAID), the Gordon and Betty Moore Foundation, the Dare Family Foundation, and the Brazilian Indigenous Agency (FUNAI). Ruben Valbuena prepared figure 3, and Julie Bourns improved the readability of the paper.

### NOTES

- 1 Código Florestal (1965), partially modified through Medida Provisória 2.166 (2000).
- 2 Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira
- 3 Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- 4 Associação dos Produtores Rurais da Margem Esquerda do Tapajós
- 5 Fundação Nacional do Índio

### LITERATURE CITED

- ANDERSEN, L.E.; GRANGER, C.W.J.; REIS, E.J.; WEINHOLD, D. & Wunder, S. The Dynamics of Deforestation and Economic Growth in the Brazilian Amazon. Cambridge, Cambridge University Press, 2002. 259p.
- ANGELSEN, A. & KAIMOWITZ, D. Is agroforestry likely to reduce deforestation? In: SCHROTH, G.; FONSECA, G.A.B.; HARVEY, C.A.; GASCON, C.; VASCONCELOS, H.L. & IZAC, A. M.N. eds. Agroforestry and biodiversity conservation in tropical Landscapes. Washington, Island Press, 2004. p.87-106.
- AZEVEDO, M. Censos demográficos e "os índios": Dificuldades para reconhecer e contar. In: RICARDO, C.A. ed. Povos indígenas no Brasil, 1996-2000. São Paulo, Instituto Socioambiental, 2000. p.79-83.
- BEUKEMA, H. & van NOORDWIJK, M. Terrestrial pteridophytes as indicators of a forest-like environment in rubber production systems in the lowlands of Jambi, Sumatra. *Agric. Ecosys. Environ.* 104:63-73, 2004.
- BRUIJNZEEL, L.A. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agric. Ecosys. Environ.* 104:185-228, 2004.
- CARDOSA, C.A.S. Extractive Reserves in Brazilian Amazonia - Local Resource Management and the Global Political Economy. Aldershot, Ashgate, 2002.

- COHENCA, D. A expansão da fronteira agrícola e sua relação com o desmatamento detectado em imagens Landsat TM e ETM+ na região norte da BR-163, Pará entre os anos de 1999 e 2004. Santarém, IBAMA, [http://www.ibama.gov.br/flona\\_tapajos/index.php?id\\_menu=24&id\\_arq=27](http://www.ibama.gov.br/flona_tapajos/index.php?id_menu=24&id_arq=27), 2005.
- da CUNHA, M.C. & de ALMEIDA, M.B. Enciclopédia da Floresta - o Alto Juruá: Práticas e conhecimentos das populações. São Paulo, Editora Schwarcz, 2002.
- DEAN, W. With Broadax and Firebrand - The Destruction of the Brazilian Atlantic Forest. Berkeley, University of California Press, 1995.
- DOVE, M.R. Smallholder rubber and swidden agriculture in Borneo: A sustainable adaptation to the ecology and economy of the tropical forest. *Econ. Bot.*, 47:136-147, 1993.
- FARIA, D.; LAPS, R.R.; BAUMGARTEN, J. & CETRA, M. Bat and bird assemblages from forests and shade cacao plantations in two contrasting landscapes in the Atlantic Forest of southern Bahia, Brazil. *Biodiv. Conserv.*, 15:587-612, 2006.
- FINEGAN, B. & NASI, R. The biodiversity and conservation potential of shifting cultivation landscapes. In: SCHROTH, G.; FONSECA, G.A.B.; HARVEY, C.A.; GASCON, C.; VASCONCELOS, H.L. & IZAC, A. M.N. eds. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical Landscapes*. Washington, Island Press, 2004. p.153-197.
- FUJISAKA, S.; BELL, W.; THOMAS, N.; HURTADO, L. & CRAWFORD, E. Slash-and-burn agriculture, conversion to pasture, and deforestation in two Brazilian Amazon colonies. *Agric. Ecosys. Environ.*, 59:115-130, 1996.
- GREENBERG, R.; BICHIER, P. & ANGÓN, A.C. The conservation value for birds of cacao plantations with diverse planted shade in Tabasco, Mexico. *Animal Conservation*, 3:105-112, 2000.
- HARVEY, C.A.; GONZALEZ, J. & SOMARRIBA, E. Dung beetle and terrestrial mammal diversity in forests, indigenous agroforestry systems and plantain monocultures in Talamanca, Costa Rica. *Biodiv. Conserv.*, 15:555-585, 2006.
- JOHNS, N.D. Conservation in Brazil's chocolate forest: The unlikely persistence of the traditional cocoa agroecosystem. *Environ. Manage.*, 23:31-47, 1999.
- KAHN, F. & MOUSSA, F. Economic importance of *Astrocaryum aculeatum* (Palmae) in central Brazilian Amazonia. *Acta Bot. Venez.*, 22:237-245, 1999.
- MICHON, G. & de FORESTA, H. Agro-forests: incorporating a forest vision in agroforestry. In: BUCK, L.E.; LASSOIE, J.P. & FERNANDES, E.C.M. eds. *Agroforestry in sustainable agricultural systems*. Boca Raton, Lewis Publishers, 1999. p.381-406.
- MORSELLO, C. Market Integration and Sustainability in Amazonian Indigenous Livelihoods: The case of the Kayapó. Ph.D. Thesis. Norwich, University of East Anglia, 2002.
- NAUGHTON-TREVES, L. & SALAFSKY, N. Wildlife conservation in agroforestry buffer zones: Opportunities and conflict. In: SCHROTH, G.; FONSECA, G.A.B.; HARVEY, C.A.; GASCON, C.; VASCONCELOS, H.L. & IZAC, A. M.N. eds. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical Landscapes*. Washington, Island Press, 2004. p.319-345.
- NEPSTAD, D.C.; SCHWARTZMAN, S.; BAMBERGER, B.; SANTILLI, M.; RAY, D.; SCHLESINGER, P.; LEFEBVRE, P.; ALENCAR, A.; PRINZ, E.; FISKE, G. & ROLLA, A. Inhibition of Amazon deforestation and fire by parks and indigenous lands. *Cons. Biol.*, 20:65-73, 2006.
- NYHUS, P. & TILSON, R. Agroforestry, elephants, and tigers: Balancing conservation theory and practice in human-dominated landscapes of Southeast Asia. *Agric. Ecosys. Environ.* 104:87-97, 2004.
- PASQUIS, R. Agroforesterie et développement durable en Amazonie. *Bois Forêts Trop.* 258:19-36, 1998.
- PLOWDEN, C. Production ecology of copaíba (*Copaifera* spp.) oleoresin in the eastern Brazilian Amazon. *Econ. Bot.*, 57:491-501, 2003.
- RABOY, B.E.; CHRISTMAN, M.C. & DIETZ, J.M. The use of degraded and shade cocoa forests by endangered golden-headed lion tamarins *Leontopithecus chrysomelas*. *Oryx*, 38:75-83, 2004.

- RICKETTS, T.H.; DAILY, G.C.; EHRLICH, P.R. & MICHENER, C.G. Economic value of tropical forest to coffee production. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 101:12579-12582, 2004.
- ROLIM, S.G. & CHIARELLO, A.G. Slow death of Atlantic forest trees in cocoa agroforestry in south-eastern Brazil. *Biodiv. Conserv.* 13:2679-2694, 2004.
- RUF, F. & SCHROTH, G. Chocolate forests and monocultures - an historical review of cocoa growing and its conflicting role in tropical deforestation and forest conservation. In: SCHROTH, G.; FONSECA, G.A.B.; HARVEY, C.A.; GASCON, C.; VASCONCELOS, H.L. & IZAC, A. M.N. eds. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical Landscapes*. Washington, Island Press, 2004. p.107-134.
- SAMBUICHI, R.H.R. Fitossociologia e diversidade de espécies arbóreas em cabruca (Mata Atlântica raleada sobre plantação de cacau) na região sul da Bahia, Brasil. *Acta botanica brasileira*, 16:89-101, 2002.
- SCHROTH, G.; COUTINHO, P.; MORAES, V.H.F. & ALBERNAZ, A.K.M. Rubber agroforests at the Tapajós river, Brazilian Amazon - environmentally benign land use systems in an old forest frontier region. *Agric. Ecosys. Environ.*, 97:151-165, 2003.
- SCHROTH, G.; da MOTA, M.S.S., LOPES, R. & de FREITAS, A.F. Extractive use, management and *in-situ* domestication of a weedy palm, *Astrocaryum tucuma*, in the central Amazon. *For. Ecol. Manage.*, 202:161-179, 2004a.
- SCHROTH, G.; HARVEY, C.A. & VINCENT, G. Complex agroforests - their structure, diversity, and potential role in landscape conservation. In: SCHROTH, G.; FONSECA, G.A.B.; HARVEY, C.A.; GASCON, C.; VASCONCELOS, H.L. & IZAC, A. M.N. eds. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical Landscapes*. Washington, Island Press, 2004b. p.227-260.
- SCHROTH, G.; MORAES, V.H.F. & da MOTA, M.S.S. Increasing the profitability of traditional, planted rubber agroforests at the Tapajós river, Brazilian Amazon. *Agric. Ecosys. Environ.*, 102:319-339, 2004c.
- SCHWARTZMAN, S. & ZIMMERMAN, B. Conservation alliances with indigenous peoples of the Amazon. *Cons. Biol.* 19:721-727, 2005.
- SHANLEY, P. & LUZ, L. The impacts of forest degradation on medicinal plant use and implications for health care in Eastern Amazonia. *BioScience*, 53:573-584, 2003.
- SMITH, N.J.H.; FALES, I.C.; ALVIM, P.T. & Serrão, E.A.S. Agroforestry trajectories among smallholders in the Brazilian Amazon: Innovation and resiliency in pioneer and older settled areas. *Ecol. Econ.*, 18:15-27, 1996.
- TEJEDA-CRUZ, C. & SUTHERLAND, W.J. Bird responses to shade coffee production. *Animal Conservation*, 7:169-179, 2004.
- THIOLLAY, J.M. The role of traditional agroforests in the conservation of rain forest bird diversity in Sumatra. *Cons. Biol.*, 9:335-353, 1995.
- van BAEL, S.A.; BICHER, P.; OCHOA, I. & GREENBERG, R. Bird diversity in cacao farms and forest fragments of western Panama. *Biodiv. Conserv.*, in press.
- ZIMMERMAN, B.; PERES, C.A.; MALCOLM, J.R. & TURNER, T. Conservation and development alliances with the Kayapó of south-eastern Amazonia, a tropical forest indigenous people. *Environ. Conserv.*, 28:10-22, 2001.

## **Ciclos Biogeoquímicos em Agroflorestas na Amazônia**

FLÁVIO J. LUIZÃO, SANDRA TAPIA-CORAL, JORGE GALLARDO-ORDINOLA, GUILHERME C. SILVA, REGINA C.C. LUIZÃO, LUCERINA TRUJILLO-CABRERA, ELISA WANDELLI & ERICK C.M. FERNANDES

### **INTRODUÇÃO**

Nos trópicos úmidos, são comuns a existência de ecossistemas florestais de alta biomassa e diversidade biológica desenvolvidos sobre solos quimicamente muito pobres em nutrientes essenciais. Este é o caso da maior parte da Amazônia brasileira, onde a floresta geralmente se situa sobre solos minerais profundos, antigos, muito intemperizados e, geralmente, muito ácidos e de baixa fertilidade química natural (Teixeira & Bastos, 1989; Fernandes et al., 1997). No entanto, a floresta amazônica pode ser considerada como um ecossistema produtivo, em função de sua alta produtividade primária, representada pela fotossíntese, que é favorecida por altas taxas de insolação ao longo do ano e pela umidade, derivada das altas precipitações pluviométricas. A sobrevivência e a produtividade da floresta estariam ligadas à sua alta diversidade vegetal, composta por espécies nativas adaptadas às condições climáticas e nutricionais do solo, ou seja, espécies com baixa demanda por nutrientes minerais, que dependeriam, então, de uma eficiente reciclagem da matéria orgânica produzida pela própria floresta (Herrera et al., 1978; Schubart et al., 1984; Jordan, 1985; Lucas et al. 1993). Esta reciclagem depende fortemente da atividade biológica que, em condições naturais na floresta, é muito favorecida pelas altas temperaturas e umidades da região.

A conversão de uma floresta altamente diversificada em plantios agrícolas, ou pastagens com uma só espécie de gramínea, representa uma mudança drástica no ecossistema original, com impactos esperados e severos, já que quebra os mecanismos naturais de reciclagem e de proteção do sistema e introduz, desde o início, vários fatores de degradação. Esta seria a principal razão do insucesso da maioria dos empreendimentos agropecuários na Amazônia nas últimas décadas, que levou ao abandono de 200 milhões de hectares já desmatados na região (Fearnside, 1998). Em anos recentes, estas áreas abandonadas e, ou, degradadas têm sido utilizadas para experimentos que visam reintroduzi-las no processo produtivo da região e, ao mesmo tempo, evitar o desmatamento de novas áreas de florestas primárias (Vieira et al., 1993; Fernandes et al., 1999). Assim, o enriquecimento da vegetação secundária espontânea que cresce em terras abandonadas, seguido pela sua derruba sem uso do fogo e sua utilização para cultivos agrícolas (T. Sá, comunicado pessoal, 2004), bem como a implantação de sistemas agroflorestais diversificados, têm sido testados com sucesso na Amazônia brasileira, abrindo novas perspectivas de um desenvolvimento mais sustentável para a região.

Os sistemas agroflorestais (SAF's) podem ter várias formulações, de simples a complexas, baseadas na composição das espécies vegetais selecionadas e no seu arranjo espacial e, ou, temporal. Os SAF's, embora às vezes implantados após derruba e queima da floresta, têm sido propostos como alternativas

para a recuperação de áreas degradadas (Fearnside, 1998), sendo a liteira (*sensu* Vieira, 1988) produzida pelos diferentes sistemas um dos agentes promotores dessa recuperação. Para que esta contribuição seja mais efetiva, a nova liteira produzida pelos SAF's deve ser diversificada e de qualidade nutricional suficiente para cumprir os seus principais papéis no ecossistema: manter o solo coberto e protegido contra impactos diretos da chuva e do sol, mantendo assim uma maior umidade no solo; ativar a biota do solo, fornecendo carbono e nutrientes liberados pela decomposição (Luizão & Luizão, 1991; Szott et al., 1991); e contribuir para a formação de uma nova matéria orgânica do solo (Anderson & Ingram, 1993). Isto é conseguido mais rapidamente quando os SAF's são mais diversificados e mais densos, o que se refletiria mais cedo numa maior (devido a um dossel mais fechado) e mais diversificada (devido ao maior número de espécies, produzindo material de qualidades químicas diferenciadas) produção de liteira. Obviamente, dentro de cada formulação de SAF, a idade do plantio tem também um papel fundamental na produção e acumulação de liteira sobre o solo.

**FORMAÇÃO DA CAMADA DE LITEIRA SOBRE O SOLO E ESTOCAGEM DE CARBONO E NUTRIENTES EM SAF'S COM DIFERENTES FORMULAÇÕES E IDADES**

A camada de liteira depositada sobre o solo tem importantes funções no ecossistema (Figura 1), em especial nos trópicos, onde o solo exposto ao impacto direto do sol e das chuvas fica sujeito a uma rápida degradação de suas características físicas e biológicas. Por isto, uma cobertura morta na superfície do solo deve ser mantida ou, em caso de conversão da floresta para outra forma de uso da terra, ser refeita o mais breve possível. À medida do possível, os seguintes princípios básicos deveriam ser seguidos no novo sistema de cultivo perene implantado, de forma a garantir o funcionamento básico do solo, otimizando a ação de sua biota e permitindo a continuidade do processo de reciclagem de nutrientes, como ocorre no sistema florestal original, em zonas tropicais de solos pobres, onde os estoques e fluxos de matéria orgânica respondem por uma parte considerável do aporte anual de vários dos nutrientes que as plantas utilizam (Tabela 1) (Anderson & Spencer, 1991; Luizão & Luizão, 1991; Szott et al.; 1991):

- (i) manter o solo coberto com uma capa orgânica, reciclável;
- (ii) adicionar adubos verdes, sempre que possível;
- (iii) em cultivos, selecionar plantas de alta qualidade nutricional, para produção de liteira de boa qualidade;
- (iv) manter a biodiversidade do solo e das plantas utilizadas no sistema.

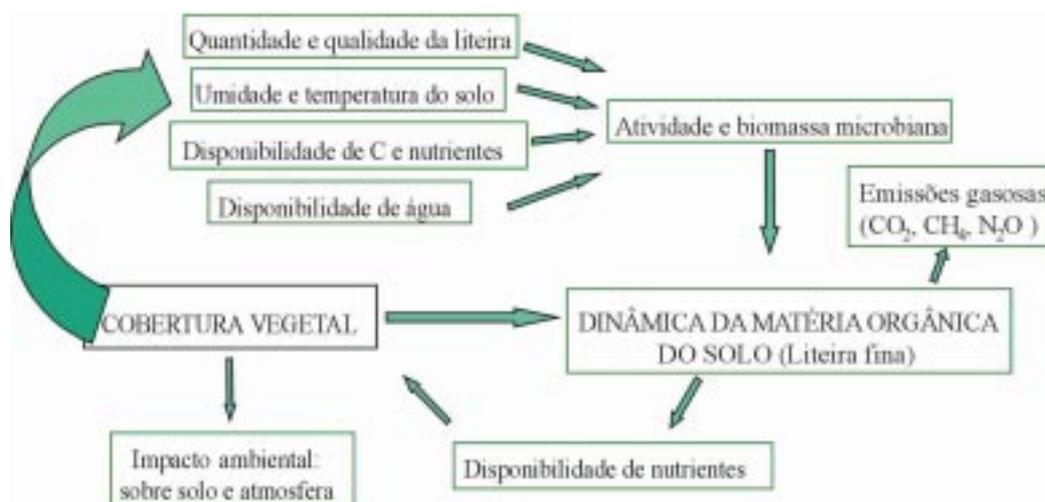


Figura 1 - Desenho esquemático das relações entre a matéria orgânica (M.O.), com ênfase na liteira fina, e os fatores controladores da dinâmica da M.O. e dos nutrientes nos ecossistemas terrestres amazônicos.

**Tabela 1** – Estoques (kg ha<sup>-1</sup>) e fluxos (kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) de carbono e nutrientes em florestas tropicais sempre-verdes de baixa altitude. (Fonte: Anderson & Spencer, 1991)

	C	N	P	K	Ca	Mg
<b>Estoques</b>						
Biomassa aérea	344	1334	107	955	1801	288
Liteira	37	403	12	26	180	28
Raízes	41	442	12	96	561	49
Solo	230	4581	406	249	3579	425
% chão florestal	47	80	80	28	68	64
<b>Fluxos</b>						
Chuvas: entrada		15	10,9	12	14	3,6
Enriquecimento		33	2,7	114	26	21
Queda de liteira		149	7,3	65	137	32
Igarapés: saídas		30	0,7	12	63	32

Alguns estudos efetuados pelo grupo de pesquisas em Ciclos Biogeoquímicos em Ecossistemas Terrestres da Amazônia, do INPA, servem como ilustrações sobre a importância da aplicação dos princípios acima descritos para o pleno desenvolvimento dos SAF's, tanto implantados em áreas de derruba e queima da floresta original quanto em áreas abandonadas após uso com pastagens. Estes estudos foram feitos nos estados do Amazonas e Rondônia, comparando algumas formulações dos sistemas (mais ou menos diversificados ou densos) e idades de plantio dos SAF's, dando ênfase à avaliação da influência das diferentes formulações e da idade dos SAF's sobre o estoque de liteira fina acumulado sobre o solo e seu conteúdo de nutrientes.

Os seguintes SAF's e localidades foram estudados:

- (1) em Nova Califórnia (RO), nos SAF's, sobre Latossolo Vermelho, da Associação RECA (Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado), com 12 anos de idade, e com formulação simplificada, de apenas três espécies frutíferas: cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), pupunha (*Bactris gasipaes*) e castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*), plantadas em fileiras bem próximas entre si. Os SAF's foram implantados logo após a derruba e queima da floresta densa de terra firme e poucos dos 200 agricultores da Associação usaram uma cobertura verde de leguminosa forrageira (*Pueraria phaseoloides*);
- (2) em Manacapuru (AM), a 60 km de Manaus, em SAF's jovens, de 5-6 anos, sobre Latossolos e Argissolos Amarelos, em fileiras bem espaçadas, dando um aspecto aberto aos sistemas, compostos por várias espécies frutíferas (Apêndice 1) e implantados logo após a derruba e queima da floresta densa de terra firme, sem uso de uma cobertura verde de leguminosas forrageiras; e,
- (3) em Manaus (AM), nos SAF's na Unidade Experimental do CPAA/EMBRAPA, com 5-6 anos (fase 1 do estudo) ou 11-12 anos (fase 2 do estudo) de idade, em várias formulações: (i) um mais simples (AS1), baseado em duas fruteiras perenes (pupunha e cupuaçu); (ii) outro mais complexo, denominado multi-estrato, com várias fruteiras, incluindo ingá, cupuaçu e castanha-do-Brasil) e essências madeireiras (mogno, teca e paricá); e, (iii) um sistema agrossilvopastoril (ASP1), com fileiras de árvores madeireiras (paricá e mogno) associadas a uma cobertura forrageira da leguminosa desmódio (*Desmodium ovalifolium*) e da gramínea braquiarião (*Brachiaria brizantha*) (Apêndice 2). Todos os SAF's têm cerca viva de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp (Leguminosae), podada duas vezes por ano e usada como adubo verde nas parcelas. No AS2 e no ASP1, o ingá (*Inga edulis* Martius) também teve sua poda incorporada como adubo verde às parcelas.

Para determinar os estoques de nutrientes na camada de liteira fina sobre o solo, em cada um dos SAF's foram coletadas de três a cinco amostras compostas de liteira, usando uma moldura de madeira de 20 x 20 cm, em três propriedades ou blocos diferentes, repetidas em duas amostragens, nas estações

chuvosa e seca. Amostras da camada superficial do solo (0-10 ou 0-20 cm) foram coletadas, destorroadas, secas ao ar, e, então, analisadas quimicamente. Para as medidas bioquímicas e caracterização físico-química do solo, foram coletadas em cada propriedade e tratamento cinco amostras compostas da camada superficial do solo (0-10 cm). O carbono contido na biomassa microbiana foi medido pelo método fumigação-extração (Vance et al., 1987); a respiração do solo foi medida pela técnica de incubação, e a umidade do solo por gravimetria (48h em estufa a 105°C). As emissões de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e de metano (CH<sub>4</sub>) do solo, nos SAF's de Manaus, foram medidas em cromatógrafo de gás, a partir de amostras coletadas em seringas especiais, bem vedadas, em câmaras de acrílico, acopladas a anéis de PVC com diâmetro de 20 cm, inseridos no solo até 2,5 cm. Nos SAF's do RECA e de Manacapuru, a área amostrada foi geralmente de 1 a 2 hectares, em propriedades particulares, de pequenos agricultores, com formulação similar dos SAF's entre as propriedades; no CPAA, foram estudadas as três formulações diferentes de SAF's, repetidas em três blocos ao acaso, em parcelas de 3.000 m<sup>2</sup> (60 x 50 m). Em todos os casos, a liteira foi seca, pesada e classificada em frações, antes de ser moída e analisada quimicamente (N, P, K, Ca, Mg). Os nutrientes da liteira e do solo foram analisados segundo os métodos recomendados por Anderson & Ingram (1993).

### SISTEMAS AGROFLORESTAIS EM ÁREAS DE FLORESTA PRIMÁRIA

Dois grupos de SAF's, implantados após derruba e queima tradicionais da floresta densa de terra firme, foram avaliados e comparados a plantios agrícolas (mandioca) e florestas remanescentes vizinhas:

1. Em Manacapuru (AM): SAF's com 5-6 anos de idade, em fileiras bem espaçadas, portanto, com baixa densidade de árvores frutíferas; e,
2. Em Nova Califórnia (RO): SAF's com 12 anos de idade, com maior adensamento de espécies frutíferas, mas formados com apenas três espécies: cupuaçu, pupunha e castanha-do-Brasil, plantadas em fileiras bem próximas entre si.

Nos SAF's de Manacapuru, a quantidade de liteira fina sobre o solo foi menor no cultivo de mandioca do que nos SAF's, que por sua vez foi menor do que na floresta (Tabela 2). Na floresta e nos SAF's, mais de 70% da liteira foi composta por materiais de rápida decomposição, enquanto que no plantio de mandioca 65% foi de material lenhoso (restos da queima), de lenta decomposição. Portanto, a liberação dos nutrientes contidos na liteira lenhosa deve ser bastante limitada e gradativa, podendo indicar uma potencial limitação de nutrientes nos plantios de mandioca em curto prazo.

**Tabela 2** - Estoque de liteira fina e de seus componentes principais (g m<sup>-2</sup>) e as porcentagens (%) de cada componente no total da liteira nos cultivos de mandioca, SAF's, e floresta (controle). Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão. Letras iguais, na mesma coluna, não houve diferença significativa entre tratamentos ( $p < 0,05$ )

Tratamento	Folhas	%	Material Lenhoso	%	Material Reprodutivo	%	Capim	%	Total
Floresta	325 (12) a	68	138 (27) a	29	8,78 (9,0) a	1,8	3,13 (8,3) a	0,6	476 (199) a
SAF	182 (87) b	62	81 (44) b	27	3,60 (3,1) b	1,2	28,8 (8,5) b	9,7	295 (189) b
Mandioca	36 (15) c	18	119 (32) a	65	0,72 (0,8) c	0,4	27,0 (18) a	15	183 (92) c

Os SAF's, embora com menores estoques totais de liteira do que a floresta, mostraram uma relação (2,8:1) no material de decomposição rápida mais elevada do que na floresta (1,7:1), indicando um potencial considerável de entrada de nutrientes para o solo. Tapia-Coral et al. (2005), avaliando SAF's, na região de Manaus, atribuiu às folhas e a outros materiais de fácil decomposição, o principal papel na entrada de carbono e nutrientes nesses sistemas. Assim, os SAF's devido à melhor qualidade nutricional da liteira (especialmente de folhas) em relação à floresta e ao plantio de mandioca (Tapia-Coral et al. (1999), apresentaram quantidades de P (na estação seca) e de bases (K, Ca e Mg) geralmente mais elevadas que na liteira da mandioca e mesmo da floresta, ), mesmo tendo um estoque de liteira com

valores intermediários entre as duas coberturas (Tabela 3). Conforme esperado, os estoques de nutrientes na liteira foram menores nos plantios de mandioca do que nos SAF's e na floresta.

**Tabela 3** - Estoques de nutrientes na liteira fina sobre o solo ( $\text{g m}^{-2}$ ) de floresta, SAF's e plantação de mandioca, nas estações chuvosa e seca. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão. Letras iguais, na mesma coluna, não houve diferença significativa entre tratamentos ( $p < 0,05$ ), dentro de cada estação do ano

	Estação Chuvosa			Estação Seca		
	Floresta	SAF	Mandioca	Floresta	SAF	Mandioca
C	362 (83,3) a	225 (128) b	175 (80,1) b	589 (216) a	411 (196) b	165 (130) c
N	3,80 (0,86) a	1,88(1,13) b	1,73 (0,85) b	6,52 (2,4) a	3,31 (1,47) b	1,45 (0,9) c
P	0,14 (0,06) a	0,11(0,05) a	0,08 (0,05) b	0,16 (0,06) a	0,17 (0,08) a	0,06 (0,04) b
K	0,38 (0,17) a	0,40(0,33) a	0,29 (0,17) a	1,21 (0,5) a	0,87 (0,5) a	0,24 (0,2) b
Ca	0,60 (0,3) a	0,90(0,50) a	0,49 (0,2) b	0,99 (0,4) a	1,63 (0,7) b	0,48 (0,4) c
Mg	0,39 (0,07) a	0,30(0,18) a	0,31 (0,15) a	0,85 (0,3) a	0,56 (0,2) b	0,25 (0,2) c

Neste estudo, os tratamentos não foram mantidos limpos pelos pequenos produtores, proprietários das parcelas, e, apesar disso não ter sido avaliado, provavelmente a cobertura vegetal das plantas invasoras teve um impacto positivo nas propriedades do solo. Resultados similares foram reportados por outros autores, que mostraram que as plantas invasoras têm sido eficientes em recuperar algumas das propriedades do solo (Ingram, 1990; Luizão & Luizão, 1991; Grimaldi, et al., 1993) e que a qualidade nutricional do material vegetal pode ser provida pela maior diversidade de espécies de plantas que por sua vez torna-se um dos fatores predominantes que controlam a população microbiana sobre a liteira (Witkamp, 1997).

Na estação seca do ano de estudo, intensificada pelos efeitos do fenômeno climático El Niño, a umidade do solo diminuiu drasticamente, variando de 4,7%, nas plantações de mandioca, a 5,7%, nos SAF's. Com esses níveis de água, os solos apresentaram forte declínio nos valores de biomassa microbiana e respiração do solo (Figura 2), muito menores do que os observados na estação chuvosa. O ressecamento do solo produziu um efeito geral mais homogêneo, consistindo numa drástica diminuição da população microbiana em todos os sistemas. Nenhum dos tratamentos continha biomassa microbiana maior do que  $250 \mu\text{g C g}^{-1}$  de solo (Figura 2). Ainda assim, a biomassa nas florestas e nos SAF's, similares entre si, foram significativamente maiores do que nas plantações de mandioca. A respiração do solo, embora afetada pelo ressecamento, não apresentou valores muito menores do que os medidos na estação chuvosa, indicando uma possível mudança nos grupos taxonômicos da microbiota do solo, com uma substituição dos grupos mais sensíveis ao ressecamento do solo por outros mais adaptados. Isto seria uma evidência da plasticidade da população microbiana: a pouca biomassa encontrada na estação seca apresentou atividade mineralizadora (respiração) relativamente alta.

Nos SAF's do RECA, em Rondônia, com 12 anos de idade, as massas totais de liteira acumuladas sobre o solo foram similares nas duas estações do ano, chuvosa e seca, independentemente do tipo de uso da terra (Tabela 4). Apenas para as folhas, a fração da liteira de decomposição mais rápida, houve diferenças entre as formas de uso da terra, com os SAF's acumulando maior proporção de folhas em sua camada de liteira do que a floresta (Tabela 4). O acúmulo de folhas sobre o solo sugere uma lenta atividade de organismos decompositores, a qual pode estar relacionada à baixa diversidade de espécies de liteira do SAF, sendo que duas das três espécies arbóreas, a castanha e o cupuaçu, comprovadamente produzem liteiras de baixas qualidades nutricionais (Tapia-Coral et al., 1999). A consequência disso seria a menor disponibilização de nutrientes para o solo. Na camada de liteira, o nitrogênio e o cálcio foram os nutrientes com maiores estoques, independentemente do uso da terra.

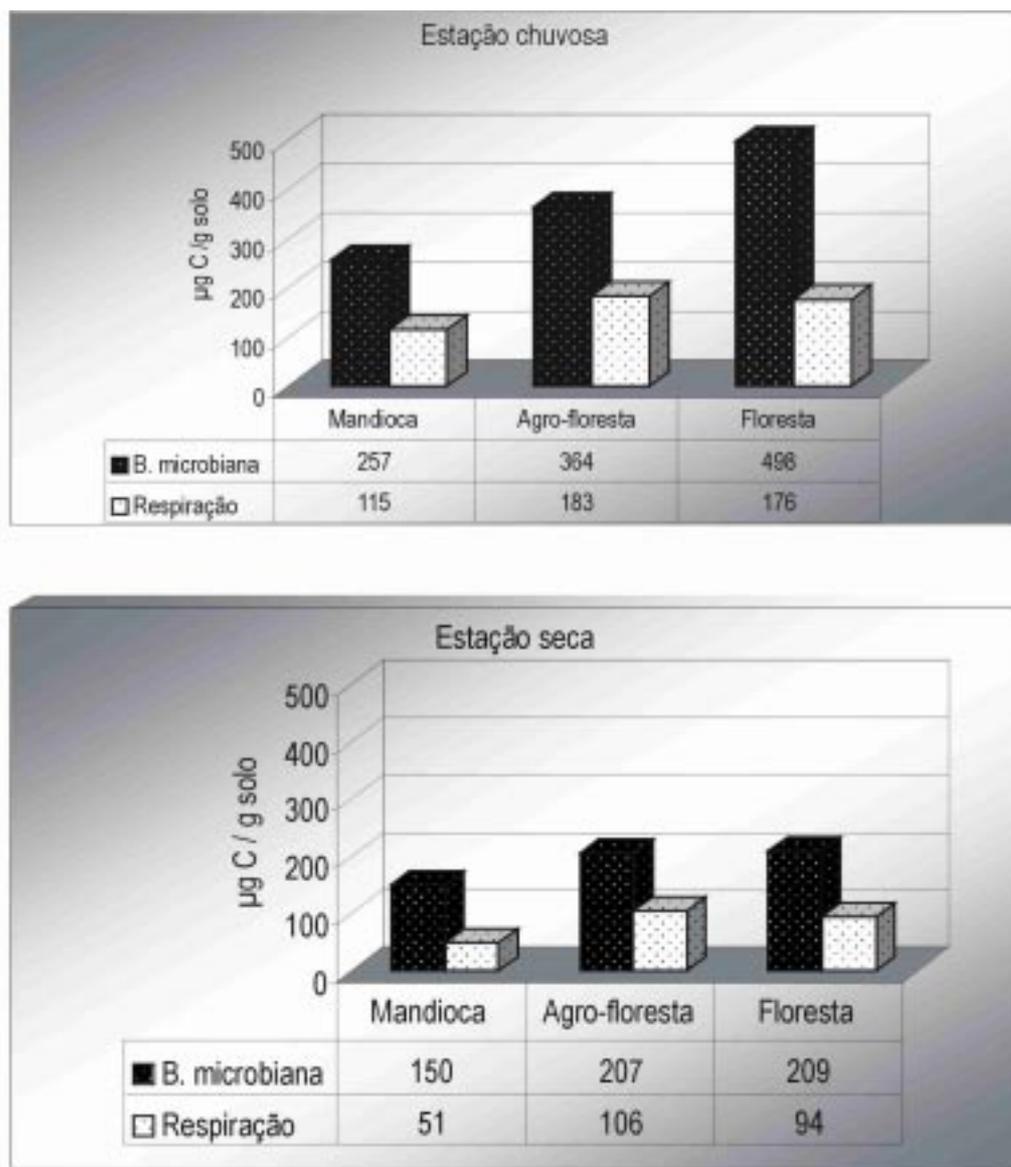


Figura 1: Biomassa microbiana e respiração do solo ( $\mu\text{g C g}^{-1}$  solo), nas estações chuvosa e seca, em plantação de mandioca, sistemas agroflorestais e florestas nativas.

**Tabela 4** - Estoque de littera fina (total e componentes) acumulada sobre o solo ( $\text{g m}^{-2}$ ) nos sistemas agroflorestais (SAF's) do RECA, com 12 anos de idade, e em florestas densas vizinhas, na estação chuvosa e na transição entre as estações chuvosa e seca. (Fonte: Luizão et al., 2002)

Componentes	Estação Chuvosa		Transição seca-chuvosa	
	SAF's	Floresta	SAF's	Floresta
Folhas	430	229	415	289
Material lenhoso	63	154	120	126
Flores e frutos	22	12	9	4
<b>Total</b>	<b>515</b>	<b>395</b>	<b>544</b>	<b>419</b>

Durante a estação chuvosa, os estoques de macro-nutrientes na littera acumulada sobre o solo nos SAF's do RECA foram os seguintes: N =  $40,2 \text{ g m}^{-2}$ ; P =  $1,7 \text{ g m}^{-2}$ ; K =  $2,7 \text{ g m}^{-2}$ ; Ca =  $8,3 \text{ g m}^{-2}$  e Mg =  $2,8 \text{ g m}^{-2}$ .

### SISTEMAS AGROFLORESTAIS EM ÁREAS DE PASTAGENS ABANDONADAS NA AMAZÔNIA CENTRAL

Numa estação experimental da EMBRAPA/CPAA, próxima a Manaus, quatro diferentes formulações de Sistemas Agroflorestais (SAF's) foram implantadas em áreas abandonadas de pastagens, com o objetivo de tornar a terra novamente produtiva, sem necessidade de derrubar novas áreas de floresta primária, e permitir o seqüestro de carbono pela nova vegetação arbórea em crescimento. O crescimento das muitas espécies arbóreas utilizadas – palmeiras, fruteiras e espécies madeireiras – foi em geral muito bom e, em menos de 10 anos, os SAF's já apresentavam biomassas aéreas consideráveis. Aos 9 anos de idade, o sistema ASP1 (agrossilvipastoril) tinha biomassa de 33 Mg ha<sup>-1</sup>, com a leguminosa arbórea gliricídia representando 31% do total; o sistema AS2 (multi-estrato) apresentou uma biomassa de 67 Mg ha<sup>-1</sup>, com dominância da espécie castanha-do-Brasil (46% do total); o sistema AS1 (fruteiras e palmeiras) tinha uma biomassa de 82 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo que a espécie pupunha representava 39% da biomassa aérea total (Macaferry et al., 2002).

O forte crescimento dos SAF's nos primeiros 10 anos permitiu a criação de uma fisionomia florestal aos dois SAF's do tipo agrossilvicultural, com o solo coberto por liteira abundante, diversificada e, via de regra, de qualidade nutricional superior à do pousio, deixado como controle do experimento. Juntamente com os adubos verdes, podados nas cercas-vivas de leguminosas (*Gliricidia sepium*) e em leguminosas (*Inga edulis*) plantadas em fileiras dentro dos SAF's, a liteira chegando ao chão dos SAF's representou um bom fornecimento de nutrientes recicláveis do material orgânico produzido, além de fornecer a necessária cobertura e proteção ao solo (Ross et al., 1990). Os SAF's também recuperaram uma fauna do solo abundante e diversificada, especialmente dos grupos funcionais dos decompositores e dos engenheiros-do-solo (Tapia-Coral et al., 1999; Cortés-Tarra, 2003).

Nos primeiros três anos de formação dos SAF's, houve um rápido aumento na diversidade de espécies vegetais nos sistemas, considerando-se aqui tanto as espécies plantadas como as de crescimento espontâneo; porém, a biomassa só aumentou consideravelmente a partir dos cinco anos de idade, conforme pode ser ilustrado pelo sistema AS1 (Tabela 5). A este crescimento, esperava-se que se associasse uma melhoria nas características físicas, químicas e biológicas do solo, uma vez que é conhecida a capacidade das plantas de recuperá-las, mesmo a partir de condições muito desfavoráveis (Grimaldi et al., 1993).

**Tabela 5** - Número de espécies de plantas e conteúdo de carbono na biomassa aérea no sistema AS1 (palmeiras, cupuaçu e espécie madeireira de rápido crescimento) desde o período de implantação dos sistemas até os 12 anos de idade

Idade (anos)	0	1	2	3	7	11	12
Nº de espécies	10	15	23	25	30	53	42
Carbono (Mg ha <sup>-1</sup> )	4,2	5	6	14	38	40	44

A diversidade e a biomassa de invertebrados no solo desenvolveram-se de forma coordenada com a biodiversidade e biomassa aérea, bem como com a cobertura do solo (verde ou morta). Aos 3 anos de idade, os SAF's com maior densidade e diversidade de invertebrados foram os ASPs (Sistemas Agrossilvipastoris), com espécies de árvores madeiráveis associadas a coberturas de gramíneas (*Brachiaria* spp) e uma leguminosa forrageira (*Desmodium ovalifolium*), que já estavam bem desenvolvidas e produziam liteira suficiente para cobrir a superfície do solo (Fernandes et al., 1999). No sistema multiestrato (AS2 – mistura de muitas espécies frutíferas e madeireiras), não foram encontrados Diplopoda; os Isopoda foram encontrados apenas debaixo de maracujá, que já formava uma capa fina, porém contínua, de liteira. Nos sistemas AS1 (duas espécies de palmeiras arbóreas, misturadas a cupuaçu e uma espécie madeireira) e AS2, não houve invertebrados na liteira, quase inexistente, estando os animais apenas no solo, com um total de onze grupos de invertebrados no solo, contra quinze grupos registrados no solo e liteira dos sistemas ASPs. As densidades de invertebrados na camada de liteira nestes últimos,

338 ind. m<sup>-2</sup> (12% do total da fauna até 25 cm de profundidade no solo) no ASP1 e 205 ind. m<sup>-2</sup> (9% do total) no ASP2, foram similares às da sucessão secundária (CAP), quatro anos mais antiga (352 ind. m<sup>-2</sup> o 13% del total).

Aos cinco anos de idade, quando as árvores haviam crescido e já produziam considerável quantidade de liteira, a densidade e biomassa da macrofauna foram maiores nos ASPs, e principalmente no sistema mais diversificado (AS2- multiestrato) (Tabela 6), e geralmente maiores nas liteiras de cupuaçu e palmeiras (Tapia-Coral et al., 1999). Os invertebrados foram também abundantes nas entre-linhas, onde periodicamente se depositavam resíduos vegetais derivados das capinas regulares e das podas de cercas vivas de *Gliricidia sepium*. A densidade da macrofauna foi fracamente relacionada com a quantidade e qualidade da liteira sobre o solo, enquanto que a biomassa total da macrofauna mostrou relações fortes e positivas com as concentrações de nutrientes na liteira, especialmente com P nos SAF's (Luizão et al., 2001). Isto pode indicar que nos SAF's, onde as leguminosas suprem o N necessário para o sistema, pode haver deficiências de P, que poderiam ser supridas com uma maior e, ou, mais frequente adição de adubos verdes. Na capoeira, sem a introdução de leguminosas nem adição periódica de adubos verdes, a biomassa da macrofauna teve uma relação muito forte com a razão C/N. Nos SAF's, Diplopoda e Isopoda foram significativa e positivamente relacionados com a quantidade de liteira, além da relação com seu conteúdo de nutrientes (Tapia-Coral et al., 1999).

**Tabela 6** - Densidade (ind. m<sup>-2</sup>) e biomassa úmida em álcool (mg m<sup>-2</sup>) da macrofauna da liteira, nas estações chuvosa e seca, nos sistemas agroflorestais e no controle. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão. Letras iguais, na mesma coluna, não houve diferença significativa entre tratamentos ( $p < 0,001$ ). (Fonte: Tapia-Coral et al., 1999)

Tratamento	Densidade (ind.m <sup>-2</sup> )					Grupos
	Diplopoda	Isopoda	Isoptera	Outros	Total	
AS1	1,15 (±1,09) a	51,1 (±40,2)a	0,85 (±0,0) a	4,01 (±1,89) a	57,1 a	14
AS2	4,22 (±1,03) b	85,9 (±13,3)a	0,85 (±0,0) a	4,43 (±1,02) a	95,4 a	11
ASP1	1,39 (±1,32) a	21,2 (±20,2)b	0 (±0,0) a	1,41 (±0,10) b	24,0 b	13
ASP2	1,57 (±0,59) a	29,2 (±20,1)b	0 (±0,0) a	3,13 (±0,83) a	33,9 b	12
CAP	0,67 (±0,31) a	13,9 (±7,17)b	4,96 (±0,1)b	0,27 (±0,03) b	19,8 b	9
Tratamento	Biomassa (mg m <sup>-2</sup> )					
	Diplopoda	Isopoda	Isoptera	Outros	Total	
AS1	17,0 (±16,9) a	593 (± 251) a	1,16 (± 3,47) a	67,5 (±66,9) a	679 (±318) a	
AS2	103 (±86,7) b	785 (±556) a	0 (± 0,0) a	23,6 (±13,1) b	912 (±604) a	
ASP1	18,5 (±18,4) a	169 (±144) b	0 (± 0,0) a	11,6 (±20,8) b	199 (±165) b	
ASP2	18,3 (±22,3) a	119 (±61,2) b	0 (± 0,0) a	7,2 (± 3,9) b	145 (±73,7) b	
CAP	22,3 (±18,2) a	288 (±185) b	9,07 (± 22,2) a	6,5 (± 9,3) b	326 (±190) b	

Nos SAF's, as espécies que produzem liteiras em maior quantidade ou de melhor qualidade nutricional apresentaram maiores densidades e biomassas de invertebrados: cupuaçu e palmeiras (e, em menor escala, os resíduos de adubos verdes e das capinas, nas entre-linhas) foram associados a densidades e biomassas mais altas da macrofauna, especialmente de Isopoda e Diplopoda (Tapia-Coral et al., 1999).

Nos SAF's com 5-6 anos de idade, os estoques de nutrientes na camada de liteira seguiram a ordem: N > Ca > Mg > K > P, uma ordem esperada para a região, com solos bem supridos de N e muito

pobres em P disponível para as plantas. Apesar da maior massa de liteira (e, conseqüentemente, de carbono) depositada sobre o solo da capoeira (4-5 anos mais velha), os SAF's, devido à melhor qualidade de liteira produzida e dos adubos verdes incorporados, mostraram estoques similares e até maiores do que a capoeira para alguns nutrientes (Tabela 7). As maiores concentrações de N foram encontradas nas liteiras das essências madeireiras plantadas; as de P, nas entre-linhas dos dois SAF's. Entre os diferentes sistemas, o tratamento AS2 apresentou estoques geralmente mais altos de P, K, Ca e Mg, especialmente na época seca, quando há uma maior massa de liteira depositada sobre o solo (Tabela 7).

**Tabela 7** - Estoques de carbono e nutrientes (kg ha<sup>-1</sup>) na camada de liteira de sistemas agroflorestais (5-6 anos de idade) e da capoeira adjacente (9-10 anos de idade), nas estações chuvosa e seca. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão. Letras iguais, na mesma coluna, não houve diferença significativa entre tratamentos (p < 0,001), dentro de cada estação do ano. (Fonte: Tapia-Coral et al., 2005)

Tratamentos	Estação chuvosa						
	C	N	P	K	Ca	Mg	
AS1	727	15.7 a	0.20 a	1.15 a	6.45 a	2.14 a	
AS2	1236	38.1 a	0.54 b	3.14 b	13.7 a	3.69 a	
ASP1	1335	38.0 a	0.38 b	1.99 a	21.7 b	3.13 a	
ASP2	1647	47.7 b	0.33 a	2.62 b	22.5 b	4.69 b	
CAP	2457	50.9 b	0.43 b	3.10 b	26.1 b	5.85 b	
Tratamentos	Estação seca						
	AS1	2168	45.1 a	0.57 a	5.75 a	35.5 a	10.6 a
	AS2	3345	73.1 b	1.01 b	9.92 b	57.6 b	12.6 b
	ASP1	1888	52.9 a	0.42 a	4.56 a	41.7 a	7.75 a
	ASP2	2407	75.1 b	0.49 a	6.93 a	36.0 a	9.28 a
	CAP	3966	82.6 b	0.68 b	11.8 b	50.2 b	11.8 b

A melhor qualidade nutricional da liteira produzida pelos SAF's e o seu papel na quantidade de nutrientes que entram para o solo dos sistemas agroflorestais, pode ser visto claramente nos estudos de produção de liteira. Aos 6-7 anos de idade, os sistemas AS1 e AS2 produziram pouco mais de 2 Mg ha<sup>-1</sup> de liteira fina, ao passo que a capoeira (4-5 anos mais velha) produzia quatro vezes mais, ou seja, cerca de 8 Mg ha<sup>-1</sup> (Gallardo-Ordinola, 1999). No entanto, melhor qualidade nutricional da liteira produzida pelos SAF's, somada à adição de adubos verdes (das cercas vivas e da leguminosa *Inga edulis*, ambas plantadas nos sistemas e regularmente podadas e incorporadas aos solos dos SAF's), faz com que as entradas anuais de nutrientes para o solo, via material vegetal depositado sobre sua superfície, seja similar, ou até mesmos maiores para alguns dos macro-nutrientes essenciais (Tabela 8).

Esta adição de adubos verdes de boa qualidade nutricional, porém com velocidades de decomposição distintas é essencial para garantir uma liberação importante e contínua de nutrientes para o solo. No caso, a liteira de *Gliricidia sepium*, das cercas vivas, apresenta uma taxa de decomposição e liberação de nutrientes muito alta, enquanto que *Inga edulis*, plantado nos sistemas para ser regularmente podado, embora também sendo uma leguminosa, apresenta taxas de decomposição e liberação dos nutrientes mais lenta (Gallardo-Ordinola, 1999). Esta prática de manejo parece, então, essencial para que os sistemas agroflorestais sobre solos quimicamente pobres e degradados pelas pastagens ou outro uso anterior, possam atingir mais cedo um equilíbrio na ciclagem de nutrientes e, assim, desenvolver uma maior biomassa e produtividade econômica.

**Tabela 8** - Entrada anual de nutrientes (kg ha<sup>-1</sup>) em dois sistemas agroflorestais (AS1 - baseado em palmeiras e fruteiras perenes e AS2 - multi-estrato, com ampla mistura de fruteiras perenes e espécies madeireiras) e na sucessão secundária natural (CAP). (Fonte: Gallardo-Ordinola, 1999)

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg
<b>AS1</b>					
Liteira fina	36,8 (54%)	2,35 (72%)	5,76 (48%)	32,7 (92%)	8,64 (80%)
Adubo verde	16,8 (46%)	0,94 (28%)	6,23 (52%)	2,87 (8%)	2,11 (20%)
Total	53,6	3,29	12,0	35,6	10,8
<b>AS2</b>					
Liteira fina	36,3 (60%)	1,90 (59%)	5,01 (37%)	28,7 (84%)	8,58 (45%)
Adubo verde	24,5 (40%)	1,33 (41%)	8,57 (63%)	5,31 (16%)	10,8 (55%)
Total	60,8	3,23	13,6	34,0	19,4
<b>CAP</b>					
Liteira fina	64,1	3,82	12,6	45,2	13,6

Como conseqüência do crescimento em biomassa aérea (bem como radicular) e do contínuo aporte de materiais de melhor qualidade química à superfície do solo dos sistemas agroflorestais, espera-se um aumento dos estoques de nutrientes depositados na camada de liteira sobre o solo e uma visível melhoria no suprimento de nutrientes minerais dos solos dos SAF's. Isto foi efetivamente observado nos SAF's da EMBRAPA/CPAA com 12 anos de idade: os estoques de P, Ca e Mg na camada de liteira dos sistemas AS1 e AS2 foram significativamente maiores do que na capoeira, embora a massa de liteira nesta área fosse ainda consideravelmente maior do que nos SAF's (Silva, 2005). Na camada superior do solo, além de melhores propriedades físicas, tais como a macro-porosidade e a agregação (Cortés-Tarra, 2003), os SAF's de 12 anos apresentaram concentrações de P, K e Mg muito maiores do que a capoeira. Isto foi particularmente evidente para fósforo, elemento crítico e geralmente considerado na região como limitante à produção vegetal, que apresentou valores até três vezes maiores do que na capoeira controle (Tabela 9).

**Tabela 9** - Características da camada superficial do solo (0-10 cm) em sistemas agroflorestais baseados em palmeiras (AS1) e numa mistura de árvores frutíferas (AS2), com 12 anos de idade, comparados a pastagens e a uma sucessão secundária natural após abandono da pastagem degradada (CAP), com 16-17 anos. (Fonte: Silva, 2005)

	AS1	AS2	Pastagem	CAP
pH	4,5 a ± 0,14	4,4 ab ± 0,08	4,5 a ± 0,11	4,3 b ± 0,1
C (%)	3,1 ± 0,9	2,8 ± 0,5	3,1 ± 0,7	3 ± 0,7
N (%)	0,2 ± 0,03	0,2 ± 0,03	0,21 ± 0,03	0,19 ± 0,02
P (mg.kg <sup>-1</sup> )	58,2 a ± 26,5	68,8 a ± 41,4	54,9 a ± 27,4	23,5 b ± 10,6
K (mg.kg <sup>-1</sup> )	147 ± 126	152 ± 140	151 ± 122	119 ± 122
Mg (mg.kg <sup>-1</sup> )	6,5 ± 2,1	7,1 ± 2,4	5,9 ± 1,8	4,5 ± 1

Além de contribuir para a melhoria da qualidade química do solo, com melhor suprimento de nutrientes minerais para as plantas, os SAF's, através de sua cobertura de liteira e fauna de invertebrados do solo associados, promoveram melhorias na estrutura física do solo, com melhor agregação e porosidade, permitindo um fluxo mais apropriado de água (melhoria do ciclo hidrológico nos sistemas)

e de gases. Um reflexo disto pode ser visto nos estudos sobre a emissão de metano dos sistemas agroflorestais de nove anos, que foi similar ao emitido pela floresta primária, todos com valores próximos a zero; numa pastagem ativa, vizinha aos SAF's, a emissão foi de 31,7 mg CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> ha<sup>-1</sup>, enquanto que na vegetação secundária (controles) foi de 16,5 mg CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> ha<sup>-1</sup>. Talvez, a alta taxa de emissão de metano da vegetação secundária em relação aos sistemas agroflorestais esteja em parte relacionada à grande quantidade de cupinzeiros epígeos existentes nesta área, e que são raros ou inexistentes nos SAF's. Porém, é certo que a melhor estrutura física do solo nos SAF's contribuiu para esta diferença.

### CONCLUSÕES

Os sistemas agroflorestais estudados, com uma seleção de espécies nativas de fruteiras e árvores madeireiras, mostraram ser uma forma eficiente para re-utilização de áreas abandonadas e, ou, degradadas na Amazônia, recuperando não apenas a capacidade produtiva da terra - alimentos e madeira, mas também vários dos serviços ambientais do ecossistema: a fixação de carbono na biomassa, a circulação da água na interface solo-planta-atmosfera e a reciclagem de nutrientes minerais.

A recuperação dos solos e do balanço de nutrientes de pastagens abandonadas por meio de Sistemas Agroflorestais (SAF's) pode ser impulsionada pela liteira de melhor qualidade nutricional produzida pelos SAF's, e pela adição de adubos verdes (das cercas vivas e leguminosas plantadas nos sistemas), que podem compensar em grande parte a exportação de nutrientes pelas coeitas nos SAF's (frutos, palmitos, etc). Da mesma forma, o plantio prévio de leguminosas de crescimento rápido e boa qualidade química na vegetação secundária dos pousios, com a subsequente incorporação da biomassa não-queimada ao solo, pode diminuir o tempo de recuperação dos solos e do balanço de nutrientes e garantir boa produção agroflorestal.

Embora os SAF's pareçam ser uma forma potencialmente mais sustentável de uso da terra após derruba e queima de florestas maduras de terra firme, o sucesso dos experimentos de implantação de sistemas agroflorestais em áreas de pastagens abandonadas, com solos degradados, recomenda que os SAF's sejam direcionados especialmente para a recuperação das duas centenas de milhões de hectares de áreas já desmatadas e abandonadas na Amazônia brasileira.

### PESQUISA FUTURA

Para obtenção de melhores resultados, tanto na produção agroflorestal quanto na prestação de serviços ambientais, seria recomendável pesquisar o efeito do adensamento das plantas e de uma maior diversidade de espécies perenes utilizadas nos sistemas agroflorestais implantados.

A formulação de SAF's com coberturas mortas ou de forrageiras (leguminosas de cobertura ou outras) desde o início da implantação dos sistemas seria extremamente desejável na Amazônia, para proteger o solo e permitir sua recuperação física, química e biológica em curto prazo.

### LITERATURA CITADA

- ANDERSON, J.M. & INGRAM, J.S.I. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. 2<sup>nd</sup> Edition. Wallingford, CAB International, 1993:172p.
- ANDERSON, J.M. & SPENCER, T. Carbon, nutrients and water balances of tropical rain forest systems subject to disturbance: Management implications and research proposals. MAB Digest 7. Paris, UNESCO, 1991. 54p.
- BARROS, E.; NEVES, A.; BLANCHART, E.; FERNANDES, E.; WANDELLI, E. & LAVELLE, P. Soil macrofauna community of Amazonian agroforestry systems. *Pedobiologia*, 47:267-274, 2003.
- CORTES-TARRÁ, I.L.. Relações entre os grupos funcionais da macrofauna e o volume dos macroporos do solo em sistemas agroflorestais na Amazônia central. Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2003. 120p. Tese (Dissertação em Ecologia) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2003.

- FEARNSIDE P.M. Agro-silvicultura na política de desenvolvimento na Amazônia brasileira: A importância e os limites de seu uso em áreas degradadas. In: GASCON, C. & MOUTINHO, P. eds. Floresta Amazônica: Dinâmica, regeneração e manejo. Manaus, INPA, 1998. p.293-312.
- FERNANDES E.C.M.; BIOT, Y.; CASTILLA, C.; CANTO, A.; MATOS, J.C.S.; GARCIA, S.; PERIN, R. & WANDELLI E. The impact of selective logging and forest conversion for subsistence agriculture and pastures on terrestrial nutrient dynamics in the Amazon. *Ciência e Cultura, Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science*, 49:34-47, 1997.
- FERNANDES, E.M.C.; PERIN, R.; WANDELLI, E.; SOUZA, S.G.; MATOS, J.C.; ARCO-VERDE, M.; LUDEWIGS, T. & NEVES, A. Agroforestry systems to rehabilitate abandoned pastureland in the Brazilian Amazon. In: International Symposium, Multi-strata Agroforestry Systems with Perennial Crops. Turrialba, Costa Rica, 1999. p.24-26.
- GALLARDO-ORDINOLA, J.L.E. Produção e qualidade de liteira em sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre as propriedades químicas do solo. Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 1999. 97p. Tese (Dissertação em Ecologia) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 1999.
- GRIMALDI, M.; SARRAZIN, M.; CHAUVEL, A.; LUIZÃO, F., NUNES, N.; LOBATO-RODRIGUES, M.; AMBLARD, P. & TESSIER, D. Effets de la déforestation et des cultures sur la structure des sols argileux d'Amazonie brésilienne. *Cahiers Agricultures*, 2:36-47, 1993.
- HERRERA, R.; JORDAN, C.F.; KLINGE, H. & MEDINA, E. Amazon ecosystems: Their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. *Interciencia*, 3:223-232, 1978.
- INGRAM, J. The role of trees in maintaining and improving soil productivity. Agriculture Programme Agroforestry – Amelioration of Soil by Trees Network. Nairobi, TSBF, 1990. n°. 279. 39p.
- JORDAN, C.F. Nutrient cycling in tropical forest ecosystems: Principles and their application in management and conservation. New York, John Wiley & Sons, 1985. 190p.
- LUCAS, Y.; LUIZÃO, F.J.; CHAUVEL, A.; ROUILLER, J. & NAHON, D. The relation between biological activity of the rain forest and mineral composition of soils. *Science*, 260:521-523, 1993.
- LUIZÃO, F.J.; TAPIA-CORAL, S.C.; BARROS, E. & WANDELLI, E.V. Relación entre la diversidad encima y dentro del suelo de sistemas agroforestales en la Amazonía central. *Anales del Congreso Latino-Americano de Biología del Suelo*. La Habana, Cuba, 2001. p.73-76.
- LUIZÃO, R.C.C.; BARROS, E.; LUIZÃO, F.J. & ALFAIA. Soil biota and nutrient dynamics through litterfall in agroforestry systems in Rondônia, Amazônia, Brazil. Londrina, Embrapa Soja, 2002. p.93-97. (Documentos, 182)
- LUIZÃO, R.C. & LUIZÃO, F.J. Liteira e biomassa microbiana do solo no ciclo da matéria orgânica e nutrientes em terra firme na Amazônia Central. In: VAL, A.; FIGLIUOLO, R. & FELDBERG, E. eds. Bases científicas para estratégias de desenvolvimento e preservação da Amazônia: Fatos e perspectivas. Vol.I. Manaus, INPA., 1991. p.65-75.
- MACFERRY, K.; FERNANDES, E. & RONDON, M. Biomass and nutrients in agroforestry systems on degraded pastures in central Amazônia. In: II International LBA Science Conference. Manaus, AM, 2002.
- MOTTA, M.S.S. Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais, no município de Manacapuru, Amazonas. Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 1997. 61p. Tese (Dissertação em Ecologia) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 1997.
- SCHUBART, H.O.R.; FRANKEN, W. & LUIZÃO, F.J. Uma floresta sobre solos pobres. *Ciência Hoje*, 2:26-32, 1984.
- SILVA, G.C. Fluxos e estoques de nutrientes, colonização por micorrizas arbusculares e influência das raízes na decomposição da liteira em sistemas agroflorestais e vegetação secundária na Amazônia central. Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2005. 154p. Tese (Doutorado em Ecologia) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2005.

- SZOTT, L.T.; FERNANDES, E.C.M. & SANCHEZ, P.A. Soil-plant interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology Management*, 45:127-152, 1991.
- TAPIA-CORAL, S.; LUIZAO, F.L.; WANDELLI, E. & FERNANDES, E.C.M. Carbon and nutrient stocks in the litter layer of agroforestry systems in Central Amazonia. *Agroforestry Systems*, 65:33-42. 2005.
- TAPIA-CORAL, S.C.; LUIZÃO, F.J. & WANDELLI, E.V. Macrofauna da liteira em sistemas agroflorestais sobre pastagens abandonadas na Amazonia central. *Acta Amazonica*, 29: 447-495, 1999.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology Biochemistry*, 19:703-707, 1987.
- TEIXEIRA, L.B. & BASTOS, J.B. Nutrientes nos solos de floresta primária e pastagem de *Brachiaria humidicola* na Amazônia Central. Belém, EMBRAPA/CPATU, 1989. 31p. (Boletim de Pesquisa, 98).
- VIEIRA, I.C.G.; NEPSTAD, D.D.; JUNIOR, S.B. & PEREIRA, C. A importância de áreas degradadas no contexto agrícola e ecológico da Amazonia. In: Ferreira, E.G.; SANTOS, C.M.; LEÃO, G.M. & OLIVEIRA, L.A eds. Bases científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazonia, vol. 2. Manaus, INPA, 1993. p.43-53.
- VIEIRA, L.S. Manual de ciência do solo. Piracicaba, Editora Agronômica Ceres, 1988. 384p.

## APÊNDICES

Apêndice 1 - Lista das espécies plantadas nos sistemas agroflorestais dos pequenos produtores rurais na área de Manacapuru, AM. (Fonte: Motta, 1997).

Nome científico	Nome vulgar	Família
<i>Artocarpus altilis</i> (Sol. ex. Park.) Fosb	Fruta-pão	Moraceae
<i>Artocarpus heterophyllus</i>	Jaca	Moraceae
<i>Bactris gasipaes</i> Kunth	Pupunha	Arecaceae
<i>Bertholletia excelsa</i> H.B.K.	Castanha-do-Pará	Lecythidaceae
<i>Borojea sorbilis</i> (Ducke) Cuatr	Purui-grande	Rubiaceae
<i>Carapa guianensis</i> Aubl	Andiroba	Meliaceae
<i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers	Piquiá	Caryocaceae
<i>Citrus sinensis</i> Osbek	Laranjeira	Rutaceae
<i>Euterpe oleracea</i> Martius	Açaí-do-Pará	Arecaceae
<i>Genipa americana</i> L.	Jenipapo	Rubiaceae
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Jatobá	Caesalpiniaceae
<i>Manikara zapota</i> (L) P. van. Royen	Sapotilha	Sapotaceae
<i>Mammea americana</i> Linn	Abriçó	Clusiaceae
<i>Oenocarpus mapora</i> Karsien subesp. <i>mapora</i>	Bacabinha	Arecaceae
<i>Paulinia cupana</i> H.B.K. var. <i>sorbilis</i>	Guaraná	Sapindaceae
<i>Platonia insignis</i> Mart.	Bacuri-grande	Clusiaceae
<i>Persea americana</i> Mill. var. <i>americana</i>	Abacate	Lauracea
<i>Pouteria calmito</i> (Ruiz et Pavon) radlk	Abiu	Sapotaceae
<i>Rheedia acumiata</i> (R. et P) Pl et. Tr.	Bacuri-coroa	Clusiaceae
<i>Rheedia brasiliensis</i> (Mart.) Pl et. Tr	Bacuripari-liso	Clusiaceae

Nome científico	Nome vulgar	Família
<i>Rollinia mucosa</i> (Jacq.) Bail	Biribá	Annonaceae
<i>Scleronema micranthum</i> Ducke	Cardeiro	Bombacaceae
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Mogno	Meliaceae
<i>Talisia esculenta</i> (St. Hil) Radlk	Pitomba	Sapindaceae
<i>Theobroma grandiflorum</i> Schum	Cupuaçu	Sterculiaceae

**Apêndice 2** - Espécies plantadas nos Sistemas Agroflorestais implantados em áreas de pastagens abandonadas (AS1 e AS2) na Estação do CPAA/EMBRAPA, em Manaus, e as principais espécies que ocorrem na vegetação secundária ou capoeira, usada como controle (CAP)

Nome científico	Nome vulgar	Família	Tratamentos
<i>Bactris gasipaes</i> Kunth	Pupunha	Arecaceae	AS1
<i>Colubrina glandulosa</i> Perkins	Capoeirão	Rhamnaceae	AS1
<i>Euterpe oleracea</i> Martius	Açaí	Arecaceae	AS1
<i>Theobroma grandiflorum</i> (S) K. Schung	Cupuaçu	Sterculiaceae	AS1 & AS2
<i>Bertholletia excelsa</i> H.B.K	Castanha-do-Brasil	Lecythidaceae	AS2
<i>Carica papaya</i> L.	Mamão	Caricaceae	AS2
<i>Eugenia stipitata</i> McVaugh	Araçá-boi	Mirtaceae	AS2
<i>Genipa americana</i> L.	Jenipapo	Rubiaceae	AS2
<i>Malpighia emarginata</i> L.	Acerola	Malpighiaceae	AS2
<i>Passiflora edulis</i> L.	Maracujá	Passifloraceae	AS2
<i>Tectona grandis</i> Nursery	Teca	Verbenaceae	AS2
<i>Inga edulis</i> Martius	Ingá	Mimosaceae	AS2 & ASPs
<i>Schizolobium amazonicum</i> Ducke	Paricá	Mimosaceae	AS2 & ASPs
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Mogno	Meliaceae	AS2 & ASPs
<i>Brachiaria brizantha</i> (Hochst) Stapf	Braquiaraço	Gramineae	ASP1
<i>Brachiaria humidicola</i> (Rendle) Schweinckt	Quicuío-da-Amazônia	Gramineae	ASP2
<i>Desmodium ovalifolium</i> Wall	Desmódio	Fabaceae	ASP1 & ASP2
<i>Borreria verticillata</i> (L) G.F.W. Meyer	Vassoura-de-botão	Rubiaceae	CAP
<i>Laetia procera</i> (Poepping) Eichler	Erva-de-pássaro	Flacourtiaceae	CAP
<i>Rolandra fruticosa</i> (L) Kuntze	Estrepe	Asteraceae	CAP
<i>Vismia japurensis</i> Reich	Lacre vermelho	Clusiaceae	CAP
<i>Vismia cayennensis</i> (Jacq.) Pers	Lacre amarelo	Clusiaceae	CAP
<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp	Gliricídia	Cesalpiniaceae	Live fence

## **Pragas e Doenças de Expressão Econômica de Culturas Exploradas em Sistemas Agroflorestais na Amazônia**

NELITON MARQUES DA SILVA, JÂNIA LÍLIA DA SILVA BENTES & LUADIR GASPAROTTO

### **INTRODUÇÃO**

Um dos problemas que coloca em risco e compromete a sustentabilidade dos sistemas agrícolas na Amazônia, é a ocorrência de insetos pragas e doenças. A presença desses agentes bióticos danosos, do ponto de vista econômico, tem sido favorecida por dois fatores básicos: condições climáticas que possibilitam a não interrupção dos ciclos biológicos e, adoção de práticas agrícolas que vulnerabilizam os cultivos à ação desses organismos.

Se o primeiro encontra-se fora da capacidade de intervenção direta do homem, o segundo fator é passível de sofrer alterações estruturais que poderão refletir no resgate da estabilidade e do equilíbrio biodinâmico dos sistemas agrícolas, mediante adoção de práticas agrícolas compatíveis com a realidade socioambiental.

Particularmente na Amazônia, por abrigar uma das maiores biodiversidades do planeta, a variabilidade de insetos assume especial relevância. Sua importância econômica se destaca em relação aos danos causados nos cultivos conduzidos tanto na forma de monocultura, quanto em Sistemas Agroflorestais ou outras formas de cultivos, com grande impacto na economia regional.

Por outro lado, podem ser benéficos na medida em que participam ativamente do processo de ciclagem de nutrientes, polinização de várias espécies botânicas, além de exercerem um importante papel no equilíbrio dinâmico das populações de insetos-pragas, como os predadores e parasitóides, contribuindo para a estabilidade dos diferentes ecossistemas.

O estudo dos insetos-pragas e doenças associadas às plantas cultivadas na Amazônia, está intimamente relacionado à história de ocupação dessa região. Até o final da década de 1960, poucas foram as experiências com monocultivos de média e larga escala. Predominava a atividade extrativista de produtos madeireiros e não madeireiros, convivendo com uma agricultura de baixo uso de insumos, caracterizada por pequenas roças e quintais agroflorestais.

Foi a partir da década de 1970, com o surgimento dos grandes projetos agropecuários, que surgiram os primeiros problemas entomológicos e fitopatológicos de maior magnitude, agravando assim, os processos de alteração e degradação dos agroecossistemas.

Entretanto, os registros e estudos sobre ocorrência e manejo de insetos fitófagos e seus inimigos naturais (parasitóides, predadores e entomopatógenos), bem como de fitopatógenos, ainda são esparsos e assistemáticos. Poucos são os trabalhos de avaliação e análise de pragas e doenças de importância econômica associadas aos Sistemas Agroflorestais na região amazônica.

A composição dos Sistemas Agroflorestais na Amazônia geralmente é formada por espécies botâ-

nicas nativas como: cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) e pupunha (*Bactris gasipaes*), associadas às essências florestais como andiroba (*Carapa guianensis*) e, eventualmente, às espécies de porte arbóreo menor a exemplo do araçá-boi (*Eugenia stipitata*), camu-camu (*Myrciaria dubiae*), mapati (*Pouroma cecropiaefolia*), banana (*Musa paradisiaca*), dentre outras.

Por sua vez, estudos prospectivos de ocorrência desses agentes bióticos (pragas e doenças) de expressivo impacto agroambiental, não devem se esgotar em si mesmo. É necessário desenvolver pesquisas que possam contribuir para implementação de estratégias de manejo integrado, com adoção de tecnologias adaptadas à realidade socioambiental amazônica.

A seguir será apresentada uma breve descrição das principais pragas e doenças de importância econômica, quanto aos aspectos morfológicos, biológicos, ecológicos, injúrias e controle.

## PRINCIPAIS PRAGAS ASSOCIADAS ÀS CULTURAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS

### Broca do Fruto do Cupuaçu

A cultura do cupuaçu destaca-se como importante alternativa econômica para os agricultores familiares na região amazônica. Nos últimos anos seu cultivo, tanto em Sistemas Agroflorestais (SAF's) quanto solteiro, expandiu-se de forma significativa nesta região.

Entretanto, um dos fatores prejudiciais à expansão dessa frutífera na Amazônia Ocidental é a broca-do-fruto *Conotrachelus humeripictus* Fiedler, 1940 (Coleoptera; Curculionidae) que se destaca como a mais prejudicial ao cupuaçuzeiro. Levantamentos da entomofauna associada a esta cultura, realizados nos diferentes SAF's no Amazonas e Rondônia, revelaram ser a broca do fruto a praga de maior expressão econômica (Nery, 2002; Nery & Silva, 2002a; Oliveira, 2003). Esta broca encontra-se amplamente disseminada na Amazônia Ocidental e Oriental, abrangendo os estados do Amazonas, Acre, Rondônia, Pará e Mato Grosso (Venturieri, 1993; Texeira & Veld, 1997; Souza et al., 1999; Thomazini, 2002; Tavares & Nunes, 2004).

O adulto é um besouro pequeno (10 mm de comprimento) de coloração marrom-escuro, com rosto normal. Seu ciclo de vida ocorre em quatro estágios: ovo, larva, pupa e adulto. Apresenta estrias no primeiro par de asas (élitro). As fêmeas, de um modo geral, são ligeiramente maiores e mais largas que os machos.

As fêmeas tendem a viver mais (cerca de 95 dias) que os machos (cerca de 90 dias). Porém, podem viver mais de dois anos passando assim de uma safra a outra.

As larvas são brancas e ápodas e passam por quatro instares. Quando totalmente desenvolvidas medem cerca de 15 mm de comprimento. As pupas são livres e de coloração branco-creme. O tempo de pupação dos machos (65 dias) é menor do que das fêmeas (73 dias).

Seu ciclo de vida compreende uma fase na parte aérea da copa (adulto), uma fase no fruto (ovo e larva) e uma fase no solo (pupária).

**Injúrias:** Os frutos são danificados diretamente pelas larvas da broca, através de galerias formadas na casca, na polpa, deposição de fezes e destruição das sementes (Lopes & Silva, 1998). Mas também podem danificar indiretamente através da entrada, pelos orifícios, de insetos oportunistas e microrganismos que contribuem para acelerar o processo de fermentação dos frutos (Silva et al., 2002).

As fêmeas antes de por os ovos dentro da casca, fazem pequenas cavas com a boca, nos frutos quando ainda estão na forma de “charutos” (cerca de 100 mm de comprimento). Preferem ovipositar no meio do fruto. Assim que as larvas eclodem, perfuram a casca dirigindo-se para polpa onde se alimentam até a terceira fase de seu desenvolvimento. Na última fase migram para os caroços onde consomem todo ou parte de seu conteúdo interno.

Em seguida abandonam os frutos através de orifícios construídos na casca, para em seguida puparem no solo, onde constroem uma “câmara pupal” a uma profundidade média de 60 mm (Nery & Silva, 2002b). Geralmente a saída das larvas ocorre imediatamente após a queda dos frutos. Quando um fruto de cupuaçu for encontrado no chão com furos na casca, significa que as larvas já saíram e se enterraram.

**Controle e Manejo:** Como toda broca, o controle é muito difícil. Entretanto, recomenda-se um conjunto de medidas que devem ser tomadas de forma integrada:

- Evitar plantar cupuaçu em áreas recentemente plantadas com cacau ou próxima de plantios abandonados;
- Evitar formação de novos SAF's em áreas muito próximas à floresta e, ou, capoeira, evitando incluir plantas de copa densa, que possam sombrear intensamente as árvores de cupuaçu;
- Na formação de novos SAF's, usar mudas bem formadas de viveiristas licenciados, priorizando culturas de diferentes famílias botânicas, incluindo, quando possível, plantas aromáticas na bordadura dos SAF's;
- Remover toda vegetação sem valor econômico, inclusive rasteira, para redução do nível de sombreamento e favorecer a circulação de ar no interior dos SAF's;
- A vegetação rasteira só deverá ser removida no início da estação chuvosa, porque o cupuaçuzeiro é extremamente sensível a perda de umidade;
- Podar as árvores de cupuaçu com remoção dos galhos inferiores (elevação da "saia"), para afastá-los do solo;
- Colher, preferencialmente nas primeiras horas da manhã, todos os frutos brocados do interior dos SAF's, com posterior queima ou enterrio em valas de, no mínimo, 1 m de profundidade ou afogando em água durante três dias;
- Formar aceiros de, no mínimo, 20 m entre a mata/capoeira e o SAF com plantio de vegetação rasteira (aromática) nas bordaduras;
- Priorizar a quebra dos frutos fora da área de cultivo, para evitar possível fuga e penetração das larvas no solo;
- Realizar limpeza periódica dos veículos de transporte dos frutos, para evitar a disseminação da praga entre as propriedades;
- Durante a safra efetuar inspeções na plantação semanalmente para verificar a presença de frutos atacados;
- Efetuar o transporte dos frutos sobre lona ou carrocerias sem frestas;
- Ensacar os frutos com 3 a 6 cm de comprimento, principalmente dos galhos medianos e inferiores, com sacos plásticos microperfurados (30 cm de comprimento e 16 cm de largura).

#### Desfolhador do Cupuaçuzeiro

Dentre os desfolhadores do cupuaçuzeiro, destaca-se *Macrosoma tipulata* Hübner, 1818, (Lepidoptera: Hedyliidae) que se alimenta preferencialmente das folhas jovens, cuja maior produção ocorre no início do período chuvoso (Falcão & Lleras 1983; Venturieri 1993). Esta espécie está amplamente distribuída desde o noroeste da Costa Rica até o sudeste do Brasil (Scoble, 1990 e 1992).

O adulto é uma borboleta de coloração branca, com manchas irregulares na asa anterior, com cerca de 40 mm de envergadura, apresentando abdome bastante delgado (Scoble, 1990). Ovipositam na parte superior de folhas jovens. São de coloração amarela e quando próximo à eclosão, apresentam uma mancha avermelhada na superfície superior, rente à micrópila (Lourido & Silva, 2002). As lagartas, altamente miméticas, apresentam, quando completamente desenvolvidas, um par de apêndices na região frontal da cabeça, dois curtos processos caudais, além da presença de pente anal (Carter & Kristensen 1999; Lourido et. al., 2005). O período larval é de 15,9 dias, passando por cinco ínstar. Ficam posicionadas ao longo das nervuras secundárias na parte abaxial das folhas jovens. A transformação em pupa ocorre na parte inferior das folhas onde se fixam pelo cremaster e por um fio de seda ao redor do primeiro segmento abdominal. São de coloração esverdeada e ficam marrons à medida que se aproximam da emergência. Essa fase tem uma duração de 7 a 8 dias.

**Injúrias:** A infestação ocorre no início do período chuvoso (dezembro), quando há intensa produção de folhas novas, principal sítio de ataque das lagartas. Porém, em condições de ataque severo, as folhas velhas são excepcionalmente danificadas. Caracteriza-se pelo fato de as folhas apresentarem, nas regiões internervurais, furos irregulares de tamanhos variáveis e ocorrência de desfolhamento simétrico em forma de trilha, ao longo das nervuras principal e secundárias, podendo causar o desfolhamento completo da planta, reduzindo assim, a produção dos frutos em até 40%.

**Controle e Manejo:** Não existe um método de controle eficiente. Recomenda-se o monitoramento,

sobretudo no início da estação chuvosa, quando aumenta a disponibilidade de folhas novas. Como o maior ataque geralmente ocorre na região mediana da copa do cupuaçuzeiro, deve-se fazer a catação manual de larvas e pupas nas folhas localizadas nesta parte da copa.

#### Broca da Andiroba

Entre as espécies florestais mais importantes atualmente na silvicultura tropical na Amazônia, tanto em monocultura quanto em sistemas agroflorestais, estão os representantes da família Meliaceae, como: *Carapa guianensis*, *Swietenia macrophylla* e *Cedrela odorata*. Na Amazônia, o estabelecimento de plantios homogêneos de *Carapa guianensis* e demais espécies da família Meliaceae, tem sido prejudicado devido ao ataque provocado pela broca do broto terminal *Hypsipyla grandella* (Zeller, 1848) (Lepidoptera: Pyralidae). A vida média do adulto é de 4,6 dias para a fêmea e 2,9 dias para o macho com atividade de vôo após às 18 horas, apresentando um pico acentuado às 3 horas da madrugada (Berti Filho, 1973).

Os adultos de *H. grandella*, de coloração azincentada, e sendo de hábito noturno, são facilmente capturados em armadilhas luminosas. A mariposa voa durante a noite e coloca de 1 a 7 ovos nos folíolos dos brotos novos da planta hospedeira, durante várias noites. Os ovos, de coloração amarelada, são postos isoladamente sobre os folíolos da planta hospedeira. As lagartas, de coloração cinza com segmentos apresentando pontuações, ocorrem durante todo o ano estando associada ao lançamento de brotos tenros. Esta broca prefere ambientes abertos, a ambientes de sombra, o que é possível recomendar que os plantios de *C. guianensis* sejam feitos preferencialmente em linhas de enriquecimento florestal. As lagartas passam por seis instares larvais (Berti Filho, 1973; Silva, 1985). O período de incubação dos ovos oscila entre 2,5 a 8 dias; fase larval de 20 a 35 dias, passando por seis instares larvais; fase pupal de 8 a 14 dias e longevidade dos adultos de 1 a 15 dias (Berti Filho, 1973; Sliwa, 1973; Sterringa, 1973).

Para atingir o estágio de pupa, a lagarta preliminarmente tece um casulo na parte superior do broto, dentro do qual se abriga. O período de maior ocorrência das lagartas é de novembro e dezembro coincidindo com o período, na região amazônica, como término da estação seca.

**Injúrias:** O ataque desta broca pode ocorrer tanto no viveiro de mudas, como no plantio definitivo. A broca ataca preferencialmente os brotos novos, podendo também danificar os frutos e sementes (Heringer, 1974). Silva et al. (1968) relatam que *H. ferrealis* (Hampson) ataca sementes de andiroba no Pará. A presença de brotos terminais favorece a ocorrência de larvas praticamente durante todo o ano, através dos quais tem início o ataque da broca, propiciando contínuas reinfestações. O ataque ocorre quando as lagartas recém eclodidas perfuram a região dos pecíolos, e eventualmente a nervura principal dos folíolos, que são constituídos por tecidos bastante tenros e facilmente penetráveis. Nestes, elas formam galerias permanecendo nesta região da planta durante os dois ou três primeiros instares. Em seguida migram para o broto principal, penetrando através da axila do pecíolo. Daí ser normal encontrarem-se lagartas de primeiro, segundo e terceiro instar, individualmente nos pecíolos dos folíolos e as lagartas mais desenvolvidas agrupadas somente no interior dos brotos principais, podendo encontrar-se cerca de dez lagartas dos três últimos instares numa só galeria de um broto terminal. Numa infestação severa, as lagartas ao brocarem, destroem os vasos líbero-lenhosos, tendo como consequência o ressecamento do broto e dos folíolos. A presença das folhas secas no meio de folhagem verde, é um dos sintomas aparentes mais característicos do ataque da broca. Nesta fase de ataque, a praga encontra-se geralmente no estágio de pupa, não sendo raro o adulto já ter emergido, o que se identifica pela presença de exúvia da pupa. Os múltiplos lançamentos de brotações laterais causados pelo ataque da broca contribuem para o desenvolvimento insatisfatório das árvores. A infestação tende a diminuir à medida que a árvore cresce. Isto significa que a explosão populacional de *H. grandella* está circunscrita a um período cíclico mais ou menos definido (3 a 4 anos), condicionado por fatores que atuam favoravelmente ou desfavoravelmente ao processo de recuperação da andiroba. As meliáceas, de um modo geral, crescem através de lançamentos periódicos de um único broto terminal. Quando este é atacado pela broca, a planta reage emitindo um ou mais ramos laterais. Em plantio de andiroba à plena abertura, no Amazonas, foi registrado um valor médio de 18,6 rebrotações em função do ataque desta broca (Silva, 1985). O ataque provoca o definhamento das árvores, tornando-as defeituosas, e as galerias abertas são invadidas por formigas, tripes e outros insetos oportunistas. Com a morte do broto terminal há formação de brotos secundários, causando ramificações e deformações no

tronco, além do retardamento no crescimento da árvore e geração de um fuste bifurcado ou com sinuosidades, comprometendo seu aproveitamento comercial.

**Controle:** Recomenda-se o controle silvicultural. Nos plantios de Meliaceae sob condições de plena abertura, a poda e a destruição dos brotos afetados pela broca, constituem uma medida útil e de baixo custo. Aconselha-se evitar, sempre que possível, espaçamentos estreitos e plantações puras. No entanto, deve-se eleger condições ecológicas favoráveis que permitam a árvore atravessar a fase em que os ataques são mais prováveis e dar um certo grau de cobertura, considerando que a luz tende a favorecer o desenvolvimento do inseto.

#### Broca da Bananeira

A broca gigante do pseudocaule da bananeira *Castnia licus* (Lepidoptera: Castniidae) é considerada a principal praga da bananeira na região amazônica, ocorrendo também em cana-de-açúcar. Os adultos são borboletas de 35 mm de comprimento e 90 mm de envergadura de coloração marrom escura, apresentando faixas brancas transversais e sete manchas vermelhas na borda das asas posteriores. Os adultos colocam os ovos na base das touceiras. Medem cerca de 4 mm de comprimento e são de coloração rosada. O período de incubação varia de sete a quatorze dias. A lagarta, de coloração branca, quando completamente desenvolvida mede cerca de 80 mm de comprimento, e passam por cinco instares. Ao puparem, constroem um casulo feito de fibras da própria planta variando essa fase de 30 a 45 dias.

**Injúrias:** Atacam a região do pseudocaule, debilitando a planta podendo levar à morte. Infestam preferencialmente as variedades: prata zulu, pacova, peruana e FHIA 21.

#### Pulguinha do Camu-Camu

O camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh; Myrtaceae) é uma espécie frutífera nativa da Amazônia, que apresenta um potencial econômico e nutricional, pelo alto teor em ácido ascórbico (Clement et al., 1999). Dentre os principais insetos-pragas que atacam a cultura do camu-camu, destaca-se *Tuthillia cognata* Hodkinson, Brown & Burckhardt, 1986 (Homoptera: Psyllidae), causadora de deformações e secamento das folhas jovens. Os adultos posicionam-se sobre as folhas e ramos em ângulo de aproximadamente 45° com o corpo disposto para baixo. Podem ser facilmente observados locomovendo-se por um pequeno percurso sobre os galhos, onde em seguida param, abrindo uma das asas anteriores fazendo um movimento elíptico. Quando a asa retorna a sua posição original, imediatamente a outra faz o mesmo movimento, mantendo dessa forma um movimento sincronizado, porém alternado. Após cada parada, o adulto realiza de um a quatro movimentos completos de abertura e fechamento das asas. Algumas dessas paradas são longas. Neste momento, os adultos aproximam o aparelho bucal dos ramos e folhas, sugerindo que neste intervalo, estejam alimentando-se da seiva do hospedeiro. Os ovos são brancos e alongados, com extremidades afiladas. São colocados em grupos de 3 a 8, cada um contendo de 12 a 60 unidades, sobre a região abaxial e na base do pecíolo das folhas mais jovens, localizadas nas extremidades dos galhos. As ninfas localizam-se preferencialmente nas folhas apicais dos galhos medianos. Secretam fios de seda que as revestem de pulverulência de coloração branca e vivem em colônias de 10 a 20 indivíduos de diferentes instares nas folhas deformadas, constituindo assim, em abrigo para a colônia.

**Injúria:** As ninfas provocam deformações importantes nas folhas jovens impedindo o crescimento dos brotos. No começo do ataque, as folhas alargam-se, amplamente, dobrando-se ao nível da nervura principal, e pouco a pouco vão amarelando, secando em seguida (Couturier et. al., 1992). Provoca uma alteração fisiológica nas plantas atacadas, impedindo a ramificação de alguns galhos e aumentando a de outros. As folhas verdes e secas com sintoma de ataque pelas ninfas do inseto, mas que não estão sendo mais utilizadas por este, servem de abrigo para organismos oportunistas como formigas e aranhas.

#### Galha do Camu-camu

Outra praga associada ao camu-camu é uma galha pertencente ao gênero *Dasineura* sp. (Diptera: Cecidomyiidae). A fêmea deposita uma massa de ovos na região adaxial e apical da folha, que são

protegidos por uma substância de coloração esbranquiçada, de aspecto gelatinoso. Após a eclosão das larvas, estas se dispersam em direção as bordas da região abaxial da folha, permanecendo neste local, onde formarão as futuras galhas. Nesta fase medem cerca de 0,88 mm de comprimento e apresentam uma coloração branco-amarelada. Por sua vez, quando as larvas já completamente desenvolvidas, adquirem uma coloração alaranjada, medindo cerca de 1,85 mm. Pupam no interior das galhas. As pupas são do tipo exarata, porém o envoltório se apresenta na forma de uma película transparente, possibilitando a clara visualização do futuro adulto. Existem dois tipos morfológicos de pupas: a de coloração esbranquiçada com faixas marrons na região do abdome, medindo cerca de 1,28 mm, da qual emergem somente machos e outra de coloração alaranjada na região do abdome, medindo cerca de 2,1 mm da qual emergem apenas fêmeas. Os adultos, de coloração castanha, com cerca de 2,0 mm de comprimento, apresentam olhos grandes contíguos, asas translúcidas de aspecto pulverulento com padrão nervural bastante simplificado, antenas longas com 15 antenômeros e pernas alongadas.

**Injúrias:** As galhas, cuja formação inicia-se nas folhas jovens, localizam-se e distribuem-se, integralmente, ao longo de sua borda, deixando as folhas com aspecto bem característico, constituindo-se no principal sintoma de ataque, ou seja, **folha de borda virada**. Têm aspecto de um pequeno rolo formando uma elipse com as extremidades afiladas. Quando as folhas se apresentam intensamente infestadas, estas galhas as circundam completamente. A folha enrola-se (galha) na borda, no sentido da região abaxial, medindo cerca de 8,5 mm de comprimento e 1,33 mm de diâmetro, podendo-se registrar até 16 galhas por folha. Embora o tipo de dano causado, aparentemente, não comprometer a atividade fotossintética da planta, a presença dessa galha interfere no desenvolvimento normal das folhas.

#### Brocas da Graviola

**Broca do Tronco:** O adulto é um besouro *Cratosomus* sp. (Fabricius) (Coleoptera: Curculionidae) com cerca de 22 mm de comprimento, de formato convexo e coloração preta uniforme. Os élitros são estriados. A larva é branca, ápoda, com placa protorácica evidente e último segmento abdominal esclerotizado (urogonfo). A fêmea oviposita em orifício que faz no ramo. Após a eclosão a larva inicia a construção da galeria no ramo no sentido descendente, pupando no interior da galeria onde constroem um casulo com fibras das plantas. A pupa é do tipo livre. O sinal característico do ataque é a presença de vários escorrimentos negros na casca da árvore associado à presença, na base do caule, de excrementos e serragem que são expelidos pelos orifícios construídos pelas larvas, resultante da atividade de broqueamento. Cada galeria corresponde a uma broca.

**Danos:** A larva recém eclodida penetra no ramo, migrando em direção ao tronco, formando uma longa galeria que se inicia nesta região e termina no terço inferior do tronco, no cerne da planta. As larvas se alimentam dos tecidos internos dos ramos e tronco da gravioleira, causando o secamento dos ramos debilitando a planta e comprometendo a produção, podendo levar à morte.

**Controle:** Efetuar o monitoramento do plantio para fins de poda e queima dos ramos atacados. Recomenda-se também injeção com inseticida de ação de contato e fumigação, escolhendo-se o último orifício no sentido descendente.

**Broca-do-fruto:** O adulto é uma mariposa (*Cerconota anonella*: Lepidoptera, Oecophoridae) de coloração branco-acinzentada com reflexos prateados. Possuem cerca de 2,5 cm de envergadura e hábito noturno. Os ovos são depositados na casca do fruto. As lagartas recém eclodidas penetram no fruto onde completam seu ciclo evolutivo, pupando em seu interior. Quando completamente desenvolvidas apresentam coloração variando de rosado ao marrom. A pupa é do tipo obtecta.

**Injúrias:** Atacam e destroem a região da polpa causando sua podridão, depreciando o fruto e favorecendo a entrada de insetos oportunistas. Os sinais de ataque são caracterizados por frutos retorcidos, com manchas escuras, irregulares ou totalmente enegrecidos.

**Broca-da-semente:** O inseto adulto é uma pequena vespa (*Bephratelloides pomorum*: Hymenoptera, Eurytomidae) que deposita os ovos nas sementes dos frutos ainda pequenos e, à medida que o fruto e a semente crescem, a larva também se desenvolve e empupa no seu interior, completando o seu ciclo. Ao emergir, a vespa faz um orifício (galeria) na polpa e na casca para atingir o exterior. Esses orifícios, localizados na base dos acúleos do fruto, são sinais característicos do ataque das vespas.

**Injúrias:** Além de danos nas sementes, a polpa torna-se “empedrada” ficando o fruto prejudicado pelas perfurações na casca. Ocorre também queda de frutos jovens quando perfurados. Quando saem

do fruto, deixam orifícios na semente, polpa e casca.

**Controle:** Pela característica de ataque (broca) o controle torna-se difícil. Recomenda-se o ensacamento imediatamente após a queda das pétalas e formação dos frutos. Este recurso permite controlar as duas brocas que atacam o fruto.

#### Praga do Guaranazeiro

**Tripes do guaranazeiro:** Entre os insetos encontrados atacando o guaranazeiro, o tripses (*Liothrips adisi*: Thysanoptera, Phlaeothripida) é o que causa maiores danos à planta. Depositam os ovos na folha. As ninfas são de coloração alaranjada. O adulto mede cerca de 2 mm de comprimento e tem coloração negra. Todas as fases de desenvolvimento de *L. adisi* (ovo, ninfa e adulto) ocorrem nas folhas do guaranazeiro.

**Injúrias:** Vivem nas folhas jovens impedindo o seu desenvolvimento ou causando-lhes deformações. Preferem a parte inferior das folhas e raras vezes são vistos na parte superior. No final do período chuvoso (maio-junho), apesar de pouco abundantes, impedem o desenvolvimento das folhas, prejudicando o crescimento dos ramos e, em conseqüência, a produção de flores. São transmissores do fungo (*Fusarium decencellulare*) para plantas sadias em condições de viveiro, causando o super brotamento das mudas. No início do período seco (julho-agosto) se multiplicam rapidamente, permanecendo na cultura durante a floração e frutificação. Nesta ocasião alojam-se nos cachos de flores, podendo causar-lhes o secamento. Atacam também os frutos, comprometendo o seu desenvolvimento.

#### PRAGA DO ARAÇÁ-BOI

**Broca do fruto:** Trata-se de uma larva de mosca-das-frutas (*Anastrepha obliqua*: Díptera, Tephritidae) cujo adulto é uma mosca que mede cerca de 4,5 mm de comprimento, apresentando ápice com dentes irregulares e agudos sobre mais da metade apical e constrição antes da serra pouco acentuada. As asas apresentam faixas costais, formatos em S e V bem distintas (Silva & Ronchi Teles, 2001). No tórax, ocorrem três faixas longitudinais mais claras que o restante dessa região. As fêmeas apresentam ovipositor bem distinto e ovipositam nos frutos ainda verdes. As larvas são do tipo vermiforme, apresentando três estádios, que podem ser caracterizados pelo aspecto dos ganchos bucais. As pupas são do tipo coarctadas, cuja duração média é de 23 dias (Saldanha, 1999). A flutuação populacional dessas moscas está associada à fenologia da frutífera hospedeira (Teles & Silva, 2005).

**Injúrias:** As larvas alimentam-se da polpa dos frutos, o que torna o fruto inviável para a comercialização.

### PRINCIPAIS DOENÇAS ASSOCIADAS ÀS CULTURAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS

#### DOENÇAS DA SERINGUEIRA (*Hevea brasiliensis*)

**Mal-das-folhas:** O mal-das-folhas é causado pelo fungo *Microcyclus ulei* (*Fusicladium macrosporium*), é a doença mais séria da seringueira, sendo um fator limitante para o estabelecimento de seringais na região Amazônica. É na fase de reenfolhamento ou de lançamento de folhas novas que ocorre o ataque do patógeno nos folíolos novos, com até cerca de doze dias de idade, ou em plantas jovens com menos de quatro anos de idade, ou ainda em plantas adultas de clones altamente suscetíveis (Gasparotto et al., 1997; Santos et al., 1997).

**Sintomas:** A manifestação dos sintomas da doença depende principalmente da idade dos folíolos e da suscetibilidade do clone, de acordo com Gasparotto et al. (1997), em folíolos jovens, de 7 a 10 dias, e de clones suscetíveis, observam-se lesões levemente escurecidas e irregulares, que provocam deformação e enrugamento especialmente na face abaxial do limbo. Estas lesões passam a apresentar tonalidade e aspecto verde-oliva-feltroso ou escuro-feltroso, como resultado da esporulação conidial do fungo. Quando as lesões ocorrem em número elevado, estas coalescem, resultando no sintoma de queima dos folíolos, que caem posteriormente, principalmente em folíolos com até 10 a 12 dias de idade (Gasparotto et al., 1997; Santos et al., 1997; Trindade & Furtado, 1997).

**Controle:** A enxertia de copa é uma técnica onde se procura enxertar uma copa com resistência ao

patógeno sobre um fuste de clone produtivo. Esta técnica pode ter a limitação de reduzir a produção do clone, a copa usada ser suscetível a outros patógenos, como *Phytophthora spp.*, e pelo aparecimento de novas raças do *M. ulei* capazes de suplantarem a resistência da copa. (Gasparotto et al. 1997). São recomendados para enxertia os clones de *H. pauciflora* PA 31 e Px e os híbridos de *H. pauciflora* x *H. brasiliensis*, IAN 7388 e IAN 6545. (Gasparotto et al., 1997).

**Controle químico:** Em plantios definitivos é difícil devido à altura das plantas e baixa eficiência dos equipamentos terrestres usados nas pulverizações e do alto custo de pulverizações aéreas. Em viveiros e jardins clonais localizados em áreas de ocorrência severa da doença, as pulverizações devem ser semanais, no período chuvoso, e quinzenais, no período seco (Gasparotto et al., 1997). Os fungicidas recomendados são tiofanato metílico, carbendazim triforine fenarimol, propiconazol e triadimenol, e os protetores mancozeb e clorotalonil (Santos et al., 1997). Gomes et al. (2000) avaliaram a eficiência de fungicidas do grupo das estrobirulinas (kresoxim-metil e azoxystrobin) isoladamente e em misturas com mancozeb, para o controle do mal-das-folhas e observaram que kresoxim-metil e azoxystrobin foram eficazes no controle da doença.

**Mancha-arelolada:** Esta doença, causada pelo fungo *Thanatephorus cucumeris* (*Rhizoctonia solani*), provoca lesões foliares que acarretam a queda prematura das folhas. Em condições de alta umidade, pode causar prejuízos semelhantes ao *M. ulei* (Gasparotto et al., 1997). De acordo com Trindade & Furtado (1997), esta doença tem sido um problema restrito à região Amazônica.

**Sintomas:** Foliolos com cerca de 12-15 dias de idade são suscetíveis ao patógeno. Nestes, as lesões têm 3-10 mm de diâmetro. Inicialmente as lesões são aquosas e apresentam exsudação de látex na superfície abaxial. As gotas de látex coagulam e oxidam, formando pontos negros de aspecto oleoso. Dois a três dias após, a lesão apresenta aspecto seco, coloração castanha e circundada por um halo clorótico. De modo geral, as manchas são grandes e quando localizadas no terço basal ou próximo à nervura principal do folíolo, quando este começa a cair. Em folíolo no chão, em condições de alta umidade, observa-se sobre as manchas um manto micelial esbranquiçado do patógeno (Gasparotto et al., 1997; Santos et al., 1997).

**Controle:** O controle químico é a única medida de controle desta doença. Pode-se obter um controle satisfatório com pulverizações semanais à base de cobre a 0,15% de p.a., e com triadimenol (0,15 g/L) (Gasparotto et al., 1997).

**Crosta Negra:** Doença causada pelo fungo *Phyllachora huberi*. O fungo *Rosenscheldiella heveae* foi descrito associado às lesões causadas por *P. huberi*, (Junqueira & Bezerra, 1990). Estes patógenos têm sido relatados somente em seringueira. É uma doença comum em seringais adultos, afetando folhagem madura ou velha, podendo causar desfolha (Santos et al., 1997).

**Sintomas:** Ocorrem na superfície abaxial dos folíolos, inicialmente como placas circulares negras, que com o passar do tempo ressecam provocando a ruptura de suas porções ao longo das nervuras secundárias, resultando em sintomas tardios caracterizados por uma porção estromática escura no centro, cercada por áreas verdes amareladas do limbo. Na superfície adaxial, os sintomas apresentam-se como áreas ou lesões amareladas, correspondentes aos estromas na fase inferior do limbo. Os estromas de *P. huberi* podem estar associados aos estromas de *R. heveae*. Estes dois fungos são facilmente distinguidos em microscópio, devido às características dos ascos e ascósporos (Gasparotto et al., 1997; Santos et al., 1997).

**Controle:** Até o momento não têm sido estabelecidas medidas de controle para esta doença. De acordo com Santos et al., (1997), os clones de *H. pauciflora* utilizados para enxertia de copa visando ao controle de *M. ulei* são resistentes a *P. huberi* e *R. heveae*.

#### DOENÇAS DO GUARANAZEIRO (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*)

**Antracnose:** Esta doença foi descrita por Albuquerque em 1961 (Albuquerque, 1961), como sendo causada pelo fungo *Colletotrichum guaranicola*. É até hoje considerada a principal doença do guaraná causando danos significativos às plantas. O patógeno infecta folhas e caules tenros em todos os estádios, da planta, ocorrendo em todas as regiões da Amazônia (Batista, 1983; Trindade & Poltronieri, 1997).

**Sintomas:** A doença causa necrose dos limbos e pecíolos das folhas e das hastes em início de desenvolvimento. As partes necrosadas adquirem a coloração marrom-avermelhada. Os folíolos, à medida que secam, tornam-se quebradiços. Lesões isoladas apresentam formato variável de circular a

elíptico. O coalescimento das lesões acarreta a queima de extensas áreas dos folíolos com maior predominância em seus bordos. Quando a lesão afeta as nervuras, provoca deformação e enrolamento dos folíolos, principalmente quando jovens. Quando as condições são muito favoráveis para a doença, tais como umidade elevada e planta debilitada, pode acarretar a queda de um grande número de folhas, seca dos galhos e, conseqüentemente, morte da planta (Albuquerque, 1961).

**Controle:** São recomendadas as seguintes medidas de controle: inspeções periódicas do guaranazal para eliminar plantas altamente infectadas; poda e queima de ramos afetados antes da aplicação de fungicidas. Araújo et al. (2005) observaram que os fungicidas azoxystrobin 0,10 L/ha, azoxystrobin + difenoconazole 0,162 L/ha, tebuconazole 0,08 L/ha, tiofanato metílico 0,340 kg/ha e flutriafol 0,125 L/ha controlaram eficientemente a doença. Além de plantio de variedades resistentes indicadas pelos órgãos de pesquisa como BRS-Amazonas, BRS-CG611, BRS-CG612, BRS-CG648, BRS-Maués e BRS-CG 882.

**Superbrotamento:** É causada pelo fungo *Fusarium decemcellulare*, e que tem sido observada com certa freqüência nos últimos anos. Sua ocorrência pode provocar inibição quase completa do florescimento e conseqüentemente da produção (Trindade & Poltronieri, 1997).

**Sintomas:** Ocorrem em mudas e plantas adultas, podendo ser observados por toda a parte aérea da planta. O patógeno provoca brotações excessivas ao longo dos ramos em pontos próximos. Ocorre também a formação de uma massa densa e desuniforme, semelhante a uma tumoração (Batista, 1983).

**Controle:** Fazer inspeção periódica no guaranazal para identificar planta com superbrotamento, e poda de limpeza. Mudas com sintomas de superbrotamento devem ser queimadas (Batista, 1983; Trindade & Poltronieri, 1997). Uso de clones recomendados como BRS-CG611, BRS-CG612, BRS-CG648 e BRS-CG 882.

#### DOENÇA DO CUPUAÇU (*Theobroma grandiflorum*)

**Vassoura-de-bruxa:** É a doença mais relevante economicamente, pois reduz drasticamente a produção de frutos, podendo causar perdas totais. Sua incidência é elevada em plantios na Amazônia e o agente causal é o fungo *Crinipellis perniciosus*.

**Sintomas:** A enfermidade afeta órgãos jovens, como brotações, flores e frutos, podendo ocorrer em mudas e plantas adultas onde se observam os sintomas de superbrotamento característicos da doença. Inicialmente, devido à hipertrofia do tecido afetado, há engrossamento do caule bem como emissão excessiva de brotações laterais, cujas folhas apresentam crescimento reduzido. Nesta fase, a brotação infectada apresenta coloração marrom-clara (vassoura – seca) que se destaca em relação ao verde da copa. Posteriormente, há seca do ramo doente, cujo aspecto característico é aquele que deu nome à moléstia. Nas vassouras verdes de plantas adultas, na época de floração, verifica-se abundante emissão de botões florais, com posterior aborto das flores. Nos frutos jovens, há paralisação do crescimento e mumificação. Quando a doença afeta os frutos em fase adiantada de desenvolvimento, observam-se lesões escuras na casca, que correspondem internamente à região de apodrecimento da polpa, a qual passa da coloração creme normal para marrom. Geralmente, não ocorre apodrecimento da semente (Véras, et al., 1997; Lima & Souza, 1998).

**Controle:** A doença deve ser controlada através da remoção das vassouras verdes e, ou, secas, cerca de 15 a 20 cm abaixo do local do superbrotamento. Este material deve ser removido da área e incinerado. A época recomendada para a remoção das vassouras é o período de julho a setembro, ou seja, antes do início do período chuvoso. Nesse intervalo deve-se remover, preferencialmente, as vassouras secas para evitar a produção de basidiocarpos (Gasparotto & Pereira, 1998). Pessoa et al., (2004) sugerem que pulverizações com mepromil associadas à poda fitossanitária poderão controlar a doença.

#### DOENÇAS DA PUPUNHEIRA (*Bactris gasipaes*)

**Antracnose:** O agente causal desta doença é o fungo *Colletotrichum gloeosporioides*. A enfermidade é detectada em frutos e folhas de plantas enviveiradas estressadas por falta d'água ou de nutrientes (Santos et al., 2001, Vida, et al., 2004).

**Sintomas:** As manchas foliares são irregulares e com margens bem definidas. Quando o ataque é severo em plantas jovens, pode causar seca total das folhas e morte das mesmas. Os frutos afetados apresentam enrugamento e mudança na textura e cor da epiderme, para tons mais claros seguido de

enegrecimento. As lesões são deprimidas e recobertas por uma massa de esporos de coloração rósea. Os fermentos causados por pássaros e insetos facilitam a incidência da doença que, em alguns casos, tem atingido até 10% dos frutos (Alves & Batista, 1983).

**Controle:** Em condições de viveiro, recomendam-se as seguintes medidas de controle: propiciar condições de umidade e nutrição adequadas; remover as folhas doentes; fazer de duas a três pulverizações de chlorotalonil ou chlorotalonil + tiofanato metílico. Para frutos, recomenda-se a inspeção dos cachos colhidos e remoção dos frutos doentes (Verás et al., 1997).

**Síndrome da queda de frutos:** A queda precoce dos frutos ainda é de origem desconhecida, podendo estar relacionada tanto a fatores bióticos como fisiológicos e ambientais (Mota, 1994; Mota & Gasparotto, 1995; Mota & Gasparotto, 1998), é considerada um fator limitante à produção. A doença ocorre em três fases. Inicialmente, ocorre a queda dos frutos imaturos, até 20 dias após a abertura das inflorescências, quando 50% da produção pode ser afetada. Durante o segundo mês de desenvolvimento do fruto, então, ocorre nova, porém pequena queda. Nas últimas semanas antes da maturação completa dos frutos, geralmente, verifica-se mais uma queda, com menor intensidade. As perdas podem ser totais em algumas plantas e, em alguns anos, chegam a atingir 90% de toda a produção. Trabalhos desenvolvidos até o presente indicam que o problema pode estar associado a causas de origem fisiológica.

#### DOENÇAS DA BANANEIRA (*Musa* sp.)

**Sigatoka Negra:** causada pelo fungo *Mycosphaerella fijiensis* (fase anamórfica: *Paracercospora fijiensis*), é a doença mais importante na maioria das regiões produtoras de banana e plátanos do mundo. Afeta as cultivares do subgrupo Cavendish. No Brasil, a doença foi identificada em fevereiro de 1998 nos municípios de Tabatinga e Benjamim Constant, no Estado do Amazonas, na fronteira do Brasil com a Colômbia e Peru (Pereira et al., 1998). A doença está disseminada no Amazonas, Acre, Mato Grosso, Pará, Roraima, Rondônia, Amapá e, recentemente atingiu Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Gasparotto et al., 2006).

**Sintomas:** inicialmente são pequenas pontuações claras ou áreas despigmentadas na face abaxial, que progridem formando estrias marrom-claras, que podem atingir de 2 a 3 mm de comprimento. Com o progresso, as estrias expandem radial e longitudinalmente e, ainda com coloração marrom-claras, podem ser visualizadas na face adaxial, podendo atingir até 3 cm de comprimento. Nos estádios finais da doença, as lesões apresentam-se com o centro deprimido e de cor branco-palha. As lesões apresentam um halo interno proeminente marrom-escuro, circundado por um pequeno halo amarelo. No centro das lesões, eventualmente, podem-se visualizar pontuações escuras representadas pelas frutificações do patógeno. As lesões coalescem e causam o secamento de todo o limbo foliar.

**Controle:** Apesar de existirem vários fungicidas eficientes para o controle da sigatoka-negra, para o Estado do Amazonas não se recomenda a adoção do controle químico, pelo fato de: os cultivares resistentes recomendadas atendem plenamente os consumidores; os plantios são constituídos por pequenas áreas; a maioria dos produtores não tem tradição no uso de defensivos. Dessa forma, a utilização de cultivares resistentes constitui-se na estratégia de controle mais socioambiental economicamente correta, pois é de fácil aplicação, não depende de ações complementares por parte dos bananicultores e é estável do ponto de vista de preservação do meio ambiente. As cultivares produtivas e resistentes a sigatoka-negra são: Caipira, Thap maeo, Prata (Pacovan) Ken, BRS Prata Caprichosa, BRS Prata Garantida, Preciosa, Japira, Vitória, Prata Zulu, FHIA 01, FHIA 02, FHIA 18, FHIA 20, FHIA 21, Pelipita, Figo Cinza e Ouro. Atualmente, as mais plantadas na região são: Caipira, Thap maeo e FHIA 18 (Gasparotto et al., 2006).

**Mal-do-Panamá:** O mal-do-panamá (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*) é uma doença endêmica por todas as regiões produtoras de banana do mundo. No Brasil, o problema é ainda mais grave em função dos cultivares plantados, que na maioria dos casos são suscetíveis. No Estado do Amazonas, a doença prevalece em solos de ecossistema de terra firme, não sendo detectada em solos de várzea. Quando ocorre em cultivares altamente suscetíveis como a banana Maçã, provoca perdas de 100% na produção. Já nos cultivares tipo Prata, que apresentam grau de suscetibilidade bem menor do que a “Maçã”, a incidência do mal-do-panamá, geralmente, situa-se num patamar de 20% de perdas.

**Sintomas:** As plantas infectadas exibem externamente amarelecimento progressivo das folhas mais

velhas para as mais novas, começando pelos bordos do limbo foliar e evoluindo no sentido da nervura principal. Posteriormente, as folhas murcham, secam e se quebram junto ao pseudocaule. Em consequência, ficam pendentes, o que confere à planta a aparência de um guarda-chuva fechado. É comum constatar-se que as folhas centrais das bananeiras permanecem eretas mesmo após a morte das mais velhas. É possível notar próximo ao solo rachaduras do feixe de bainhas, cuja extensão varia com a área afetada no rizoma. Internamente, observa-se descoloração pardo-avermelhada na parte mais externa do pseudocaule provocada pela presença do patógeno nos vasos (Pereira et al., 2000).

**Controle:** O melhor meio para o controle do mal-do-panamá é a utilização de cultivares resistentes, dentre as quais podem ser citados os cultivares do subgrupo Cavendish e do subgrupo Terra, a Caipira, Thap Maeo, Prata Ken, BRS Prata Caprichosa, BRS Prata Garantida, BRS Japira, BRS Vitória, FHIA 01, FHIA 02, FHIA 20, FHIA 21 e Pelipita (suscetível à raça 2 do patógeno). Como medidas de controle preventivo recomendam-se as seguintes práticas: evitar plantios em áreas com histórico de ocorrência do mal-do-panamá; utilizar mudas comprovadamente sadias e livres de nematóides; corrigir o pH do solo, mantendo-o com níveis ótimos de cálcio e magnésio, que propiciam condições menos favoráveis ao patógeno, dar preferência a solos com teores mais elevados de matéria orgânica; isso aumenta a concorrência entre as espécies, dificultando a ação e a sobrevivência do patógeno no solo; manter as populações de nematóides sob controle; eles podem ser responsáveis pela quebra da resistência ou facilitar a penetração do fungo, através dos ferimentos e manter as plantas bem nutridas, guardando sempre uma boa relação entre potássio, cálcio e magnésio. Nos bananais já estabelecidos e que a doença comece a se manifestar, recomenda-se a erradicação das plantas doentes, utilizando herbicida glifosate na dosagem de 1 mL do produto comercial injetado no pseudocaule de plantas adultas e, ou, chifirão. Isso evita a propagação do inóculo na área de cultivo. Na área erradicada, aplicar calcário ou cal hidratada (Pereira et al., 2000).

**Moko da bananeira:** A bactéria *Ralstonia solanacearum*, raça 2, prevalece em solos de várzea. O moko causa até 100% de perdas na produção. Em plantas jovens causa má-formação foliar, necrose e murcha da vela, seguido de amarelecimento das folhas baixas. Em plantas adultas, ocorre amarelecimento das folhas basais e murcha das folhas mais jovens, progredindo para as folhas mais velhas. Na parte interna do pseudocaule, há escurecimento vascular não localizado, de coloração pardo-avermelhada intensa, atingindo inclusive a região central; no rizoma, além do escurecimento vascular na região central, ocorre também na região de conexão rizoma principal com o rizoma das brotações. No engajo pode ocorrer escurecimento vascular, na forma de pontos avermelhados; nos frutos, além do amarelecimento precoce, há escurecimento da polpa, seguido de podridão seca. O sucesso no controle do moko depende da sua detecção precoce e rápida erradicação das plantas doentes e das adjacentes. A erradicação das plantas pode ser feita com glifosate, injetado no pseudocaule. A área erradicada deve permanecer limpa durante o pousio (12 meses). Outras medidas importantes para o controle do moko: plantio de mudas sadias; desinfestação das ferramentas usadas nas operações de desbaste e colheita; uso de herbicidas ou a roçagem do mato para substituir as capinas manuais ou mecânicas; eliminação do coração em cultivares com brácteas caducas (Pereira, et al., 2000).

#### DOENÇA DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris*)

**Mela ou murcha da teia micélica do feijoeiro:** É causada pelo fungo *Thanatephorus cucumeris*, é o principal patógeno do feijoeiro na região Amazônica. A doença manifesta-se, inicialmente, como manchas encharcadas nas folhas, circundadas por uma área marrom-escura, seguida de intensa produção de um entrelaçado de micélio que atinge as folhas adjacentes, hastes, flores e vagens. A teia micélica, que interliga as folhas com as outras partes da planta, mantém as folhas completamente mortas aderidas ao caule e ramos, com grande número de escleródios formados sobre os tecidos mortos, cuja produção é abundante, e constituem-se em focos secundários de infecção ou permanecem no solo como inóculo primário para o feijoeiro ou outros hospedeiros. Com relação ao controle, vários trabalhos de pesquisa foram desenvolvidos no Estado do Acre. O plantio do feijoeiro em áreas ricas em matéria orgânica e a rotação de cultura podem minimizar os danos causados pela doença (Cardoso & Luz, 1981).

DOENÇA DA MANDIOCA (*Manihots esculenta*)

**Podridão mole de raízes de mandioca:** Causada principalmente por *Phytophthora drechsleri*, é a mais importante doença da mandioca no Norte e Nordeste do Brasil. Inicialmente, ocorre murcha da parte aérea, seguida de secamento descendente dos ramos e queda das folhas. Arrancando-se a planta, a maioria das raízes encontra-se podre. As raízes parcialmente apodrecidas exsudam um líquido de odor fétido. A rotação de cultura com gramíneas (milho e arroz), para reduzir o inóculo, seguido de um período de pousio, no mínimo de três anos, parece ser uma alternativa viável de controle, principalmente para pequenos agricultores (Poltronieri et al., 2001).

DOENÇAS DA LARANJEIRA (*Citrus sinensis*)

**Gomose:** Causada por *Phytophthora parasitica* e *P. ciptrophthora*, é a principal doença fúngica dos citros no Brasil, ocorrendo em todas as regiões produtoras.

**Sintomas:** O patógeno ataca tanto mudas no viveiro como plantas adultas, na região do colo das plantas, acima ou abaixo da superfície do solo. Os sintomas apresentam-se como áreas mortas na casca do caule, com lesões deprimidas de cor escura. Ocorre exsudação de goma (ou resina) na área afetada, ressecamento e fendilhamento longitudinal da casca. Internamente os tecidos apresentam-se de coloração amarela e mais tarde tornam-se pardacentos. Pode ocorrer a formação de calo cicatricial na periferia das lesões. Quando a lesão circunda o tronco por completo a planta morre. Nas raízes, observam-se a podridão com exsudação de goma. Na parte aérea, nota-se a clorose intensa das folhas correspondente ao lado do tronco ou das raízes onde ocorrem as lesões, murcha, queda de folhas e morte da planta (Gasparotto et al., 1998).

**Controle:** O uso de porta-enxerto resistente é a medida mais importante, evitar solos pesados e mal drenados, enxertia alta, tratamento curativo com pasta bordaleza (1:1:10) ou aplicação de Fosetyl-Al (4,8 g i.a./L) no tronco e Fosetyl-Al (2 g i.a./L) na copa. Pode, ainda, aplicar metalxyl (60 g/planta adulta) no solo.

**Leprose:** Está presente na maioria dos Estados produtores de citros. A doença é causada pelo vírus Cedros Leprosis Virus (CiLV) e transmitido pelo ácaro *Brevipalpus phoenicis*.

**Sintomas:** Os sintomas ocorrem em folhas, ramos e frutos. Nas folhas, as lesões são de formato circular, coloração verde-clara, lisa na face superior e rugosa na face inferior. Os ramos apresentam inicialmente lesões amarelas, as quais se tornam marrom-avermelhadas e salientes, progredindo para lesões corticosas e pardas com o passar do tempo. Em frutos verdes, observam-se inicialmente lesões amarelas, as quais se tornam deprimidas e escuras com o amadurecimento. O elevado número de lesões causa a queda de folhas e frutos jovens, podendo causar perdas significativas na produção, chegando ser total em casos de alta severidade.

**Controle:** A medida de controle mais importante é a aquisição de mudas sadias; deve-se fazer uma poda de limpeza, removendo todas as partes com sintomas da doença e queimando-as; caso a planta esteja totalmente seca, é mais viável sua eliminação, pois não são mais economicamente produtivas; deve-se eliminar as plantas daninhas, pois algumas são hospedeiras naturais do ácaro: colher todos os frutos da planta, pois os ácaros preferem se desenvolver nestes e proceder a limpeza das caixas usadas para armazenar os frutos; realizar inspeções periódicas para verificar o nível de dano nas plantas; controle químico do vetor com os seguintes acaricidas e misturas em g i.a./100 L de água: difocol (36,0), propargite (36,0), flufenoxuron (5,0), clofenapyr (7,5), flufenoxuron + difocol (2,5 + 36,0), flufenoxuron + clofenapyr (2,5 + 7,5) (Gasparotto et al., 1998).

**Pinta Preta:** A pinta preta dos citros é quase exclusivamente uma doença da fruta. Causa as lesões sobre a casca, tornando com má aparência para as vendas, mas causa raramente a deterioração da fruta, ainda que a casca torne-se extensivamente necrótica (Kotzé, 1981), em caso de alta severidade da doença, há uma queda precoce dos frutos antes de completarem a maturação.

**Sintomas:** A doença manifesta-se de diversas formas nos frutos, sendo relatados, até o momento, seis tipos de sintomas diferentes. **Mancha prata ou mancha dura** - É a mais típica e aparece quando os frutos estão amadurecendo. Apresenta bordas salientes com depressão no centro, tem cor clara com pontos escuros, chamados de picnídios, onde os picnidiósporos são formados. **Falsa Melanose** - Lesão pequena e com numerosos pontos escuros ao seu redor. Podem ser confundidas com a doença melanose (*Diaporthe citri*). A diferença das lesões está na textura: na melanose é áspera, enquanto na pinta

preta é lisa. **Mancha rendilhada** – Lesões superficiais sem bordas definidas e textura lisa, que aparecem quando os frutos ainda estão verdes. Essas lesões chegam a atingir grande parte da superfície do fruto. **Mancha trincada** – É superficial e ocorre em pequeno número em frutos ainda verdes. Quando o fruto amadurece, a lesão trinca e esta sempre associada ao ácaro da falsa ferrugem (*Phyllocoptruta oleivora*). **Mancha sardenta** - Levemente deprimida e avermelhada, aparece em frutos maduros e também na pós-colheita. Frutos já contaminados, mas sem sintomas, podem expressar lesões durante o armazenamento ou transporte. **Mancha virulenta** – Este tipo de sintoma origina-se do aumento do tamanho e da fusão dos outros tipos de lesões. Com o desenvolvimento, podem tomar grandes áreas da superfície do fruto. Os sintomas de pinta preta em folhas não são observados com frequência. Quando ocorrem, são evidentes nas duas faces da folha e as lesões são semelhantes às da mancha prata ou dura, observadas nos frutos (Fundecitrus, 2005).

**Controle:** manter o pomar em boas condições de nutrição e sanidade; a desinfestação e retirada de restos de material vegetal dos veículos, máquinas, materiais de colheita e outros equipamentos (Fundecitrus, 2005); pulverizações com produtos cúpricos, carbamatos e benzimidazóis (Kotzé, 1981).

**Podridão Floral:** Causada pelo fungo *Colletotrichum gloeosporioides*, pode causar prejuízos de até 80% da produção. A doença afeta os botões florais, flores e frutinhos novos, causando a queda prematura. Nos botões florais e flores abertas, surgem lesões de coloração marrom. As pétalas caem e os frutinhos originados de flores infectadas tornam-se verde-oliva ou marrom-claro e posteriormente amarelecem e caem, deixando o cálice e o disco floral retidos na planta.

**Controle:** Recomenda-se a aplicação de Tebuconazole (20 g i.a./100 L de água) durante a floração. Como medidas complementares, recomenda-se adubação adequada e limpeza do pomar. (Gasparotto et al., 1998).

#### DOENÇAS DO COQUEIRO (*Cocos nucifera*)

**Murcha-de-Phytomonas:** É uma doença letal do coqueiro, onde a mortalidade de plantas é diretamente proporcional à sua incidência. É causada pelo protozoário *Phytomonas stabeli* (Araújo et al., 2000), e é transmitida por percevejos da família Pentatomidae. Os sintomas manifestam-se inicialmente nas inflorescências onde ocorre necrose a partir da sua extremidade, e exalando odor fétido, as flores e frutos novos secam e caem. Frutos já desenvolvidos não são afetados. Nas folhas, observa-se o empardecimento e secamento, no sentido ápice-base, resultando na ruptura da ráquis junto ao estipe. As raízes também podem apresentar necrose e secamento. A morte da planta pode ocorrer entre quatro e seis semanas (Araújo et al., 2003).

**Controle:** Não existe tratamento curativo, nem material resistente à doença. O controle deve ser preventivo, usando-se mudas sadias, inspeções de campo e eliminação da plantas doentes, e controle do vetor (Araújo et al., 2003).

**Mancha foliar do coqueiro:** Causada pelo fungo *Bipolaris incurvata*, ocorre principalmente em plantio com deficiência de potássio. Os sintomas manifestam-se como pequenas lesões arredondadas, com centro marrom-claro, circundadas por um halo amarelo-ouro. Posteriormente, as lesões se expandem, o centro torna-se escuro e com um pequeno halo amarelo, que podem coalescer, apresentando centro esbranquiçado e bordas marrom-escuras. Na folha central recém-emitada surgem grandes lesões no pecíolo. Ocorre a paralisação do crescimento, culminando com a morte da planta (Gasparotto et al., 1999).

**Controle:** recomenda-se correção do solo com calcário dolomítico e adubação adequada, principalmente com matéria orgânica e potássio na cova de plantio (Gasparotto et al., 1999).

#### DOENÇAS DO MOGNO AFRICANO (*Khaya ivorensis*.)

**Mancha Areolada:** Causada pelo fungo *Thanatephorus cucumeris*. Esta doença foi descrita por Gasparotto et al. (2001), ocorrendo em viveiro e em plantios definitivos em Manaus-AM e Igarapé Açu-PA, causando lesões em folhas maduras e queda de folhas jovens.

**Sintomas:** em folhas jovens surgem manchas marrons (2 a 8 mm de diâmetro), centro esbranquiçado, bordos escuros e circundados por um halo cor de vinho. Em folhas maduras as manchas são grandes, marron-claras ou marron-escuras, descontínuas, necróticas e em forma de auréolas, que tendem a cair. Em folíolos caídos no chão é possível observar um manto micelial esbranquiçado, na superfície de lesões na face abaxial das folhas.

**Controle:** Pulverizações quinzenais em viveiros com o fungicida Pencycuron (2 g/L de água) previnem a doença em mudas (Gasparotto et al., 2001).

**Rubelose:** Causada pelo fungo *Phamerochaete salmonicolor*, ocorre em plantas com 2 anos de idade, no Pará (Poltronieri et al., 2002a).

**Sintomas:** Caracteriza-se por lesões necróticas de coloração rósea, causando depressão e rachadura da casca do tronco e galhos, culminando com a formação de uma crosta rosada na superfície dos ramos e troncos infectados. Quando o ataque é severo as plantas apresentam secamento e morte de galhos.

**Controle:** Recomenda-se a poda dos ramos afetados de 15 a 30 cm além do ponto de infecção, seguido da aplicação de pasta à base de cobre (oxicloreto de cobre, óxido cuproso ou sulfato de cobre) ou mancozeb, ambas a 5% (5 g do produto comercial/L de água). No tronco, recomenda-se a cirurgia da área afetada e aplicação de pasta fúngica, citada anteriormente (Poltronieri et al., 2002b).

**Outras doenças:** Poltronieri et al. (2000) relatam a ocorrência de uma doença em plantios de mogno africano no Pará, causada pelo fungo *Cylindrocladium parasiticum*, incitando mancha foliar e defoliação das plantas.

Além deste, outros fungos têm sido relatados ocorrendo em plantios, associados a sintomas de mancha foliar e queda de folhas, como: *Sclerotium coffeicola* Bull., *Cercospora* sp., *Pellicularia koleroga* Cooke, e *Rigidoporus lignoselus* (Klotzsch) Imazeki. (Poltronieri et al., 2005).

No mogno brasileiro (*Swetenia macrophila*), raro são os relatos de patógenos associados a esta espécie, podendo-se citar os trabalhos de Oliveira et al. (2001), que relataram a ocorrência de mancha de Phomopsis (*Phomopsis* sp.) em área de produção de mudas no Pará, e a ocorrência de mancha foliar causada por *Sclerotium coffeicola* no Amazonas (Assis et al., 2005).

## CONCLUSÕES

A diversidade de insetos pragas e agentes fitopatogênicos associados às plantas cultivadas na região amazônica, revelam o nível de vulnerabilidade desses cultivos à ação dos agentes bióticos. Fatores edáficos relacionados aos vários sistemas de cultivos praticados na região, com destaque para os sistemas agroflorestais, podem contribuir para minimizar ou agravar as relações tróficas predominantes nas áreas cultivadas. Na região amazônica, o risco de esses agentes bióticos atingirem níveis de dano é elevado, devido aos fatores climáticos e de relevo não serem impeditivos para o estabelecimento de rupturas nos processos biológicos e no ciclo de vida dos insetos. Mesmo considerando a presença de agentes de controle biológico natural (entomopatógenos, parasitoides e predadores), estes nem sempre conseguem controlar eficazmente os insetos pragas e os fitopatógenos.

Os sistemas agroflorestais, por sua vez, que poderiam se constituir em “amortecedores fitossanitários” capazes de minimizar a pressão dos insetos pragas e fitopatógenos, normalmente não cumprem esse papel. Os registros de ocorrência de pragas e doenças se manifestando em níveis de infestação elevados, particularmente nos sistemas agroflorestais, mostra que é necessário reavaliar o conceito de SAF, quando colocado como um sistema de cultivo restaurador do equilíbrio ecológico.

É necessário, portanto, avançar nos estudos quanto aos aspectos fitossociológicos dos sistemas agroflorestais, que considerem os fatores edáficos, climáticos e, sobretudo, fitossanitários.

## LITERATURA CITADA

- ALBUQUERQUE, F.C. Antracnose do Guaraná. Rio de Janeiro, MA/Serviço de Informações Agrícolas, 1961. 22p. (Estudos Técnicos, 18).
- ALVES, M.L.B. & BATISTA, M.F. Ocorrência de antracnose em pupunha (*Bactris gasipaes* H.B.K.) em Manaus. Acta Amazônica, 13:705, 1983.
- ARAÚJO, J.C.; PEREIRA, J.C.; GASPAROTTO, L. & ARRUDA, M.R. Avaliação de fungicidas no controle da antracnose do guaranazeiro. Fitopatologia Brasileira, 30 (suplemento):82, 2005.
- ASSIS, L.A.; COELHO NETO, R.A. & BARBOSA, A.P. Ocorrência de mancha foliar em mogno causada por *Sclerotium coffeicola* no Estado do Amazonas. Fitopatologia Brasileira, 30:139, 2005 (Resumo).

- BARBOSA, M.L.L.; ACIOLI, A. N.S.; OLIVEIRA, A. N. do; SILVA, N.M. da & CANTO, S.L. de O. Ocorrência de *Tuthillia cognata* Hodkinson Brown e Burckhardt 1986 (Hemiptera; Homoptera; Psyllidae) em plantios experimentais de camu-camu *Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh em Manaus (Amazonas, Brasil). *Acta Amazônica*, 34:115-119, 2004.
- BATISTA, M.F. Doenças do Guaranazeiro. Manaus, Embrapa-UEPAE, 1983. 27p. (Circular Técnica nº 9).
- BERTI FILHO, E. Observações sobre a biologia de *Hypsipyla grandella* (Zeller, 1848) (Lepidoptera, Phycitidae). Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 1973. 108p. Tese (Dissertação em Fitopatologia) - ESALQ/USP, 1973.
- CARDOSO, J.E. & LUZ, E.D.M.N. Avanços na pesquisa sobre a mela do feijoeiro no estado do Acre. Rio Branco, EMBRAPA.UEPAE, 1981. 29p. (Boletim de Pesquisa, 1).
- CARTER, J.D. & KRISTENSEN, N.P. Classification and keys to higher taxa. In: KRISTENSEN, N.P. ed. Lepidoptera, moths and butterflies. Vol. 1. Part 35. In: Handbook of Zoology. Vol. IV Arthropoda Insecta. Berlin/New York, Walter de Gruyter, 1999. p.26-40.
- CLEMENT, C.R.; CLAY, J.W. & SAMPAIO, P. de T.B. Biodiversidade Amazônica: Exemplos e estratégias de utilização. Manaus, Programa de Desenvolvimento Empresarial e Tecnológico (INPA/SEBRAE), 1999. p.167-173.
- COUTURIER, G.; INGA, H. & TANCHIVA, E. Insetos fitofagos que vivem em *Myrciaria dubia* (Myrtaceae) frutal amazônico en la region de Loreto – Peru. *Folia Amazonica*, 4:19-29, 1992.
- COUTURIER, G.; TANCHIVA, E.; CÁRDENAS, R.; GONZALES, J. & INGA, H. Los insectos plaga del camu camu (*Myrciaria dubia* H.B.K) y del araza (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) identificación e controle. Série Informe Técnico nº 26, Instituto Nacional de Investigacion Agraria, Lima – Peru, 1994.
- FALCÃO, M.A. & E. LLERAS. Aspectos fenológicos, ecológicos e de produtividade do cupuaçuzeiro - *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum. *Acta Amazonica*, 13:725-735, 1983.
- GASPAROTTO, L.; SANTOS, A.F.dos; PEREIRA, J.L.R. & FERREIRA, F.A. Doenças da seringueira no Brasil. Brasília, Embrapa-SPI, Manaus, Embrapa-CPAA, 1997. 168p.
- GASPAROTTO, L. & PEREIRA, J.C.R. Poda fitossanitária no controle da vassoura-de-bruxa do cupuaçuzeiro. Manaus, Embrapa Amazônia Ocidental, 1998. 6p. (Comunicado Técnico, 12).
- GASPAROTTO, L.; HANADA, R.E.; ALBUQUERQUE, F.C. & DUARTE, M.L.R. Mancha areolada causada por *Thanatephorus cucumeris* em mogno africano. *Fitopatologia Brasileira*, 26:660-661, 2001.
- GASPAROTTO, L.; PEREIRA, J.C.R.; HANADA, R.E. & MONTARROYOS, A.V.V. Sigatoka-negra da bananeira. Manaus, Embrapa Amazônia Ocidental, 2006. (no prelo)
- GOMES, L.A.; MATTOS, C. & FURTADO, E.L. Controle do mal-das-folhas com fungicidas do grupo químico estrubirulinas. *Fitopatologia Brasileira*, 25 (Suplemento):377, 2000.
- HERINGER, E. P. Contribuição ao conhecimento da flora da Zona da Mata de Minas Gerais. *Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas*, 2:1-187, 1974.
- JUNQUEIRA, N.T.V. & BEZERRA, J.L. Nova doença foliar em seringueira (*Hevea* spp.), causada por *Rosenscheldiella heveae* n.sp. (Loculoascomycetes, Dothideales, Stigmataceae). *Fitopatologia Brasileira*, 15:24-28, 1990.
- KOTZÉ, J.M. Epidemiology and control of Citrus Black Spot in South Africa. *Plant Disease*, 65:945-950, 1981.
- LIMA, M.I.P.M. & SOUZA, A.G.C.de. Diagnose das principais doenças do cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum.) e seu controle. Manaus, Embrapa-CPAA, 1998. 18p. (Documentos, 9).
- LOPES, C.M.D'A. & SILVA, N.M. Impacto econômico da broca-do-fruto do cupuaçuzeiro *Conotrachelus humeropictus* (Coleoptera: Curculionidae), no Amazonas e Rondônia. *An. Soc. Entomol. Brasil*, 27:481-483, 1998.

- LOURIDO, G.M. & SILVA, N.M. da. Biologia e importância econômica da lagarta da folha do cupuaçuzeiro *Macrosoma tipulata* Hubner, 1818 (Lepidoptera; Hedyliidae) em sistema agroflorestal na Amazônia Central. In: IV Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 2002, Ilhéus. Anais do IV Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais. 2002. v.01, p.76.
- LOURIDO, G.M.; SILVA, N.M. da & MOTTA, C. Morfologia de imaturos de *Macrosoma tipulata* Hübner, 1818 (Lepidoptera: Hedyliidae) da folha do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*: Sterculiaceae) em Manaus, Amazonas, Brasil. In: I Encontro sobre Lepidoptera Neotropicais, 2005.
- MOTA, A.M. Efeito de patógenos sobre a "síndrome da queda de frutos" em pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth). Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, 1994. 50p. Tese (Dissertação em Fitopatologia) - Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, 1994.
- MOTA, A.M. & GASPAROTTO, L. Dinâmica da queda precoce de frutos de pupunha. Fitopatologia Brasileira, 20 (Suplemento):377, 1995.
- MOTA, A.M. & GASPAROTTO, L. Fungos associados a "síndrome da queda de frutos" da pupunheira. Revista da Universidade do Amazonas, Série Ciências Agrárias, 7:69-79, 1998.
- NERY, D.M. & SILVA N.M. Gradiente de infestação de *Conotrachelus aff. humeropictus* (Coleoptera: Curculionidae) em sistemas agroflorestais, em Nova Califórnia (RO), Brasil. In: 19º Congresso Brasileiro de Entomologia, 2002a, Manaus. Livro de Resumos.
- NERY, D.M. & SILVA N.M. Profundidade de pupação de *Conotrachelus aff. humeropictus* (Coleoptera: Curculionidae) em dois tipos de solos, em Nova Califórnia (RO), Brasil. In: 19º Congresso Brasileiro de Entomologia, 2002b, Manaus. Livro de Resumos.
- NERY, D.M.S. Estratificação vertical da infestação da broca do fruto do cupuaçuzeiro *Conotrachelus aff. humeropictus* Fiedler, 1940 (Coleoptera; Curculionidae) em sistemas agroflorestais em Nova Califórnia, Rondônia. Manaus, AM: INPA/UFAM, 2002. 85p. Tese (Dissertação em Entomologia) - INPA/UFAM, 2002.
- OLIVEIRA, F.C. de; TEIXEIRA, R.V.R. & NUNES, M.A.L. Ocorrência de mancha de Phomopsis (*Phomopsis* sp) em mudas de mogno (*Swetenia macrophila*) no Estado do Pará. Fitopatologia Brasileira, 26 (Suplemento):439, 2001.
- OLIVEIRA, S.P. Dispersão horizontal da broca do fruto do cupuaçuzeiro (*Conotrachelus aff. humeropictus*) (Coleoptera; Curculionidae) em sistemas agroflorestais em Nova Califórnia, Rondônia. Manaus, AM: Universidade Federal do Amazonas, 2003. 79p. Tese (Dissertação Entomologia) - Universidade Federal do Amazonas, 2003.
- PEREIRA, J.C.R.; GASPAROTTO, L.; COELHO, A.F.S. & URBEN, A. Ocorrência da Sigatoka Negra no Brasil. Fitopatologia Brasileira, 23 (Suplemento):295, 1998. Resumo.
- PEREIRA, J.C.R.; GASPAROTTO, L.; COELHO, A.F.S. & VÉRAS, S.M. Doenças da bananeira no estado do Amazonas. 2.ed. rev.. Manaus, Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. 27p. (Circular Técnica, 7).
- PESSOA, D.N.; DUARTE, M.L.R. & MOREIRA JÚNIOR, I.M. Sensibilidade diferencial de isolados de *Crinipellis pernicioso* de cupuaçuzeiro ao fungicida mepronil. Fitopatologia Brasileira, 29 (suplemento):84, 2004.
- POLTRONIERI, L.S.; ALFENAS, A.C.; TRINDADE, D.R.; ALBUQUERQUE, F.C. & BENCHIMOL, R.L. A new disease of the african mahogany caused by *Cylindrocladium parasiticum* in Brazil. Fitopatologia Brasileira, 25:204, 2000.
- POLTRONIERI, L.S.; ALBUQUERQUE, F.C.; TRINDADE, D.R.; DARTE, M.L.R. & BENCHIMOL, R.L. Podridão mole das raízes de mandioca. In: LUZ, E.D.M.N.; SANTOS, A.F.; MATSUOKA, K & BEZERRA, J.L. Doenças causadas por *Phytophthora* no Brasil. Campinas, Livraria e Editora Rural, 2001. p.433-454.
- POLTRONIERI, L.S.; ALBUQUERQUE, F.C.; TRINDADE, D.R.; DUARTE, M.L.R.; CARVALHO, J.E.U. & MULLER, C.H. Detecção de *Phamerochaete salmonicolor* em mogno africano no Estado do Pará. Fitopatologia Brasileira, 27:321, 2002a.

- POLTRONIERI, L.S.; TRINDADE, D.R.; ALBUQUERQUE, F.C. & DUARTE, M.L.R. Identificação e controle da Rubelose em mogno africano no Estado do Pará. Belém, Embrapa Amazônia Oriental, 2002b. (Comunicado técnico 68).
- POLTRONIERI, L.S.; TRINDADE, D.R. & DUARTE, M.L.R. Constatação de doenças em mogno africano no Estado do Pará. *Fitopatologia Brasileira*, 26 (Suplemento):330, 2005.
- SALDANHA, L.A. & SILVA, N.M. Semi artificial rearing of larvae of the west Indian fruit fly *Anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae) in Manaus, Amazonas- Brazil. *Florida Entomologist*, 82:82-86, 1999.
- SANTOS, A.F. dos; GASPAROTTO, L. & PEREIRA, J.C.R. Seringueira (*Hevea spp.*) – controle de doenças. In: do VALE, F.X.R. & ZAMBOLIM, L. eds. Controle de doenças de plantas: Grandes culturas. Vol. 2. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa ; Brasília, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. p.925-952.
- SANTOS, A.F. dos; TESMANN, D.J.; NUNES, W.M.; VIDA, J.B. & JACCOUD FILHO, D.S. Doenças foliares da pupunheira (*Bactris gasipaes*) no Estado do Paraná. *Bol. Pesq.*, 42:141-145, 2001.
- SCOBLE, M.J. An identification guide to the Hedyliidae (Lepidoptera: Hedyloidea). *Entomologica Scandinavica*, 21:121-58, 1990.
- SCOBLE, M.J. Guia de las mariposas hedylicas de Costa Rica (Lepidoptera: Hedyliidae). INBIO, Heredia-Costa Rica, 1992. 30p.
- SILVA, A.G.A.; GONÇALVES, C.R.; GALVÃO, D.M.; GONÇALVES, A.J.L.; GOMES, J.; SILVA, M.N. & SIMONI, L. Quarto catálogo dos insetos que vivem nas plantas do Brasil. v1 pt. 2. Rio de Janeiro, Laboratório Central de Patologia Vegetal, 1968.
- SILVA, N.M. Características biológicas e demográficas da broca *Hypsipyla grandella* e níveis de infestação sob dois sistemas de plantio de andiroba (*Carapa guianensis*) no Amazonas. Manaus, AM: Universidade Federal do Amazonas, 1985. 112p. Tese (Dissertação Entomologia) - Universidade Federal do Amazonas, 1985.
- SILVA, N.M. & CALOBA, J. Insetos associados à graviola (*Annona muricata*) e Biribá (*Rollinia mucosa* (Jacq Baill) no Estado do Amazonas. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 24:179-182, 1995.
- SILVA, N.M.; SILVEIRA NETO, S. & ZUCCHI, R.A.. The natural host plants of *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) in the state of Amazonas, Brasil. In: MCPHERON, B.A. & STECK, G.J. org. Fruit fly pests: A world assessment of their biology and management. Deray Beach, 1996. p.353-357.
- SILVA, N.M. & RONCHI TELES, B. Dinâmica, flutuação e manejo em algumas culturas na região amazônica. In: MALAVASI, A. & ZUCCHI, R.A. org. Moscas-das-frutas do Brasil: Taxonomia, biologia, evolução e controle. Piracicaba, FEALQ, 2000. p.233-241.
- SILVA, N.M.; LOPES, C.M.D´A. & NERY, D.S. Manejo integrado da broca do fruto do cupuaçuzeiro. Manaus, INPA/UFAM/PPD/PPG-7, 2002. 15p. (Cartilha de Difusão)
- SLIWA, D. Some aspects of the biology of *Hypsipyla grandella*. In: Symposium on Integrated Control of *Hypsipyla*. 1. Proceedings, Turrialba, IICA-CATEL, 1973. p.1.
- SOUZA, A. G.C.; SILVA, S.E.L.; TAVARES, A.M. & RODRIGUES, M.R.L. A cultura do cupuaçu. Manaus, EMBRAPA CPAA, 1999. 39p. (Circular Técnico, 2).
- STERRINGA, J.T. Studies on the shoot-borer *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lep. Pyralidae). XVII. An improved method for artificial rearing. In: Symposium on Integrated control of *Hypsipyla*. Turrialba, Proceedings, 1973. p1-35.
- TELES, B.R. & SILVA N.M. Flutuação populacional de espécies de *Anastrepha* Schiner (Diptera: Tephritidae) na região de Manaus, AM. *Neotropical*, 34:733-741, 2005.
- THOMAZINI, J.M. Flutuação populacional e intensidade de infestação da broca-dos-frutos em cupuaçu. *Scientia Agrícola*, 59:463-468, 2002.
- TREVISAN, O. & MENDES, A.C.B. Ocorrência de *Conotrachelus humeropictus* Fiedler, 1940 (Col.: Curculionidae), em frutos de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) Willd. ex Spreng. Schum.)

- Sterculiaceae). In: RESUMOS. Anais do 13º Congresso Brasileiro de Entomologia, Sociedade Entomológica do Brasil, Recife, 1991. p.137.
- TRINDADE, D.R. & FURTADO, E.L. Doenças da seringueira (*Hevea brasiliensis* (Willd. Ex Adr. De Juss.) Muell. & Arg. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIM FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. & REZENDE, J.A.M. Manual de fitopatologia vol. 2. Doenças da plantas cultivadas. São Paulo, Ceres, 1997. p.628-641.
- TRINDADE, D.R. & POLTRONIERI, L.S. Doenças do guaraná (*Paullinia cupana* Ducke). In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIM FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. & REZENDE, J.A.M. Manual de fitopatologia vol. 2. Doenças da plantas cultivadas. São Paulo, Ceres, 1997. p.459-462.
- VENTURIERI, G.A. Cupuaçu: a espécie, sua cultura, usos e procedimentos. Belém, Clube do Cupuaçu, 1993. 108p.
- VÉRAS, S.M.; LIMA, M.I.P.M. & GASPAROTTO, L. Doenças das fruteiras da Amazônia. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIM FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. & REZENDE, J.A.M. Manual de fitopatologia vol. 2. Doenças da plantas cultivadas. São Paulo, Ceres, 1997. p.406-410.
- VIDA, J.B.; TESSMANN, D.J.; MAFACIOLI, R.; VERZIGNASSI, J.R. & FIGUEIREDO, A.S. Ocorrência da antracnose em frutos de pupunheira nas regiões subtropicais do Brasil. *Fitopatologia Brasileira*, 29 (suplemento):155, 2004.
- ZUCCHI, R. A.; SILVA, N. M. & SILVEIRA NETO, S. *Anastrepha* species (Diptera: Tephritidae) from the brazilian amazon: Distribution hosts and lectotype designations. In: MCPHERON, B.A. & STECK, G.J. org. Fruit fly pest: A world assessment of their biology and management. Deray Beach, 1996. p.259-264.

## Uso de Agroflorestas no Manejo de Florestas Secundárias

OSVALDO RYOHEI KATO, MARIA DO SOCORRO DE ANDRADE KATO, CLAUDIO JOSÉ REIS DE CARVALHO, RICARDO DE OLIVEIRA FIGUEIREDO, ARI PINHEIRO CAMARÃO, TATIANA DEANE DE ABREU SÁ, MANFRED DENICH & KONRAD VIELHAUER

### INTRODUÇÃO

O principal sistema de uso da terra na Amazônia utilizado na agricultura familiar se caracteriza pela prática da derruba e queima da vegetação durante o preparo de área para o plantio. Este sistema, conhecido como agricultura de derruba e queima ou agricultura itinerante, recorre seguidamente a derruba e queima da vegetação natural e proporciona condições para o cultivo agrícola durante um a dois anos, seguido de pousio, que é o período quando a vegetação secundária (capoeira) se restabelece por meio de rebrotas de tocos, raízes e sementes que sobreviveram ao corte e a queimada.

Este sistema de uso da terra exige taxas de rotação com períodos de pousio suficientemente longos para permitir que a vegetação secundária recomponha, ao menos parcialmente, diversidade florística, a ciclagem de água e de nutrientes (Hölscher et al., 1997 a, b; Sommer et al., 2004), e proporcione o acúmulo de carbono e nutrientes na sua biomassa (Denich, 1991; Denich et al., 1999; Tippmann 2000). Portanto, a estabilidade de produção é resultante dos efeitos deste sistema rotacional, e baseia-se no uso do fogo para disponibilizar os nutrientes acumulados na biomassa durante o pousio, no controle de invasoras resultante da recomposição florística e na proteção do solo pela rede de raízes da capoeira (Denich et al., 2004).

Quando o período de pousio decresce, devido à crescente pressão populacional e a necessidade de produção de alimentos, a magnitude dos efeitos benéficos do período de pousio diminui (Metzger et al., 1998; Metzger, 2000), uma vez que as repetidas queimadas representam uma contínua perda de nutrientes minerais e uma maior exposição do solo, juntamente com a retirada dos resíduos da serrapilheira e aumento da mineralização da matéria orgânica.

Em torno de 600 mil famílias de agricultores familiares na Amazônia produzem 70% dos alimentos básicos da população, através da agricultura de derruba e queima, resultando em avanço do desmatamento, emissão de gases para atmosfera que contribuem para o aquecimento global da Terra e aumento dos riscos de incêndios florestais (Diaz et al, 2003).

A Embrapa Amazônia Oriental em parceria com as Universidades de Bonn e de Göttingen, da Alemanha, desenvolveram alternativas ao uso do fogo e redução do período de pousio para melhorar a sustentabilidade do sistema nas condições atuais do uso da terra na Zona Bragantina no nordeste do Estado do Pará.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

a) Localização, solo e clima

O projeto é desenvolvido na Zona Bragantina, nordeste do estado do Pará, mais precisamente nos municípios de Igarapé-Açu e Marapanim (Figura 1), cuja precipitação média anual da região é de 2.500 mm, sendo o período de maior precipitação de março a abril e o de menor precipitação de setembro a novembro. A temperatura média anual varia de 25,5°C a 26,8°C e a umidade relativa do ar de 80% a 89%.

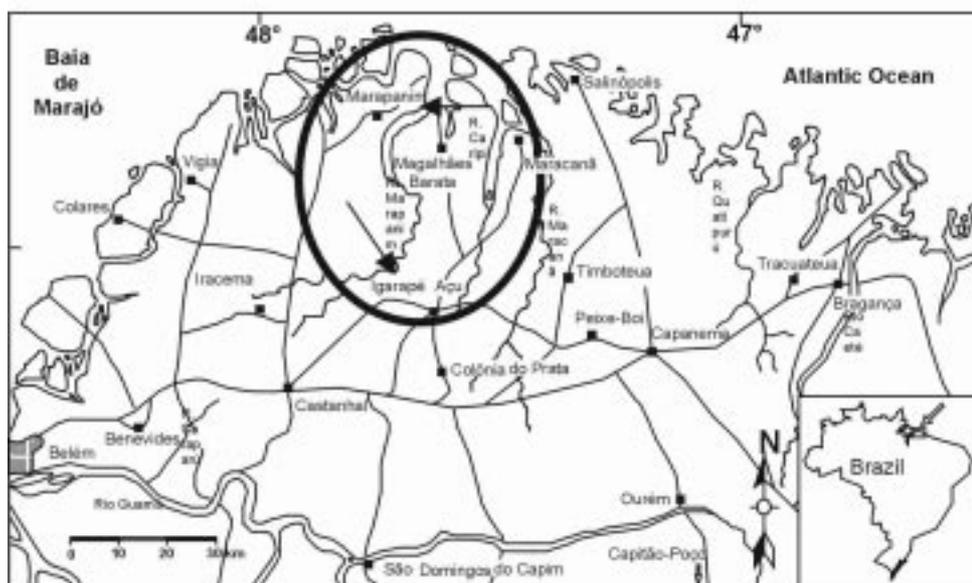


Figura 1 - Mapa de localização dos municípios de Igarapé-Açu e Marapanim no estado do Pará.

O solo predominante da região é Argissolo Amarelo Distrófico de textura arenosa/média, em geral com boas características físicas, ácido e de baixa fertilidade natural (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores médios de pH, teores de N<sub>total</sub>, N<sub>mineral</sub>, P, K, Ca, Mg, Al e C e a relação C/N em solos com cobertura vegetal de capoeiras de 4 e 10 anos, em quatro profundidades – Igarapé-Açu, (Adaptado de Kato, 1998)

Profundidade cm	pH	N <sub>total</sub> %	N <sub>min</sub> -----mg kg <sup>-1</sup> -----	P kg <sup>-1</sup>	K	Ca -----cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----	Mg	Al	C %	C/N
Capoeira de 4 anos										
0 – 10	5,2	0,07	53	3,0	15	0,8	0,4	0,2	1,07	15,3
10 – 20	5,1	0,04	52	1,5	9	0,4	0,2	0,4	0,58	14,5
20 – 30	5,2	0,04	53	1,1	8	0,3	0,2	0,4	0,59	14,7
30 – 50	5,3	0,03	48	0,1	7	0,3	0,2	0,4	0,51	17,0
Capoeira de 10 anos										
0 – 10	5,1	0,07	83	2	21	0,7	0,4	0,2	0,99	14,2
10 – 20	5,1	0,06	-	1	16	0,7	0,2	0,4	0,81	13,4
20 – 30	5,2	0,05	-	0,1	10	0,3	0,2	0,5	0,72	13,1
30 – 50	5,1	0,04	-	0,1	7	0,3	0,2	0,6	0,58	14,5

n.d – Não determinado

## b) Sistema de uso da terra - Agricultura de derruba e queima

Caracteriza-se por envolver um a dois anos de cultivo com milho (*Zea mays*, L), arroz (*Oryza sativa*, L), caupi (*Vigna unguiculata*) e mandioca (*Mahibot esculenta*, Crantz) em rotação com pousio de três a sete anos, quando cresce a capoeira. Os nutrientes para fase de cultivo agrícola são garantidos durante o período de pousio pelo seu acúmulo na biomassa da capoeira (Kanashiro & Denich, 1998).

O preparo de área para o plantio consiste na derruba manual e queima da vegetação secundária. Os nutrientes acumulados na biomassa da vegetação secundária são então disponibilizados para o sistema através das cinzas provenientes da queima (Denich, 1991). Este sistema é praticado pela grande maioria dos agricultores familiares da Amazônia, por ser simples e de fácil operação, por aumentar a fertilidade natural do solo pela adição das cinzas, promover a correção da acidez do solo, pela supressão de plantas invasoras e, controlar as pragas e doenças (Nye & Greenland, 1960; Juo & Lal, 1977; Juo & Manu, 1996).

Apesar dos efeitos benéficos deste sistema no preparo da terra para plantio, durante o processo da queima da vegetação, Mackensen et al. (1996) verificaram perdas de 96% de nitrogênio, 76% de enxofre, 47% de fósforo, 48% de potássio, 35% de cálcio e 40% de magnésio em uma capoeira de aproximadamente sete anos de idade.

Associado a essas perdas, a intensificação deste sistema com a redução do período de pousio e de longos períodos de cultivo com espécies semipermanentes como o maracujá (*Passiflora edulis*) e pimenta do reino (*Piper nigrum*, L), com repetidas capinas para o controle de plantas espontâneas, agravadas com o uso intensivo das práticas de aração e gradagem do solo e, conseqüentemente, a eliminação das raízes da vegetação secundária, reduz a capacidade de regeneração da vegetação secundária, uma vez que a grande maioria (70%) das espécies da capoeira regenera através da rebrota de suas raízes, com conseqüente aumento da incidência de ervas e gramíneas (Denich, 1991; Nunez 1995; Clausing, 1997; Jacobi, 1997).

Em geral, a conversão do ecossistema natural para sistema manejado tradicional, induz a uma substancial redução nos teores de matéria orgânica do solo. Essa redução é resultado das estratégias de manejo do solo adotado pelo agricultor, especialmente pela remoção dos resíduos orgânicos e distúrbios no solo que refletem negativamente na produtividade das plantas (Ayanaba et al., 1976; Lugo & Brown, 1993). A deterioração das propriedades do solo pela prática agrícola nos trópicos é causada, em geral, pela acelerada perda da matéria orgânica do solo (Tiessen et al., 1994; Shang & Tiessen 2000; McDonald et al., 2002), que leva ao declínio da disponibilidade de nutrientes, da capacidade de troca de cátions, da estabilidade de agregados, e, conseqüentemente, da aeração do solo. Para manutenção da produtividade no sistema de derruba e queima, a matéria orgânica que é perdida durante o período de cultivo tem que ser repostada na fase de pousio (Denich et al., 2004), por isso, é requerido um tempo mínimo na fase de pousio para reposição dessas perdas.

#### IMPORTÂNCIA DA VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA PARA O SISTEMA AGROFLORESTAL SEQÜENCIAL

Estudos realizados nas últimas décadas comprovaram a importância do papel da capoeira nos aspectos ambientais e socioeconômicos, como componente do sistema rotacional de uso da terra adotado por grande parte dos agricultores da Amazônia, em especial no nordeste do Pará (Hedden-Dunkhorst et al., 2003).

Para a agricultura familiar na Amazônia, a presença da capoeira é de fundamental importância pelas inúmeras funções benéficas que ela proporciona, tais como: acumulação de nutrientes (Nye & Greenland, 1960; Denich, 1991), reciclagem e recuperação de nutrientes de camadas profundas do solo (Sommer, 2000), controle da erosão (Hoang Fagerstrom et al., 2002; MacDonald et al., 2002), supressão de plantas invasoras (Rouw, 1995; Gallagher et al., 1999), suprimento de madeira e lenha (Sanchez, 1995) e manutenção da biodiversidade (Baar, 1997).

Os estudos realizados por Baar (1997) na Zona Bragantina, nordeste do Estado do Pará, em 92 áreas de capoeiras com idade variando de um a dez anos, encontrou um total de 673 espécies de plantas, dos quais 316 eram árvores e arbustos. Apesar disso, Denich (1991) verificou que a maioria das espécies é relativamente rara, pois somente 20 espécies representam 80% das árvores e arbustos, e biomassa da vegetação secundária de aproximadamente quatro anos de idade.

A diversidade florística, ainda, encontrada nas vegetações secundárias abriga um considerável número de espécies com diferentes capacidades de acumular nutrientes essenciais que podem servir para sustentar as plantas na fase de cultivo agrícola. Essa diversidade funcional foi estudada por Denich (1991) nas capoeiras do Nordeste Paraense, avaliando a concentração de 11 bioelementos (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, Cu, Na e Al) nas folhas e em material lenhoso de 81 espécies. Este estudo permitiu evidenciar dezesseis grupos de espécies com concentrações semelhantes de nutrientes nas folhas através de uma análise de agrupamento em 80 espécies da capoeira. Dentre os grupos, podemos citar um que abrange espécies com concentrações relativamente elevadas de fósforo (P), como por exemplo, *Cecropia palmata* e *Neea macrophylla*, e um que abrange espécies com tendência a acumular nitrogênio (N), incluindo, dentre outras, espécies do gênero *Cassia* e *Inga*.

A acumulação de biomassa aérea pela vegetação secundária é de fundamental importância ao sistema de derruba e queima (Tabela 2), pois é nela que se acumulam os nutrientes necessários para a fase de cultivo, disponibilizados para as plantas através das cinzas provenientes da queima da vegetação, durante a fase de preparo de área (Tabela 3). Destaca-se a baixa quantidade de fósforo acumulado na biomassa da capoeira.

**Tabela 2** - Biomassa aérea seca ( $t\ ha^{-1}$ ) da vegetação secundária do nordeste Paraense em diferentes idades (Adaptado de Denich et. al., 2004)

Compartimento	Idade (anos)			
	1	4-5	7	10
	----- $kg\ ha^{-1}$ -----			
Madeira	1-3	9-25	29-61	58-68
Folhas	< 1-2	3-5	4-6	6-9
Serapilheira	3-6	6-8	8-11	12-17
Ervas e gramíneas	< 1-4	1-1	< 1	< 1-1
Total	8-12	19-38	42-77	78-94

**Tabela 3** - Nutrientes acumulados na biomassa de vegetação secundária de 4-5 anos (Adaptado de Denich, 1991; Sommer, 2000; Denich et al., 2004)

Compartimento	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn	Cu
		----- $kg\ ha^{-1}$ -----							
Folhas	56-83	2,2-3,0	19-36	27-34	10-15	14	0,3-0,7	0,1	0,1
Madeira	39-102	1,9-5,1	32-65	43-92	11-18	16	0,4-1,2	0,2-0,4	0,1-0,4
Serapilheira	62-106	1,6-2,4	8-11	39-102	6-13	10	0,6-1,5	0,1-1,3	0,1-0,2

A acumulação de serapilheira (*litter*) formada pelas espécies da capoeira, bem como sua decomposição e concentração de nutrientes (Cattânio, 2002), influenciam a disponibilidade de matéria orgânica, já que a composição deste material influi na diversidade e na concentração de mesofauna do solo (Denich, 1991) e igualmente em processos por ela mediados.

#### ALTERNATIVAS AO USO DO FOGO E REDUÇÃO DO PERÍODO DE POUSIO NO SISTEMA DE DERRUBA E QUEIMA

Esforços são realizados para modernizar o tradicional sistema de cultivo de derruba e queima, concentrados principalmente no restabelecimento da fertilidade do solo, na supressão de

plantas invasoras, na melhoria de acumulação de biomassa e de nutrientes em pousios mais curtos, bem como aumento do valor econômico da vegetação secundária (Denich et al., 2004).

A avaliação das limitações atuais do sistema de derruba e queima adotado pela agricultura familiar do nordeste do Pará pela Embrapa Amazônia Oriental através do Projeto Shift Capoeira - Programa de cooperação técnica entre a Embrapa Amazônia Oriental e as Universidades de Bonn e Göttingen da Alemanha no âmbito do Programa SHIFT (Studies on Human Impact on Forests and Floodplains in the Tropics) (Kanashiro & Denich, 1998) - apontou a necessidade de intervenção em dois momentos do ciclo do sistema: a) na fase de cultivo, a substituição do fogo no preparo de área pela trituração da vegetação para evitar as perdas de nutrientes pela queima da vegetação e cultivo em sistema de plantio direto (Kato et al 1999; Kato, 1998), e b) na fase de pousio, introduzir a prática da capoeira melhorada com árvores de rápido crescimento para acelerar a acumulação de biomassa e nutrientes de forma a possibilitar a redução do tempo de pousio (Brienza Junior, 1999).

#### Sistema alternativo de corte e trituração

O balanço negativo do sistema de derruba e queima (Tabela 4) provocado principalmente pelas perdas de nutrientes durante a queima da vegetação durante o preparo de área para o plantio pode ser melhorado com sistema de preparo de área sem o uso do fogo (Sommer 2000; Hölscher et al., 1997a). Assim, a vegetação secundária não queimada servirá de fonte de material orgânico para o solo, de forma a melhorar as qualidades químicas, físicas e biológicas.

O preparo de área sem o uso do fogo pode ser realizado manualmente, o que demanda uma grande quantidade de mão-de-obra, sendo mais viável quando trabalhado na forma de mutirão. Na tentativa de reduzir o trabalho manual, buscou-se alternativa de forma a facilitar esta operação utilizando-se ensiladeira de forragens, mas que acabou demandando mais mão-de-obra (Denich et al., 2004).

**Tabela 4** - Balanço de nutrientes nos sistemas de derruba e queima e, corte e trituração. (Adaptado de Denich et al., 2004)

Preparo de área	N	P	K	Ca	Mg	S
(Fontes de ganhos e perdas de nutrientes)	-----kg ha <sup>-1</sup> -----					
<i>Derruba e queima</i>						
Deposição atmosférica	26 <sup>1</sup>	4	12	30	15	22
Adubação	70	48	66	31	-	-
Perdas pela queima	-246	-8	-58	-151	-29	-35
Perdas por lixiviação	-16	-1	-11	-48	-9	-5
Perdas pela colheita	-127	-22	-78	-16	-14	-7
Balanço	-293	21	-69	-154	-37	-25
<i>Corte e trituração</i>						
Deposição atmosférica	26 <sup>1</sup>	4	12	30	15	22
Adubação	70	48	66	31	-	-
Perdas por lixiviação	-10	-1	-3	-25	-6	-13
Perdas pela colheita	-112	-22	-83	-14	-12	-7
Balanço	-26	29	-8	22	-3	2
<b>Ganhos através do corte e trituração</b>	<b>267</b>	<b>8</b>	<b>61</b>	<b>176</b>	<b>34</b>	<b>27</b>

Observação: Pousio de 3,5 anos e período de cultivo de 2 anos

<sup>1</sup> Inclusive fixação biológica de nitrogênio

Pela inexistência de um implemento agrícola, a Embrapa Amazônia Oriental, em parceria com a Universidade de Göttingen, projetou e construiu um protótipo de triturador de capoeira moto mecanizado denominado de Tritucap. Este equipamento é acoplado a um trator de rodas e realiza a

derruba da vegetação, trituração da biomassa e distribuição sobre o terreno na forma de cobertura morta (*mulch*), em uma única operação (Block, 2004). Atualmente, a indústria de máquinas agrícolas já lançou no mercado outros modelos de trituradores de capoeira a partir de trituradores de galhadas (Block, 2004).

A trituração da biomassa da vegetação secundária é realizada a uma altura de 5-10 cm, de forma a manter os tocos e as raízes da vegetação secundária, e assim garantir a regeneração da capoeira, pois são elas responsáveis por aproximadamente 70% da regeneração, mantendo a presença da capoeira na paisagem, promovendo os serviços ambientais, oferecendo melhor oportunidade de qualidade de vida. Após a trituração, o material é distribuído sobre o solo na forma de cobertura morta (*mulch*) e o plantio é realizado na forma de plantio direto, o que está sendo denominado de plantio direto na capoeira (Kato et al., 2004a).

No sistema sem queima, a disponibilização de nutrientes agora é dependente do processo de decomposição da biomassa da capoeira triturada. Por essa razão, no primeiro momento, após a trituração, ocorre uma imobilização dos nutrientes pelos microorganismos responsáveis pelo processo de decomposição (Cattânio, 2002), requerendo a adição de fertilizantes para se obter uma boa produção (Kato et al., 1999).

Os trabalhos desenvolvidos por Kato et al. (1999), iniciados em 1994/95 com dois cultivos consecutivos (95/96 e 97/98) e período de pousio por três anos (99/01), seguido de novo cultivo (02/03), mostraram que a adubação complementar nas áreas preparadas sem queima pode compensar o efeito negativo devido a imobilização dos nutrientes na fase inicial, quando comparado com a produção nas áreas queimadas, cuja produção é garantida pela adição de nutrientes provenientes das cinzas (Tabela 5). Por outro lado, a produção de arroz no sistema de corte e trituração, sem adubação complementar, aumentou de 0,9 t ha<sup>-1</sup> para 1,5 t ha<sup>-1</sup> no segundo cultivo consecutivo, semelhante a produção nas áreas queimadas no primeiro ano de cultivo (95/96). Os resultados também evidenciaram melhor estabilidade de produção de raízes frescas de mandioca no sistema sem queima ao longo dos anos.

**Tabela 5 - Produção de grãos (t ha<sup>-1</sup>) de arroz, caupi e raízes frescas de mandioca no sistema de corte e trituração. (Adaptado de Kato et al., 2004)**

Preparo de área	Arroz			Caupi			Mandioca		
	95/96	97/98	02/03	95/96	97/98	02/03	95/96	97/98	02/03
<b>Capoeira de 4 anos</b>									
Queima + NPK	2,7	2,7	2,9	1,6	1,6	1,4	30,2	24,6	33,8
Cobertura + NPK	2,5	3,2	3,2	1,5	2,0	1,5	28,8	26,0	28,4
Queima	1,5	1,4	1,9	0,3	0,3	0,5	16,3	11,3	15,1
Cobertura	0,9	1,5	1,4	0,2	0,6	0,3	17,7	17,4	15,5
<b>Capoeira de 10 anos</b>									
Queima + NPK	3,0	3,9	3,5	1,5	2,0	1,5	30,0	29,0	36,5
Cobertura + NPK	2,3	3,6	3,6	1,5	2,3	1,8	26,8	23,8	34,3
Queima	1,2	1,4	1,6	0,3	0,3	0,2	15,5	10,2	14,5
Cobertura	0,5	1,7	0,8	0,0	0,2	0,2	12,7	13,5	14,0

Em estudos para avaliar os efeitos do nitrogênio, fósforo e potássio na produção de milho em áreas preparadas com corte e trituração, Bünemman (1998) verificou que o fósforo é o elemento que mais limita a produção. Apesar da baixa exigência das culturas, a baixa disponibilidade desse elemento no solo e também na biomassa da capoeira (Tabela 3), evidenciaram a necessidade de aplicação complementar do elemento. Esses resultados foram confirmados por Kato et al (2000) em experimento avaliando níveis de aplicação de fósforo, nitrogênio e potássio (Figura 2). Os resultados de pesquisas por Bünemman (1998) e Kato et. al. (2000) com milho, mostraram que à medida que se aumentaram as doses de P aplicado ocorreu aumento na produção de grãos de milho, sendo a maior resposta observada com aplicação de 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Sem aplicação de P a cultura do milho não se desenvolveu.

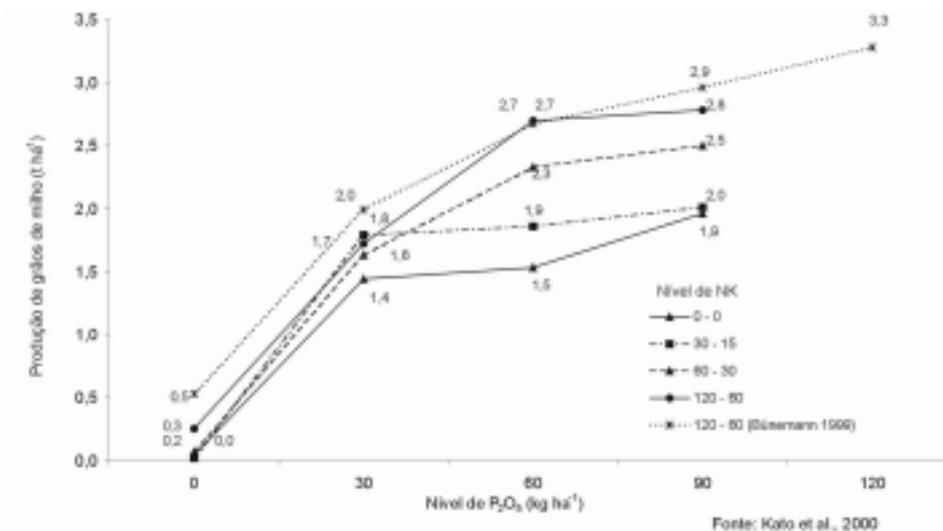


Figura 2 - Produção de grãos de milhos em função da aplicação de níveis crescentes de fósforo, em áreas preparadas com corte e trituração.

Seleção de genótipos de milho adaptados a solos ácidos e com baixo nível de fósforo foi realizada por Kato et al. (2002), Vasconcelos & Vielhauer (2000), no nordeste Paraense. Mesmo com aplicação de somente 10 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, teve genótipo com produção de 1,19 t ha<sup>-1</sup> de grãos de milho. Com aplicação de 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a produção de grãos de milho de 18 genótipos variou de 1,30 t ha<sup>-1</sup> (Saracura e HS 201) a 2,67 t ha<sup>-1</sup> (HD 9176), e com aplicação de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a produção variou de 2,09 t ha<sup>-1</sup> (BR 136) a 3,96 t ha<sup>-1</sup> (HD 9151) (Tabela 6).

Tabela 6 - Produções de grãos de milho (13% de umidade) de 18 genótipos, em função de níveis de P aplicado no sistema de corte e trituração. (Adaptado de Kato et al., 2002)

Genótipo	Produção de grãos (t ha <sup>-1</sup> )			
	10	30	60	Média
	-----kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> -----			
HS 64x723	1,19 a	2,44 ab	2,75 cd	2,13
CMS 14-C	0,90 b	1,88 bcd	2,71 cd	1,83
SA 3	0,84 bc	1,80 cde	2,50 cd	1,71
HD 91102	0,80 bc	1,96 bcd	2,70 cd	1,82
BR 473	0,75 c	1,31 e	2,26 d	1,44
BR 5102 (Local)	0,32 d	1,71 cde	2,68 cd	1,57
HS 201	0,30 de	1,30 e	2,26 d	1,29
BR 201	0,34 d	2,21 abc	2,96 bc	1,84
CMS 28	0,28 def	1,56 de	2,38 cd	1,41
HS 11x723	0,28 d	1,99 bcd	3,46 ab	1,91
HD 9176	0,25 def	2,67 a	2,98 bc	1,97
CMS 04-C	0,23 def	1,49 de	2,37 cd	1,36
BR 136	0,23 def	1,71 cde	2,09 d	1,34
HS 200	0,18 efg	1,62 de	2,36 cd	1,39
CMS 30	0,18 efg	1,50 de	2,47 cd	1,38
HD 9151	0,08 g	1,97 bcd	3,96 a	2,00
Saracura	0,16 fg	1,30 e	2,26 d	1,24
BR 106	0,01 g	1,45 de	2,34 cd	1,27
<b>Média</b>	<b>0,41</b>	<b>1,77</b>	<b>2,63</b>	

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

O sistema de corte e trituração foi testado no cultivo de maracujá (*Passiflora edulis*). As melhores produções de frutos de maracujá foram alcançadas nos sistema de corte e trituração (20,7 t ha<sup>-1</sup>) e, de aração e gradagem (21,9 t ha<sup>-1</sup>). A produção de frutos de maracujá nas áreas preparadas pelo método tradicional de derruba e queima foi a que apresentou menor desempenho (14,8 t ha<sup>-1</sup>). Apesar da produção nas áreas com corte e trituração ser semelhante da área com aração e gradagem, as plantas de maracujá na área com corte e trituração apresentaram melhor desenvolvimento, sofreram menor stress hídrico na época mais seca (observação visual), menor incidência de plantas invasoras e maior capacidade regenerativa da capoeira.

O sistema de corte e trituração também está sendo testado na implantação de pastagens na região de Igarapé-Açu, estado do Pará (Camarão et al., 2002). A oferta de forragem de capim braquiarião (*Brachiaria brizanta*) associado com quicuiu da Amazônia (*Brachiaria humidicola*) no sistema de corte e trituração é maior do que no sistema com queima, além de ser observado menor incidência de plantas espontâneas na pastagem cultivada, em áreas sem o uso do fogo no preparo de área.

### Capoeira melhorada

Como alternativa para redução do período de pousio, foi desenvolvida uma técnica de melhoria da capoeira através da introdução de árvores de rápido crescimento, de forma a acelerar o acúmulo de biomassa e nutrientes num menor período de tempo. Essa técnica proporciona a redução do período de pousio de 4-10 anos para dois anos (Denich et al., 2004; Brienza Junior, 1999; Silva Junior et al., 1998). Na seleção das espécies de rápido crescimento são priorizadas as famílias das leguminosas pela sua capacidade de fixação do nitrogênio atmosférico. As espécies de árvores leguminosas selecionadas até o momento são: *Acácia angustissima*, *Acácia auriculiformes*, *Racosperma mangium*, *Clitoria racemosa*, *Ingá edulis* e *Sclerolobium paniculatum*.

A introdução das árvores de rápido crescimento na capoeira é realizado através do plantio das árvores ainda na fase de cultivo da mandioca. As árvores introduzidas se beneficiam dos tratos culturais que a mandioca recebe em seu cultivo e posteriormente após a colheita da mandioca, as árvores não recebem mais nenhum trato cultural específico, passando a crescer juntamente com a vegetação natural que regenera e cresce durante a fase de pousio. Essa técnica possibilita em 21 meses aumentar a produção de biomassa aérea de 13% a 132% mais que a capoeira natural, neste mesmo período de tempo.

O plantio das árvores de rápido crescimento deve respeitar um espaçamento mínimo de 2 m x 2 m a fim de não comprometer a regeneração das espécies da capoeira natural (Wetzel et al., 2000; citado por Vielhauer & Sá, 2000), garantindo assim, a manutenção da biodiversidade da vegetação natural que contribuirá no acúmulo de nutrientes na biomassa e disponibilização para fase de cultivo, de forma equilibrada, garantida pela diferenciação da habilidade que cada espécie apresenta em acumular diferentes nutrientes.

Esta técnica é fortemente associada ao preparo de área sem o uso do fogo, pois a habilidade das árvores de rápido crescimento em absorver nutrientes do solo, inclusive em profundidade e conversão em biomassa e acúmulo de nutrientes, poderá acelerar o processo de degradação caso o fogo venha a ser utilizado no preparo de área, em consequência das maiores perdas de nutrientes durante a queima dessa vegetação (Kato et al., 2004b; Vielhauer & Sá, 2000).

As árvores de rápido crescimento também podem ser utilizadas na recuperação de pastagens abandonadas ou degradadas e conversão para uso na produção agrícola (Fernandes et al., 1998). Nesse caso é recomendado utilizar espaçamentos de 1 m x 1 m de forma a adensar o plantio para suprimir as gramíneas.

Como o fósforo é o elemento mais limitante no sistema e a sua disponibilidade no solo é baixa, sua concentração na biomassa da capoeira também é pequena (Kato, 1998; Denich, 1991). Mais recentemente, tem merecido destaque, estudos buscando espécies acumuladoras de fósforo executadas como parte do Projeto Tipitamba. Entre as espécies prospectadas, uma espécie do gênero *Neea* (*Neea macrophylla*) apresentou-se como promissora, contendo em média 3,8 mg kg<sup>-1</sup> de P nas folhas maduras, mesmo vegetando em solo pobre (Oliveira, 2005).

### VANTAGENS DO SISTEMA ALTERNATIVO SEM O USO DO FOGO ATRAVÉS DE CORTE E TRITURAÇÃO

#### Melhor balanço de nutrientes

As perdas de 400 kg de nitrogênio, 20 kg de fósforo e 130 kg de potássio por hectare no sistema de derruba e queima levam a um balanço negativo de nutrientes. No sistema sem queima, Sommer et al.

(2004) demonstrou a importância da capoeira no sistema de corte e trituração, evitando perdas de nutrientes com a queima da biomassa aérea, contribuindo para um balanço positivo de nutrientes (Tabela 4). Assim, enquanto a agricultura de corte queima ocasiona grande perda de fertilidade dos solos, o sistema de corte e trituração proporciona a recuperação gradual destes solos com adições contínuas de nutrientes e carbono.

As raízes da vegetação secundária desempenham papel fundamental na ciclagem de nutrientes, pois elas atingem profundidades que podem chegar a seis metros, recuperando nutrientes lixiviados no perfil do solo e reciclando nutrientes de camadas profundas do solo para a superfície (Wickel 2004; Sommer et al., 2001; Sommer, 2000).

#### Qualidade do solo

Toda a biomassa aérea da vegetação secundária no sistema de corte e trituração é fonte de matéria orgânica para o sistema. A quantidade dessa biomassa varia de acordo com sua idade, do sistema de uso da terra, e da intensificação do uso da terra, podendo variar de 8 t ha<sup>-1</sup> (capoeira de um ano) a 90 t ha<sup>-1</sup> (capoeira de 10 anos), de acordo com Denich et al. (2004), nas condições da região Bragantina, nordeste do Pará. Região mais antiga de colonização, onde a mais de cem anos é praticada o sistema de derruba e queima. Toda essa biomassa é triturada e distribuída no solo na forma de cobertura morta, formando uma camada que varia de acordo com a biomassa da capoeira e plantio direto.

Estudos realizados no âmbito do projeto Tipitamba mostraram maiores teores de carbono orgânico no solo, principalmente na camada superficial, quando o sistema de corte e trituração foi utilizado no preparo de área (Tabela 7). Na área triturada a fonte do carbono que induziu o aumento foi originada pela lixiviação da biomassa sobre o solo com as chuvas. Durante os meses seguintes o impacto foi atenuado através das perdas por volatilização e utilização como substrato pelos microrganismos do solo.

**Tabela 7** - Teores de carbono orgânico do solo, em três épocas, em área de vegetação secundária, queimada e triturada, no município de Igarapé-Açu, Pará. Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão. (Adaptado de Carvalho et al., dados não publicados)

Tratamento	Fev / 2002	Abr / 2003	Out / 2003
<b>Vegetação Secundária</b>	-----C <sub>org</sub> (g kg <sup>-1</sup> )-----		
0-5 cm	16.55 (±2.29)	9.04 (±0.28)	13.14 (±1.81)
5-10cm	13.44 (±1.56)	7.94 (±0.13)	9.32 (±1.40)
10-20cm	10.24 (± 0.40)	6.68 (± 0.27)	9.08 (± 1.26)
20-30cm	8.81 (±0.16)	17.66 (±1.17)	8.41 (±2.08)
<b>Queimado</b>	Milho	Milho + Mandioca	Início de Pousio
0-5 cm	16.88 (± 2.86)	14.13 (±1.72)	11.00 (±1.35)
5-10cm	16.83 (± 0.26)	10.74 (±1.70)	8.62 (±0.45)
10-20cm	12.09 (± 1.01)	7.93 (± 0.68)	7.26 (± 0.44)
20-30cm	8.74 (± 1.51)	6.72 (±0.14)	17.66 (±1.17)
<b>Triturado</b>	Milho	Milho + Mandioca	Início de Pousio
0-5 cm	23.95 (± 5.59)	17.66 (± 1.17)	21.77 (± 1.16)
5-10cm	15.72 (± 0.95)	12.19 (± 0.56)	14.17 (± 1.85)
10-20cm	10.80 (± 0.97)	8.56 (± 0.57)	10.92 (± 1.11)
20-30cm	8.59 (± 0.75)	7.44 (± 0.60)	9.74 (± 3.57)

O estoque de carbono na biomassa microbiana do solo foi mais elevado na superfície do solo da área de corte e trituração (125 mg kg<sup>-1</sup> de C<sub>microbiano</sub>), ao passo que na área queimada e capoeira esses valores ficaram em torno de 40 mg kg<sup>-1</sup> de C<sub>microbiano</sub>, sendo isso bem evidente no mês de fevereiro, aproximadamente dois meses após o preparo de área e um mês do plantio de milho. Também em fevereiro, a redução do C<sub>microbiano</sub> em profundidade foi acentuada, provavelmente refletindo o efeito da saturação do solo com a água das chuvas.

As avaliações realizadas no mês de junho, aproximadamente seis meses após o preparo de área e com cultivo de milho + mandioca, a biomassa microbiana na área preparada com corte e trituração manteve os teores de fevereiro, e os outros tratamentos (corte e queima e capoeira) foram menores, mas apresentaram valores mais elevados que em fevereiro (em torno de 55-85 mg kg<sup>-1</sup> de C<sub>microbiano</sub>). A biomassa microbiana mais elevada nas áreas sob tratamento de trituração no mês de junho, provavelmente foi induzida pela manutenção de condições mais estáveis de umidade e pela maior quantidade de carbono disponível na superfície.

O aumento da matéria orgânica do solo reflete-se também nas condições de estruturação do solo, a qual pode ter sido muito influenciada pela atividade de microrganismos, especialmente os fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Resultados preliminares utilizando a abundância de esporos de FMA e atividade de fosfatase ácida como indicadores, evidenciaram uma semelhança bastante marcante entre o solo na rizosfera do sistema de corte e trituração e na vegetação secundária de 20 anos original, mantida como controle, enquanto que na área queimada o perfil desses indicadores foi muito diferente. Também foram encontradas maiores concentrações de glomalina, uma glicoproteína produzida pelos FMA no solo da rizosfera da área triturada e da área de capoeira. Esta glicoproteína, tem grande influencia na cimentação dos agregados, favorecendo, portanto, maior estruturação do solo.

#### Melhor conservação de água e regulação térmica do solo

A cobertura morta do solo, formada a partir da biomassa aérea da capoeira triturada, varia de acordo com o tamanho da capoeira (Bervaldo, 2005) e quanto maior a biomassa, melhor será o seu efeito. A cobertura total do solo evita a incidência direta dos raios solares mantendo a temperatura mais baixa e estável, favorecendo a conservação da umidade do solo. Associado a esse fator, com a trituração da biomassa aérea da capoeira não haverá a transferência da água do solo para atmosfera pelo efeito da evapotranspiração da vegetação secundária.

Por outro lado, embora não existam ainda resultados conclusivos, a abundância de material orgânico, associado ao aumento da condição de hipoxia, causada pelo aumento do espaço poroso do solo preenchido com água (WFPS), cria condições favoráveis à emissão de metano (CH<sub>4</sub>) nas áreas sob trituração durante o período chuvoso. Estas condições, associadas ao uso de leguminosas arbóreas, podem também gerar emissões de N<sub>2</sub>O. Estas emissões precisam ser medidas sistematicamente durante dois anos para que se possa quantificar precisamente seu volume e variação sazonal.

#### Intensificação do sistema de produção

De uma maneira geral, no sistema de derruba e queima o agricultor realiza apenas um ciclo de cultivo devido às rápidas perdas dos nutrientes provocadas pela queima durante o preparo de área para plantio e posteriormente pela lixiviação dos nutrientes não absorvidos pelas plantas cultivadas. O sistema de corte e trituração permite realizar dois ciclos de cultivos seguidos devido a não existir as perdas pelo fogo e haver adição de material orgânico ao solo de forma a manter o solo coberto, proporcionando melhor aproveitamento dos nutrientes retidos na biomassa e proporcionando a melhoria da qualidade química, física e biológica do solo (Kato, 1998; Kato et al. 1999). Essa intensificação pode ser expressa utilizando o fator de uso da terra proposto por Ruthenberg (1980) através da fórmula ( $R = [C \cdot 100] / [C + F]$ ), onde C representa o número de anos de cultivo e F o número de anos de pousio. Os fatores de uso da terra então proposto são:

- Sistema tradicional de derruba e queima:  $R = 0,27$
- Sistema de corte e trituração com cultivo estendido:  $R = 0,43$

Ainda considerando a possibilidade da redução do período de pousio através da melhoria da capoeira, o fator de intensificação do uso da terra ficaria então:

- Sistema de corte e trituração com cultivo estendido + capoeira melhorada:  $R = 0,60$

#### Mudança do calendário agrícola

Tradicionalmente o preparo de área para plantio é dependente do período seco para permitir secar o material vegetal derrubado e posterior queima. Como o sistema de corte e trituração não depende

desse período seco, a trituração pode ser feita a qualquer época do ano, além disso, a camada de cobertura morta conserva mais umidade no solo, permitindo a extensão do cultivo até durante a estação seca, mesmo de culturas exigentes como o arroz ou o milho (Parry & Vielhauer, 2000), o que possibilita mudar a época de plantio, e assim obter produções fora da época normal, e o produtor conseguir melhores preços no mercado (Kato et al., 2003).

#### Redução na incidência de plantas espontâneas

No sistema de corte e trituração, o material vegetal triturado é distribuído sobre o solo na forma de cobertura morta que proporciona a inibição da germinação das sementes depositadas no solo, e assim favorecendo a incidência de plantas espontâneas, principalmente ervas e gramíneas que podem competir com a planta cultivada. As plantas espontâneas que surgem são as espécies da capoeira que rebrotam dos tocos e raízes que é mais lenta também devido à cobertura morta do solo, proporcionando menos competição com a planta cultivada em comparação com as ervas e gramíneas mais comuns no sistema de derruba e queima, cuja ocorrência é mais intensa.

### OFERTA DE SERVIÇOS AMBIENTAIS

#### Seqüestro de carbono

De acordo com Hölscher et al. (1997a), durante a queima da vegetação são perdidos 98% do C estocado na biomassa. A contribuição para o seqüestro de C pelos cultivos agrícolas, durante a fase agrícola do sistema, é de 2,1 t ha<sup>-1</sup> de C pela cultura do milho (quatro meses), de 1,6 t ha<sup>-1</sup> pelo caupi, de 2,6 a 5,6 t ha<sup>-1</sup> pela mandioca (1-1,5 anos), de 2,6 t ha<sup>-1</sup> pelo maracujá (um ano) e de 5,3 t ha<sup>-1</sup> pela pimenta do reino com 2,5 anos de idade (Denich et al, 1999).

As vegetações secundárias, em pousio, em propriedades agrícolas e em nível de paisagem são capazes de acumular C acima (Tabela 8) e abaixo do solo. As capoeiras melhoradas com introdução de leguminosas de rápido crescimento também acumulam C (Denich et al, 1999; Brienza Junior, 1999), e as capoeiras melhoradas com *Racosperma mangium* são as que apresentaram maior seqüestro de C.

**Tabela 8** - Estoque de carbono na biomassa aérea de capoeiras naturais e melhoradas. (Adaptado de Denich et al., 1999; Brienza Junior, 1999)

Capoeira	Idade (meses)	Carbono (t ha <sup>-1</sup> )
Capoeira natural	30	9,5
Capoeira melhorada		
<i>Acácia auriculiformes</i>	21	18,9
<i>Acácia angustissima</i>	30	13,9
<i>Clitoria fairchildiana</i>	30	10,9
<i>Ingá edulis</i>	30	12,3
<i>Racosperma mangium</i>	30	23,6

Na fase inicial, a velocidade de decomposição da biomassa aérea triturada da capoeira com quatro e dez anos de idade, na fase inicial, ocorre imobilização de nutrientes pelos microorganismos envolvidos no processo de decomposição (Cattânio, 2002), em razão da alta relação C/N do material (Kato, 1998). Apesar disso, Denich (1991) verificou que em cinco meses houve uma decomposição em torno de 28% a 44% de biomassa proveniente de capoeira de 4-5 anos. Kato (1998) também obteve resultados semelhantes ao de Denich (1991), mas para 12 meses observou uma decomposição em torno de 50%. Por outro lado, Bervald (2005), avaliando decomposição de material de capoeira de quatro anos de idade triturado com diferentes trituradores, verificou decomposição em torno de 70% em 10 meses.

A prática da agricultura sem queima através da técnica de corte e trituração evita perdas de carbono e nutrientes pela ação do fogo, apesar de lentamente liberar carbono para atmosfera pelo processo de decomposição da biomassa triturado, quando comparado a técnica de derruba e queima, mas em longo prazo, contribui para aumentar a quantidade de matéria orgânica do

solo. De acordo com Denich et al (1999) o sistema de corte e trituração apresenta melhor desempenho no seqüestro de carbono (parte aérea e raízes) quando comparado com o sistema de derruba e queima.

#### Conservação da biodiversidade

No sistema tradicional de derruba e queima, um sistema agroflorestal seqüencial, caracterizado pela existência de duas fases no sistema, uma de cultivo agrícola entre duas fases de pousio. A fase de pousio é quando a vegetação secundária cresce e acumula biomassa e nutrientes que servirão para a fase de cultivo agrícola. De acordo com Baar (1997) a fase de pousio é que garante a manutenção da biodiversidade. A autora encontrou 673 espécies de plantas em capoeiras de um a dez anos de idade. Apesar da derruba e queima dessa vegetação para o plantio de cultivos alimentares no período de um a dois anos, principalmente de arroz, milho, caupi e mandioca, a vegetação secundária se regenera, pois a grande maioria das espécies se dá pela rebrota dos tocos e raízes (Denich, 1991; Nunez, 1995).

Rodrigues et al. (2004) avaliaram a diversidade e a estrutura vertical de vegetação secundária em pousio, em áreas que antes foram preparadas com trituração motomecanizada preconizada pelo Projeto Tipitamba, não encontraram diferenças no padrão de distribuição dos indivíduos e na diversidade das espécies quando comparado a capoeira inicial.

Em capoeiras melhoradas com a introdução de árvores leguminosas de rápido crescimento, Wetzel et. al., citados por Vielhauer et. al. (1998) e Vielhauer & Sá (2000), verificaram que a biodiversidade da vegetação de pousio melhorado preconizado pelo Projeto Tipitamba varia em função da densidade das leguminosas introduzidas. Alta densidade (> 2 m x 2 m) ocasionou efeito negativo na regeneração da vegetação secundária natural. Esses resultados foram confirmados por Lima et al. (2004), em capoeira melhorada com *Racosperma mangiun* + *Sclerolobium paniculatum*, no espaçamento de 2 m x 2 m.

#### Dinâmica de água e nutrientes

Estudos desenvolvidos em áreas sob uso na agricultura familiar, em sistema rotacional com base na capoeira, vêm evidenciando a importância das raízes desta vegetação secundária, tanto na fase de pousio quanto na fase de cultivos de ciclo curto. A permanência dessas raízes no solo é responsável pela formação de verdadeiras redes protetoras (safety net), reduzindo a perda de nutrientes por lixiviação (Sommer, 2000; Sommer et al., 2001). Avaliações preliminares em nível de microbacia hidrográfica apontam que esta situação repetida em nível de paisagem, associada à presença de vegetação ciliar ao longo de igarapés na Amazônia Oriental, evita o repasse maciço de nutrientes para os cursos d'água (Wickel, 2004).

O preparo de área para plantio por meio da prática do corte-e-trituração da vegetação, como alternativa ao uso do fogo na agricultura, tem se demonstrado como um fator importante na conservação de recursos hídricos na Amazônia brasileira. Trata-se dos primeiros resultados de estudos conduzidos em escala de microbacias e de pequenas bacias que avaliam as interações dos componentes dos ecossistemas terrestres e aquáticos, em áreas onde foi testada a tecnologia de preparo de área sem queima nas condições da agricultura familiar, comparando com os impactos ambientais decorrentes da agricultura tradicional de derruba-e-queima.

#### a) Manutenção das taxas de recarga dos estoques de água subterrânea

Foi realizado o monitoramento da drenagem profunda através de leituras em transectos de piezômetros em diferentes cotas topográficas nas duas microbacias estudadas. Uma com preparo de área por corte-e-trituração (W01) e outra por derruba-e-queima (W02). Utilizando-se esta variável e outros parâmetros hidrológicos, foi quantificada a reserva reguladora de cada uma das microbacias, que refletem a recarga de seus estoques de água subterrânea (Tabela 9).

**Tabela 9** – Médias dos níveis potenciométricos nos períodos seco e chuvoso, sua variação e reserva reguladora de cada uma das microbacias estudadas

Microbacia	Preparo de área	Período seco		Variação (m)	Reserva reguladora
		seco	chuvoso		
W1	Trituração	5,91	5,21	0,70	44.625
W2	Derruba-e-queima	5,97	5,04	0,93	66.495

Para o cálculo da reserva reguladora consideraram-se as áreas da microbacia W01 (255.000 m<sup>2</sup>) e da microbacia W02 (286.000 m<sup>2</sup>). Assim, a maior reserva reguladora de água subterrânea em W02 relaciona-se a sua maior área; no entanto, a maior variação do nível estático entre período chuvoso e seco pode estar indicando uma menor capacidade de recarga das reservas subterrâneas desta bacia, onde o preparo de área é feito com uso do fogo, em manter as reservas subterrâneas.

A reserva permanente também foi calculada, considerando-se a porosidade efetiva (0,25), a espessura do aquífero (12 m) e a área de abrangência do mesmo. Com base nesses valores, obteve-se o valor da reserva permanente de 765.000 m<sup>3</sup> para a microbacia W01 e 858.000 m<sup>3</sup> para W02. A reserva permanente constitui o volume de água armazenada abaixo do nível mínimo do aquífero, dando uma idéia da grandeza do volume de água armazenada nos aquíferos. O recurso explorável representa a fração do volume total que pode ser utilizado, sob as condições de viabilidade técnica, econômica e ambiental. Para aquíferos livres o recurso explorável é igual ao valor da reserva reguladora.

Apenas a continuidade desses estudos, com a ampliação da área triturada e queimada nas respectivas bacias, permitirão uma conclusão mais apurada acerca dos possíveis benefícios do preparo de área por corte-e-trituração em relação a derruba-e-queima na capacidade de recarga dos estoques de água subterrânea.

#### b) *Manutenção das vazões de igarapés e rios*

Nas microbacias estudadas verificou-se que o regime de vazões dos igarapés, tanto da microbacias com área triturada quanto da área queimada, são predominantemente regulados pelo volume de água subterrânea armazenada. Por sua vez, eventos de elevada precipitação ocasionam picos pontuais de descarga fluvial, retornando esta, em seguida, a níveis próximos às magnitudes de vazões habituais.

Outro fator importante é que a precipitação pluviométrica ocorrida sobre a área de mata ciliar que protege estes pequenos igarapés corresponde a variação observada nas vazões destes. Tal fato, aponta para a grande importância da manutenção desta vegetação em quaisquer das situações de prática agrícola adotada.

Deve-se destacar, ainda, que comparando a microbacia com área triturada com outra, onde a vegetação secundária cobria toda a área, que o balanço de água e o comportamento hidrológico da área triturada assemelharam-se a esta área de capoeira de quatro anos e meio.

#### c) *Redução de impactos nos sistemas aquáticos ocasionados pela lixiviação de nutrientes*

Além do papel fundamental exercido pela mata ciliar, protegendo os igarapés das entradas de nutrientes, originados das áreas agrícolas, via escoamento superficial e subsuperficial, foi monitorada a composição química das águas fluviais na microbacia com áreas queimadas. Esta prática de derruba-e-queima promoveu entradas adicionais significativas de cálcio e magnésio nas águas do igarapé, fato que muda as características físico-químicas deste ecossistema, e pode assim interferir em seu funcionamento (Tabela 10).

**Tabela 10** - Concentrações médias de nutrientes em água ( $\text{mg L}^{-1}$ ) de chuva e de dois pequenos igarapés em condições de fluxos de base e, a razão entre as concentrações na chuva e nos igarapés. (W1 = microbacia com 25,5 ha, incluindo área de 4,1 ha sob sistema de corte e trituração; W2 = microbacia com 28,6 ha, incluindo área de 3,5 ha sob sistema de derruba e queima). (Adaptado de Wickel, 2004)

	Na	K	Ca	Mg	SO <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	Cl
<b>Chuva</b>								
Média	0,61	0,17	0,12	0,06	0,17	0,04	0,01	1,05
<b>W 1</b>								
Média	1,45	0,09	0,16	0,20	0,41	0,03	0,02	2,63
W1/Ch	2,37	0,56	1,31	3,34	2,32	0,75	1,74	2,51
<b>W 2</b>								
Média	1,40	0,20	0,61	0,29	0,81	0,02	0,04	2,58
W2/Ch	2,30	1,21	4,99	4,83	4,65	0,57	4,47	2,46

Portanto, as pesquisas têm evidenciado que a técnica de preparo de área por meio de corte-trituração ocasionou uma menor lixiviação e perdas de nutrientes dos solos para as águas subterrâneas e superficiais. Adicionalmente, observou-se que a retenção de nutrientes no perfil do solo ocorre em maior intensidade na zona de raízes, indicando o papel das raízes da capoeira em reduzir a lixiviação, por permanecerem no solo mesmo no período de cultivo.

### PERCEPÇÃO DOS AGRICULTORES PARA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

O projeto agricultura sem queima passou por dois períodos de pesquisa para iniciar todo o trabalho junto com os agricultores; isto é, com a participação efetiva deles. A primeira fase, foi a pesquisa exploratória onde se estudou a função da vegetação secundária, ou capoeira, e seu papel para manter a produtividade estável do sistema (1992-1994). Na segunda fase (1995-1999), a pesquisa foi orientada à solução de desenvolvimento de tecnologias alternativas ao uso do fogo através de duas grandes linhas de pesquisa: 1) desenvolvimento de alternativas que substituísse a técnica de corte e queima da vegetação, e 2) o enriquecimento de capoeiras com leguminosas de rápido crescimento e que fixam nitrogênio. Todos os trabalhos eram desenvolvidos em áreas de agricultores familiares, mas sem a participação dos mesmos, pois até o momento, sua participação era somente arrendando áreas para desenvolver os trabalhos.

Após este período e com resultados, do ponto de vista da pesquisa, promissores, um questionamento veio à tona. Para quem é esta pesquisa? Qual a sua aceitação? Se estivermos alterando o sistema de produção desses agricultores, qual será sua aceitação com esta técnica, pois não foi levado em consideração o saber local e nem houve participação nas etapas decisórias?

A importância do agricultor como sujeito de um estudo, e que não pode ser visto como um simples objeto de estudo, é observado por todos que trabalham com a pesquisa participativa. Para que não sejam objeto de estudo há necessidade de participarem em todas as etapas dos processos decisórios, pois a incorporação de novas técnicas pode afetar seus saberes, suas tradições e sua vida cotidiana, e adotar tecnologias que atendam suas reais necessidades.

Com possibilidade de recursos para mudar todo o trabalho desenvolvido, onde o agricultor era um pesquisador-agricultor parceiro, iniciamos a terceira fase do projeto (1999-2004), onde além das organizações de agricultores locais, buscou-se parcerias com órgãos da extensão pública, Prestadoras de Assistência Técnica, Organizações Não Governamentais e agentes financeiros. Nesta fase, o enfoque era o ajuste, validação e, ou, apropriação da tecnologia pelos agricultores. Buscou-se também avaliar a eficiência do triturador de acordo com a realidade de cada sistema de produção. Block (2004) avaliou o tempo gasto para triturar uma determinada área de acordo com seu tamanho, o tipo de capoeira, solo, culturas implantadas e o tempo de deslocamento entre propriedades.

Através das organizações dos agricultores chegou-se a associação das comunidades, e destes nas famílias dos agricultores, e o trabalho de agricultura sem queima em desenvolvimento na Embrapa

Amazônia Oriental foi apresentado. No início houve muita desconfiança se aquela técnica daria certo e se isto não atrapalharia seu dia a dia. Ao final, seis agricultores aceitaram experimentar.

O trabalho inicial (2000) comparou preparo de área com queima e sem queima, e os sistemas de cultivo, e o manejo a serem testados eram decididos pelos agricultores parceiros. Todos os agricultores testaram o sistema milho com mandioca, que são as principais culturas plantadas na comunidade. Os resultados foram bastante promissores, onde a produção do milho foi em média de 1,5 t ha<sup>-1</sup>, e da mandioca de 16 t ha<sup>-1</sup> a 23 t ha<sup>-1</sup>. Também fizemos acompanhamento da biomassa aérea da vegetação secundária antes da trituração para monitorar a adição de matéria orgânica nas áreas e, conseqüentemente, a melhoria da qualidade do solo.

Com estes resultados expandimos para 21 agricultores parceiros e cinco comunidades nos municípios de Igarapé Açu e Marapanim. Nesta etapa, deixou-se livre a escolha do que plantar e assim os sistemas testados foram, principalmente, com as culturas anuais, mas alguns testaram melancia, pimenta do reino, maracujá, e outros incluíram hortaliças nas entrelinhas das culturas.

Para que houvesse uma parceria efetiva elaborou-se um calendário de acompanhamento semanal (agricultores e técnicos), para que a interação entre técnicos e agricultores fosse de extrema confiança, tanto com os agricultores quanto com sua família. No acompanhamento buscou-se ouvir as dificuldades encontradas, possíveis soluções e demandas. Houve acompanhamento da produção e melhoria da qualidade do solo, na percepção dos agricultores.

Com o acompanhamento, realizou-se estudo de diagnóstico das comunidades e das unidades familiar. Paralelas às atividades de campo, várias atividades de difusão foram realizadas, como visitas, intercâmbios entre comunidades e entre outros municípios, dias de campo e cursos de capacitação.

Atualmente, participam 46 agricultores(as) nos municípios de Igarapé Açu e Marapanim, 33 no Pólo Rio Capim do PROAMBIENTE, composto pelos municípios de Concórdia do Pará, Mãe do Rio, Irituia e São Domingos do Capim e 20 em Barcarena, com apoio da empresa Alumínio do Brasil, ALBRAS. O trabalho de adaptação e validação participativa está sendo expandido para os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Rondônia, Roraima e Maranhão, todos em parceria com as unidades da Embrapa, nestes Estados.

Em 2005, novos desafios foram demandados. Os agricultores parceiros passaram a demandar necessidade de mudança nos seus sistemas de produção com introdução de plantas semi-permanentes e permanentes em seus sistemas de uso da terra. Assim, deu-se início a mudança dos sistemas de cultivo e diversificação das espécies cultivadas com plantas perenes em sistemas agroflorestais com espécies frutíferas (graviola, cupuaçu, cacau, caju, laranja, limão, tangerina), espécies florestais (mogno, paricá, andiroba, teca) e culturas anuais nas entrelinhas das culturas (caupi, milho e mandioca). Essa etapa está sendo possível devido o apoio dos recursos do PADEQ/MMA conseguido pelas associações parceiras que está possibilitando a fase de transição agroecológica, buscando principalmente a redução de fertilizantes e agrotóxicos e diversificando o sistema de produção nas unidades familiares.

A pesquisa participativa está proporcionando a possibilidade de exercitar a mudança paradigma e mostrar que a realidade é outra e que podemos trabalhar inovações tecnológicas sem alterar ou prejudicar o saber local e a rotina dos agricultores. Trabalhos desenvolvidos por Oliveira (2002) relataram que inovação tecnológica é viável para a agricultura familiar, desde que seja respeitado o conhecimento adquirido ao longo do tempo por eles.

### PERSPECTIVAS DE MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA NA IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA

Estudos realizados por Costa (2006) apontaram a tendência da mecanização agrícola na agricultura familiar no nordeste paraense. Considerando o quadro atual, a adoção desta tecnologia pode ser viabilizada através de:

- 1) Patrulha mecanizada gerenciada pela Prefeitura – As prefeituras municipais poderiam formar patrulhas mecanizadas com equipamentos de trituração de capoeira para atender comunidades rurais organizadas. As comunidades rurais anualmente apresentariam suas necessidades, e a prefeitura executaria os trabalhos, devendo os agricultores pagar os custos operacionais (combustível por exemplo);

- 2) Programa social de grandes empreendimentos – Estimular os grandes projetos de desenvolvimento a apoiarem a agricultura familiar dentro do programa social, a mecanização na agricultura familiar na Amazônia através da tecnologia de corte e trituração. Essa experiência está sendo realizada pela Albras (Alumínio Brasileiro S/A) no estado do Pará em parceria com a Prefeitura Municipal de Barcarena;
- 3) Programas de governo – Utilização da tecnologia em programas de governo que incentivam a utilização de boas práticas nas atividades desenvolvidas na propriedade. Um exemplo, é o PROAMBIENTE, um programa de desenvolvimento sócio ambiental, surgido das discussões dos agricultores familiares, hoje transformado em programa do governo federal no Ministério do Meio Ambiente. Neste programa, é prevista a eliminação da queima no preparo de área para plantio, num prazo de três anos;
- 4) Grupos organizados - Associações ou cooperativas, por exemplo, poderiam adquirir um conjunto de trituração para atendimento de suas demandas e prestação de serviços a terceiros;
- 5) Prestadoras de serviço – Incentivar as prestadoras de serviço a equiparem sua patrulha com equipamentos de trituração de capoeira e venderem os serviços.

### CONCLUSÃO

A agricultura de derruba e queima praticada na maioria dos estabelecimentos familiares da Amazônia tem apresentado a sua sustentabilidade comprometida, devido principalmente as perdas de nutrientes da biomassa aérea da vegetação secundária durante o preparo de área e pela redução do período de pousio, e assim acumulando menos biomassa e, conseqüentemente, menor acúmulo de nutrientes, o que reduz a disponibilidade de nutrientes para a fase de cultivo. Além disso, o uso do fogo contribui para o aquecimento global da Terra pela emissão de gases de efeito estufa e na ocorrência de incêndios acidentais. A substituição do uso do fogo no preparo de área pelo sistema sem queima através do corte e trituração da vegetação secundária proporciona gradativa recuperação do solo pela adição de material orgânico e de nutrientes provenientes da biomassa aérea da vegetação triturada, que é distribuído na forma de cobertura morta do solo. A cobertura morta contribui também para uma melhor conservação da umidade do solo, menor temperatura, redução da erosão do solo, aumento da atividade biológica e melhora as características físicas do solo; além de manter a biodiversidade, contribuir na regulação climática, na recaptura dos nutrientes que lixiviam no perfil do solo através das raízes das espécies da capoeira, promovendo, assim, serviços ambientais de grande significado.

### LITERATURA CITADA

- AYANABA, A.; TUCKWELL, S.B. & JENKISON, D.S. The effects of clearing and cropping on organic reserves and biomass of tropical forest soils. *Soil Biol. Biochem.*, 8:519-525, 1976.
- BAAR, R. Vegetationskundliche und – ökologische Untersuchungen der Buschbrache in der Feldumlagewirtschaft im ostlichen Amazonasgebiet. *Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen* 121, 1997. 202p.
- BERVALD, C.M.P. Tecnologia mecanizada em preparo de área sem queima no nordeste paraense. Santa Maria, RG: Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 107p. Tese (Dissertação de Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, 2005.
- BLOCK, A. Göttinger Mahhacksler Tritucap und Forstmulcher – Nicht Brennende Flachenvorbereitung am Beispiel der Zona Bragantina, Nord-Ost-Amazonien, Brasilien. *Universität Göttingen*, 2004. 171p.
- BRIENZA JUNIOR, S. Biomass dynamics of fallow vegetation enriched with leguminous trees in the Eastern Amazon of Brazil. *Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen*, Göttingen, 1999. 134p.
- BUNEMANN, E. Einfluß von Mulch und mineralischem Dünger auf *Zea mays* und *Vigna unguiculata* in der Feldumlagewirtschaft Ostamazoniens. *Diplomarbeit Georg-August – Univeersität Göttingen*, 1998.

- CAMARÃO, A.P.; RODRIGUES FILHO, J.A.; RISCHKOWSKY, B.; MENDONÇA, C.L.G. & HOHNWALD, S. Disponibilidade de forragem, composição botânica e qualidade da pastagem de capim quicuío-da-amazônia (*Brachiaria humidicola*) sob três condições. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 39, 2002, Recife. *Anais...* Recife. CD-Rom.
- CATTANIO, J.H. Soil N mineralization dynamics as affected by pure and mixed application of leavy material from leguminous trees used in planted fallow in Brazil. Georg-August-Universität, Göttingen. Fakultät für Agrarwissenschaften. 2002. Dissertation. <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2002/cattanio/index.html>.
- CLAUSING, G. Early regeneration and recolonization of cultivated areas in the shifting cultivation system employed in the eastern Amazon region, Brazil. *Nat. Resour*, 45/46:76-102, 1997.
- COSTA, F.A. Capoeiras, inovações e tecnologias rurais concorrentes na Amazônia. IN: KAWAGE, C.; HURTIENNE, T.; COSTA, F.A. (org.). Inovação e difusão tecnológica para sustentabilidade da agricultura familiar na Amazônia Oriental - Resultados e implicações do Projeto SHIFT Sócioeconomia. Belém, Gráfica Alves, 2006. p.149-191. (prelo)
- DENICH, M: Estudo da importância de uma vegetação secundária nova para o incremento da produtividade do sistema de produção na Amazônia Oriental Brasileira. Eschborn, EMBRAPA/CPATU-GTZ, 1991. 284p.
- DENICH, M.; KANASHIRO, M. & VLEK, P.L.G. The potential and dynamics of carbon sequestration in traditional and modified fallow systems of the Eastern Amazon region, Brazil. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; STEWART, B.A. eds. Global climate change and tropical ecosystems. Boca Raton, CRC, 1999. p.213-229.
- DENICH, M.; VIELHAUER, K.; KATO, M. do S.A.; BLOCK, A.; KATO, O.R.; SÁ, T.D.de A.; LUCKE, W. & VLEK, P.L.G. Mechanized land preparation in forest-based fallow systems: the experience of Eastern Amazônia. *Agroforestry Systems*, 61:91-106, 2004.
- DIAZ, M. del C.V.; NEPSTAD, D.; MENDONÇA, M.J.C.; MOTA, R.S.; ALENCAR, A.; GOMES, J.C. & ORTIZ, R.A. O preço oculto do fogo na Amazônia: custos econômicos associados ao uso de fogo. Report of IPAM/IPEA/WHRC, Belém, Pará, Brazil, 43 p. <http://www.ipam.org.br/publica:publica-papers.php> (November 2003).
- FERNANDES, T.; VIELHAUER, K.; LOPES, M. & FOLSTER, H. Recuperation of a degraded pasture to return to the traditional shifting cultivation system. In: LIBERAL, R.; VOB, K.; BIENCHI, H. eds. Proceeding of the Third Shift-Workshop, Manaus, 1998. Manaus.Proceedings. Bonn: BMBF, 1998. p.119-124.
- GALLAGHER, R.S.; FERNANDES, E.C.M. & McCALLIE, E.L. Weed management through short-term improved fallows in tropical agroecosystems. *Agroforest Systems*, 47:197-221, 1999.
- HEDDEN-DUNKHORST, B.; DENICH, M.; VIELHAUER, K.; MENDONZA-ESCALANTE, A.; BORNER, J.; HURTIENNE, T.; SOUZA FILHO, F.R. de; SÁ, T.D. de A. & COSTA, F. de A. Forest-based fallow systems: a safety net for smallholders in the Eastern Amazon? Trabalho apresentado na Conferência Internacional Rural Livelihoods Forests and Biodiversity, Bonn, Alemanha, maio 2003, CIFOR, Bogor, Indonésia. [http://www.zef.de/research\\_activities/shift/publications.htm](http://www.zef.de/research_activities/shift/publications.htm).
- HOANG FAGERSTROM, M.H.; NILSSON, S.I.; van NOORDWIJK, M.; THAI PHIEN, O.M.; HANSSON, A. & SVENSSON, C. Does *Tephrosia candida* as fallow species, hedgerow or mulch improve nutrient cycling and prevent nutrient losses by erosion on slopes in northern Vietnam? *Agric. Ecosyst. Environ.*, 90:291-304, 2002.
- HOLSCHER, D.; LUDWIG, B.; MÖLLER, M.R.F. & FÖLSTER, H.: Dynamic of soil chemical parameters in shifting agriculture in the Eastern Amazon. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 66:153-163, 1997a.
- HOLSCHER, D.; MOLLER, M.R.F.; DENICH, M. & FOLSTER, H. Nutrient input-output budget of shifting cultivation in Eastern Amazonia. *Nutrient Cycl. Agroecosyst.*, 47:49-57, 1997b.
- JACOBI, I. Der Beitrag von Keimlingen zur Regeneration der Brachevegetation im ostlichen Amazonasgebiet. University of Hamburg, Germany, 1997. 148p.

- JUO, A.S.R. & MANU, A. Chemical dynamics in slash-and-burn agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 58:49-60, 1996.
- JUO, A.S.R. & LAL, R.L. The effect of fallow and continuous cultivation on the chemical and physical properties of an Alfisol in western Nigeria. *Plant Soil*, 47:567-584, 1977.
- KANASHIRO, M. & DENICH, M. Possibilidades de utilização e manejo adequado de áreas alteradas e abandonadas na Amazônia brasileira. Brasília, MCT/CNPq, 1998. 157p.
- KATO, O.R. Fire-free land preparation as an alternative to slash-and-burn agriculture in the Bragantina region: crop performance and nitrogen dynamics. Gottingen, Cuvillier, 1998. 132p.
- KATO, M.S.A.; KATO, O.R.; DENICH, M.; VLEK, P.L.G. Fire-free alternatives to slash-and-burn for shifting cultivation in the eastern Amazon region: The role of fertilizers. *Field Crop Research*, 62: 225-237. 1999.
- KATO, O.R.; KATO, M.S.A.; DENICH, M. & VLEK, P.L.G. Phosphorus availability in slash-mulch system in Eastern Amazonia. In: GERMAN-BRAZILIAN WORKSHOP ON NEOTROPICAL ECOSYSTEMS- ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS OF COOPERATIVE RESEARCH, 2000. Hamburg, Germany. Abstracts. Hamburg: (s.n.), 2000. p.261.
- KATO, M.S.A.; KATO, O.R.; JESUS, C.C. de & RENDEIRO, A.C.L. Genótipo de milho para plantio em sistema de corte e trituração. Belém, Embrapa Amazônia Oriental, 2002. 4p. (Comunicado Técnico, 65).
- KATO, O.R.; KATO, M.S.A.; VIELHAUER, K.; BLOCK, A. & JESUS, C.C. de. Cultivo do milho em sistema de corte e trituração da capoeira na região nordeste do Pará. Belém, Embrapa Amazônia Oriental, 2003. 18p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 19).
- KATO, O.R.; KATO, M.S.A.; SÁ, T.D. de A. & FIGUEIREDO, R. Plantio direto na capoeira. *Ciência e Ambiente*, 29:99-111, 2004a.
- KATO, M.S.A.; KATO, O.R. & SECCO, N.B. Intensificando o cultivo em sistemas agroflorestais sucessionais. In: V Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais: SAFs – Desenvolvimento com Proteção Ambiental, Curitiba, Embrapa Florestas, 2004b. p.111-113. (Documentos, 98).
- LIMA, T.T.S. & MIRANDA, I. de S. Dinâmica da regeneração natural de capoeiras oriundas de diferentes sistemas agrícolas. In: V Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais: SAFs – Desenvolvimento com Proteção Ambiental. Curitiba, Embrapa Florestas, 2004. p.425-427. (Documentos, 98).
- LUGO, A.E. & BROWN, S. Management of tropical soils as sinks of atmospheric carbon. *Plant Soil*, 149:27-41, 1993.
- MACKENSEN, J.; HOLSCHER, D.; KLINGE, R. & FOLTER, H. Nutrient transfer to the atmosphere by burning of debris in eastern Amazonia. *Forest. Ecol. Manag.*, 86:121-128, 1996.
- McDONALD, M.A.; HEALEY, J.R. & STEVENS, P.A. The effects of secondary forest clearance and subsequent land-use on erosion losses and soil properties in the Blue Mountains of Jamaica. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 92:1-19, 2002.
- METZGER, J.P.M. Dinâmica e equilíbrio da paisagem em áreas de agricultura de corte-e-queima em pousio curto e longo na região da Bragantina. In: Seminário sobre Manejo da Vegetação Secundária para a Sustentabilidade da Agricultura Familiar da Amazônia Oriental, Belém, Pará, Brasil, 1999. Anais... Embrapa Amazônia Oriental, 2000. p. 47-50. (Embrapa Amazônia Oriental, Documentos 69).
- METZGER, J.P.; DENICH, M.; VIELHAUER, K. & KANASHIRO, M. Fallow periods and landscape structure in areas of slash-and-burn agriculture (NE Brazilian Amazon). In: Proceedings of the Third SHIFT-Workshop, Manaus, 1998. p.95-100.
- NYE, P.H. & GREENLAND, D.J. The soil under shifting cultivation. Harpenden, Technical Communication No. 51, Commonwealth Bureau of Soil, 1960. 156p.
- NUNEZ, J.B.H. Fitomassa e estoque de bioelementos das diversas fases da vegetação secundária, provenientes de diferentes sistemas de uso da terra no nordeste paraense, Brasil. Belém, PA:

- Universidade Federal do Pará, 1995. 184p. Tese (Dissertação em Agronomia) - Universidade Federal do Pará, 1995.
- OLIVEIRA, C.D.S. Percepção e saber de agricultores familiares na adaptação do sistema de cultivo de corte e trituração. Belém, PA: Universidade Federal do Pará, 2002. 140p. Tese (Dissertação em Agronomia) - Universidade Federal do Pará, 2002.
- OLIVEIRA, P.C. Comportamento ecofisiológico de recursos vegetais potencialmente acumuladores de fósforo em florestas secundárias no nordeste paraense. Belém, PA: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2005. 180p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, 2005.
- PARRY, M.M. & VIELHAUER, K. Produção de milho em diferentes épocas de cultivo e adubação, em áreas preparadas com cobertura morta. In: Seminário sobre Manejo da Vegetação Secundária para a Sustentabilidade da Agricultura Familiar da Amazônia Oriental, Belém, Pará, Brasil, 1999. Anais... Embrapa Amazônia Oriental, 2000. p. 125-127. (Documentos, 69).
- RODRIGUES, M.A.C. de M.; MIRANDA, I. de S. & KATO, M.S.A. Estrutura de florestas secundárias originadas após o uso de diferentes trituradores florestais em sistemas agroflorestais seqüenciais no nordeste paraense. In: V Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais: SAFs – Desenvolvimento com Proteção Ambiental, Curitiba, Embrapa Florestas, 2004. p. 452-454. (Documentos, 98).
- ROUW, A. de. The fallow period as a weed-break in shifting cultivation (tropical wet Forests). *Agric. Ecosyst. Environ.*, 54:31-43, 1995.
- RUTHENBERG, H. Farming systems in the tropics. 3° ed. Oxford, Clarendon Press, 1980.
- SANCHES, P. Science in agroforestry. *Agroforest Systems*, 30:5-55, 1995.
- SHANG, C. & TISSEN, H. Carbon turnover and carbon-13 natural abundance in organo-mineral fractions of a tropical dry forest soil under cultivation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:2149-2155, 2000.
- SILVA JUNIOR, M.L.; VIELHAUER, K.; DENICH, M. & VELK, P.L.G. Can tree enrichment of secondary vegetation and fire-free land preparation by cutting, chopping and mulching improve the following crops? In: Proceedings of the Third SHIFT-Workshop, Manaus, 1998. p.113-118.
- SOMMER, R. Water and nutrient balance in deep soils under shifting cultivation with and without burning in the Eastern Amazon. Cuvillier, Gottingen, Germany, 2000. 240p.
- SOMMER, R.; SÁ, T.D. de A.; VIELHAUER, K.; VLEK, P.L.G. & FOLSTER, H. Water and nutrient balance under slash-and-burn agriculture in the Eastern Amazon, Brazil – The role of a deep rooting fallow vegetation. In: International Plant Nutrition Colloquium Food Security and Sustainability of Agro-ecosystems, 14, 2001. Proceedings..., 2001. p. 1014-1015.
- SOMMER, R.; VLEK, P.L.G.; SÁ, T.D. de A.; COELHO, R.F.R. & FOLSTER, H. Nutrient balance of shifting cultivation by burning or mulching in the Eastern Amazon – evidence for sub-soil nutrient accumulation. *Nutrient Cycl. in Agroecosyst.*, 68:257-271, 2004.
- TIPPMANN, R. Assessment of carbon sequestration in landscape under the clean development mechanism of the Kyoto Protocol. Diploma Thesis. ZEF Bonn/Department of Geography, University of Bonn, Germany, 2000.
- TISSEN, H.; CUEVAS, E. & CHACON, P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. *Nature*, 371:783-785, 1994.
- VASCONCELOS, S. & VIELHAUER, K. Seleção de genótipos de milho tolerantes à deficiência de P para agricultura familiar no Nordeste Paraense. In: Seminário sobre Agricultura Familiar da Amazônia Oriental, 1999, Belém, Anais. Belém, Embrapa Amazônia Oriental/CNPq, 2000. p.122-124. (Documentos, 69)
- VIELHAUER, K. & SÁ, T.D. de A. Efeito do enriquecimento de capoeiras com árvores leguminosas de rápido crescimento para a produção agrícola no Nordeste Paraense. In: Seminário sobre Agricultura Familiar da Amazônia Oriental, 1999, Belém, Anais. Belém, Embrapa Amazônia Oriental/CNPq, 2000. p.27-34. (Documentos, 69).
- VIELHAUER, K.; KANASHIRO, M.; SÁ, T.D. de A. & DENICH, M. Technology development of slash-

and-mulch and of fallow enrichment in shifting cultivation systems of the Eastern Amazon. In: Proceedings of the Third SHIFT-Workshop, Manaus, 1998. p. 49-59.

WICKEL, B. Water and nutrient dynamics of a humid tropical watershed in Eastern Amazonia. Center of Development Research, University of Bonn, Thesis of Doctor. Ecology and Development Series, n. 21, 135p, 2004.

# Parte III

Manejo de Sistemas Agroflorestais



## Sistemas Agroflorestais com Seringueira

JOMAR DA PAES PEREIRA, ALEX CARNEIRO LEAL & ANDRÉ LUIZ MEDEIROS RAMOS

### INTRODUÇÃO

Nos dias atuais muitas pessoas ainda associam a seringueira (*Hevea brasiliensis* Muel. Arg.) e a produção em larga escala de borracha natural à Amazônia. Esse equívoco deve-se ao fato da seringueira ser originária da região amazônica, e ao Brasil ter monopolizado a produção e exportação de borracha natural até o início do século XX.

A produção de elastômero natural a partir de florestas nativas foi deslocada para cultivos florestais nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do país, por contingências fitossanitárias (mal-das-folhas). Destaca-se o Estado de São Paulo como o maior produtor nacional, respondendo atualmente por mais da metade da produção brasileira (IBGE, 2005).

A borracha natural é um produto estratégico para o setor industrial, ao lado do aço e do petróleo, e sua produção assume significativo papel sócio-econômico, além de cumprir importantes funções ambientais.

Sendo uma espécie de uso múltiplo, a seringueira é também uma importante produtora de madeira para processamento mecânico, e também matéria-prima de grande importância sócio-econômica. Como espécie madeireira, atualmente seu maior destaque ocorre nos mercados asiáticos, onde se localizam extensas e relativamente antigas áreas de cultivos, de cuja reforma provém o abastecimento do mercado madeireiro (Killmann & Hong, 2000).

Do ponto de vista de benefícios ambientais, a heveicultura apresenta diversas vantagens, protegendo o solo e melhorando as suas propriedades físicas e químicas, regulando o microclima e fornecendo abrigo para a fauna. Pela sua grande versatilidade de usos, cumpre simultaneamente funções sociais, ecológicas e econômicas.

Em relação ao caráter social trata-se de uma cultura apropriada por viabilizar a permanência do homem no meio rural. Ao especializar a mão-de-obra no seu manejo e exploração, garante trabalho e sustento durante o ano todo, pois o cultivo da seringueira envolve 10 meses na extração do látex, um mês no preparo das árvores e um mês de férias. Devido à pouca penosidade do trabalho, permite que mulheres e jovens sejam aproveitados nas operações de sangria. Demanda, em média, uma família para cada 2.000 a 4.000 árvores exploradas, com opção de renda semanal, quinzenal ou mensal. É uma espécie perene e longeva, propiciando colheita de borracha natural durante 30 a 35 anos, e de madeira na época de reforma do plantio.

Dentre os principais aspectos limitantes à produção agrícola e pecuária em diversos países, destacam-se a erosão hídrica e a diminuição do potencial produtivo dos solos; as dificuldades de obtenção de insumos industriais de alto custo por parte dos produtores; a falta de alternativas para o uso de solos de baixa aptidão agrícola, dentre outros.

No tocante aos problemas em recursos naturais, considera-se a erosão hídrica dos solos como mais importante para o setor agrícola. Assoreamento e poluição de mananciais, enchentes, perda do potencial produtivo dos solos são, no todo ou em parte, decorrentes do processo erosivo (Paraná, 1989).

O incentivo à adoção exclusiva de práticas mecânicas de conservação do solo (terraços, cordões vegetados ou de pedras, e outros), desconsiderando as práticas de controle nas diversas etapas do processo erosivo, não evitam a desagregação e parte do transporte de partículas de solo, sendo, portanto, insuficientes para o controle adequado da erosão nas áreas agrícolas, embora prestem importante contribuição. A fim de atuar no controle de todas as etapas do processo erosivo, três pontos básicos devem ser considerados:

- aumento da cobertura vegetal sobre o solo (redução do impacto da gota de chuva);
- favorecimento da infiltração de água no perfil do solo, reduzindo-se o escoamento superficial e promovendo maior disponibilidade de água para as culturas, com menores riscos, e aumento de produção vegetal;
- controle do escoamento superficial, visando redução do transporte de sedimentos e assoreamento de mananciais e regularização do regime dos cursos d'água nas bacias hidrográficas (Paraná, 1989);

A presença de árvores e arbustos pode induzir efeitos benéficos sobre os solos como:

- aporte de matéria orgânica (produção de biomassa);
- fixação biológica de nitrogênio atmosférico;
- adição de nutrientes via escoamento e precipitação pelos troncos;
- redução de perdas de solo;
- ciclagem de nutrientes;
- melhoria das propriedades físicas do solo;
- desenvolvimento da biota dos solos;
- melhoria de microclima (sombreamento, quebra-ventos, etc). (Nair, 1989).

Portanto, a inclusão do componente arbóreo-arbustivo na propriedade agrícola apresenta potencial de contribuição para minimizar ou solucionar problemas de degradação do solo pela erosão hídrica e perda de potencial produtivo.

Especificamente do ponto de vista do controle da erosão hídrica, árvores e arbustos podem influir sobre a erosividade das chuvas, a erodibilidade dos solos (pode diminuir pelo aumento do teor de matéria orgânica, aumento da capacidade de infiltração, na cobertura de serapilheira e melhor estruturação do solo) e redução do escoamento superficial (plantios em estrutura de conservação do solo) (Young, 1986; Nair, 1989).

A implantação de sistemas agroflorestais (SAF's) pode atuar positivamente na minimização e solução dos problemas de erosão, desde que os referidos sistemas envolvam a combinação deliberada de plantas lenhosas perenes (árvores, arbustos, palmeiras), culturas agrícolas e, ou, animais, em arranjo seqüencial ou espacial, que resultem em benefícios ao solo, com a melhoria do controle da erosão, aporte de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, além de diversificar a produção da propriedade agrícola.

Do ponto de vista biológico, a associação de espécies apresentando ciclos vegetativos distintos proporciona um melhor uso temporal dos fatores de produção, além de resultar em menor nível de competição entre estas. Desse modo, a seleção de espécies a serem consorciadas, deverá levar em conta alguns parâmetros relacionados às estruturas vegetativas; às características fisiológicas; aos períodos de máxima exigência por fatores de produção e à compatibilidade sanitária entre as espécies envolvidas.

A característica mais notável desses sistemas é que qualquer variação de um fator ambiental que influencie no crescimento e desenvolvimento das plantas resultará em uma vantagem seletiva de uma das culturas sobre a outra. E, ainda, em decorrência da manifestação de uma interação dinâmica entre as culturas consorciadas, é constatada uma maior estabilidade de produção no sistema como um todo.

Diferentes autores destacam inúmeras vantagens para utilização racional da prática de SAF's, conforme Fancelli (1986):

- a) minimização dos riscos de insucesso;
- b) melhor distribuição de renda ao longo do ano;
- c) propicia melhor utilização e distribuição da mão-de-obra;

- d) proporciona menor incidência de pragas e doenças;
- e) possibilita o uso mais intensivo e racional da terra;
- f) maior lucro por unidade de área;

Por outro lado, é perfeitamente conhecido que no estabelecimento de cultivos perenes (tais como os seringais) em áreas recém desbravadas, o preparo de área representa uma significativa parcela do custo final de implantação, na maioria das vezes, atenuado pelo uso de cultivos intercalares anuais e semiperenes. Trata-se, portanto, de uma alternativa que envolve relevante aspecto sócio-econômico, com maior eficácia no uso da mão-de-obra, diversificação da produção e mais rápido retorno econômico ao produtor.

Apesar dos aspectos favoráveis advindos de tais sistemas (de natureza ecológica, social e econômica), sua plena adoção ainda esbarra no tradicionalismo e no baixo grau de esclarecimento da maioria dos agricultores, o que impõe a necessidade de ampliação de estudos regionalizados e discussões frequentes sobre soluções alternativas para emprego de tais SAF's em seringais em formação e mesmo em produção.

Neste trabalho serão usados como exemplo os resultados de pesquisa obtidos com seringueira em diferentes países, notadamente no Brasil, incluindo resultados de pesquisa e experiência de produtores com SAF's envolvendo seringueira e outros cultivos de expressão econômica, com possibilidades de aplicação pelos produtores rurais do país.

### PRÁTICAS AGROFLORESTAIS

As diversas práticas agroflorestais classificam-se de acordo com o arranjo dos componentes (linear, misto, ou no tempo, em rotação); a função dos componentes, particularmente os arbóreos (função produtiva - alimentos, forragem, lenha, outros produtos, ou função protetora - quebra-ventos, conservação do solo); a região agroecológica; o nível tecnológico e de relações custo-benefício (comercial, intermediário, de subsistência); e segundo a natureza de seus componentes (sistemas ou práticas agrossilviculturais, silvopastoris, agrossilvopastoris, e outras como talhões puros de árvores de uso múltiplo, apicultura e plantios florestais, aquíicultura e plantios florestais) (Nair, 1989).

“Alley cropping” ou cultivos em alamedas, segundo Oliveira & Schreiner (1986) é uma das tecnologias agroflorestais com opção de uso nos trópicos. Este sistema consiste no plantio de culturas agrícolas em faixas entre linhas de espécies arbóreas ou arbustivas (geralmente leguminosas), as quais são podadas periodicamente ao longo do ciclo da cultura agrícola (Ssekabembe, 1985).

Essa técnica mantém alguns dos principais pontos positivos do chamado sistema de agricultura migratória (“shifting cultivation”), como a recuperação da fertilidade do solo, adubação verde, fornecimento de lenha e estacas, controle de plantas daninhas (Kang et al., 1981), abreviando o tempo de pousio entre períodos de cultivo. O aporte de matéria orgânica, assim proporcionado, é altamente desejável nas condições dos solos tropicais.

Resultados de pesquisa em cultivo em alamedas têm demonstrado aumentos de produção da ordem de 23% para milho (Guevara, 1976) e de 56% para arroz (Alferez, 1980). Na Nigéria, apesar do alto teor de nitrogênio nas copas das árvores podadas de leucena, foi necessária a adição complementar do nutriente para obtenção de altos rendimentos de milho; entretanto, a retirada dos resíduos de poda reduziu a produção de milho em 54% (IITA, 1981). O benefício do sistema de nutrição das culturas agrícolas é proveniente, em grande parte, da adição de nutrientes pela poda (Ssekabembe, 1985).

Os sistemas silvopastoris (espécies arbóreas ou arbustivas associadas à criação de animais) têm sido utilizados no Brasil, particularmente nas regiões Sudeste e Sul, tanto em propriedades rurais (ex. árvores sombreadoras em pastagens) como por empresas florestais, embora não se disponha ainda de uma base segura, de ordem técnico-econômica, sobre esses sistemas (Baggio, 1983).

### IMPORTÂNCIA DO CULTIVO DA SERINGUEIRA

A produção de borracha natural provém da espécie *Hevea brasiliensis* Muel.Arg.. Originária da Amazônia ocorre desde 3° de latitude Norte até 15° Sul, onde as condições climáticas (altas temperaturas

e pluviosidade) favorecem o desenvolvimento do mal-sul-americano-das-folhas, principal enfermidade foliar causada pelo fungo *Microcyclus ulei* P. Henn., que compromete o desempenho da cultura nos plantios racionais naquela região.

No Sudeste Asiático, sob condições climáticas similares e sem a presença dessa enfermidade, a cultura se expandiu atingindo hoje em torno de 80% da produção mundial de borracha natural, concentrada em sua quase totalidade em pequenas propriedades rurais, em consórcio com outros cultivos em regime diversificado de produção.

No Brasil, foram encontradas alternativas para superar o problema dessa enfermidade nas chamadas “áreas de escape”, mediante solução genético/ecológica baseada nas condições microclimáticas locais na própria Amazônia, com plantio de seringueiras às margens de rios largos, áreas com estação seca definida, coincidindo com o período de renovação anual de folhagem e regiões apresentando sazonalidade do clima (verões quentes chuvosos e invernos frios e secos, coincidindo com a renovação de folhagem do seringueiro). Com isso, as áreas extra-amazônicas com possibilidades de plantio de seringueiras são encontradas nas regiões sudoeste do Estado do Maranhão, na zona da mata de Pernambuco, de Minas Gerais, do Rio de Janeiro, do Espírito Santo, de São Paulo (Planalto) e mais recentemente no noroeste e na costa oeste do Paraná.

A seringueira mostra uma grande plasticidade de adaptação às mais variadas condições edafoclimáticas, sendo cultivada desde 24° N na China até 25° S (litoral de São Paulo), enquanto a enfermidade se manifesta em caráter epifítico até 18°N (El Palmar - México), abrindo, com isso, amplas possibilidades de cultivo compondo sistemas agroflorestais compatíveis nas referidas áreas de escape.

### IMPORTÂNCIA DA CONSORCIAÇÃO

Por muitos anos a pesquisa tem direcionado esforços para o conhecimento da importância da cobertura do solo, numa ampla base de técnicas utilizadas: cobertura vegetal com leguminosas ou o plantio intercalar de uma cultura anual, perene ou semiperene.

Segundo Cardoso et al. (1988) o uso de culturas intercalares em seringueiras é uma forma racional de ocupação das entrelinhas. No Estado de São Paulo, a maior parte do solo sob seringueiras fica desprotegida durante todo o período de imaturidade da cultura, aumentando os riscos de erosão e dificultando os trabalhos de manutenção.

A consorciação de plantas que apresentam ciclos vegetativos distintos pode representar uma das mais importantes formas de complementaridade, pois tal associação, na maioria das vezes, proporciona melhor uso temporal dos fatores de produção (Bernardes & Fancelli, 1988), cujo excedente produzido pode complementar a renda do produtor (Blencowe, 1989). Mas, para que se consiga sucesso na consorciação é necessário seguir alguns critérios na escolha das espécies a serem consorciadas, como aqueles relacionados às suas estruturas vegetativas não conflitantes (raízes e parte aérea), características fisiológicas complementares, período de máxima exigência por fatores de produção não coincidentes e compatibilidade sanitária entre as espécies envolvidas (Fancelli, 1986), além de plena adaptação à região e valor econômico atraente (Fancelli, 1990).

Segundo Costa & Medrado (1990) algumas desvantagens devem ser conhecidas, pois podem diminuir as possibilidades de uso da técnica, sendo elas: existência de competição por água, luz e nutrientes que pode restringir o desenvolvimento da seringueira, principalmente se o manejo do consórcio não for bem planejado; as plantas cultivadas nas entrelinhas podem servir como hospedeiro intermediário de pragas e doenças da seringueira, e pode haver uma alteração do microclima, tornando-o mais próprio para o estabelecimento de doenças fúngicas.

### ALTERNATIVAS DE SAF'S ENVOLVENDO A SERINGUEIRA

#### SAF's de Seringueira e Cultivos Anuais

Em geral, a seringueira cresce melhor em monocultivo, com as entrelinhas protegidas por leguminosas durante o período de imaturidade da cultura. Com esse sistema, tanto em pequenas quanto em grandes plantações, o manejo pode ser concentrado para otimizar o desempenho da serin-

gueira. Porém, durante os três primeiros anos após o plantio, antes de haver o sombreamento das entrelinhas, é possível cultivar uma grande variedade de cultivos intercalares para amortizar os custos de implantação.

Tecnicamente, a seringueira pode ser usada em consorciação com uma infinidade de culturas, propiciando benefícios mútuos. Alguns exemplos com cultivos anuais podem ser citados no Brasil e no exterior.

O interplântio de seringais com leguminosas de cobertura, principalmente em áreas de maior declividade e, ou, susceptibilidade à erosão hídrica, e solos de baixa fertilidade, é uma prática promissora para aplicação na propriedade rural. A introdução de espécies arbóreas ou arbustivas pode possibilitar o manejo para produção de lenha e outros produtos, além dos efeitos de proteção e enriquecimento do solo, principalmente com leguminosas arbóreas.

A seringueira admite, com vantagem, o cultivo em associação com culturas anuais, semiperenes, perenes, ou com leguminosas de cobertura. As vantagens do estabelecimento de práticas agroflorestais com seringueira residem na redução dos custos de implantação do seringal, na melhoria da eficiência de ciclagem de nutrientes através da diferença de níveis de exploração do solo pelos sistemas radiculares da seringueira (pseudo-pivotante e, ou, pivotante profunda) e das plantas associadas, melhor aproveitamento da radiação luminosa incidente, na cobertura (proteção) do solo pelas partes aéreas e deposição de folhas (Pereira, 1992).

No consórcio com cultivos anuais, o grau de sucesso depende de diversos fatores. Nos plantios em solos pobres e em áreas de baixa pluviosidade não se pode esperar um bom desempenho do cultivo intercalar, sem haver detrimento à seringueira. Sob condições de solos melhores e com adequada pluviosidade, a experiência geral tem demonstrado que o interplântio com culturas alimentícias tem apresentado completo sucesso (Tan et al., 1969; Watson, 1980, 1983).

Na Ásia, as tradicionais culturas de renda são abacaxi, banana, gengibre, cucurbitáceas, citronela e patchouli, enquanto que arroz, feijão e milho são cultivados para subsistência.

Dijkman (1951) cita experiências com o cultivo de soja e arroz nos dois primeiros anos de cultivo da seringueira na Indonésia.

O consórcio nos três primeiros anos de vida do seringal é, normalmente, feito com cultivos anuais e a partir do quarto ano o sombreamento oferecido pela copa da seringueira permite o uso de arranjos envolvendo cultivos semiperenes ou mesmo perenes, pouco exigentes em luz e com sistema radicular do tipo fasciculado, proporcionando uma convivência harmônica e com benefícios mútuos do ponto de vista técnico e econômico. Como exemplos de cultivos perenes adequados ao consórcio temos o açaizeiro, a juçara, a pupunha e a palmeira real, com vistas à exploração do palmito e dos frutos.

Nunes (1953) já preconizava a utilização das culturas de milho, mandioca, arroz e feijão, além de sisal, agave, coqueiro anão e dendê, nas entrelinhas da seringueira no Estado do Amapá.

Na Malásia (províncias de Sarawak e Sabah) em pequenas plantações ("small-holders"), a consorciação na fase jovem da seringueira tem permitido melhor racionalização da mão-de-obra familiar e do manejo do seringal, além de ganhos adicionais.

No Sri Lanka, têm sido usados plantios intercalares com milho, sorgo, feijão, caupi, mandioca, batata doce e abacaxi, principalmente em áreas de renovação de seringais antigos, entrando as culturas intercalares em rotação como forma de aumentar a rentabilidade (Senanayake, 1968).

Fancelli et al. (1984) recomendam, independentemente da idade do seringal, a introdução de culturas anuais distanciadas 1,0 m ou 1,5 m da linha de seringueira.

Para Embong & Abraham (1976) o uso de culturas anuais consorciadas à seringueira somente assume caráter econômico nos dois ou três primeiros anos de formação do seringal, a partir dos quais a criação de cabras, carneiros, aves e bovinos, mediante manejo adequado, mostram-se como associações mais vantajosas.

O Sistema de Produção Embrater/Embrapa (1980) para a região Amazônica recomenda, para áreas de pequenos produtores, a implantação de culturas de ciclo curto nas entrelinhas do seringal com preferência para arroz, feijão, milho, hortaliças, batata doce, abacaxi, melancia e mandioca, visando à produção de alimentos e variação da dieta alimentar, além da obtenção de renda adicional durante os primeiros anos de imaturidade do seringal.

Culturas caracterizadas pela sua agressividade e por seu elevado porte como mandioca, mamona, milho, guandu, girassol, dentre outras, não devem ser utilizadas no primeiro ano de formação do

seringal. Contudo, a partir do segundo ano não existem restrições específicas, podendo ser recomendadas quaisquer culturas, desde que criteriosamente selecionadas segundo critérios anteriormente mencionados, mediante zoneamento ecológico da região considerada (Fancelli, 1986).

Em trabalho realizado no município de Igarapé-Açu, PA, Mattos & Albuquerque (1983), avaliando o comportamento das culturas de arroz e algodão consorciadas à seringueira, concluíram que, ao nível das propriedades agrícolas analisadas, não foram encontradas diferenças significativas concernentes ao desenvolvimento vegetativo da seringueira, quando comparada com as árvores localizadas nas áreas consorciadas e não consorciadas.

Pinheiro (1982), ainda na região Amazônica, enfatiza a importância da utilização da consorciação em seringais, principalmente com culturas alimentícias tais como arroz, milho, feijão, amendoim, além de outras. O autor afirma que, no Brasil, até àquela data não existiam evidências experimentais conclusivas que permitissem a definição de SAF's. Entretanto, a consorciação de culturas se constituía num método intensivo de cultivo, que requeriria cuidados especiais, não somente no plantio e no uso de fertilizantes e, ou, defensivos, como também no eficiente controle de pragas e enfermidades.

Fancelli et al. (1984), estudando os efeitos da intercalação de culturas alimentícias em um seringal em formação no município de José Bonifácio, SP, constataram a viabilidade técnica e econômica de tal prática, mediante a análise dos dados relativos aos dois primeiros anos de consorciação. Segundo os autores, a soja e o milho se constituíram nas culturas mais rentáveis, cujas rendas líquidas obtidas nos dois primeiros anos do experimento permitiram cobrir os custos de implantação do seringal.

Brito (1984), de mesma maneira, avaliando a rentabilidade e a influência das culturas de milho, soja e arroz durante quatro anos em um seringal, no município de Colina (SP), concluiu que o manejo racional das culturas intercalares não afeta o desenvolvimento da seringueira, destacando-se a soja como a cultura de maior retorno econômico ao produtor.

#### SAF's de Seringueira e Cultivos Semiperenes e Perenes

Com relação as culturas perenes consorciadas à seringueira, inúmeros trabalhos são relacionados na literatura, principalmente aqueles referentes à utilização de cacau, guaraná, pimenta-do-reino e café (Pereira et. al., 1998). Trabalhos envolvendo consórcios de seringueira com cacau, guaraná e pimenta-do-reino são citados por Pinheiro (1982) na Amazônia, além de seringueira x pimenta-do-reino no Camboja e na Índia (Maistre, citado por Viegas, 1982).

Alguns trabalhos de consorciação seringueira x cacau e seringueira x cafeeiro executados nas unidades da Embrapa em Ouro Preto (RO), Capitão Poço e Altamira (PA), e pela CEPLAC na região de Una (BA), mostraram que a cultura da seringueira foi sempre mais vigorosa quando consorciada com cacau e café, mostrando ser tecnicamente viável tais consórcios.

Para Pinheiro (1980), em decorrência dos dados de observação e experiências preliminares disponíveis para a região amazônica, os diferentes tipos de consórcio entre seringueira x cacau; seringueira x guaraná; e seringueira x pimenta-do-reino, freqüentemente podem se constituir em sistemas viáveis de produção.

No Camboja, as seringueiras são associadas a pimenteiros em cultivos extensivos, evidenciando excelentes resultados. O mesmo exemplo na região amazônica (Embrapa, Manaus) evidenciou efeito positivo da seringueira no controle da fusariose no consórcio com pimenta-do-reino. Na Amazônia, o período de vida útil do pimental está em torno de quatro anos devido à incidência de "podridão das raízes" causada por *Fusarium solani* f. *piperi*; constituindo-se o sombreamento numa das formas de minimizar a incidência de tal patógeno.

Segundo Dijkman (1951) dentre os vários consórcios café x seringueira testados em Java, mostrou ser o mais viável o sistema "avenida", no qual a seringueira encontrava-se disposta em renques (filas duplas) e o cafeeiro plantado em amplas faixas livres do seringal. Nesse esquema a seringueira produziu de 30% a 50% mais que nas modalidades de plantio comumente apregoadas.

Normalmente, nos programas de substituição do café pela seringueira o plantio é feito em ruas alternadas e ao nível de projeção das copas, sendo determinado o local de cada cova em função da direção predominante da radiação solar, evitando, assim, o excesso de sombreamento.

O açai, *Euterpe oleracea*, habita de preferência matas de várzea sob clima predominante Af pelo sistema Köppen e com pluviosidade anual em torno de 2.700 mm. A área de ocorrência natural de *E. oleracea* ocupa toda a Amazônia indo até à Bahia (Lorenzi, 1992).

O palmitheiro ou juçara, *Enterpe edulis*, é encontrado desde a Bahia até o Rio Grande do Sul. No Paraná, ocorre em toda a floresta atlântica, de planície e de encosta, até 700 m de altitude (Inoue et al., 1984). No litoral de São Paulo chega a apresentar densidade aproximada de 0,66 palmeiras por metro quadrado em diferentes estádios de desenvolvimento (Bovi et al., 1988).

As condições de cultivo podem ser: sombreamento definitivo (mata nativa ou arborização); sombreamento temporário (bananeira, leguminosas, guandu, etc) ou consórcio com outras culturas.

A pupunheira, *Bactris gasipaes*, sob condições naturais ocorre somente na Amazônia (Lorenzi, 1992), tendo como sistema de cultivo indicado o plantio a pleno sol. Segundo Bovi et al. (1988) é uma espécie muito precoce, rústica, apresentando bom perfilhamento, tornando-se assim uma cultura indicada para a exploração de palmito, possuindo bom rendimento em creme (duas a três vezes superior ao palmito de juçara e quatro a seis vezes superior ao açazeiro).

#### SAF “Jungle Rubber”

Na Indonésia, a seringueira compõe, desde o início do século XX, em um SAF tradicional, caracterizado por alta biodiversidade, conhecido como o sistema “jungle rubber”, desenvolvido pelos agricultores locais, a partir do estabelecimento nas pequenas propriedades, de talhões puros da espécie (Joshi et al., 2002).

Estudos recentes demonstraram que a riqueza em espécies vegetais neste sistema, é cerca de metade daquela observada em florestas naturais, na Indonésia. Uma área produtiva, de 35 anos, sob o sistema “jungle rubber”, continha 116 espécies arbóreas por hectare, com 898 indivíduos com diâmetro à altura do peito acima de cinco cm, além de 300 indivíduos de seringueira (Joshi et al., 2002).

Esforços recentes de pesquisa têm buscado o aperfeiçoamento desta prática tradicional, introduzindo-se componentes como clones de seringueira de alta produtividade e rusticidade, fruteiras tropicais, e tecnologias como diferentes arranjos espaciais e espaçamentos, e sistemas de adubação. O objetivo destes trabalhos é a obtenção de incremento em rentabilidade, sem prejuízo da manutenção de biodiversidade e de sustentabilidade.

Sistemas agroflorestais com estas características podem, se adequadamente aplicados no Brasil, vir a constituir-se em alternativa viável para o estabelecimento de reserva florestal legal, principalmente, no caso de pequenos e médios imóveis rurais, contribuindo ao cumprimento da legislação florestal vigente.

#### VANTAGENS DO USO DE SAF’S COM SERINGUEIRA

Em seringais recém-implantados, principalmente em pequenas propriedades, o uso de cultura anual intercalar pode ser uma saída para complementar a renda do produtor. A consorciação deve ser feita no início do desenvolvimento do seringal, sendo que qualquer cultura pode ser utilizada nas entrelinhas da seringueira, desde que não hospedem pragas e doenças que possam infestar o seringal e a competição entre as duas espécies não prejudique o desenvolvimento da cultura principal.

Muitas são as vantagens da utilização de uma cultura intercalar, sendo a redução do período de imaturidade das plantas e a diminuição dos custos de implantação do seringal, devido à renda extra conseguida pelo produtor na mesma área de cultivo, as das mais atrativas quando se pensa na implantação de um sistema agroflorestal. Dependendo do desenvolvimento do seringal, até o terceiro ou quarto ano existe luminosidade suficiente nas entrelinhas, o que permite o cultivo de alguma cultura intercalar. O uso de palmáceas é uma das alternativas viáveis para a produção de palmito.

Segundo Pereira et al. (1998), em um amplo estudo desenvolvido no consórcio entre a cultura do café e a seringueira, a escolha da espécie que será plantada nas entrelinhas da seringueira é de extrema importância e deve obedecer aos seguintes preceitos:

- a) Proporção em relação às seringueiras;
- b) Adaptação às condições edafoclimáticas do local;
- c) Deve suportar certo grau de sombreamento promovido pelo seringal, principalmente quando a cultura intercalar for plantada de forma perene ou quando as plantas de seringueira já apresentarem um crescimento elevado;
- d) Obedecer a uma distância mínima das plantas de seringueira para facilitar os tratos culturais, principalmente, se mecanizados;

e) Compatibilidade vegetativa e fitossanitária entre as espécies, assim como não deve haver efeito alelopático;

f) Em certas situações, dependendo da espécie consorciada no seringal, é necessário diminuir o sombreamento das entrelinhas. Isto é feito alterando o espaçamento da cultura principal. As seringueiras podem ser plantadas em filas duplas de 4 x 3 m, espaçadas de 10 a 12 m entre si, correspondendo a mesma densidade de plantio quando comparado ao plantio em fileiras simples. Com isso, a luminosidade nas entrelinhas é maior, aumentando a vida útil de exploração da cultura intercalar;

g) Quando o excesso de sombra não permitir a exploração de uma cultura intercalar é possível instalar o sistema silvopastoril; ou seja, dentro de um talhão de seringueiras pode-se manejar animais como carneiros, aves e bovinos.

### SISTEMAS AGROFLORESTAIS SERINGUEIRA X CAFEIEIRO

Vários sistemas agroflorestais de seringueira com cafeeiro têm sido estudados, recomendados e utilizados com vantagens para ambas as culturas nas mais diversas regiões produtoras de borracha natural e café no Brasil (Ribeiro et al., 1982; Matiello et al., 1985; Sampaio et al., 1985; Fancelli, 1986 e 1990; Fialho, 1992; Pereira, 1992; Pereira et al., 1994; Pereira et al., 1998).

#### Sistemas Temporários Seringueira x Cafeeiro

Nesses sistemas a cultura do cafeeiro permanece consorciada por pouco tempo junto à cultura da seringueira, a qual ocupa espaçamentos convencionais de 7,0 m a 8,0 m por 2,5 m a 3,0 m entre plantas. Nesse caso, a seringueira é utilizada na substituição de cafezais decadentes, sendo inicialmente favorecida pelo efeito de quebra-vento propiciado pelo café. Essa situação foi iniciada no Planalto de São Paulo, sendo comumente encontrada na região noroeste do Paraná, onde a seringueira está ocupando gradativamente o espaço deixado pelo café, mormente nas áreas em que o nematóide atinge níveis de infestação que inviabiliza essa cultura. Neste esquema, o cafeeiro é empregado temporariamente como cultura de formação do seringal.

#### Consortiação da Seringueira com Cafeeiro Terminal

Experimento foi realizado em área de plantio comercial pertencente à Companhia Melhoramentos Norte do Paraná - CMNP, no município de Paranapoema, PR, com altitude média de 450 m, latitude de 22°39'S, temperatura anual média de 22,7°C e 1.263 mm de pluviosidade (média de 15 anos), cultivada com café (cv. Catuaí Amarelo), com 10 anos de idade, em Latossolo Vermelho-Escuro, textura média, no espaçamento de 4,0 m x 1,5 m, e já em fase de erradicação. Os clones IAN 873 (Amazônico) e GT 1 (Asiático) foram plantados no local definitivo, no espaçamento de 8,0 m x 2,5 m (500 árvores/ha), ocupando o centro da faixa entre cada duas linhas de café, que funcionou inicialmente como quebra-vento para a seringueira jovem.

O café previsto para ser mantido na área até que o sombreamento da seringueira provocado pelo fechamento das copas inviabilizasse a produção, estendeu-se até o sétimo ano, ocasião em que a seringueira estava apta para o início da sangria.

Os valores obtidos no decorrer de 12, 18 e 24 meses de instalação do experimento, mostraram o efeito positivo do cafeeiro (efeito de quebra-vento) sobre o crescimento da seringueira nas parcelas consorciadas, tanto para o clone IAN 873 quanto para o GT 1, em relação a altura de plantas, circunferência do caule e espessura de casca. O crescimento em altura das plantas superou em quase duas vezes os valores obtidos pelos mesmos clones nas parcelas solteiras.

Em relação à espessura de casca as taxas de crescimento variaram de 0,4 a 0,6 mm para ambos os clones nas duas situações. Aos 24 meses de idade, as parcelas de IAN 873 e GT 1 consorciados apresentaram em torno de 100% de plantas com formação natural de copa contra aproximadamente 50% daquelas em plantio solteiro, o que, certamente, se refletiu na circunferência do caule e mostrou ter inclusive efeito marcante na antecipação da entrada em sangria das árvores em consórcio com o café.

Nesse mesmo período, o microclima nesse sistema (formação de copa) foi favorável na produção do café, em razão da diminuição da insolação pelo aumento da sombra, propiciando a redução da

temperatura ao nível da copa do cafeeiro, gerando um aumento médio de 2.610 kg a 2.641 kg de café beneficiado por hectare (maior produção obtida ao longo do período de sobrevida do cafeeiro e de todo o experimento).

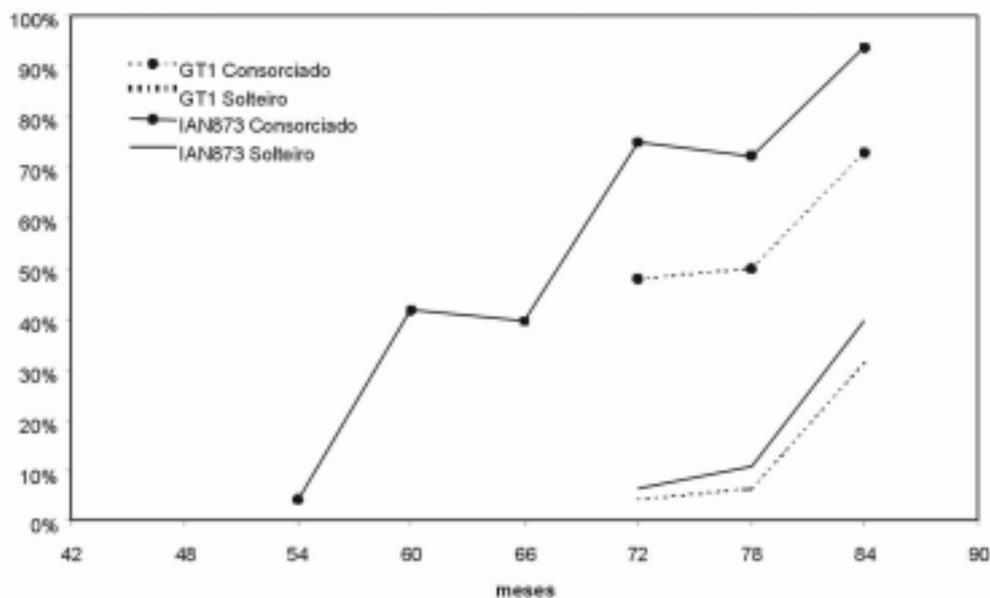
O clone IAN 873 apresentou uma antecipação de dois anos no número de plantas aptas para a entrada em sangria em relação a todos os demais tratamentos. Aos 60 meses (cinco anos de idade) foram atingidas 48% de plantas com 45 cm ou mais de circunferência a 1,30 m do solo (aptas para serem submetidas à sangria), contra 0% dos demais tratamentos.

Aos sete anos de instalação do experimento, observou-se que o clone IAN 873 em plantio consorciado apresentou um total de 94% de árvores aptas para sangria, contra apenas 44% do plantio solteiro. O clone GT 1, por sua vez, apresentou um percentual um pouco menor, 81% de árvores aptas para sangria no talhão consorciado. Entretanto, embora com menor percentual de árvores aptas para sangria, o clone GT 1 mostrou-se mais produtivo que o clone IAN 873, na fase inicial de produção.

No oitavo ano de vida útil da seringueira, o clone IAN 873 consorciado com cafeeiro apresentou um incremento de 24% de plantas aptas para sangria (CAP igual ou superior a 45 cm de circunferência tomada a 1,30 m do solo) com um total de 98% de plantas sangráveis em relação a 74% do plantio solteiro (Figura 1).

O clone GT1, nas mesmas condições de consórcio, apresentou respectivamente 94% e 67% de plantas sangráveis, o que evidencia uma maior performance dos plantios consorciados em relação aos solteiros independentemente dos clones em estudo, com reflexo positivo na produtividade inicial e maior retorno econômico ao produtor.

Figura 1 – Porcentagem de plantas de seringueiras aptas para sangria.



Quanto ao café, o mesmo apresentou uma sobrevida de sete anos em consórcio com a seringueira antes de ser erradicado, quando a produção média estimada caiu para 47,5 kg de café beneficiado por hectare no consórcio com o clone GT1 e para apenas 39,0 kg de café beneficiado no consórcio com o IAN 873. A tabela 1 ilustra a evolução da produção do café beneficiado/ha até a sua erradicação.

Tabela 1- Produção obtida pelo café ao longo do consórcio com a seringueira (kg ha<sup>-1</sup>)

Clone	Ano						
	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
GT 1	2.650	2.816	996	590	252	47	47
IAN 873	2.570	2.766	1.089	1.002	-	39	7

## Sistemas Permanentes Seringueira x Cafeeiro

Nesse sistema, a seringueira e o cafeeiro convivem permanentemente na área gerando benefícios mútuos, quer produzindo economicamente quer a seringueira entrando com baixas densidades e funcionando como cultura de arborização, além de fornecer alguma renda auxiliar. Em ambas as situações, a seringueira evidencia taxas de crescimento mais acentuadas, ainda que equivalentes às aquelas apresentadas em plantios solteiros, mostrando a grande compatibilidade e importância desse sistema agrossilvicultural.

Leal et al. (2005), avaliando o efeito de filas duplas de seringueiras aos cinco anos de idade no microclima do cafezal, observaram que a orientação das filas duplas de seringueira no sentido leste-oeste favoreceu a atenuação das altas temperaturas no lado sul das filas durante o dia, não havendo efeito no lado norte. Caso o objetivo seja a redução das temperaturas máximas nas folhas dos cafeeiros, a orientação norte-sul deve ser preferida, pois a sombra das seringueiras incidirá em maior número de cafeeiros conforme o deslocamento diário do sol.

Se a proteção desejada for para atenuar as baixas temperaturas noturnas (geada), a orientação das filas não é importante, pois a proteção será proporcional ao tamanho da copa da seringueira. Nesse caso, a distância entre as filas de seringueira é mais importante, sendo que as distâncias menores permitem maior proteção contra as baixas temperaturas noturnas.

Resultado de experimento instalado em área pertencente à Companhia Melhoramentos Norte do Paraná, no município de Paranapoema, com o cafeeiro progênie Icatu x Catuai IAPAR PR755054-28, no espaçamento uniforme de 2,5 m x 1,3 m, e a seringueira, clone PB 235, plantada em filas duplas de 4,0 m x 2,5 m, em três espaçamentos entre as filas duplas de 13,0 m, 16,9 m e 22,1 m comparados com o espaçamento convencional de 8,0 m x 2,5 m, delineados em blocos casualizados com cinco repetições, mostraram não haver diferenças significativas entre os tratamentos em relação à circunferência do tronco a 1,30 m de altura (CAP), espessura de casca (EC), percentagem de plantas aptas para sangria (PAS) e percentagem de plantas quase aptas para sangria (PQAS) com CAP acima de 40 cm, aos seis anos de idade (Figura 2 e Tabela 2).

**Figura 2** - Sistema temporário seringueira x cafeeiro aos sete anos de idade (CMNP, Paranapoema, PR).



A não observância de diferenças significativas entre os plantios consorciado e solteiro pode ser atribuída ao fato de ambas as culturas (café e seringueira) terem sido plantadas simultaneamente. Diferente do observado, quando a seringueira foi implantada em área com cafezal já antigo e em decadência, onde a planta se beneficia do efeito das adubações anteriores dadas ao café e do efeito microclimático proporcionado pelas plantas adultas de café, apresentando taxas de crescimento muito superiores àquelas obtidas nos plantios solteiros.

**Tabela 2** - Circunferência média do caule, espessura de casca, percentagem de plantas aptas para sangria e número de árvores com CAP > 40 cm, aos seis anos de idade (CMNP- Paranapoema, PR)

Espaçamento (m) Ano	Seringueira Consorciada						Seringueira Solteira	
	13,0 x 4,0 x 2,5		16,9 x 4,0 x 2,5		22,1 x 4,0 x 2,5		8,0 x 2,5	
	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999
<b>CAP (cm)</b>	34,3	38,8	34,0	38,0	37,0	38,3	33,2	37,8
<b>Espessura de casca (mm)</b>	4,09	4,1	4,1	4,2	4,1	4,1	4,1	4,1
<b>% Plantas aptas p/ sangria</b>	6	22	2	19	-	17	-	32
<b>% Plantas com CAP &gt; 40cm</b>	22	48	18	46	12	36	24	48

Quanto às produções médias de café beneficiado por hectare para a progênie Catuaí x Icatu (IAPAR PR75054-28) obtidas nos dois primeiros anos, não houve diferenças significativas entre o plantio do café solteiro e o consorciado à seringueira, evidenciando não haver efeito negativo do consórcio sobre a produção inicial do café (Tabela 3). Os dados de produção do café relativos aos tratamentos de dois a cinco correspondem, respectivamente, a 7.535, 7.600, 7.693 e 8.000 plantas de café ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 3** - Produção média de café beneficiado por ha, em consórcio permanente café x seringueira

Tratamento	1º ano	2º ano	Média
1-Seringueira Solteira	-	-	-
2- Café + Seringueira 13,5 x 4 x 2,5 m	783	2.278	1.530
3- Café + Seringueira 16,9 x 4 x 2,5 m	986	2.490	1.738
4- Café + Seringueira 22,1 x 4 x 2,5 m	754	2.057	1.405
5- Café Solteiro	761	2.241	1.501

### Índice de Equivalência de Área dos Sistemas Agroflorestais

O índice de equivalência de área (IEA) expressa a quantidade de área requerida com as monoculturas (cafeeiro e seringueira) para produzir a mesma quantidade de produtos obtidos no sistema agroflorestal. Por exemplo, num sistema com IEA = 1,54, equivale a uma área de 1,54 ha com as monoculturas para obter a mesma produção obtida em 1,0 ha do sistema agroflorestal (Vieira, 1985 citado por Pereira, 1998). Esse índice retrata, portanto, a eficiência do uso da terra. Ele é muito importante para os agricultores, especialmente os pequenos, que necessitam maximizar o uso de suas propriedades, diversificando e aumentando sua produção, e elevando sua renda familiar e seu nível de vida.

Na figura 3, no sistema seringueira-cafeeiro, com apenas dois componentes, o IEA pode ser calculado pela fórmula  $IEA = Bsa/Bm + Csa/Cm$  (Vieira, 1985), onde:

Bsa = produtividade de borracha no sistema agroflorestal (kg ha<sup>-1</sup>)

Bm = produtividade de borracha na monocultura (kg ha<sup>-1</sup>)

Csa = produtividade de café no sistema agroflorestal (kg ha<sup>-1</sup>)

Cm = produtividade de café na monocultura (kg ha<sup>-1</sup>)



Figura 3 - Sistema permanente seringueira x cafeeiro aos cinco anos de idade (IAPAR, Londrina).

As pesquisas, até então realizadas, têm demonstrado as vantagens dos sistemas agroflorestais de seringueira com cafeeiro, para uma ou ambas as culturas. Contudo, pressupondo-se a ausência de efeitos de uma cultura sobre a outra e com base nas respectivas densidades de plantio, no sistema agroflorestal e no monocultivo, Pereira (1998) demonstrou a possibilidade de fazer uma estimativa teórica de IEA para diversos sistemas agroflorestais seringueira x cafeeiro (Tabela 4).

TABELA 4 - Valores teóricos de índice de equivalência de área (IEA) estimado para diversos sistemas agroflorestais seringueira x cafeeiro (Pereira et al., 1998)

Sistema agroflorestal seringueira x cafeeiro	Bsa/Bm+Csa/Cm	IEA
Sringal em renques duplos a 12 m x cafeeiro adensado	$588/476 + 3910/6000 = 1,88$	
Sringal em renques duplos a 12 m x cafeeiro mecanizado	$476/476 + 4430/6000 = 1,74$	
Sringal em renques duplos a 16 m x cafeeiro mecanizado	$476/476 + 1900/3000 = 1,63$	
Sringal em renques duplos a 20 m x cafeeiro adensado	$400/476 + 4788/6000 = 1,64$	
Sringal em renques duplos a 20 m x cafeeiro mecanizado	$400/476 + 2128/3000 = 1,55$	
Sringal em renques duplos a 24 m x cafeeiro adensado	$345/476 + 5040/6000 = 1,56$	
Sringal em renques duplos a 24 m x cafeeiro mecanizado	$345/476 + 2290/3000 = 1,49$	
Sringal em renques duplos (40 x 40 m) x cafeeiro adensado	$296/476 + 4266/6000 = 1,54$	
Sringal em renques duplos (40 x 40 m) x cafeeiro mecanizado	$296/476 + 1896/3000 = 1,25$	
Arborização de cafezal adensado com seringueiras (16 x 16 m)	$123/476 + 5508/6000 = 1,18$	
Arborização de cafezal mecanizado com seringueiras (16 x 16 m)	$111/476 + 2556/3000 = 1,08$	

\* Densidade de plantio (plantas/ha) de cada cultura no sistema agroflorestal, monocultura.

\*\* Densidade de plantio de cafeeiro, calculadas descontando-se 10% da área com carregadores.

## Seringueira x Abacaxi

É uma alternativa altamente compensadora na implantação de seringais visando amortizar os custos de implantação, uma vez que aos 18 meses a produção do abacaxizeiro pode cobrir os custos iniciais de plantio do seringal.

Nesse consórcio, a seringueira é plantada em renques (filas duplas) de 4,0 x 2,5 x 13,0 m = 470 árvores/ha e o abacaxi pode ser plantado tanto em filas duplas de 0,45-0,5 m afastadas uma da outra de 0,90-1,0 m, quanto em linhas simples alternadas de 0,30-0,45 m, e em linhas simples de 0,50 m x 0,50 m = 40.000 plantas/ha. Com a perda de 20% de área, a produção de frutos de abacaxi na área útil de 10 m entre as filas duplas de seringueira será em torno de 48 toneladas (32.000 x 1,5 kg/fruto), o que pode representar uma receita de R\$ 14.400,00, num período de 3 a 4 meses de produção, a depender do tipo de muda, escalonamento na época de plantio e indução de florada.

## Seringueira x Palmeira Real

A palmeira real (*Archontophoenix sp.*), com duas espécies comerciais *cunninghamiana* e *alexandrae*, é cultivada em plantios solteiros adensados no espaçamento de 0,40 x 1,0 m = 25.000 plantas/ha, na base de uma planta por cova, em Santa Catarina, iniciando a produção de palmito a partir do quarto ano, produzindo em média 300 g de palmito por planta.

Em consórcio com a seringueira, pode ocupar a faixa de 10 m entre filas duplas, obedecendo a um espaçamento mais aberto, de 0,75 x 1,5 m, na base de três plantas por cova, comportando em torno de 20.000 a 25.000 plantas por hectare. No Paraná, o produtor recebe da indústria R\$ 1,50 - R\$ 2,00 por cabeça, e o corte da palmeira, uma vez iniciado, é feito por um período de dois a três anos.

## Seringueira x Palmito

Tanto o palmito de juçara (*Euterpe edulis*) quanto o de açai (*Euterpe oleracea*) podem ser cultivados no espaço intercalar da seringueira, obedecendo a um espaçamento de 2,0 x 1,0 m = 3.500 árvores/ha, que ocupa até cinco linhas entre as filas duplas, com o cuidado de fazer o sombreamento provisório durante o primeiro ano com bananeira ou guandu, no espaçamento de 2,0 x 2,0 m, como proteção das palmáceas em caso de plantio simultâneo destas com a seringueira.

No caso do palmito de juçara, o produtor deve dispor de uma área de pelo menos 100 ha para que o empreendimento seja viável, uma vez que cada árvore dessa espécie produz palmito uma única vez; ao contrário do açazeiro que forma touceira e permite o controle e a utilização dos perfilhos por alguns anos. O desenvolvimento de ambas palmeiras é bastante lento, havendo a extração do palmito só a partir do sétimo ano após o plantio. Para obter palmito de primeira qualidade, com diâmetro interno acima de 3 cm e peso de 400 g a 700 g, as árvores são cortadas já bem desenvolvidas.

## Seringueira x Palmito Pupunha

A pupunha (*Bactris gasipaes*) é constituída de plantas com espinhos e plantas glabras plantadas num espaçamento convencional de 2,0 x 1,0 m = 5.000 plantas por hectare, tendo como grande vantagem em relação à palmeira real o fato de apresentar perfilhos, iniciar a produção de palmito já a partir do segundo ano após o plantio e com rendimento, incluindo palmito de 1ª (só toalete) e de 2ª (parte basal e apical), de aproximadamente 800 g por planta. Enquanto que a pupunha aos 42 meses pode receber até três cortes, a palmeira real nesse mesmo período é submetida apenas ao primeiro corte e com produção muito inferior. O preço pago pela indústria ao produtor varia de R\$ 1,20 a R\$ 2,00 por cabeça.

No consórcio com a seringueira pode ser plantada no espaçamento de 2,0 x 1,5 m, ocupando as faixas de 10 metros entre as filas duplas do seringal (4,0 x 2,5 x 13 m), mantendo um afastamento de 1,5 m das linhas de seringueira, com uma densidade de até 2.400 plantas/ha.

## Seringueira x Apicultura

Esta pode ser uma outra fonte alternativa de renda ao pequeno e médio produtor de borracha natural, uma vez que a seringueira apresenta na inserção do peciólulo, os chamados nectários extraflorais que produzem um néctar muito apreciado pelas abelhas. Esta é uma prática adotada por alguns

pequenos produtores do sudeste asiático. No Brasil, esta prática é ainda pouco utilizada pelos heveicultores e o exemplo mais concreto é do estado de São Paulo, aonde já vem sendo executada e incentivada, levando em conta que a grande maioria dos plantios de seringueira é representada pelo clone RRIM 600, um dos mais indicados para o pasto apícola por produzir néctar por sete a nove meses (Paulo de S. Gonçalves - "Sub-produtos complementares da renda de um seringal").

Segundo matéria consultada em <http://www.borrachanatural.agr.br>, um apiário com 15 colméias por hectare pode produzir, em média, 150 quilos de mel por ano, gerando uma renda bruta adicional à produção de borracha em torno de R\$ 2.850,00 por hectare.

#### Seringueira x Leguminosas de Cobertura

Experimento conduzido pelo IAPAR, testando leguminosas herbáceas (*Pueraria* sp. e *Centrosema* sp.) e arbóreas (*Leucaena leucocephala*, *L. diversifolia* e *Acacia angustissima*), mostrou não haver nenhum efeito negativo das diferentes leguminosas sobre o crescimento da seringueira.

Considerando apenas esse critério, para o noroeste do Paraná e sob o sistema de manejo adotado, a vantagem do consórcio florestal seringueira com *Leucaena diversifolia* implantada na densidade de duas linhas (1,0 x 1,0 m) no centro da entrelinha do seringal, no espaçamento de 8,0 x 2,5 m, inclui a melhoria do microclima com a minimização de eventuais danos causados por geadas; proteção física com função de quebra-vento à seringueira (dossel arbustivo/florestal); fixação biológica de nitrogênio com redução de 30% na aplicação de N; aporte de matéria orgânica pela leguminosa arbórea mediante poda da biomassa foliar ao solo e controle da erosão hídrica.

O fornecimento de lenha fina é uma possibilidade desse sistema, principalmente nas pequenas e médias propriedades, sendo a madeira para energia demandada por segmentos como o de produção de grãos (secagem de grãos) e com grandes possibilidades de acesso a mercados emergentes de sequestro de carbono (via associativismo).

#### Perspectivas Quanto ao Sequestro de Carbono

O aquecimento global e as conseqüências que terá sobre a qualidade de vida dos seres humanos têm sido um tema de discussão nos âmbitos científico, político, econômico e ambiental.

Investigações científicas sobre as emissões dos chamados Gases de Efeito Estufa (GEE) durante a última década predizem que a mudança climática terá impactos negativos ambientais, sociais e econômicos em nível global, podendo incluir o aumento do nível dos mares, erosão costeira, mudanças dramáticas nos padrões climáticos, aumento de enfermidades tropicais, perda acelerada da biodiversidade e a desertificação. O relatório do Painel Intergovernamental sobre as Mudanças do Clima (IPCC) prevê um aumento da temperatura global do planeta de aproximadamente 6°C sobre a média de 1990, durante o primeiro século deste novo milênio. Dentre os gases responsáveis pelo efeito estufa, o CO<sub>2</sub> é o que tem causado maiores preocupações, uma vez que a sua concentração vem aumentando à taxa de 0,4% ao ano.

No caso específico da seringueira, espécie nativa da Amazônia, cujo plantio estendeu-se para áreas chamadas de escape à principal enfermidade criptogâmica, causada pelo fungo *Microcyclus ulei* P. Henn.; chegando às regiões Centro-Sul e Sul do Brasil, poderá assumir significativa importância pelo aspecto social, econômico, ecológico e estratégico, não só como produtora de borracha natural e madeira, em sistemas agroflorestais diversificados, mas principalmente pela possibilidade futura de falta de matéria prima em nível mundial, além da possibilidade de uso como árvore sequestradora de carbono.

Oliveira et al. (2005), em estudo realizado visando avaliar o potencial de carbono fixado na biomassa de seringueira em área de 400 ha de seringal comercial pertencente à Companhia Melhoramentos Norte do Paraná, no município de Paranapoema, PR, em Latossolo Vermelho Escuro, textura média, com altitude média de 450 m a.n.m., latitude de 22°39'S, precipitação anual de 1.200 mm e temperatura média anual de 20°C, envolvendo parcelas homogêneas de seringueiras imaturas (clone PB 235), com idades de 3,5 anos; 5,5 anos e seringueiras adultas com 15 anos de idade e em franca produção, comparadas com pastagem degradada com 20 anos de idade, mostrou que já aos 3,5 anos de idade a seringueira apresenta grande potencial para sequestrar carbono.

O teor de carbono foi em média de 56% nas folhas, 62% nos galhos grossos e 60% nos galhos finos. No tronco, os teores foram de 63% na madeira e 56% na casca.

O acúmulo de carbono na biomassa ocorreu a uma taxa de  $2,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , durante os primeiros 4 anos, e aumentou para  $7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , no período de 4 a 15 anos. O acúmulo total de carbono na biomassa chegou a  $90 \text{ Mg ha}^{-1}$  após os 15 anos, sendo que a maior parte do carbono proveio dos galhos (28-45%) e do tronco (35-40%) com 15-22% oriundo das raízes e 3-12% das folhas.

### CONCLUSÕES

Considerando que:

- O Brasil importa hoje mais de 63% do seu consumo interno em borracha natural; que a projeção de consumo para o ano 2030 deverá atingir mais de 1,0 milhão de toneladas e que para atingir a auto-suficiência na produção o país terá que plantar cerca de 700 mil hectares até 2020;
- O país dispõe mais de 20 milhões de hectares aptos para o plantio da seringueira nas áreas de escape (sem risco de danos por *Microcyclus ulei*);
- A projeção do déficit mundial em 2030 deverá atingir cerca de 5 milhões de toneladas;
- Após o período de produção de borracha natural de 30-35 anos, a seringueira produz madeira para processamento mecânico e energia. Desta forma, a seringueira, além de fomentar uma cadeia produtiva não-madeireira de importância estratégica (borracha natural), abastecerá também a cadeia produtiva madeireira. Este é um outro setor de grande importância e potencial de crescimento, sendo que, no Brasil, em 2001, o PIB florestal atingiu a marca dos R\$ 21 bilhões (Juvenal & Mattos, 2002); a madeira de seringueira movimenta, apenas na Malásia, um tradicional país produtor da espécie, aproximadamente US\$ 1,1 bilhão anualmente (FAO, 2005);
- Esta espécie é hoje considerada para plantio em áreas de reserva florestal legal, gerando receita, além dos benefícios ambientais;
- Trata-se de um tipo de cultivo que cumpre funções ecológicas, sociais e econômicas, diversificando a renda na propriedade em SAF's diferenciados em todas as fases de sua vida útil.

Conclui-se, que o plantio da seringueira em pequenas, médias e grandes propriedades, pode oferecer uma gama infinita de possibilidades para uso em SAF's, destacando-se, como exemplo, o agroecossistema café x seringueira, mais estudado, o qual pode constituir-se num fator positivo de ocupação e recuperação produtiva de extensas áreas de São Paulo, do Paraná e de outras áreas do país, inicialmente por propiciar o aproveitamento dos fatores de produção como solo, energia solar, proteção microclimática, com mínimos efeitos negativos sobre a produção do cafeeiro e ao crescimento vegetativo da seringueira, garantindo a diversificação e estabilidade de renda ao longo do ano, quando a seringueira iniciar a sua produção, gerando renda para o país em todos os segmentos da cadeia produtiva da borracha natural e da madeira.

### PESQUISA FUTURA

Devido a carência de informações sobre a avaliação econômica de distintos SAF's, considerando tamanho e nível de manejo, a pesquisa deverá ser direcionada para medir a eficiência produtiva nos sistemas temporários e permanentes a fim de respaldar a tomada de decisão pelo produtor, considerando as diferenças regionais envolvidas no processo.

No exemplo de seringais em franca produção, a introdução de cafezais adensados sob o dossel da seringueira mediante desbaste progressivo da copa e conseqüente raleamento de sombra e seu efeito sobre a produção da seringueira e sobre o crescimento e a produção do cafeeiro são de fundamental importância face ao grande número de seringais existentes em tal situação, principalmente no estado de São Paulo.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação e Promotores do VI Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais pelo convite e oportunidade concedida para apresentação deste tema.

## LITERATURA CITADA

- ALFEREZ, A.C. Utilization of leucaena as organic fertilizer to food crops. Second SEARCA Professorial Lecture, December, 16, 1980.
- BAGGIO, A.J. Sistema agroflorestal grevilea x café: início de nova era na agricultura paranaense. Curitiba, EMBRAPA-URPCFCS, 1983. 18p. (Circular Técnica, 9)
- BERNARDES, M.S. & FANCELLI, AA.L. Seringueira como uma possível cultura intercalar para os pomares de citros. In: Simpósio sobre a Cultura da Seringueira no Estado de São Paulo, 2., 1987, Piracicaba. Anais...Campinas, Fundação Cargill, 1990. p.223-249.
- BRITO, P.F. Culturas intercalares em seringais na região de Barretos, SP. Barretos, CATI/SASESP, 1984. 20p. (mimeografado).
- BOVI, M.L.A.; JÚNIOR, G.G. & SAES, L.A. Pesquisas com os gêneros *Euterpe e Bactris* no Instituto Agrônomo de Campinas. In: Anais do I Encontro Nacional de Pesquisadores. Curitiba, EMBRAPA - CNPF, 1988. p.1-43.
- CLEMENT, C.R.; WADERS, B.C.F. & GOMES, J.B.M. Considerações sobre a pupunha (*Bactris gasipaes*) como produtora de palmito. In: I Encontro Nacional de Pesquisadores. Curitiba, EMBRAPA - CNPF, 1988. p.225-249.
- EVANS, J. Plantation forestry in the tropics. Oxford, Clarendon Press, 2<sup>nd</sup> ed., 1992. 403 p.
- DIJKMAN, M.J. Growth, yield and diseases in relation to planting density. Thirty years of research in the Far East. Univ. Miami, Ca. X., 1951.
- EMBONG, W.M.B.W. & ABRAHAN, P.O. The potential of livestock production in rubber smallholder. Bulletin Ministry of Agriculture (Malaysia), 1976. p.108-144.
- EMPRESA BRASILEIRA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL / EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Centro Nacional de Pesquisa da Seringueira. Manaus, AM. Sistema de Produção para a cultura da seringueira. Manaus, EMBRAPA/CNPQ, 1980. 104p. (Boletim, 189).
- FANCELLI, A.L.; CÂMARA, G.M.S. & TOLEDO, F.F. Influência da utilização de culturas intercalares em seringais em formação no Estado de São Paulo. In: Seminário Nacional da Seringueira, 4, Salvador. 1984. Resumo dos Trabalhos. SUDHEVEA, 1984. p.79.
- FANCELLI, A.L. Culturas intercalares e coberturas vegetais em seringais. In: Simpósio sobre a cultura da seringueira no Estado de São Paulo. Piracicaba, Fundação Cargill, 1986. p.139-64.
- FANCELLI, A.L. Seringueira consorciada a culturas anuais perenes. In: Simpósio sobre a cultura da seringueira no Estado de São Paulo, 2., 1987, Piracicaba. Anais... Piracicaba, ESALQ, 1990. p.205-222.
- FAO. State of the World's Forests 2005. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2005.
- FIALHO, J. de F. Consorciação da seringueira. In: Curso intensivo de heveicultura para técnicos agrícolas, 5., 1982 Manaus. Brasília, SUDHEVEA/EMBRAPA, 1982. p.105-108 (Coletâneas de Apostilas).
- GONÇALVES, P. de S.; CARDOSO, M.; BOAVENTURA, M.A.M.; COLOMBO, C.A. & ORTOLANI, A.A. Clones de *Hevea*: Influência dos fatores ambientais na produção e recomendação para plantio. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1991. 32p. (Boletim Técnico, 138).
- IITA. International Institute of Tropical Agriculture. Annual Report for 1980. Ibadan, Nigeria, 1981.
- INOUE, M.T.; RODERJAN, C.V. & KUNIYOSHI, Y.S. Projeto Madeira do Paraná. Curitiba, FUPEF, 1984. 260p.
- JOSHI, L.; WIBAWA, G.; VINCENT, G.; BOUTIN, D.; AKIEFNAWATI, R.; MANURUNG, G.; van NOORDWIJK & WILLIAMS, S. Jungle rubber: a traditional agroforestry system under pressure. International Centre for Research in Agroforestry - Southeast Asia Regional Research Programme. Bogor, 2002

- JUVENAL, T.L. & MATTOS, R.L.G. O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. Rio de Janeiro, BNDES Setorial, 16:3-30, 2002.
- KANG, B.T.; WILSON, G.F. & SIPKENS, L. Alley cropping maize (*Zea mays*) and *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit in Southern Nigeria. Plant Soil, 63:165-179, 1981.
- KILLMANN, W. & HONG, L.T. Rubberwood – the success of an agricultural by-product. Unasylva, Roma, FAO, 51:66-72, 2000.
- LEAL, A. C.; PEREIRA, J. da P.; CARAMORI, P.H. & ANDROCIOLI FILHO, A. Consorciação café x seringueira no Sul do Brasil: Efeitos na temperatura das folhas dos cafeeiros - In: 31º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. Guarapari, ES. Trabalhos Apresentados, 2005. p.235-236.
- LORENZI, H. Árvores Brasileiras. Nova Odessa, Plantarum, 354p. 1992.
- MALAVOLTA, E.; ROCHA, M. & YAMADA, T. Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p.1-11.
- MATIELLO, J.B.; PIETRO, C. di; CAMARGO, A.P. de Combinação de café com seringueira. Rio de Janeiro: MIC/IBC/GERCA, 1985. 9p. (Instruções Técnicas sobre a cultura de café no Brasil, 19).
- MATTOS, R.M. & ALBUQUERQUE, R.A. Consorciação de seringueira com arroz e algodão no município de Igarapé-Açu, Pará. Belém, EMATER-PA, 1983. 11p.
- NAIR, P.K.R. The role of trees in soil productivity and protection. In: Nair, P.K.R., ed. Agroforestry systems in the tropics. Kluwer Academic Publishers, 1989. p.567-589.
- NUNES, J. Discurso. In: Cultura da seringueira no Amapá. Macapá, Gov. Território do Amapá, 1953, 6.p.
- OLIVEIRA, D.; RAMOS, A L M ; PEREIRA, J P ; WAGNER-RIDDLE, C ; VORONEY, P ; CARAMORI, P H & MORAIS, H . Determinação de carbono na biomassa de seringueiras visando projetos de MDL. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 14, 2005, Campinas. Anais...XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Campinas, 2005.
- OLIVEIRA, E.B. & SCHREINER, H.G. Caracterização e análise estatística de experimentos de agrossilvicultura. Curitiba, CNPF/EMBRAPA-FAO, 1986. 29p. (mimeografado)
- PARANÁ, Secret. de Estado de Agricultura e do Abastecimento. Curitiba, Manual Técnico do Programa de Manejo e Conservação do Solo, Programa Paraná Rural, 1989. 306p.
- PEREIRA, A.V.; PEREIRA, E.B; FIALHO, J.F.F.; JUNQUEIRA, N. & MACHADO, R.L.G. Sistemas agroflorestais de seringueira com cafeeiro. Planaltina, Embrapa-CPAC, 1998. 77p. (Documentos, 70).
- PEREIRA, J. P. Seringueira: Formação de mudas, manejo e perspectivas no Noroeste do Paraná, Londrina, IAPAR, 1992. 60p. ill. (Circular Técnica, 70).
- PEREIRA, J.P.; ANDROCIOLI FILHO, A.; LEAL, A.C. & RAMOS, A.L.M. Consorciação de seringueira e cafeeiro em fase terminal e seu efeito na redução do período de imaturidade do seringal. In: Congresso Brasileiro sobre Sistemas Agroflorestais, 1., 1994. V.1, p.103-111, (Embrapa-CNPF, Documentos, 27).
- PEREIRA, J.P.; ANDROCIOLI FILHO, A.; LEAL, A.C. & RAMOS, A.L.M. Racionalização do uso da terra através da consorciação do cafeeiro com seringueira. In: V Congresso e Exposição Internacional sobre Florestas. Curitiba, FOREST 9, 5, 1999.
- PINHEIRO, E. O cultivo intercalar de seringueira com plantas de valor econômico. In.: Simpósio sobre sistemas de produção em consórcio para exploração permanente dos solos da Amazônia, Belém, 1982. Anais... Belém, EMBRAPA-CPATU/GTZ, 1982. p.105-18.
- RIBEIRO, S.I.; VENEZIANO, W.; LISBOA, S.N. & MEDRADO, M.J.S. Associação da seringueira com a cultura do café, no município de Ouro Preto em Rondônia. Porto Velho. Porto Velho, Embrapa/UEPAE, 1982. (Pesquisa em Andamento, 22).

- RUBBER RESEARCH INSTITUTE OF MALAYA. Planting Recommendations, 1986-B In: Planter's Bulletin, 180. Kuala Lumpur, 1986. p.4-22.
- SAMPAIO, C.E.S.; LAINETTI, A. & COSTA, P. Viabilidade técnica e econômica da formação, de seringais de cultivo em consórcio com cafezais e pomares cítricos no Estado de São Paulo. Manaus, Embrapa-CNPDS, 1983. 11p. Trabalho apresentado na Reunião dos Experimentos de Consorciação de Seringueira com outros Cultivos. Manaus, EMBRAPA/CNPDS, 24-28/jun., 1983.
- SENANAYAKE, Y.D.A. Intercropping, supplementary cropping and crop substitution on rubber land - a viewpoint. RRIC Bulletin, 3:99-113, 1968.
- SSEKABEMBE, C. Perspectives on hedgerow intercropping. Agroforestry Systems, 3:339-356, 1985.
- VIEGAS R.M.F. Consorciação seringueira x pimenta-do-reino: Resultados dos três primeiros anos. In: Simpósio sobre sistema de produção em consorciação para exploração permanente dos solos da Amazônia. Belém, 1982. Anais... Belém, Embrapa/CPATU-GTZ, 1982. p.93-104.

## ¿Cómo Analizar y Mejorar el Dosel de Sombra en Cacaotales y Cafetales?

EDUARDO SOMARRIBA

### INTRODUCCIÓN

Los pequeños productores de cacao (*Theobroma cacao*) y café (*Coffea* spp.) de todo el mundo, plantan, seleccionan de la regeneración natural o retienen del bosque original, varias especies de plantas útiles en combinación con el cacao/café, en variados diseños agroforestales que responden a sus intereses y condiciones agroecológicas y socioeconómicas particulares (Asare, 2004; Bentley et al., 2004; Somarriba et al., 2004). La mayoría de las plantas son árboles, pero también se incluyen diferentes especies de bambú, palmas, arbustos y hierbas gigantes (por ejemplo, bananos y plátanos) que proveen de madera, leña, aceites, frutas, medicina, fibras, rito, ornato y otros bienes y servicios de utilidad directa para la venta, el consumo de la familia o de uso en la finca (Rice & Greenberg, 2000; Moguel & Toledo 1999), valorizan la propiedad y proveen servicios ambientales de interés nacional y global (Beer et al., 2003). No todas las plantas del dosel tienen utilidad para el productor (Bentley et al., 2004; Herzog, 1994; Somarriba et al., 2004).

La concurrencia simultánea árboles y cultivos (cacao/café, bananos, cítricos, etc.) en la plantación, da lugar a numerosas interacciones ecológicas, agronómicas y económicas que han sido evaluadas en varios experimentos de largo plazo y han sido objeto de varias revisiones temáticas (Cook, 1901; Willey, 1975; Beer, 1987; Somarriba et al., 2004). Por ejemplo, las interacciones entre sombra, fertilidad, recirculación de nutrientes, plagas y enfermedades, agronomía y rendimientos en cacao han sido estudiadas en Ghana, Trinidad, Papua Nueva Guinea, Costa Rica y otras regiones del mundo (Beer et al., 1998; Hartemink, 2005). El valor ecológico del cacaotal o cafetal para la conservación de biodiversidad, fijar carbono atmosférico y mitigar el efecto invernadero, conservar suelos y aguas, amortiguar zonas protegidas de interés nacional e internacional y proveer otros servicios ambientales ha sido objeto de varias publicaciones recientes (Beer et al., 2003; Somarriba et al., 2004).

Muchos cacaotales y cafetales poseen doseles sub-óptimos o francamente deficientes que impiden al productor lograr satisfactoriamente sus objetivos. ¿A qué se debe esto? ¿Por qué los productores desaprovechan una valiosa oportunidad para producir más y mejores bienes y servicios en su cacaotal?. A continuación se presenta una metodología para analizar y mejorar doseles de sombra y, de este modo, lograr los objetivos del productor.

### TERMINOLOGÍA

En este artículo se utilizan los siguientes términos: 1) **árboles** para incluir varios hábitos de crecimiento y tipos de plantas, incluyendo propiamente árboles, arbustos, palmas, bambúes y hierbas gigantes, como

los bananos y plátanos; 2) **cacaotal o cafetal** es equivalente a plantación de cacao o de café, es decir, incluye a las plantas del cultivo principal y a otras especies; 3) **dosel** es el volumen que contiene a toda la vegetación de la plantación. Por ejemplo, un cacaotal/cafetal de 1 ha (100 m x 100 m) con al menos un árbol de sombra de 30 m de altura máxima, está contenido en un cubo de 100 m de largo x 100 m de ancho y 30 m de alto (Figura 1). La definición no depende de si hay un solo árbol de 30 m de altura máxima en toda la plantación o de si la forma del terreno es muy irregular (no cuadrada como en el ejemplo anterior); y 4) **sombra** se refiere únicamente a los cambios en la cantidad, calidad y distribución temporal y espacial de la radiación solar dentro de la plantación provocados por la intercepción de las copas de los árboles, barreras topográficas y vegetación colindante a la plantación y nubosidad local. El concepto “sombra” ha sido utilizado también para describir el conjunto de cambios en el microclima de la plantación, que además de cambios en la radiación solar, incluye cambios en el viento, humedad relativa, temperatura, luz ultravioleta, etc.

### EL ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DEL DOSEL

El dosel de una plantación se evalúa respondiendo a tres preguntas básicas:

- 1¿Qué bienes y servicios, además del cultivo principal, espera el productor obtener de su cacaotal/cafetal?
- 2¿Cuál es el máximo de sombra que deben las plantas del dosel proyectar de modo que se logren las expectativas de rendimiento del cultivo principal?
- 3¿Cuáles especies, en qué densidades, en qué arreglos de siembra y con qué manejo deben introducirse en el dosel para lograr en forma óptima los objetivos del productor?

#### ¿QUÉ BIENES Y SERVICIOS ESPERA OBTENER EL PRODUCTOR DE SU CACAOTAL?

Los intereses pueden ser muy variados, pero se puede determinar si la plantación satisface en forma óptima los intereses del productor, simplemente enunciando claramente los intereses y contrastándolos con la composición botánica, los usos y la abundancia de las plantas del dosel. Por ejemplo, algunos productores permiten el establecimiento de los árboles de ciertas especies porque producen fruta para las aves; otros árboles se dejan porque se regeneran abundantemente en forma natural y son fuente de madera de aserrío o leña (p. ej., el laurel *-Cordia alliodora-* y cola de pava *-Cupania cinerea-* en los cacaotales de Bocas del Toro, Panamá; Somarriba & Harvey, 2003). Varias especies de guaba (*Inga* spp.), poró (*Erythrina* spp.) y madero negro (*Gliricidia* spp.) se plantan deliberadamente para proveer sombra (Rice & Greenberg, 2000). Por ejemplo, los cafetales de Turrialba, Costa Rica, se cultivan bajo sombra de estacones de poró *-Erythrina poeppigiana-* plantados a 6 x 6 m (278 árboles ha<sup>-1</sup>) y descopados totalmente cada seis meses con el único propósito de regular la sombra del cafetal y crear óptimas condiciones para el crecimiento y rendimiento de los cafetos (Russo & Budowski, 1986). Otras especies se plantan o seleccionan de la regeneración natural para proveer fruta, leña o madera, fibra, hábitat para fauna, mejorar la fertilidad del suelo, conservar suelos y agua, fijar carbono y proveer varios otros servicios ambientales, reducir gastos en efectivo o minimizar el riesgo financiero, etc. (Rice & Greenberg, 2000; Ramírez et al., 2001; Beer et al., 2003; Bentley et al., 2004).

#### EL MÁXIMO DE SOMBRA QUE DEBEN PROYECTAR LAS PLANTAS DEL DOSEL

Los siguientes cuatro factores intervienen en la determinación del nivel máximo de sombra que deben las plantas del dosel proyectar, de modo que se logren las expectativas de rendimientos del cacao/café: 1) el ciclo de vida y el ciclo fenológico anual del cultivo; 2) las condiciones de sitio; 3) el manejo agronómico del cultivo; y 4) las características del dosel.

#### 1) CICLO DE VIDA Y CICLO ANUAL DEL CULTIVO

- 1 **Ciclo de vida.** Plantas jóvenes de cacao/café requieren de más sombra del dosel durante los

primeros años de vida debido a que sus copas son pequeñas, no ocupan totalmente el espacio de crecimiento disponible a cada planta y cada hoja recibe luz en toda su lámina foliar. A medida que las plantas crecen y desarrollan sus copas, las hojas de las ramas superiores sombrean a las hojas de ramas bajas, produciendo auto-sombra y reduciendo la necesidad de contar con la sombra de las plantas del dosel. Por ejemplo, en cacao, los agrónomos recomiendan 50-60% de sombra en los primeros dos años de edad y luego reducirla paulatinamente a medida que desarrollan las copas, hasta un máximo del 20-40% en plantaciones adultas de más de ocho años de edad (Enríquez, 2004; Gramacho et al., 1992; DEVIDA-CICAD, 2004; Compañía Nacional de Chocolates, 1988).

2 **Ciclo anual, ciclo agronómico o ciclo fenológico.** El cacao y el café requieren de más radiación solar durante la floración y el llenado de los frutos que en cualquier otra etapa del ciclo fenológico anual (Alvim, 1984). Por esto, un buen dosel debe proveer niveles variables de sombra dentro del año en forma sincronizada con la demanda fotosintética del cultivo. En cacaotales y cafetales con sombra mono-específica de una especie leguminosa de servicio como *Inga* spp., *Erythrina* spp. o *Gliricidia* spp., los árboles se podan, descopan y ralean de acuerdo a las necesidades del cacao. Cuando las plantas que dan sombra al cultivo son especies frutales o maderables que no se pueden podar para dar luz al cultivo sin sacrificar su propia producción, los productores ajustan la sombra del dosel a las demandas del cultivo seleccionando especies que pierden el follaje en las épocas que el cultivo necesita mucha radiación solar, utilizando monocultivos o mezclas de especies arbóreas para lograr determinados patrones temporales de caducifolia, manipulando los arreglos y espaciamientos de siembra y aplicando raleos bien diseñados para abrir el dosel al máximo, sacrificando al mínimo la producción de fruta o madera.

## 2) LAS CONDICIONES DE SITIO QUE AFECTAN LA SOMBRA EN LA PLANTACIÓN

No toda la sombra que reciben las plantas de cacao o café proviene de las plantas del dosel. Las siguientes características del sitio modifican la cantidad de radiación que recibe una plantación y tienen impactos directos sobre la densidad de plantas a mantener en el dosel:

3 **Latitud, exposición y pendiente.** Debido al giro de la tierra alrededor del sol a lo largo del año, al ángulo de inclinación del eje polar de la tierra con respecto al plano del ecuador solar y de la rotación diurna de la tierra sobre el eje polar, la posición del sol cambia continuamente a lo largo del año y durante las horas del día. Dos observadores en diferentes latitudes, en un mismo día y hora, observan el sol moverse con diferentes ángulos. El movimiento del sol a lo largo del día y del año es percibido de manera particular en cada punto sobre la tierra, o en cada cacaotal sobre la tierra. La posición del sol observada desde la plantación, tiene efectos importantes sobre la radiación que llega al cultivo. Si conocemos exactamente la posición latitudinal de un árbol dentro de la plantación, podemos simular cómo se moverá el sol y dónde se proyectará la sombra de su copa durante las horas del día y a lo largo del año. Se requieren las siguientes ecuaciones y definiciones (Quesada et al., 1987):

$$\circ \delta = 23.45 \cdot \sin(360 \cdot (284 + N) / 365) \quad (1)$$

$$\circ \sin \alpha = \sin \phi \sin \delta \sin \tau - \cos \phi \cos \delta \cos \tau \quad (2)$$

$$\circ \sin z = (\sin \delta - \sin \phi \sin \alpha) / (\cos \phi \cos \alpha) \quad (3)$$

Donde:  $\delta$  es la declinación solar medida en grados;  $N$  es el día del año (día 1 es 1 enero);  $\alpha$  es la altura solar medida en grados;  $\phi$  es la latitud en grados, con signo negativo en el hemisferio Sur;  $\tau$  es el ángulo horario, medido en grados desde  $-90$  a  $+90$  grados, negativos por la mañana y positivos por la tarde (6 am es  $-90$  grados, 7 am es 75 grados, 12 mediodía es cero grados, 1 pm es  $+15$  grados y así hasta  $+90$  grados a las 6 pm).

Ahora veamos algunas consecuencias de estas ecuaciones. Imaginemos una fila montañosa con orientación Norte – Sur, de modo que la ladera derecha de la cordillera tiene fachada hacia el Este, hacia donde sale el sol, y la ladera izquierda hacia el Oeste, hacia donde se oculta el sol. En cada ladera

hemos establecido un cacaotal o cafetal. Si las laderas son suficientemente altas, muy inclinadas o una combinación de ambas, una plantación en la ladera Este recibirá directamente los rayos solares durante la mañana y sombra por la tarde; la plantación en la ladera Oeste recibirá sombra por la mañana e insolación directa por la tarde (Figura 2). Ahora rotamos la cordillera y pongamos su eje en dirección Este – Oeste, de modo que la ladera derecha tenga fachada hacia el Norte y la izquierda hacia el Sur (Figura 3). El movimiento aparente del sol a lo largo del año y la ubicación latitudinal de la plantación determinan la declinación y altura máxima del sol y provocan que una ladera reciba iluminación directa mas meses del año que la otra. Por ejemplo, en el hemisferio Sur (digamos, en Bolivia a 16 grados sur) las plantaciones en laderas con exposición Norte reciben iluminación directa del sol durante ocho meses del año, mientras que las plantaciones con fachada hacia el Sur, reciben iluminación directa apenas cuatro meses del año. La situación contraria ocurre en plantaciones en el hemisferio Norte, donde las laderas con exposición al Sur reciben más iluminación directa del sol que las laderas con exposición Norte (Figura 3).

La pendiente modifica la “velocidad de tránsito” de la sombra sobre el suelo. Por ejemplo, si a mitad de una ladera plantada con cacao o café establecemos una hilera de árboles con orientación Norte – Sur, durante la mañana, las sombras de las copas se proyectarán hacia arriba en la pendiente y bajarán la pendiente a medida que el sol se eleve durante el día. Por la tarde, a medida que el sol descende, la sombra transitará sobre el suelo, hacia abajo con velocidad creciente; la forma de la sombra se alargará y se estirará a medida que se aleje de la base del árbol. El número de horas-sombra-día que recibe cada punto sobre la franja de terreno por donde transita la sombra es inversamente proporcional a la velocidad de tránsito de la sombra sobre el punto en el suelo. Los productores conocen este efecto y mantienen menor número de plantas en el dosel arriba en la pendiente donde las sombras se mueven lentamente. Las variaciones en la velocidad de tránsito de la sombra en terrenos inclinados son equivalentes a las producidas en terrenos planos al cambiar la altura a la que se encuentra la copa (un tema que trataremos con más detalle adelante).

**4 Nubosidad local.** Las nubes bloquean directamente los rayos solares que llegan a la plantación y obligan al productor a podar severa y frecuentemente las plantas del dosel o a mantener bajas densidades de plantas para reducir la sombra. La nubosidad puede, o no, estar correlacionada con la pluviosidad local. Por ejemplo, en zonas cafetaleras muy húmedas de Turrialba, Costa Rica, con precipitación anual de 3500 mm, la duración del brillo solar es de apenas cuatro horas por día, por lo que el café debe cultivarse con bajas densidades de árboles de sombra. En cambio, en la región cacaotera del Alto Beni, Bolivia (16° S), los meses de otoño (abril - junio) se caracterizan por su elevada nubosidad, temperaturas bajas y casi nula precipitación pluvial. Sin embargo, los productores no podan ni reducen la densidad de los árboles de sombra porque los siguientes meses de invierno (julio – septiembre), aunque fríos, son muy secos, sin nubes y con alta radiación solar (E. Somarriba, observaciones personales).

**5 Sombra lateral.** La vegetación colindante y las barreras topográficas cercanas a un cacaotal o cafetal pueden proyectar sombra lateral sobre la plantación y forzar al productor a podar o reducir la densidad de las plantas del dosel para reducir la sombra. La cantidad de sombra lateral proyectada sobre la plantación depende de la altura y densidad de la vegetación colindante y de su posición con respecto al movimiento del sol. La utilización de barreras arbóreas para proyectar sombra lateral es una práctica de manejo de uso común en cafetales en sitios nubosos y ventosos (Somarriba et al., 2004).

Aunque hemos analizado en forma independiente la influencia de la latitud, exposición, pendiente y vegetación colindante sobre la sombra que recibe una plantación, en la práctica, estos factores actúan en forma simultánea y combinada.

### 3) MANEJO AGRONÓMICO DEL CACAO O CAFÉ

**6 Auto-sombra.** La arquitectura de la planta de cacao o café (plantas injertadas o de semilla en cacao o variedades de porte alto o bajo en café), los distanciamientos y arreglos de plantación y el

desarrollo y manejo de las copas (podas, tipo, frecuencia, intensidad), determinan la auto-sombra en la plantación. Plantaciones de semilla sexual en cacao o cafetales de porte alto, a alta densidad de siembra y con poca poda, resultan en altos niveles de auto-sombra y requieren, por ende, de pocas plantas en el dosel. Y viceversa.

7 **El rendimiento esperado del cultivo principal.** El rendimiento de una planta de cacao o café es determinado por el equilibrio entre la cantidad de radiación solar que recibe y por la fertilidad (natural o artificial) de que dispone. Altos rendimientos exigen mantener altos niveles de radiación solar (poca sombra) y elevada fertilidad del suelo. En suelos de baja fertilidad se recomienda cultivar el cacao o café bajo sombra para atenuar las demandas nutricionales del cultivo (Beer, 1987, 1998).

8 **Plagas, enfermedades o eventos climáticos extremos.** En países afectados por huracanes, los árboles altos se quiebran durante las tormentas y los mejores doseles son aquellos que incluyen plantas de servicio de porte bajo y plantados a baja densidad en el cacaotal (E. Somarriba, observaciones personales en Belice). En cafetales cercanos a volcanes activos y que sufren de lluvias ácidas ocasionales se mantiene un dosel cerrado y compuesto por un selecto grupo de especies tolerante a la lluvia ácida (E. Somarriba, observaciones personales en El Crucero, Nicaragua). En sitios ventosos y nubosos, los árboles se plantan en arreglos lineales para controlar el viento, proveer sombra lateral y mantener plena exposición solar dentro de la plantación (E. Somarriba, observaciones personales en cafetales de Santa Ana, El Salvador). Los ejemplos son muchos.

#### 4) LAS PLANTAS DEL DOSEL DE SOMBRA

Todas las plantas del dosel, útiles o no, interceptan parte de la radiación solar y proyectan sombra dentro de la plantación. En el dosel, la copa de cada planta se ubica a cierta altura sobre el suelo y posee características particulares de forma, tamaño, densidad (opacidad) y patrón fenológico (especialmente, la intensidad y cronología de la caducidad de las hojas) que determinan las características de la sombra que proyecta sobre los estratos inferiores del dosel. En su conjunto, las plantas del dosel, sus copas y atributos determinan la estratificación vertical, la homogeneidad espacial de la cobertura de las copas en la plantación y la composición botánica, productiva y funcional del dosel.

1 **Estratificación vertical.** La distribución de las copas en el perfil vertical del dosel tiene efectos sobre la cantidad de sombra que recibe cada punto sobre el suelo. Los productores conocen que “las copas altas dan sombra rala mientras que las copas bajas dan sombra densa”. Y tienen razón. Si entre 8 am y 4 pm de un día cualquiera observamos el recorrido sobre el suelo que hace la sombra de la copa de un árbol a 25 m de altura y lo comparamos con el recorrido que hace la sombra de la misma copa a 10 m de altura, veremos que el recorrido sobre el suelo de la sombra de la copa a mayor altura es más largo que el recorrido de la sombra de la copa a baja altura (Somarriba, 2002). Es decir, las sombras de copas altas transitan más rápido sobre el suelo que las sombras de copas bajas. Una planta de cacao o café, ubicada en el recorrido de la sombra de una copa alta, recibirá menos horas sombra-día que si estuviera ubicada en el recorrido de la sombra de una copa baja. Los términos “sombra rala o sombra densa” con que los productores etiquetan la sombra proyectada por copas altas o bajas realmente significan “sombras rápidas y lentas” y desde el punto de vista de los cultivos en los estratos bajos del dosel estos términos equivalen a “menos o más horas sombra-día recibidas”.

La distribución vertical de las copas en el dosel se analiza dividiendo el dosel en “capas o estratos” de altura y amplitud variables según las dimensiones de las plantas que se utilizan localmente. Por ejemplo, los cacaotales de indígenas de Talamanca, Costa Rica, cuentan típicamente con cuatro estratos verticales:

- o *El piso de la plantación.* Entre 0-1 m de altura, contiene hierbas, palmas de porte bajo (p. ej., suitea - *Geonoma congesta*- una palma valiosa utilizada para forrar los techos de los ranchos) y plántulas de especies leñosas de mayor porte.
- o *El estrato bajo.* Entre 2-8 m de altura, contiene las plantas de cacao, plátanos y bananos, frutales de porte bajo y latizales y fustales de árboles.
- o *El estrato medio.* Entre 9-25 m de altura, contiene árboles de guaba chilillo (*Inga edulis*), naranjas

- (*Citrus* spp.) y otros cítricos, mamón chino (*Nephelium lappaceum*), pejívayes (*Bactris gasipaes*), cola de pava (*Cupania cinerea*), cocos (*Cocos nucifera*) y otras especies de frutales.
- o *El estrato alto*. Entre 26-40 m de altura, contiene árboles dispersos y a bajas densidades de laurel (*Cordia alliodora*), guácimo colorado (*Luehea seemanii*), sangrillo (*Pterocarpus officinalis*), almendro (*Dypterix panamensis*), jabillo (*Hura crepitans*) y otras especies (Somarriba & Harvey 2003).

**2 Distribución horizontal.** Los productores tratan de distribuir la cobertura de las copas lo más homogéneamente posible en la plantación y asegurar que todas las plantas del cultivo reciben similares condiciones agro-ecológicas para crecer y producir. Los productores homogenizan la distribución espacial de la cobertura plantando o dejando crecer árboles de la regeneración natural en sitios de la plantación donde el dosel tiene “huecos” sin plantas y eliminando (cortando, anillando o quemando) árboles en los “parches” con alta densidad y sombra excesiva. La homogeneidad de la distribución horizontal se evalúa haciendo un croquis de la plantación, dividiéndola en una retícula de 10 x 10 m y anotando el porcentaje de cada celda cubierto por las copas. La retícula de 10 m de lado es suficientemente grande como para acomodar a la mayoría de especies arbóreas comúnmente encontradas en cacaotales y cafetales, y al mismo tiempo suficientemente pequeña para aplicarse en minifundios y pequeñas plantaciones ( $\leq 0,5$  ha).

**3 Composición botánica.** Ecológicos y forestales han desarrollado numerosas metodologías para el inventario y análisis de la vegetación (Greig-Smith, 1983) que son aplicables en el análisis florístico y estructural del dosel de cacaotales y cafetales. El análisis puede hacerse mediante censo (en plantaciones pequeñas) o inventario (utilizando parcelas de muestreo de 1000 m<sup>2</sup> -50 m x 20 m- ubicadas en sitios representativos de la plantación). En cada caso, los inventarios ofrecen la siguiente información sobre cada planta en el dosel: nombre (familia, género y especie, nombre común), uso o beneficio indicado por el productor, dimensiones (diámetro del tallo y altura total) y atributos de la copa (altura, forma, dimensiones, opacidad y patrón fenológico, especialmente, la intensidad y cronología de la caída de las hojas).

### MEJORAMIENTO DEL DOSEL

En las secciones anteriores discutimos los variados aspectos que intervienen en la fijación de los objetivos del productor y en la determinación del nivel de sombra ideal para una plantación cualquiera. Ahora, conociendo los objetivos del productor, la composición botánica y funcional del dosel y el nivel máximo de sombra que debe aportar el dosel ¿cuáles intervenciones hay que realizar en la plantación para lograrlo de forma óptima?. Se propone que el diseño óptimo del dosel es la búsqueda del equilibrio entre la producción del cultivo principal y la producción de los otros bienes y servicios de interés del productor.

Las intervenciones son fáciles de visualizar. Por ejemplo, habiendo determinado que se puede aumentar en 10% la cobertura de copas de la plantación y que las especies del dosel actual no satisfacen adecuadamente sus objetivos de producción de madera, el productor plantará o escogerá de la regeneración natural los árboles maderables que cubran el 10% de cobertura faltante. Al enriquecer su dosel con maderables, el productor puede eliminar o no algunas plantas de especies sin valor para abrir espacio y aumentar la población de árboles útiles. Por ejemplo, en cacaotales adultos de indígenas Ngöbe de Changuinola, Panamá, se han introducido varias especies maderables (*Terminalia ivorensis*, *Tabebuia rosea*, *Cordia alliodora*) y se han eliminado varias especies de poco valor comercial y ecológico, con buenos resultados biofísicos y de adopción (Matos et al., 2000).

Las intervenciones son muy variadas, pero con la metodología descrita en este artículo, el productor, el especialista agroforestal y los agentes de extensión podrán definir objetivos, diagnosticar la plantación actual y diseñar las innovaciones que permitan satisfacer mejor los objetivos del productor. Quedan por desarrollar las herramientas de extensión que permitan llevar a los productores esta metodología de análisis y mejoramiento de doseles.

### APLICACIONES Y RECOMENDACIONES

El cacao y el café han participado en el mercado mundial de materias primas por mas de 100 años,

periodo durante el cual ha sufrido grandes oscilaciones cíclicas de precios de frecuencia y duración variables que han causado grandes pérdidas económicas a familias y gobiernos (Ruf & Schroth, 2004; Somarriba et al., 2004). La diversificación productiva de los cacaotales y cafetales como alternativa a la caída de los ingresos por los bajos precios del cacao ha sido una de las recomendaciones más comunes en las épocas de crisis; similares recomendaciones se han presentado durante las crisis del café (Godoy & Bennett, 1989; Galloway & Beer, 1997). La metodología de análisis y mejoramiento de doseles ayudará en la implementación de los nuevos ciclos de diversificación y, de aplicarse regularmente en el manejo de los cacaotales, puede mejorar sustancialmente la provisión de bienes y servicios al productor y a la sociedad.

No existen muchas iniciativas de investigación y desarrollo dedicadas específicamente al estudio científico y manejo tecnificado de los doseles de cacaotales o cafetales, ni se ha dedicado suficiente esfuerzo en capacitar a las familias productoras en estas técnicas. Gobiernos, sector privado y donantes tienen en el manejo tecnificado del dosel de sombra, una gran oportunidad para mejorar la competitividad y el bienestar de las familias productoras. Se deben desarrollar materiales educativos y de extensión que hagan llegar esta herramienta de análisis a los productores de cacao de todo el mundo.

Aunque esta metodología se elaboró para aplicaciones en cacaotales, es directamente aplicable en café (*Coffea* spp.), cupuazú (*Theobroma grandiflorum*), té (*Camellia sinensis*), cardamomo (*Elletaria cardamomum*), yerba mate (*Ilex paraguariensis*) y otros sistemas agroforestales multiestratos con pastos y cultivos anuales

#### LITERATURA CITADA

- ALVIM, P.T. Flowering of cocoa. *Cocoa Grower's Bulletin*, 35:23-31, 1984.
- ASARE, R. Enhancing the knowledge base on valuable trees in cocoa in West Africa. Bethesda, MD, World Cocoa Foundation, 2004. 36p.
- BEER, J.W. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. *Agroforestry Systems*, 5:3-13, 1987.
- BEER, J.; MUSCHLER, R.; KASS, D.Y. & SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems*, 38:139-164, 1998.
- BEER, J.W; HARVEY, C.; IBRAHIM, M.; HARMAND, J.M.; SOMARRIBA, E. & JIMÉNEZ, F. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas*, 10:80-87, 2003.
- BENTLEY, J.W.; BOA, E. & STONEHOUSE, J. Neighbor trees: shade, intercropping and cacao in Ecuador. *Human Ecology*, 32:241-269, 2004.
- COMPAÑÍA NACIONAL de CHOCOLATES. Manual para el cultivo del cacao. Bogotá, 1988. 140p.
- COOK, O.F. Shade in coffee culture. Washington, US Department of Agriculture, Bulletin No. 25. 1901. 79p.
- DEVIDA-CICAD/OEA. Cacao: paquete tecnológico para el valle del río Apurímac – Ene. Organización de Estados Americanos, CICAD. Lima, 2004. 111p.
- ENRÍQUEZ, G.A. Cacao orgánico: guía para productores ecuatorianos. Quito, INIAP, 2004. 359p.
- GALLOWAY, G. & BEER, J. Oportunidades para fomentar la silvicultura en cafetales de América Central. Turrialba, CATIE, 1997. 165p. (Serie Técnica Informe Técnico, 285)
- GODO, Y.R. & BENNETT, C. Diversification among coffee smallholders in the highlands of South Sumatra, Indonesia. *Human Ecology*, 16:397-420, 1989.
- GRAMACHO, I.C.P.; MAGNO, A.E.S.; MANDARINO, E.P. & MATOS, A. Cultivo e beneficiamento do cacau na Bahia. Ilhéus, CEPLAC, 1992. 124p.
- GREIG-SMITH, P. Quantitative plant ecology. Berkeley, University of California Press, *Studies in Ecology*, v. 9, 1983. 356p.
- HARTEMINK, A.E. Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystems: a review. *Advances in Agronomy*, 86:227-253, 2005.
- HERZOG, F. Multipurpose shade trees in coffee and cacao plantations in Cote d'Ivoire. *Agroforestry Systems*, 27:259-267, 1994.

- MATOS, E.N.; BEER, J.; SOMARRIBA, E.; GÓMEZ, M. & CURRENT, D. Validación, adopción inicial y difusión de tecnología agroforestal en cacaotales con indígenas Ngöbe, Panamá. *Agroforestería en las Américas*, 7:7-9, 2000.
- MOGUEL, R. & TOLEDO, V.M. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology*, 13:11-21, 1999.
- QUESADA, F.; SOMARRIBA, E. & VARGAS, E. Modelo para la simulación de patrones de sombra. Turrialba, CATIE, 1987. 87p. (Serie Técnica Boletín Técnico, 118).
- RAMÍREZ, O.A.; SOMARRIBA, E.; LUDEWIGS, T.; FERREIRA, P. Financial returns, stability and risk of cacao-plantain-timber agroforestry systems in Central America. *Agroforestry Systems*, 51:141-154, 2001.
- RICE, R.A. & GREENBERG, R. Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *Ambio*, 29:167-173, 2000.
- RUF, F. & SCHROTH, G. Chocolate forests and monoculture: a historical review of cocoa growing and its conflicting role in tropical deforestation and forest conservation. In: SCHROTH, G.; FONSECA, G.A.B.; HARVEY, C.A.; GASCON, C.; VASCONCELOS, H.L. & IZAC, A. M.N. eds. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical Landscapes*. Washington, Island Press, 2004. p.107-134.
- RUSSO, R.E. & BUDOWSKI, G. Effect of pollarding frequency on biomass of *Erythrina poeppigiana* as a shade tree. *Agroforestry Systems*, 4:145-162, 1986.
- SOMARRIBA, E. ¿Cómo estimar visualmente la sombra en cafetales y cacaotales? *Agroforestería en las Américas*, 9:86-94, 2002.
- SOMARRIBA, E. & HARVEY, C. ¿Cómo integrar simultáneamente producción sostenible y conservación de biodiversidad en cacaotales orgánicos indígenas? *Agroforestería en las Américas*, 10:12-17, 2003.
- SOMARRIBA, E.; HARVEY, C.; SAMPER, M.; ANTHONY, F.; GONZÁLEZ, J.; STAVEN, C. & RICE, R. Biodiversity in neotropical *Coffea arabica* plantations. In: SCHROTH, G.; FONSECA, G.A.B.; HARVEY, C.A.; GASCON, C.; VASCONCELOS, H.L. & IZAC, A. M.N. eds. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical Landscapes*. Washington, Island Press, 2004. p.198-226.
- WILLEY, R.W. The use of shade in coffee, cocoa and tea. *Horticultural Abstracts*, 45:791-798, 1975.



Figura 1. Doseles cacaoteros.



Figura 2. Efecto de las cordilleras y su orientación sobre la iluminación de los cacaotales durante el día.

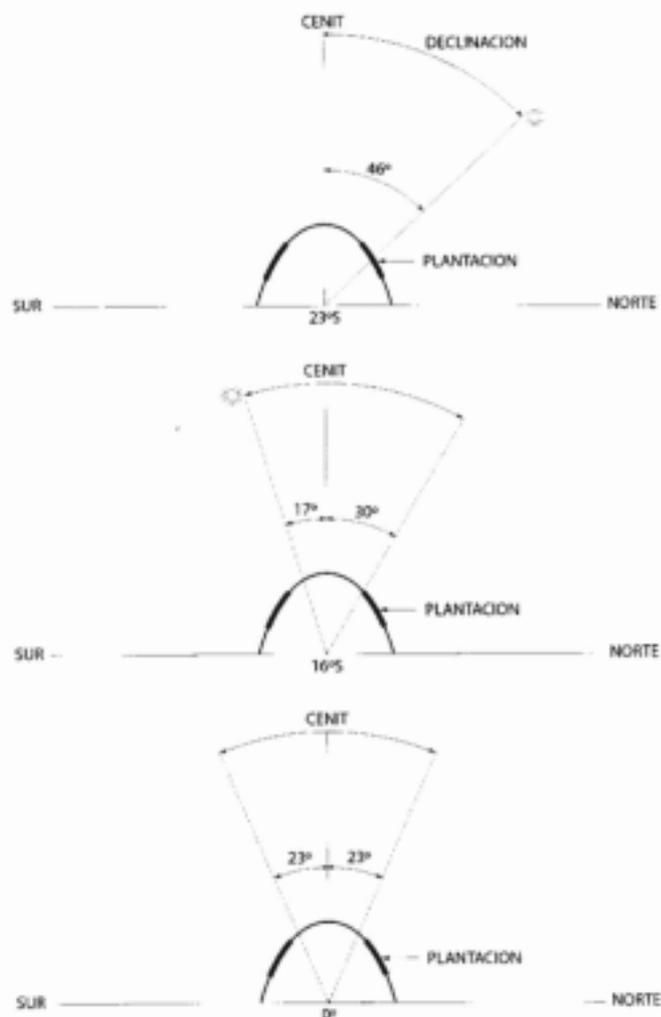


Figura 3. Efecto de las cordilleras y su ubicación latitudinal sobre la iluminación de los cacaotales durante el año.



## Utilização de Espécies Frutíferas em Sistemas Agroflorestais na Amazônia

JOSÉ EDMAR URANO DE CARVALHO

### INTRODUÇÃO

A diversidade de espécies frutíferas brasileiras está representada por cerca de 500 espécies, distribuídas nas diferentes regiões do País. A Amazônia Brasileira constitui-se no maior repositório de espécies produtoras de frutos comestíveis do Brasil com aproximadamente 220 espécies, o que representa 44% das frutíferas nativas (Clement et al., 1982; Giacometti, 1993).

Essa notável diversidade, que impressionou os primeiros colonizadores e, ainda hoje se constitui em motivo de admiração mesmo para os mais experientes especialistas em frutas foi, inicialmente, explorada pelas populações indígenas que legaram para as gerações atuais considerável número de espécies em diferentes graus de domesticação.

Quando os primeiros colonizadores adentraram as terras brasileiras encontraram as seguintes espécies frutíferas amazônica, já domesticadas: o abacaxizeiro (*Ananas comosus* L.) (Merrill), o abieiro (*Pouteria caimito* Radlq.), o biribazeiro (*Rollina mucosa* (Jacq.) Bail.), a pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth), o umarizeiro (*Poraqueiba paraensis* Ducke), o umarizeiro preto (*Poraqueiba sericea* Tul.) e o cubiu (*Solano sessiflorum* Dunal). Outras espécies encontravam-se, nessa ocasião, em estado semi-domesticado; dentre elas, o araticunzeiro (*Annona montana* Macf.), a sapota-do-solimões (*Quararibea cordata* (Hum. & Bonpl.) Visch.), o bacurizeiro (*Platonia insignis* Mart.), o ingá-açu (*Inga cinamomea* Benth.), o mapatizeiro (*Pourouma cecropiaefolia* Mart.), o araçá-boi (*Eugenia stipitata* McVaugh), o tucumã-do-amazonas (*Astrocaryum aculeatum* G.F.W.Meyer), o cutite (*Pouteria macrophylla* (Lam.) Eyma), o cutite grande (*Pouteria macrocarpa* Baehni), o cacauzeiro-do-peru (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.) e o cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.). Um terceiro grupo, representado pelas espécies que no momento do contato com o colonizador português estavam em estado de domesticação incipiente inclui, entre outras, o açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) e o cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum.); atualmente as duas frutíferas nativas mais cultivadas na Amazônia (Clement, 1999).

Esses avanços foram decorrentes da convivência diária com as plantas frutíferas da floresta, aliada a observação acurada dos aborígenes que permitiu a identificação de expressivas variações dentro de cada espécie, o que os levou a desenvolverem, empiricamente, notável e paciente trabalho de melhoramento, culminando com a seleção de tipos superiores. É o caso, por exemplo, do abiu em que predominantemente são encontradas árvores que produzem frutos cujo peso raramente ultrapassa a 30 g e que exsudam grande quantidade de látex quando cortados, mas que os índios do alto Solimões selecionaram tipos cujos frutos têm peso superior a 1.000 g e que exsudam pouco látex. Outros exemplos

envolvem a pupunheira sem espinhos, muito usada para produção de palmito, e a sapota-do-solimões (*Quararibea cordata* (Hum. & Bonpl.) Visch.), espécie ainda bastante desconhecida pela população atual.

Com o processo de colonização, muitas outras espécies frutíferas oriundas, na sua maioria, do continente asiático foram introduzidas no país e, posteriormente incorporadas aos sistemas agroflorestais praticados pelos aborígenes e pelos primeiros colonizadores.

A introdução de novas espécies teve continuidade após a colonização portuguesa e continua até os dias atuais. No século XX, dentre outras, foram introduzidas na Amazônia o mangostão (*Garcinia mangostana* L.), a rambuteira (*Nephellium lappaceum* L.), o durian (*Durio zibethinus* L.) e a aceroleira *Malpighia emarginata* DC); as três primeiras originárias do sudeste asiático e a última de origem antilhana. No início do século XXI, agricultores nipo-brasileiros introduziram do taiti, o noni (*Morinda citrifolia* L.), uma planta cujos frutos têm despertado a atenção pelas suas supostas propriedades funcionais.

Indubitavelmente, a bananeira que desde sua introdução no Brasil teve grande aceitação tanto por parte dos nativos quanto pelos colonizadores portugueses e escravos africanos se constituiu em importante componente de sistemas agroflorestais do passado. O Padre João Daniel, missionário da Companhia de Jesus, que viveu na Amazônia entre 1741 e 1757, relata em uma de suas crônicas a utilização dessa espécie em sistema agroflorestal:

“...O plantamento dos cacauais mansos, que os brancos costumam fazer nos seus sítios, tem alguma mais diligência que as searas, segundo o costume dos brancos, o que fazem assim: semeiam em tabuleiros levantados da terra com paus e varas que chamam jiraus, os canteiros, que querem, onde com água que lhes vão deitando nascem, e vão crescendo as plantas; depois de um ano vão plantar no roçado, que para isso já tem preparado, e talvez depois da colheita da maniva, e para que as plantas, como tenras não desmaiem, murchem, ou sequem à grande terreira do sol, lhes têm já de antemão plantadas em boas fileiras e ruas espaçosas árvores pacoveiras, que são muito sombrias, e mui frutíferas, e por baixo delas, depois de crescidas, e bem copadas as põem o plantamento de cacau na mesma ordem de ruas, com distância proporcionada...” (Daniel, 2000).

Outros relatos, como o do naturalista inglês Alfred Russel Wallace que em meados do século XIX percorreu a Amazônia em missão científica, também registram a bananeira (*Musa sp.*) sendo cultivada em associação com espécies frutíferas nativas e com a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). Ressalte-se que era prática comum, durante o preparo das roças, a manutenção na área de árvores que apresentavam alguma utilidade (Müller, 2004)

### PRINCIPAIS ESPÉCIES FRUTÍFERAS UTILIZADAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA AMAZÔNIA

O número de espécies frutíferas nativas da Amazônia que vêm sendo utilizadas em sistemas agroflorestais (SAF's) pode ser considerado diminuto diante da grande diversidade de fruteiras da região. Isto é decorrente do fato de que são poucas as espécies com mercados consolidados. Por outro lado, espécies cujos frutos têm bom mercado, como o bacurizeiro (*P. insignis* Mart.), o taperebazeiro (*Spondias mombim* L.), o pequiazeiro (*Caryocar villosum* (Aubl.) Pers.) e o uxizeiro (*Endopleura uchi* (Huber) Cuatrecasas), em particular as duas primeiras espécies, só recentemente começaram a ser cultivadas e utilizadas em SAF's, mas com número reduzido de indivíduos. As principais limitações para o cultivo dessas espécies em maior escala estão associadas às dificuldades de propagação e ao longo período de juvenilidade (Carvalho et al., 1998; Villachica et al., 1996; Carvalho et al., 2002).

A pupunheira (*B. gasipaes* Kunth.), que já se constituiu na principal espécie frutífera da Amazônia, indubitavelmente foi uma das primeiras fruteiras a ser produzida em sistemas agroflorestais (Clement et al., 2004). No final do século XIX, segundo relato do naturalista brasileiro Alexandre Rodrigues Ferreira, essa palmeira era uma das primeiras árvores plantadas por agricultores e por indígenas em suas roças e em seus quintais agroflorestais (1972). Embora essa espécie continue a ser cultivada, tanto em monocultivo quanto com participação significativa em sistemas agroflorestais, o mercado da pupunha ainda é pequeno, sendo fruta de consumo estritamente regional. Segundo Clement et al.

(2004) a pupunha presentemente não é mais importante do que foi no passado e, provavelmente, no futuro será ainda menos importante

Em levantamento efetuado por Silva (2005) em 108 sistemas agroflorestais estabelecidos na Amazônia Brasileira, foi constatada a participação de apenas 19 espécies frutíferas, com maior ocorrência do cupuaçuzeiro, da pupunheira, bananeira, castanheira-do-brasil e açaizeiro.

Ressalte-se que em levantamentos anteriores, no município de Tomé-Açu, PA, foram identificados 69 modelos de sistemas agroflorestais, em 241 propriedades, com utilização bem mais pronunciada de espécies frutíferas, estando o cacauzeiro presente em 35% dos sistemas, o maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.) em 10%, o guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) em 8%, a castanheira-do-brasil em 4%, a gravioleira em 4%, o abacateiro (*Persea americana* Mill.) e o cupuaçuzeiro em 3%, a laranjeira em 2% e a bananeira (*Musa* sp.), o mamoeiro (*Carica papaya* L.), a melancia (*Citrullus vulgaris* Schrad.), o meloeiro (*Cucumis melo* L.), o açaizeiro e o bacurizeiro em 1% (Stolberg-Wernigerode & Floherschütz, 1982). No final da década de 1990 a diversificação aumentou e, presentemente, mais de 60 espécies frutíferas estão presentes nos sistemas agroflorestais no município de Tomé-Açu, em diferentes combinações (Yamada, 1999).

Nesse município paraense a utilização em maior escala de espécies frutíferas nos sistemas agroflorestais está associada à presença de diversas agroindústrias de polpa, cuja produção é direcionada aos mercados estadual, nacional e internacional. Uma característica dessas agroindústrias é processarem diversas espécies de frutas. Essa estratégia tem por objetivo proporcionar melhor aproveitamento da infra-estrutura de máquinas, equipamentos e câmaras frigoríficas, haja vista que na maioria das espécies frutíferas cultivadas na Amazônia ocorre pronunciada sazonalidade.

Presentemente, o cultivo do açaizeiro em sistemas agroflorestais em áreas de terra firme vem sendo substancialmente aumentado, em decorrência da pressão de demanda pelos produtos oriundos do açaí. No entanto, a utilização indiscriminada dessa espécie em áreas em que ocorrem déficits hídricos acentuados deve ser considerada haja vista os riscos de fracasso, pois nessa situação a produtividade é muito baixa e os frutos são de qualidade inferior, apresentando baixo rendimento industrial. O manejo incorreto de açais nativos estabelecidos em áreas de várzeas também é algo que merece consideração. Em algumas dessas áreas, agricultores ribeirinhos no intuito de aumentarem a produção de açaí vêm transformando sistemas agroflorestais formados ao longo dos tempos, em maciços quase homogêneos de açais, pela derrubada de buritizeiros (*Mauritia flexuosa* L.) e de outras espécies arbóreas que ocorrem naturalmente no ecossistema de várzeas.

### CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DE ESPÉCIES FRUTÍFERAS PARA COMPORER SISTEMAS AGROFLORESTAIS

A definição de espécies frutíferas a serem utilizadas em sistemas agroflorestais deve ser considerada de forma abrangente, considerando diversos aspectos, dentre os quais merecem destaque: integração entre as espécies, sustentabilidade econômica, impacto sobre a mão-de-obra familiar, variedades, método de propagação, manejo, espaçamento, distância do mercado, logística de transporte e finalidade da produção, ou seja, se para o consumo familiar ou para comercialização. Para os sistemas agroflorestais comerciais, é imprescindível que se considere as perspectivas de mercado para as frutas que serão produzidas, sob pena de frustração futura.

A integração das espécies deve levar em consideração as características das plantas tanto no que diz respeito ao melhor aproveitamento da radiação solar, da água e dos nutrientes quanto também aos aspectos relacionados com a época de produção de frutos. Por exemplo, o cupuaçuzeiro e o açaizeiro são espécies que se integram muito bem: a primeira espécie suporta, mesmo na fase adulta, nível de sombreamento em torno de 25%, sem que haja comprometimento na produtividade de frutos, enquanto o açaizeiro é uma espécie essencialmente heliófila; o sistema radicular do cupuaçuzeiro se distribui em profundidade bem maior que o do açaizeiro, que tem raízes superficiais e bastante longas; quase todas as pragas e doenças que atacam o cupuaçuzeiro não atacam o açaizeiro, e vice-versa. Além disso, na maioria dos locais que apresentam aptidão para o cultivo dessas espécies a produção de

frutos ocorre em épocas diferentes. A produção do cupuaçuzeiro se dá predominantemente no primeiro semestre e a do açazeiro no segundo semestre, o que possibilita melhor distribuição de mão-de-obra e proporciona receitas para o produtor por quase todo o ano (Figura 1).

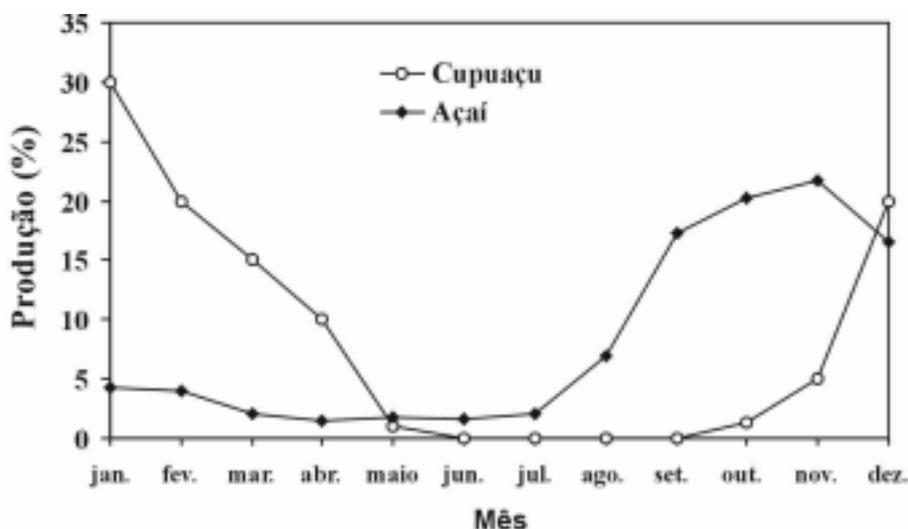


Figura 1 – Distribuição porcentual da produção de cupuaçu e açai durante o ano, na microrregião Belém, PA. (Fonte: Müller & Carvalho, 1997).

A Embrapa Amazônia Oriental vem estudando o comportamento dessas duas espécies em sistemas agroflorestais comerciais, com pouca diversificação, e tendo como cultura principal o cupuaçuzeiro. Nos sistemas até então testados que envolvem, além dessas duas espécies, uma outra para sombreamento provisório dos cupuaçuzeiros, têm se destacado as seguintes combinações: cupuaçuzeiro, bananeira x açazeiro e cupuaçuzeiro x maracujazeiro x açazeiro.

No sistema envolvendo o cupuaçuzeiro, o maracujazeiro e o açazeiro, a primeira espécie foi plantada no espaçamento de 5 m x 5 m, a segunda, ocupando as entrelinhas dos cupuaçuzeiros, com distância entre si de 2,5 m x 2,5 m e dentro das linhas dos cupuaçuzeiros, com distância entre si de 5 m x 5 m, ou seja, entre dois cupuaçuzeiros. O açazeiro foi plantado nas entrelinhas, entre quatro cupuaçuzeiros, no espaçamento de 10 m x 10 m, ocupando uma cova dentro de linhas alternadas das bananeiras. Esse sistema possibilita o plantio de 400 cupuaçuzeiros, 1.100 famílias de bananeiras e 100 touceiras de açazeiros, cada uma com cinco plantas.

O número de touceiras de bananeira deve ser reduzido, à medida que os cupuaçuzeiros entram em fase de frutificação, para que não haja comprometimento na produção de cupuaçu. Assim sendo, recomenda-se que encerrado o segundo ciclo de produção das bananeiras, o número de famílias por hectare seja reduzido para 700, com a eliminação das touceiras situadas dentro das linhas dos cupuaçuzeiros, ficando, então, as bananeiras no espaçamento de 5 m x 2,5 m. Posteriormente, novo desbaste deve ser efetuado, reduzindo-se densidade para 300 famílias por hectare. A partir do sexto ano da implantação do sistema, as bananeiras podem ser totalmente eliminadas.

A grande vantagem desse sistema de consórcio é que os dois primeiros ciclos de produção das bananeiras proporcionam produção em torno de 65 toneladas de cachos de banana por hectare, o que gera receita em torno de R\$ 22.000,00, que supera bastante os investimentos efetuados com a implantação e a manutenção do sistema nos três primeiros anos, ou seja, antes que os cupuaçuzeiros e os açazeiros entrem em fase de frutificação.

No sistema envolvendo o cupuaçuzeiro, o maracujazeiro e o açazeiro, a primeira espécie foi plantada no espaçamento de 5 m x 5 m, o maracujazeiro em fileiras duplas no espaçamento de 2 m x 5 m x 3 m e o açazeiro no espaçamento de 10 m x 10 m, dispostos entre duas fileiras duplas. Os cupuaçuzeiros são plantados dentro das fileiras duplas. O arranjo permite o plantio de 400 cupuaçuzeiros, 800 maracujazeiros e 100 touceiras de açazeiros, também manejados com cinco plantas por touceira.

O maracujazeiro pode ser cultivado por até 36 meses (dois plantios), obtendo-se produtividade de 17 t de frutos/ha, em cada plantio, sem a utilização de polinização manual.

A utilização de variedades que aliem produtividade, qualidade dos frutos e tolerância às principais pragas e doenças também se constitui em fator importante para a sustentabilidade dos sistemas agroflorestais. Para as espécies nativas da Amazônia, ainda, se dispõe de reduzido número de variedades testadas e disponibilizadas para o setor produtivo. Nessa situação, está a variedade BRS Pará de açaizeiro, selecionada para o cultivo em áreas de terra firme, e os clones de cupuaçuzeiro Coari, Codajás, Manacapuru e Belém, que são tolerantes à doença vassoura-de-bruxa e que apresentam boa produtividade, frutos com bom rendimento porcentual de polpa e características físico-químicas da polpa que estão dentro dos padrões estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Tabela 1).

**Tabela 1** – Produtividade, rendimento de polpa e características físico-químicas da polpa dos frutos de quatro clones de cupuaçuzeiro tolerantes à doença vassoura-de-bruxa. (Fonte: Alves & Cruz, 2003)

Clone	Produtividade (frutos/planta/ano)	Peso (g)	Polpa (%)	Sólidos solúveis totais (°Brix)	pH	Acidez (%)
Coari	13,4	1.491	33,5	13,2	3,5	1,5
Codajás	16,8	1.297	35,7	13,5	3,5	1,6
Manacapuru	13,1	1.420	36,2	14,7	3,5	2,2
Belém	13,4	742	32,6	14,8	3,4	2,4

Esses quatro clones são geneticamente auto-incompatíveis. No entanto, são altamente compatíveis entre si, com exceção dos clones Coari e Manacapuru em que a alo-incompatibilidade se manifesta acentuadamente (Tabela 2). O fato desses dois clones serem incompatíveis entre si não impede que sejam plantados em um mesmo pomar, desde que os demais clones estejam presentes.

**Tabela 2** – Compatibilidade genética entre os clones Coari, Codajás, Belém e Manacapuru. (Fonte: Alves et al., 1997)

Parental feminino	Parental masculino			
	Coari	Codajás	Belém	Manacapuru
Coari	I	C	C	I
Codajás	C	I	C	C
Belém	C	C	I	C
Manacapuru	I	C	C	I

C – compatível I – Incompatível.

A definição de variedades de bananeira para utilização em sistemas agroflorestais na Amazônia deve considerar primordialmente a tolerância às doenças, em particular a sigatoka-amarela, a murcha bacteriana e, principalmente, a sigatoka-negra. Doenças causadas pelos fungos *Mycosphaerella musicola* Leach, *Fusarium oxysporium* f. sp. *cubense* Smith e *Mycosphaerella fijensis* Morelet, respectivamente. Diversas variedades que apresentam tolerância a essas doenças já estão disponíveis no mercado; dentre outras, a Caipira, a Thaep Maeo, a Preciosa, a Pacovan Ken, a Pacovan Ken 2, a Caprichosa e a Garantida.

Em áreas livres da sigatoka-negra a variedade PV 0376 constitui-se em opção, pois é uma banana bem aceita pelos consumidores. Essa variedade é susceptível a sigatoka-negra, porém tolerante as demais doenças e tem apresentado excelente produtividade na Amazônia Oriental Brasileira.

Predominantemente, o plantio de espécies frutíferas em sistemas agroflorestais na Amazônia tem sido efetuado com mudas oriundas de sementes, advindo desse fato grandes variações entre plantas de uma mesma espécie, principalmente no que concerne à produtividade e à qualidade dos frutos. Além

disso, as plantas assim propagadas requerem mais tempo para entrarem em fase de produção e apresentam, na fase adulta, maior altura, o que dificulta a colheita, o controle de pragas e doenças e limita bastante a adoção da polinização manual, quando necessária. Nas espécies dióicas ou androdioicas, como o abricoteiro (*Mammea americana* L.), a propagação por sementes tem como problema adicional a presença de elevada proporção de plantas do sexo masculino. Assim sendo, nesses casos é indicada a propagação por enxertia ou por estacas.

Em algumas espécies a propagação por enxertia ou por estacas de ramos modifica completamente a arquitetura da planta, o que pode fazer com que uma espécie de uso múltiplo perca essa característica. É o caso do bacurizeiro, que quando propagado por sementes constitui-se em espécie de uso múltiplo (madeira e fruto), pois as plantas apresentam forma florestal adequada, com fuste retilíneo, desrama natural e atingem altura superior a 25 m, o que torna possível o aproveitamento da madeira. Por outro lado, quando a propagação é por enxertia as plantas são bem menores, raramente ultrapassando a 10 m de altura e apresentam caule tortuoso e com ramificações na base. Uma das vantagens da propagação do bacurizeiro por enxertia é que as plantas propagadas por esse método entram em fase de produção entre cinco e seis anos após o plantio no local definitivo, enquanto plantas propagadas por sementes só entram em frutificação dez a 15 anos após o plantio. No caso do plantio de bacurizeiros enxertados é imprescindível o plantio de diferentes clones na mesma área, pois a espécie também apresenta mecanismo de auto-incompatibilidade genética.

O bacurizeiro é pouco usado em sistemas agroflorestais devido às dificuldades de propagação, tanto por via sexuada quanto por via assexuada.

O principal obstáculo para a produção de mudas de bacurizeiro por via sexuada é o tempo excessivamente longo requerido para que as sementes completem o processo de germinação que, em média, é de 589,6 dias. Além disso, a germinação é bastante desuniforme, com algumas sementes germinando 180 dias após a sementeira e outras somente após 900 dias (Carvalho et al., 1998b). A demora na germinação é decorrente do fato de que as sementes exibem um tipo particular de dormência, cujo sítio de ação está localizado na plúmula, enquanto a desuniformidade na germinação é devido a variação no grau de dormência entre sementes.

Em decorrência das dificuldades de propagação, agricultores do nordeste paraense, da pré-Amazônia Maranhense e de outros locais, em que a espécie ocorre em abundância, vêm adotando, ao longo dos tempos, práticas empíricas de manejo que permitem a transformação de pequenos fragmentos de floresta secundária, com poucas espécies de valor econômico, em pomares quase homogêneos de bacurizeiros. Esse manejo é possível em função do bacurizeiro apresentar estratégias de reprodução sexuada e assexuada, o que facilita sobremaneira a regeneração natural. Mesmo em áreas submetidas a ciclos sucessivos de corte-queima-cultivo-pousio, a regeneração natural se processa com eficiência não sendo raro encontrar densidades de até 15 mil bacurizeiros por hectare, em início de regeneração.

A produtividade de frutos nas áreas manejadas é muito baixa, raramente ultrapassando a 200 frutos/planta/ano. Essa baixa produtividade é decorrente do fato de que o número de bacurizeiros por hectare é muito elevado, geralmente entre 400 e 600 plantas por hectare, quando o ideal, considerando a altura e a envergadura da copa de plantas adultas, seria em torno de 100 plantas por hectare. Adotando-se essa densidade de plantas e manejando os bacurizeiros oriundos de regeneração natural, de tal forma que fiquem distanciados uns dos outros em 10 m, é possível transformar essas áreas alteradas em sistemas agroflorestais envolvendo diversas outras espécies frutíferas. Alguns agricultores do município de Cametá, PA, ao manejarem bacurizeiros jovens efetuam, simultaneamente, o plantio de murucizeiros (*Byrsonima crassifolia* (L.) Rich.), cajueiros (*Anacardium occidentale* L.), açazeiros e cupuaçuzeiros nas entrelinhas dos bacurizeiros.

A questão da distribuição espacial das espécies é outro aspecto que merece ser mais bem estudado. Sistemas agroflorestais tendo como componente arbóreo de grande porte a castanheira-do-brasil, em alguns casos, se tornam, com o passar dos tempos, em monocultivos de castanheira-do-brasil. Tal fato é decorrente do número elevado de castanheiras plantadas. Essa espécie, quando componente de sistemas agroflorestais deve ser plantada em densidade que não ultrapasse a 30 plantas por hectare, em particular quando as mudas forem oriundas de sementes.

Em sistemas agroflorestais nos quais espécies frutíferas são plantadas com finalidade comercial deve ser considerada a distância dos mercados, para que não ocorram perdas de pós-colheita acentuadas, haja vista que a grande maioria das frutas tropicais tem vida pós-colheita relativamente curta, em

particular as nativas da Amazônia. Portanto, constitui em grande equívoco a produção de frutas em locais distantes dos centros consumidores.

### CONCLUSÕES

A utilização de espécies frutíferas em sistemas agroflorestais é viável desde que sejam manejadas corretamente. Essas espécies desde que selecionadas adequadamente, considerando sua integração com os demais componentes do sistema podem ser utilizadas em SAF's de subsistência e em SAF's comerciais. Na subsistência a diversificação é um imperativo, e no comercial se deve priorizar duas ou, no máximo, três espécies frutíferas para que se tenha escala de produção. Para isso, é imprescindível que se estabeleçam coeficientes técnicos, baseados nas experiências bem sucedidas, para assegurar aos agentes financeiros a viabilidade do cultivo de fruteiras tropicais em sistemas agroflorestais.

### LITERATURA CITADA

- ALVES, R.M.; CORREA, J.R.V.; GOMES, M.R. de O. & FERNANDES, G.L. da C. Melhoramento genético do cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) no Estado do Pará. In: Seminário Internacional sobre Pimenta-do-Reino e Cupuaçu, 1996, Belém. Anais...Belém: Embrapa Amazônia Oriental/JICA, 1997. p.127-146 (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 89).
- ALVES, R.M. & CRUZ, E.D. Cultivares de cupuaçuzeiro tolerantes à vassoura-de-bruxa. Belém, Embrapa Amazônia Oriental, 2003. 4p.(Embrapa Amazônia Oriental. Recomendações Técnicas).
- CARVALHO, J.E.U. de; MÜLLER, C.H. & LEÃO, N.V.M. Cronologia dos eventos morfológicos associados à germinação e sensibilidade ao dessecamento em sementes de bacuri (*Platonia insignis* Mart. – Clusiaceae). Revista Brasileira de Sementes, 20:475-479, 1998a.
- CARVALHO, J.E.U. de; NASCIMENTO, W.M.O. do & MÜLLER, C.H. Características físicas e de germinação de sementes de espécies frutíferas nativas da Amazônia. Belém, Embrapa-CPATU, 1998b. 18p. (Embrapa-CPATU. Boletim de Pesquisa, 203).
- CARVALHO, J.E.U. de; MÜLLER, C.H. & NASCIMENTO, W.M.O. do. Métodos de propagação do bacurizeiro (*Platonia insignis* Mart.). Belém, Embrapa Amazônia Oriental, 2002. 12p. (Embrapa Amazônia Oriental. Circular Técnica, 30).
- CLEMENT, C.R.; MÜLLER, C.H. & FLORES, W.B.C. Recursos genéticos de espécies frutíferas nativas da Amazônia. Acta Amazônica, 12:677-695, 1982.
- CLEMENT, C.R.; WEBER, J.C.; LEUWEN, J. van; DOMIAN, C.A.; COLE, D.M.; LOPEZ, L.A. & ARGÜELLO, H. Why extensive research and development did not promote use of peach palm fruit in Latin America. Agroforestry Systems, 61:195-206, 2004.
- CLEMENT, R.C. 1492 and the loss of Amazonian crop genetic resources. I. The relation between domestication and human population decline. Economic Botany, 53:188-202, 1999.
- FERREIRA, A.R. Viagem filosófica pelas capitânicas do Grão-Pará. Rio Negro, Mato Grosso e Cuiabá : memórias.- [Rio de Janeiro] : Conselho Federal de Cultura, 1972. 246p.
- GIACOMETTI, D.C. Recursos genéticos de fruteiras nativas do Brasil. In: Simpósio Nacional de Recursos Genéticos de Fruteiras Nativas. 1992, Cruz das Almas, Anais... Cruz das Almas: Embrapa-CNPMP, 1993. p.13-27.
- MÜLLER, C.H. & CARVALHO, J.E.U. de. Sistemas de propagação e técnicas de cultivo do cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*). In: Seminário Internacional sobre Pimenta-do-Reino e Cupuaçu, 1996, Belém. Anais...Belém: Embrapa Amazônia Oriental/JICA, 1997. p.57-75 (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 89).
- MÜLLER, R.P. Sistemas agroflorestais indígenas na Amazônia: uma visão histórica. In: MÜLLER, M.W.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BRANDÃO, I.C.S.F.L.; SERÓDIO, M.H.C.F. eds. Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos: Sustento da vida e sustento de vida. Ilhéus, SBSAF/CEPLAC/UENF, 2004. p.197-200.

- SILVA, P.T.E. da. Metodologia para replicabilidade de sistemas agroflorestais na Amazônia Brasileira com base na homologia de zonas bioclimáticas. Belém, PA: Universidade Federal Rural do Amazonas, 2005. 153p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Amazonas, 2005.
- VILLACHICA, H.; CARVALHO, J.E.U. de; MÜLLER, C. .H.; DIAZ, C.S. & ALMANZA, M. Frutales y hortalizas promisorias de la Amazonia, Lima: Tratado de Cooperacion Amazonica. Secretaria Pro-tempore, 1996. 367p. (TCA – SPT, 044)
- YAMADA, M. Japanese imigrant agroforestry in the brazilian Amazon: a case study of sustainable rural development in the tropics. Gainesville, University of Florida, 1999. 823p. Ph.D. Thesis.

## Agrosilvicultura no Cerrado - Região Noroeste do Estado de Minas Gerais

HENRIQUE AUGUSTO REIS & LUCIANO LAGE DE MAGALHÃES

### INTRODUÇÃO

No Estado de Minas Gerais cerca de 37% do território é coberto por Cerrado (Vilela, 1977), mostrando assim sua grande importância econômica, social e ambiental. Uma quantidade considerável dos reflorestamentos com *Eucalyptus sp.* no Brasil estão na região de cerrado do Estado de Minas Gerais, que também é potencialmente importante na produção pecuária e de grãos. Neste contexto, se encontra a região noroeste de Minas Gerais onde se tem o maior exemplo de sistemas agroflorestais com *Eucalyptus sp.* no Brasil, e talvez, nas Américas ou mesmo no mundo.

Nessa região, os consórcios seqüenciais de *Eucalyptus sp.* e seus híbridos com cultivos anuais nas entrelinhas, nos primeiros anos de estabelecimento da floresta, seguidos, posteriormente, da semeadura de forrageiras perenes para engorda de gado de corte, têm sido utilizados com sucesso. Tais consórcios constituem alternativas potenciais para amortizar os custos iniciais de implantação e manutenção das plantações, permitir fluxo de caixa constante ao longo do período de maturação da floresta, além de fornecer rendas complementares (Oliveira & Macedo, 1996).

Segundo Nair (1996), a classificação mais difundida dos sistemas agroflorestais (SAF's) é aquela que considera os aspectos funcionais e estruturais como base para agrupar estes sistemas em categorias: sistemas silviagrícolas; sistemas silvipastoris; sistemas agrossilvipastoris.

Os sistemas agroflorestais são definidos como sistemas viáveis de uso da terra, segundo o princípio de rendimento sustentado, que permitem aumentar a produção total, combinando cultivos agrícolas, arbóreos e plantas forrageiras e, ou, animais, simultaneamente ou seqüencialmente, aplicando práticas de manejo compatíveis com os padrões culturais da população local (Bene et al., 1977), citado por Macedo (2000). As vantagens dos SAF's não se aplicam da mesma maneira a todos os lugares e combinações de florestas, cultivos agrícolas e, ou, criações de animais.

### SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM *EUCALYPTUS* NO BRASIL

Embora a maioria das pesquisas em sistemas agroflorestais com base em eucalipto concentre-se, atualmente, no Estado de Minas Gerais, a origem histórica dessa atividade remonta ao antigo Serviço Florestal do Estado de São Paulo e à Companhia Paulista de Estradas de Ferro. A primeira informação sobre sistemas agroflorestais, envolvendo eucalipto, parece ter sido registrada no trabalho de Andrade & Vecchi (1918) citado por Dubé (1999), quando relataram as experiências com a criação de ovinos em pastoreio sob florestas, além da utilidade apícola do gênero.

O primeiro trabalho, no Brasil, que tratou de um consórcio silviagrícola do ponto de vista científico foi o de Gurgel Filho (1962), no Estado de São Paulo. Nesse trabalho, o pesquisador testou o plantio de linhas de milho entre as linhas de *Eucalyptus alba*, com o objetivo de avaliar o efeito do consórcio sobre o crescimento em altura e diâmetro do eucalipto, bem como sobre a produção de grãos da cultura.

## SISTEMAS SILVIAGRÍCOLAS

### Eucalipto e milho

Gurgel Filho (1962) testou o plantio de uma, duas e três fileiras de milho (*Zea mays* L.) entre as linhas de *Eucalyptus alba*, plantado no espaçamento inicial de 3 x 1,5 m. O autor avaliou a altura e o diâmetro do eucalipto, respectivamente, aos 18 e 42 meses de idade. Concluiu que o aumento do número de linhas de milho prejudicou o crescimento das árvores e que o consórcio com uma linha foi favorável a ambas as culturas.

No consórcio com culturas temporárias de porte alto, tal como o milho, nem sempre é possível manter a produtividade agrícola desejada ou esperada, utilizando os espaçamentos tradicionais para as árvores, ou, um número de linhas para a cultura agrícola semelhante ao do monocultivo (Reis, 2004).

Resultados semelhantes foram obtidos por Moniz (1987) e Couto et al. (1994). Esses autores verificaram que mais de uma linha de milho entre as fileiras de eucalipto (espaçamento 3 x 2 m) reduziu a sobrevivência e o crescimento inicial das plantas de eucalipto, aos seis meses de idade.

Passos et al. (1992) reavaliaram o trabalho com *Eucalyptus grandis*, utilizando os mesmos tratamentos de Moniz (1987), analisando os dados disponíveis até os 25 meses de idade. Este consórcio permitiu redução de até 20% nos custos de implantação da cultura florestal. Porém, a produção de grãos foi significativamente afetada pela cultura florestal, independente do número de fileiras utilizadas.

Estes trabalhos demonstraram que a consorciação de milho e eucalipto promove a redução dos custos de implantação da floresta.

### Eucalipto e feijão

O consórcio com o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) não pode ser justificado pela fixação biológica de nitrogênio, pois esta espécie não é tão eficiente quanto as outras espécies de leguminosas, como a soja, nem mesmo produz grande quantidade de matéria orgânica. Mas sim pela redução de custos de implantação florestal, a cobertura do solo, o aproveitamento de resíduos de adubação pelas árvores e a produção de alimentos, que justificariam a sua utilização (Couto et al., 1998).

Schreiner & Balloni (1986), citado por Dubé (1999), procuraram analisar os efeitos do consórcio entre *Eucalyptus grandis* e feijão. O espaçamento da cultura florestal foi de 3 x 2 m, e as observações foram feitas até os 35 meses de idade do povoamento. Testou-se a utilização de quatro a seis linhas, versus os monocultivos. As conclusões principais dos autores foram que a sobrevivência, a altura e o diâmetro das árvores não foram afetados pelo consórcio; com cinco e seis linhas de feijão, os resultados foram igualmente positivos para a produção volumétrica do eucalipto; o uso de cinco linhas de feijão foi o recomendado, pois resultou em ganho de 20% em volume de madeira de eucalipto, comparado com o seu monocultivo, principalmente por causa da adubação residual da cultura agrícola; e a produção de feijão foi maior (917 kg ha<sup>-1</sup>) com cinco linhas do que com seis (780 kg ha<sup>-1</sup>).

No Vale do Rio Doce, em Minas Gerais, Passos et al. (1992) estudaram o comportamento inicial de um SAF que envolvia eucalipto e feijão, sendo as árvores espaçadas de 3 x 2 m e as filas da cultura agrícola variando de duas a cinco. Pelos resultados obtidos, foi possível concluir que: o aumento do número de fileiras de feijão causou redução nos valores obtidos para várias características (matéria seca e número de grãos por vagem e por planta, número de vagens e matéria seca de grãos por área); e o consórcio não afetou a altura, o diâmetro e o volume do eucalipto, embora a biomassa total por hectare e a do lenho por árvore tenham tido tendência de aumento, nos tratamentos com maior número de fileiras de feijão.

Couto et al. (1995), citado por Couto et al. (1998), também constataram a ocorrência de redução dos custos de implantação de eucalipto, em sistemas agroflorestais com feijão. Segundo os autores, a

produtividade do feijão em consórcio foi maior do que em monocultivo, o que pode indicar a ocorrência de interações complementares.

#### Eucalipto e soja

Couto et al. (1982), citado por Couto et al. (1998), demonstraram a viabilidade do uso dessa cultura agrícola na redução de custos da implantação florestal

No município de Unaí, noroeste de Minas Gerais, CAF (1992), citado por Dubé (1999), cultivando soja entre as linhas de *Eucalyptus urophylla*, em espaçamento de 5 x 2 m, conseguiu a produtividade de 30 sacas por hectare; o que, segundo seus pesquisadores, é idêntica à que se obtém na monocultura de soja na região. Para o eucalipto, os resultados do consórcio foram bastante expressivos, ocorrendo aumento de diâmetro, altura e volume das árvores.

Em Itapetininga, São Paulo, Schreiner (1989), citado por Dubé (1999), testou o plantio de três a cinco linhas de soja entre as linhas de *Eucalyptus grandis*, em espaçamento 3 x 2 m, contra o monocultivo de ambas as culturas. O autor recomendou o uso de cinco linhas de soja para esse tipo de consórcio, com o qual foi possível obter, somente com a cultura agrícola, um retorno econômico de 30%. Além disto, detectou o favorecimento do crescimento do eucalipto, pelo menos até os 18 meses de idade. O crescimento do eucalipto, segundo o autor, deveu-se ao aproveitamento da adubação residual da cultura da soja, ao aproveitamento do nitrogênio fixado pela leguminosa, e às condições ambientais favoráveis ao crescimento inicial, em virtude da melhor cobertura do solo.

#### Eucalipto, arroz e outras culturas agrícolas

Passos (1996) testou um consórcio de *Eucalyptus urophylla* e arroz (*Oryza sativa*), em Cláudio, Minas Gerais, utilizando espaçamentos que variaram de 6 a 10 m por planta, avaliando-as aos 21 meses de idade. Os resultados confirmaram o efeito positivo sobre a produção volumétrica do eucalipto, comparados com o do monocultivo florestal. Entre os espaçamentos menores (3 x 2 m, 4 x 1,5 m e 5 x 1,5 m) a produtividade foi a mesma, tendo sido superior à dos espaçamentos maiores. Quanto ao arroz, verificou-se que a produtividade da segunda safra teve redução de um terço a um quarto do que se obteve no primeiro ano, o que indica a inviabilidade dessa cultura em consórcio com o eucalipto a partir do segundo ano, independente do espaçamento utilizado.

Passos et al. (1993), citado por Passos (1996), estudaram o consórcio entre eucalipto, milho e feijão, em espaçamento de 3 x 2 m para as árvores, até os 25 meses. Verificaram que as culturas não se afetaram mutuamente e que o consórcio eucalipto com três fileiras de milho e com seis fileiras de feijão, e o consórcio milho/feijão não diferiram estatisticamente entre si, em termos de produtividade agrícola.

Novamente, os resultados das pesquisas vêm comprovar a viabilidade técnica e econômica dos SAF's com eucalipto. Neste caso, especificamente, tratando-se do consórcio com arroz, milho e feijão.

### SISTEMAS SILVIPASTORIS

É possível que as primeiras experiências com a criação de animais sob florestas de eucaliptos tenham sido relatadas por Andrade & Vecchi (1918), citado por Dubé (1999), em São Paulo. Neste caso, o que levou à tentativa de consórcio foi à preocupação de controlar incêndios no período da seca, agravados pelo aumento do material combustível proveniente da vegetação rasteira nativa ou de invasoras, como o capim-gordura (*Melinis minutiflora*). Com o passar do tempo, o capim-gordura tornou-se dominante mesmo em florestas com 15 anos de idade.

Utilizando bovinos e ovinos que pastavam sob *Eucalyptus citriodora*, Couto et al. (1994), citado por Couto (1998), também registraram a compactação do solo, com o aumento do número de animais por unidade de área, especialmente na camada superficial do solo, até 15 cm de profundidade. Por outro lado, seus resultados mostraram também claras vantagens do uso de ovinos para minimizar esse problema.

No consórcio de árvores, é comum o questionamento sobre a melhor época para semear as forrageiras. Couto & Medeiros (1993) concluíram que o eucalipto, desde o seu plantio, não tolera a

convivência com a *Brachiaria decumbens*, necessitando de controle pelo menos até aproximadamente os 120 dias de idade. A convivência não afetou o crescimento em altura, mas sim a massa seca de folhas e galhos, além do diâmetro e da massa seca do caule.

Os resultados apresentados, até o momento, estão relacionados apenas com a produção de madeira. Porém, existe a possibilidade de manejo silvipastoril com outros objetivos, como a produção de resina, óleos essenciais, carvão e taninos.

### SISTEMAS AGROSSILVIPASTORIS

A associação de animais com cultivos agrícolas e árvores em uma mesma área é distinta do sistema silvipastoril pela presença de cultivos. A característica mais importante neste sistema é a presença de animais e de forragem necessária para sua alimentação, além das árvores inseridas nessa atividade pecuária.

Neste sistema, se inclui o sistema agrossilvipastoril rotativo utilizado na Votorantim Metais Unidade Aço-Florestal (Figura 1). A tecnologia consiste no cultivo seqüencial de arroz e soja até o segundo ano, entre as linhas de eucalipto em espaçamento de 9-10 x 3-4 m (Figuras 2 e 3). No segundo ano, há formação de pastagens manejadas para engorda de gado de corte. Buscando diminuir os efeitos da competição do eucalipto com as culturas agrícolas e conferir maior valor aos fustes, sendo que as árvores são desramadas até a altura de 4 m. No terceiro ano, nos módulos com pastagens, são manejados animais para engorda. Neste mesmo ano, é feita uma segunda desrama até a altura de 6 m (Figura 4). No quarto ano, prossegue o manejo com animais em módulos de pastagens formadas (Figura 5). A partir do quinto ano, há opção de desbaste seletivo das árvores, visando à redução de competição e antecipação de receita; a venda anual de animais; e a previsão de corte raso, de reforma ou condução da floresta e de reforma das pastagens a partir do sétimo ano.

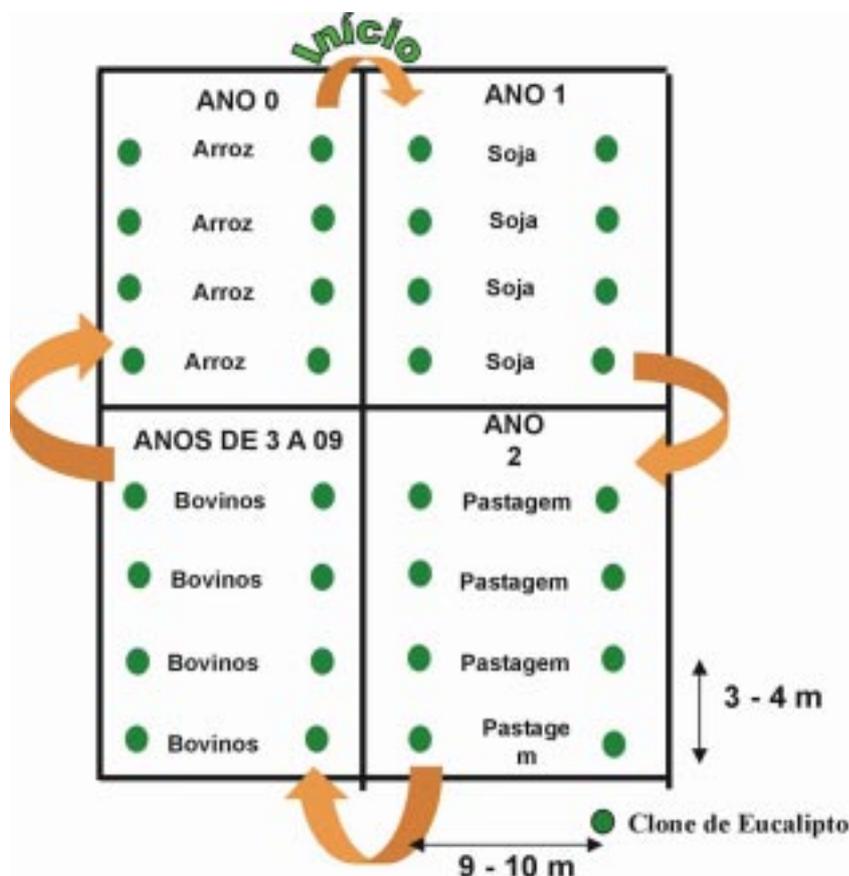


Figura 1 – Croqui ilustrativo de uma área com sistema Agrossilvipastoril Rotativo.



Figura 2 – Eucalipto e arroz, na fase de implantação.



Figura 3 – Eucalipto e soja, no primeiro ano.



Figura 4 – Eucalipto e pastagem após segunda desrama, no segundo ano.



Figura 5 – Eucalipto e bovinocultura.

Em áreas planas, a orientação das linhas de eucalipto no sentido leste-oeste, além de propiciar um menor sombreamento às culturas consorciadas, normalmente coincide com a direção dos ventos dominantes, favorecendo a ventilação de todos os estratos da vegetação, podendo minimizar os problemas fitossanitários da parte aérea do sistema como um todo (Figura 6). Em áreas acidentadas ou erodíveis deve-se privilegiar a conservação de solo com plantio em nível, em detrimento da orientação leste-oeste.



Figura 6 – Orientação das linhas no sentido leste-oeste.

#### COMPARAÇÃO DE MONOCULTIVOS DE *EUCALIPTUS SP* COM O SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL ROTATIVO

Com a adoção dos espaçamentos convencionais para a cultura do eucalipto, a luminosidade nas suas entrelinhas torna-se reduzida progressivamente na medida em que as árvores se desenvolvem. Normalmente, do segundo ano em diante, a restrição luminosa nas entrelinhas torna-se acentuada e limitante para o desenvolvimento normal e produção econômica da maioria das culturas anuais consorciadas. Para superar esta condição, recomenda-se espaçamento mais amplo, se necessário, adotar um esquema de desbaste e de elevação das copas das árvores pela prática de desrama artificial, que além de propiciar maior luminosidade nas entrelinhas, garante também melhor qualidade e maior valorização do produto florestal.

Nas simulações apresentadas na tabela 1, o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR) são maiores para o espaçamento 10 x 3 tanto aos sete quanto aos 14 anos de idade. Este resultado demonstra ser mais atrativo economicamente que os espaçamentos intermediário e convencional.

Apesar de a produtividade das lavouras de arroz e soja entre as linhas de eucalipto ser baixa (30 e 35 sacas por hectare, respectivamente), quando comparada com a produtividade de grãos de outras regiões do país, devem ser considerados a baixa qualidade do solo e a reduzida precipitação pluviométrica do local de estudo. Com relação a esta produtividade, as duas culturas pagaram os seus custos, melhorando as condições físico-químicas do solo, o que permitiu a boa formação de pastagem e propiciou melhores condições de crescimento e produção de madeira.

Tabela 1 - Comparação econômica entre SAF e outros dois sistemas de produção florestal

Simulação com R\$ 20,0/st			
Período de Projeção	Sistemas		
	AGRO (10x3 metros)	Intermediário (6x2,5 metros)	Convencional (3x3 metros)
<b>7 anos</b>			
TIR	9,47%	7,92%	6,26%
VPL (R\$ / ha)	37,21	(189,49)	(526,88)
Rendimento (st/ha)	245,00	280,00	315,00
<b>14 anos</b>			
TIR	14,11%	11,69%	10,39%
VPL (R\$ / ha)	1.053,19	556,86	325,15
Rendimento (st/ha)	490,00	532,00	598,50
* A taxa de desconto utilizada para o cálculo do VPL foi de 9,2% a.a.			
Simulação com R\$ 25,0/st			
Período de Projeção	Sistemas		
	AGRO (10x3 metros)	Intermediário (6x2,5 metros)	Convencional (3x3 metros)
<b>7 anos</b>			
TIR	13,49%	12,26%	10,47%
VPL (R\$ / ha)	643,05	502,90	252,05
Rendimento (st/ha)	245,00	280,00	315,00
<b>14 anos</b>			
TIR	17,59%	15,56%	14,09%
VPL (R\$ / ha)	1.966,21	1.585,77	1.482,68
Rendimento (st/ha)	490,00	532,00	598,50
* A taxa de desconto utilizada para o cálculo do VPL foi de 9,2% a.a.			

### CONCLUSÕES

O sistema agroflorestal, ou agrossilvipastoril, apresenta grandes vantagens em relação aos sistemas convencionais de uso da terra, pois permite maior diversidade e sustentabilidade. Do ponto de vista ecológico, a coexistência de mais de uma espécie numa mesma área permite uma melhor utilização da água e dos nutrientes. A ciclagem de nutrientes tende a ser mais rápida e os nutrientes são mais bem aproveitados pelas culturas intercalares. Do ponto de vista agrônomo, deve-se levar em conta as demandas que as árvores e as culturas agrícolas detêm em termos de espaço, nutrientes e água.

O sistema agroflorestal praticado pela Unidade Aço-Florestal é inovador pela concepção de desenvolvimento sustentável e está em sintonia perfeita com os anseios sociais aos sistemas produtivos, usando, de maneira mais eficiente e racional, os recursos naturais e utilizando espaços simultâneos para produção de alimentos, fibras e energia.

A utilização deste sistema para fomento é uma alternativa plenamente possível, pois promove condições favoráveis para as lavouras e criações, acrescenta a seu sistema fontes alternativas de renda, além de promover a recuperação e conservação da fertilidade do solo, melhoria da biodiversidade, da hidrologia, do microclima aliado com a preservação ambiental.

O rendimento e a qualidade da madeira têm superado todas as expectativas. Apesar de apresentar um número reduzido de plantas por hectare, o incremento médio anual é de aproximadamente 40 metros de madeira por hectare, sendo que 50% da madeira produzida tem potencial para serraria, quando o consórcio chega ao final.

A interação entre as atividades promove aumento na produção de grãos e carne; rotação de culturas reduzindo pragas e doenças; redução do custo de produção devido à otimização de máquinas e implementos; melhoria da conservação e fertilidade do solo; maior estabilidade econômica; aumento na geração de empregos no setor agropecuário; maior sustentabilidade; valorização da propriedade e desenvolvimento do setor rural.

Para o produtor agrícola, há a possibilidade de produzir alimentos nos mesmos níveis de produtivida-

de dos monocultivos de ciclo curto, com as vantagens dos aportes financeiros futuros produzidos pela cultura florestal.

No caso do produtor florestal, é uma oportunidade de reduzir os custos de implantação e manutenção da floresta, o que contribui para o melhor aproveitamento dos solos que também apresentem potencial agrícola, reduzindo, assim, a pressão ambiental gerada pela cultura de eucalipto.

Ocorrem algumas restrições a este sistema, no que tange ao relevo que necessariamente deve ser mecanizável, uma vez que pode não se tornar viável ser cultivado manualmente.

A necessidade de mão-de-obra durante todo o ano, torna este sistema atraente para solucionar os problemas de assentamentos de reforma agrária, e uma possibilidade rentável para a agricultura familiar.

Ressalta-se que as perspectivas otimistas são restritas a utilização de clones e, ou, sementes bem adaptados à região de implantação, e utilização de cultura e, ou, variedade cultural indicadas para a região de implantação.

### PESQUISAS FUTURAS

A utilização de arroz e soja nesse sistema, apesar dos ótimos resultados, não se torna regra uma vez que existem muitas possibilidades a serem testadas.

A ocorrência de possível alelopatia entre o componente arbóreo e a cultura ou forrageira, poderá levar ao insucesso de novos arranjos, dependendo assim de pesquisas básicas com estes consórcios.

Existe, ainda, a carência de informações científicas sobre efeitos de determinadas técnicas silviculturais, como densidade de plantio, desrama, desbaste, capina e queima controlada, na produção do referido sistema. Por outro lado, existe também a necessidade de estudar novas opções de consórcios dos diferentes componentes que formam os sistemas agroflorestais.

#### Sistema Agroflorestal com Oleaginosas.

O tratado de Kyoto está levando a um aumento mundial na demanda de combustíveis renováveis, devido à necessidade de diminuição da emissão de gases que provocam o efeito estufa, até o ano de 2012.

A opção por combustíveis de queima limpa, é capaz de reduzir em até 78% as emissões de dióxido de carbono e outros gases que provocam o efeito estufa.

No Brasil são consumidos anualmente 38 bilhões de litros de óleo diesel e a produção de óleos vegetais chega a 3,5 bilhões de litros. O potencial brasileiro é suficiente para abastecer o mercado e nos tornar os maiores produtores de biodiesel do mundo, se aliarmos a pesquisa por espécies e, ou, cultivares de melhor produção e mais bem adaptadas a região de produção.

O Ministério do Desenvolvimento Agrário espera que em 2006, aproximadamente 100 mil famílias de agricultores já devam participar do programa com produção de 450 milhões de litros.

O consórcio de oleaginosas com eucalipto é possível, e provavelmente uma boa alternativa para os grandes e pequenos produtores, fixando o homem no campo durante todo o ano.

Alternativas e uso da terra de espécies agrícolas tradicionais em consórcio, tais como a soja, o algodão, o girassol, a mamona e o nabo-forrageiro.

Também para algumas oleaginosas nativas com potencial para a produção de biodiesel, como a: macaúba, o babaçu, o indaiá e o pinhão-manso (Figura 7).



Figura 7 - Plantio comercial de pinhão-mansô.

O Brasil ainda é um país dependente do mercado externo no que diz respeito ao consumo de óleo diesel. Por ano, o país importa 5,12% do total consumido, o equivalente a cerca de US\$ 891,2 milhões. Esse quadro deve mudar, o governo federal está investindo em pesquisas na área de energias alternativas e há uma determinação legal de que, até 2008, 2% de todo o óleo diesel do país seja acrescido desse combustível vegetal. Com isso, a estimativa do Ministério das Minas e Energia é que a importação caia, e assim, o país economize em torno de US\$ 348,3 milhões por ano. Outra boa notícia é que a produção brasileira do biodiesel já chegou a 1.118 milhões de litros por ano, valor superior aos 840 milhões de litros necessários para atender à determinação da lei referente aos 2%. (O biodiesel...)

#### LITERATURA CITADA

- COUTO, L. & MEDEIROS, A.G.B. Efeito do período de controle de convivência da braquiária no estabelecimento da cultura do eucalipto. In: Congresso Florestal Brasileiro. Anais... Curitiba: SBS/SBEF, 1993. 1:277-280.
- COUTO, L.; BINKLEY, D.; BETTERS, D.R. & MONIZ, C.V.D. Intercropping eucalypts with maize in Minas Gerais, Brazil. *Agroforestry Systems*, 26:147-156, 1994.
- COUTO, L.; DANIEL, O.; GARCIA, R.; BOWERS, W. & DUBÈ, F. Sistemas agroflorestais com eucaliptos no Brasil: uma visão geral. Viçosa, Sistema de Investigação Florestal, 1998. 49p.
- DUBÈ, F. Estudos técnicos e econômicos de sistemas agroflorestais com *Eucalyptus sp.* no Noroeste do Estado de Minas Gerais: O caso da Companhia Mineira de Metais. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 109p. Tese (Dissertação em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- GURGEL FILHO, O. A. Plantio de eucalipto consorciado com milho. *Silvicultura em São Paulo*, 1:85-102, 1962.
- MACEDO, R.L.G., Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais. Lavras, UFLA/FAEPE, 2000. 153p.

- MONIZ, C.V.D. Comportamento inicial de eucalipto (*Eucalyptus torelliana* F. MUELL), em plantio consorciado com milho (*Zea mays* L.) no Vale do Rio Doce, em Minas Gerais. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1987. 61p. Tese (Dissertação em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1987.
- NAIR, P.K.R. An introduction to agroforestry. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1996. 499p.
- OLIVEIRA, A.D. & MACEDO, R.L.G. Sistemas agroflorestais: considerações técnicas e econômicas. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1996. 255p. (Projeto de consultoria)
- O biodiesel brasileiro tem qualidade...disponível em <http://www.unb.br/acs/unbagencia/ag0306-81.htm>. Acesso em 08/06/06
- PASSOS, C.A.M.; FERNANDES, E.N. & COUTO, L. Plantio consorciado de *Eucalyptus grandis* com milho no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. In: Encontro Brasileiro de Economia e Planejamento Florestal. Anais... Colombo, EMBRAPA-CNPQ, 1992. 1:409-421.
- PASSOS, C.A.M.; COUTO, L.; GARCIA, R.; SILVA, E.; LEITE, H.G. & JUCKSCH, I. Avaliação da produtividade do consórcio de *Eucalyptus urophylla* com *Oriza sativa* na região de Divinópolis, MG. In: Simpósio Internacional sobre Ecossistemas Florestais. Resumos... Belo Horizonte: Biosfera, 1996. p.359-360.
- REIS, H.A. Ajuste de modelos de taper para predição dos comprimentos e das rentabilidades de toras de *Eucalyptus sp* implantados em regime de sistemas agroflorestais. Garça, MG: Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, 2004. Monografia (Engenharia Florestal) – Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, 2004.
- VILELA, H. Manejo de pastagens em Cerrado. In: Simpósio sobre Manejo de Pastagens. Anais.... Piracicaba, 1977. 1:284.



## Potencial de Uso de Zingiberales Ornamentais em Sistemas Agroflorestais

CARLOS EDUARDO FERREIRA DE CASTRO, ANDRÉ MAY & CHARLESTON GONÇALVES

### INTRODUÇÃO

A floricultura, que se refere no sentido amplo, como o cultivo e comercialização de flores e plantas ornamentais, nas mais variadas formas de apresentação e empregos, é uma das atividades agrícolas que, nos últimos 20 anos, registra os mais expressivos índices de crescimento econômico no Brasil.

A sua caracterização como atividade de importância sócio-econômica advém do início do século passado, com a implantação de cultivos comerciais no sudeste e sul do país, processo atribuído aos imigrantes de origem italiana, alemã e japonesa e, posteriormente, holandesa.

Atualmente, a floricultura brasileira, apresenta acentuado grau de regionalização, sendo praticada em muitos dos estados da federação, cada um explorando suas características edafoclimáticas e mercados peculiares, e diferenciando sua produção de acordo com a origem climática, temperado ou tropical.

Os principais estados produtores estão na região Sudeste e Sul. No Nordeste, são os Estados do Ceará, Pernambuco, Alagoas, Bahia e Rio Grande do Norte. Na região Norte, o Amazonas e o Pará e, no centro-oeste, Goiás.

No contexto da floricultura tropical grande destaque é dado para o cultivo de antúrios, palmeiras, filodendros, amarílis, orquídeas, bromélias e espécies da ordem Zingiberales.

A ordem Zingiberales é claramente delimitada e aceita como um grupo constituído por oito famílias: Zingiberaceae, Costaceae, Marantaceae, Cannaceae, Lowiaceae, Musaceae, Heliconiaceae e Strelitziaceae. Essas famílias incluem 89 gêneros e aproximadamente 1.800 espécies abundantemente encontradas nos trópicos úmidos e sazonalmente no trópico seco (Castro, 1995a).

As espécies da maioria dessas famílias vêm sendo cultivadas com fins comerciais no Brasil, com destaque as helicônias (*Heliconiaceae*), costus (*Costaceae*) e alpínia, gengibre ornamental e cúrcuma (*Zingiberaceae*), grupos que integram ou poderão integrar sistemas agroflorestais.

### HELICONIACEAE

As helicônias, plantas rizomatosas eretas, com folhas dísticas e inflorescências eretas ou pendentes, com brácteas dísticas espaçadas ou sobrepostas, são encontradas naturalmente nas regiões tropicais das Américas, exceto seis espécies e muitas variedades botânicas que ocorrem em ilhas tropicais do Pacífico. A sua distribuição se estende do Trópico de Câncer no México e Ilhas do Caribe ao Trópico de Capricórnio na América do Sul (Castro, 1995b).

Ocorrem em clareiras de florestas, florestas úmidas sombreadas, vales ou ao longo de margens de rodovias e margens de rios, do nível do mar até 2.000 m de altitude, nas Américas Central e do Sul e até 500 m de altitude nas ilhas do Pacífico Sul (Andersson, 1989).

Espécies botanicamente muito próximas, muitas vezes tem distribuição localizada e uniforme, ocorrendo em uma mesma área, mas freqüentemente diferindo com respeito as suas preferências por tipos de solo, luz ou altitude. Essas espécies que apresentam alto grau de endemismo são sujeitas a extinção caso ocorra à destruição de seus habitats naturais (Kress, 1984).

O número de espécies classificadas no gênero *Heliconia* é motivo de controvérsias entre diferentes autores. Existem 257 espécies registradas no *Index Kewensis* entre 1895 e 2000. Alguns autores aceitam cerca de 120 espécies (Andersson, 1989), enquanto para outros o número de espécies está entre 150 e 250 (Santos, 1978; Abalo & Morales, 1982 e 1983a b; Aristeguieta, 1961; Watson & Smith, 1979).

Com base nas descrições de espécies e em revisões do gênero, foram definidas como nativas do Brasil 34 espécies (Castro & Graziano, 1997), quais sejam *H. episcopalis*, *H. bibai*, *H. stricta*, *H. spathocircinata*, *H. lourteigiae*, *H. farinosa*, *H. kautzkeiana*, *H. rivularis*, *H. sampaioana*, *H. velloziana*, *H. chartaceae*, *H. juruana*, *H. pendula*, *H. acuminata*, *H. angusta*, *H. psittacorum*, *H. richardiana*, *H. aemygdiana*, *H. pseudoaemygdiana*, *H. densiflora*, *H. lasiorachis*, *H. mettalica*, *H. subulata*, *H. apparicioi*, *H. hirsuta*, *H. marginata*, *H. latispatha*, *H. × rauliniana*, *H. julianii*, *H. rostrata*, *H. standley*, *H. tenebrosa*, *H. timothei* e *H. velutina*.

Dentre as características morfológicas de maior interesse para os horticultores estão os hábitos vegetativos e o tamanho, a forma e a cor das inflorescências.

As heliconias são principalmente polinizadas por beija-flores (Stiles, 1975 e 1978) ou morcegos (Kress, 1985, 1986 e 1990), e secundariamente polinizadas por insetos e ácaros que habitam a inflorescência, sendo dispersos via beija-flores (Seifert, 1975 e 1982; Dobkin, 1984 e 1985).

Nos Estados Unidos, Costa Rica, Brasil, Colômbia, Venezuela e Austrália, as heliconias são cultivadas como plantas envasadas, para o uso como plantas de interior e em jardins e para a produção de flores de corte. O interesse em heliconias cresceu em face da constatação de que seu comércio como flores de corte representa uma importante fonte de divisas para os países produtores. Adicionalmente, Austrália, Tailândia, Malásia, Taiwan e Filipinas vêm expandindo seus cultivos para exportações para o Japão, bem como atenderem os seus próprios mercados.

As helicônias utilizadas como flores de corte se adaptam perfeitamente ao uso em vasos ou compondo arranjos florais. As brácteas que envolvem e protegem as flores são vistosas, apresentando normalmente intenso colorido, muitas vezes com cores contrastantes, característica que favorece a sua aceitação pelo consumidor. Inflorescências de *H. stricta* (cultivares Dwarf Jamaican e Sharonii), *H. bibai* (cultivares Lobester Claw, Nappi Yellow e Dwarf) *H. orthotricha* (cultivares Edge of Nite e She), *H. psittacorum* (cultivares Andrômeda, Sassy, St. Vincent Red e Tay), *H. angusta* (cultivares Holiday, Flava e Orange Christmans), *H. chartacea* (cultivar Sexy Pink), *H. rostrata*, *H. xanthovillosa*, *H. velerigera*, *H. wagneriana*, *H. angusta*, *H. collinsiana*, *H. velloziana* e os híbridos *H. X nickeriensis* e *H. psittacorum X H. spathocircinata* (cultivares Golden Torch e Red Torch) são atualmente as mais comercializadas no mercado internacional, com preços variando entre um e três dólares a inflorescência, conforme a espécie (Castro, 1995b).

No Brasil, são plantados mais intensamente cultivares de *H. bibai*, *H. psittacorum*, *H. wagneriana*, *H. angusta*, *H. collinsiana*, *H. rostrata*, *H. stricta* e os híbridos do grupo Torch. Entretanto, as espécies em cultivo variam conforme a região do país.

Embora dados sobre as áreas de produção de helicônias no Brasil não tenham sido levantados, as helicônias vêm sendo cultivadas nos Estados de Pernambuco, Alagoas, Ceará, Pará, Bahia, Amazonas, Rio de Janeiro, São Paulo, Rio Grande do Norte, Sergipe, Goiás e Santa Catarina. No Estado de São Paulo, a maioria das áreas de produção encontra-se em pequenas propriedades, não ultrapassando de 24 ha a área total.

Observa-se uma considerável variação na produção de flores de ano para ano em diferentes espécies de helicônias cultivadas para flor de corte. Acredita-se que o florescimento seja dependente de fatores como a luz disponível e a estação seca versus a estação úmida (Seifert, 1975; Stiles, 1975 e 1978; Dobkin, 1984) como também pela umidade do solo, do ar, a temperatura e o vigor das plantas.

O período de florescimento varia de espécie para espécie e é afetado pelas condições edafoclimáticas. Existem espécies que florescem todo o ano, outras o fazem uma ou duas vezes, com períodos longos

e curtos de florescimento. O pico de produção, normalmente, ocorre no início do verão e declina no outono, e a floração cessa no inverno (Criley, 1990). A luz, o fotoperíodo e a temperatura afetam o florescimento.

Acompanhando cultivos de 30 espécies foi verificado que as *H. angusta* var. *aurorea*, *H. angusta* var. *flava*, *H. angust* 'Holiday', *H. marginata*, *H. rivularis*, *H. subulata* e *H. metallica* floresceram sazonalmente, concentrando-se a florada em períodos inferiores a 60 dias. A *H. chartaceae*, *H. episcopalis*, *H. latipatha*, *H. lingulata*, *H. pseudoaemygdiana*, *H. spathocircinada* e *H. wagneriana* tiveram o florescimento distribuído pelos meses do verão e início do outono, ocupando, portanto, um intervalo de 90 a 120 dias. Outras espécies como *H. bibai*, *H. stricta*, *H. aurea*, *H. bourgaeana*, *H. caribaea*, *H. collinsiana* e *H. psittacorum* ultrapassaram períodos de 120 dias, não raras vezes, distribuindo-se por todo o ano, embora tenha sido verificada uma pequena redução durante o inverno.

As heliconias podem ser propagadas através de sementes ou vegetativamente por divisão de touceiras, segmentos de rizoma ou micropropagação.

As espécies de helicônia, em sua maioria, são altamente tolerantes a diferentes tipos de solo. A produção comercial tem sido bem sucedida em várias classes de solos (Criley, 1989). Embora solos ácidos sejam preferidos, solos levemente alcalinos têm também sido usados com sucesso para muitas espécies. Para o cultivo recomenda-se calagem e adubação, principalmente de nitrogênio de fonte mineral ou orgânica.

O estresse hídrico é frequentemente um fator limitante na produção e na qualidade de flores, bem como o período de vida de vaso de flores cortadas decresce por inadequada irrigação durante a fase de produção. O estresse hídrico é evidenciado em *H. psittacorum* por um enrolamento longitudinal da folhagem.

Normalmente, as espécies de helicônias não têm apresentado graves infestações de doenças fúngicas ou bacterianas, principalmente quando estão bem nutridas.

Os fungos mais problemáticos são a *Phytophthora* e o *Phytium*. Esses dois fungos costumam aparecer em plantas cultivadas em solos mal drenados. (Berry & Kress, 1991).

Segundo Criley & Broschat (1992), as principais doenças que infestam plantas de helicônias são aquelas que atacam raízes: *Cylindrocladium* sp. Morgan, *Phytium splendens* H. Braun e *Rhizoctonia solani* Kuhn. As folhas são atacadas por *Cercospora* sp. Fres., *Curvularia* sp. Boedijn, *Helminthosporium* sp Link ex Fr., *Phomopsis* sp Sacc. e *Mycosphaerella* sp Johanson. A bactéria *Pseudomonas solanacearum* também tem infestado plantas em algumas partes do mundo. Além disso, a virose 'Cucumber Mosaic Vírus' foi reportada em *H. psittacorum*, mas os sintomas assemelham-se com plantas estressadas. O vírus tem uma larga faixa de hospedeiros (mais de 100 espécies vegetais) e é transmitido por inoculação mecânica e pelo inseto - vetor afídeo (pulgão) (Nagai, 1984).

As helicônias são espécies normalmente livres de pragas, mas as plantas podem ser atacadas por afídeos, besouros e tripes (Criley & Broschat, 1992).

Segundo Criley & Broschat (1992) a presença de insetos nas inflorescências pode causar problemas na comercialização.

O uso como flor de corte depende mais da coloração da bráctea da inflorescência que da cor das brácteas florais e perianto, os quais são usualmente de brancos a verdes e a amarelo ou, ocasionalmente, a laranja. As helicônias dos trópicos do velho mundo têm quase que exclusivamente brácteas verdes e periantos brancos ou verdes.

As flores de heliconia são normalmente colhidas quando cerca de dois terços de suas brácteas estão abertos, embora *H. psittacorum* seja algumas vezes cortada com somente uma ou duas brácteas abertas. As brácteas não continuam a abrir depois da colheita, mesmo que uma solução de abertura floral contendo sacarose seja usada (Criley & Broschat, 1992). Entretanto, foi comprovado que tratamentos de indução à abertura floral com sacarose 20% e ácido cítrico 200 mg L<sup>-1</sup> proporcionaram o pleno desenvolvimento de inflorescências de *H. angusta* cv. *aurorea* colhidas no estágio de botão, ou seja, com apenas duas brácteas basais expandidas (Castro, 1993) As heliconias são colhidas pelo corte dos pseudocaulis floridos no nível do solo.

Os pseudocaulis já floridos devem ser cortados próximos ao nível do solo. Esse procedimento permite que novos pseudocaulis surjam rapidamente, representando nova florada nove a dez semanas após (Broschat et al., 1994).

A seleção de helicônias a serem utilizadas como flores de corte deve recair preferencialmente em

espécies com inflorescências pequenas, leves, eretas, de grande durabilidade pós-colheita e com hastes de menor diâmetro, embora espécies com inflorescências pêndulas também apresentem um grande valor de mercado (Watson & Smith, 1979). Essas e outras características, têm grande importância no tocante ao manuseio, adequação e facilidade de embalagem e transporte.

São consideradas pouco adequadas ao uso com flores de corte as *H. collinsiana*, *H. pseudoamygdiana*, *H. spathocircinada*, *H. marginata*, *H. lingulata*, *H. metallica*, *H. rivularis*, *H. subulata* ssp. *subulata* e *H. pendula* e moderadamente adequadas as *H. hirsuta*, *H. bourgaeana*, *H. foreroi*, *H. X rauliniana*, *H. angusta* var. *flava*, *H. caribaea*, *H. chartaceae*, *H. latispatha*, *H. angusta* 'Holiday', *H. episcopalis*, *H. rostrata*, *H. aurea*, *H. sampaioana*, *H. librata* e *H. velloziana*. São muito adequadas as *H. orthotricha*, *H. bibai* e *H. stricta*, *H. psittacorum*, *H. aurea* e *H. wagneriana*. (Castro, 1993).

A vida pós-colheita de flores de corte de heliconia varia consideravelmente entre espécies e cultivares dentro das espécies. Para cultivares de *H. psittacorum* é de 14 a 17 dias, mas flores de outras espécies freqüentemente duram menos que uma semana. Ela é dependente do ponto de colheita, da absorção de água pela haste, da atividade respiratória e das condições de conservação.

A relativa curta vida de vaso anotada para um número de espécies é sugerida como o resultado de insuficiente absorção de água pela inflorescência. A senescência da inflorescência é caracterizada por uma ou mais das seguintes características: necrose do ápice da bráctea, esmaecimento da cor da bráctea, murcha da bráctea ou raque, ou abscisão da flor. A senescência é retardada mantendo-se as flores de 15°C a 18°C.

### COSTACEAE

No caso de espécies de Costaceae, que inclui os gêneros *Monocostus*, *Dimerocostus* e *Costus* tem-se verificado sua presença no comércio, tanto na forma de plantas envasadas para decoração de interiores ou mudas para emprego em jardins, quanto flores de corte, utilizando-se suas inflorescências em arranjos florais. Desses gêneros, sem dúvida, o que atualmente tem maior importância comercial é o *Costus*.

Esse gênero é composto por plantas herbáceas acaulescentes, baixas, altas ou gigantescas, ocasionalmente ramificadas. Suas folhas são distribuídas em arranjos espirais ao redor do caule, sendo cuneadas, arredondadas ou ocasionalmente cordadas na base e curtamente ou longo-acuminadas no ápice. Tem lígulas curtas ou longas, e, truncadas ou bi-lobadas. As inflorescências são estrobiláceas a capitadas, terminais em uma haste enfolhada ou em uma haste separada, curta, sem folhas. As brácteas são verdes, amarelas, ou alaranjadas a avermelhadas, coriáceas imbricadas, estreita a amplamente ovado-triangular, freqüentemente providas com apêndices foliáceos de cor vermelha ou verde. Tem bractéolas fundidas ou tubulares. O cálice é pequeno a grande, trilobado, raramente excedendo as brácteas. A corola pode apresentar as seguintes colorações: branca, amarela, alaranjada ou vermelha. O labelo é pequeno ou grande, de cor branca, amarela ou alaranjada a vermelha, com os lobos laterais em espécies com flores grandes, freqüentemente com venação avermelhada; a porção basal do labelo é papilado em quase todas as espécies. O estame é petalóide, elíptico, apresentando a antera unida no meio e raramente na base; a porção basal do estame e o labelo se unem em um tubo papilado, fino, curto ou longo. Os grãos de pólen são grandes, pantoporados, com exina fina ou espessa e com poros que variam em número e diâmetro de médio a grande.. O estigma é bilamelado ou em forma de copo. O ovário é trilobular, de cor branca. A cápsula é trilobular, elipsóide a globosa, deiscente loculicidamente, ou quebrando-se irregularmente com a idade. As espécies de *Costus* têm sementes pretas ou marrons brilhantes, com grande arilo, lacerado, raramente curto e semelhante a uma almofada (*C. speciosus*). Todas as sementes de um lóculo freqüentemente são presas por seus arilos na deiscência.

Na maioria das publicações que tratam de *Costus*, como monografias e Floras Nacionais, têm sido descritas cerca de 200 possíveis espécies (Maas, 1972, 1976, 1990 e 1997; Koechlin, 1964 e 1965). Muita das espécies descritas são sinónimas, por não existir uma revisão normativa sobre o gênero. Maas (1976) sugere ser o gênero composto por cerca de 80 espécies, das quais 50 tem origem neotropical, 25 são ocorrentes na África tropical e cinco na Ásia tropical. Não existem espécies de ocorrência simultânea na Ásia, África e Américas.

Com relação às espécies neotropicais, as revisões de Maas (1972 e 1976) e seus trabalhos comple-

mentares (1990 e 1997), permitem relacionar com boa precisão, as espécies que ocorrem na América tropical bem como as suas sinonímias. O mesmo contudo, não é possível para as espécies africanas e asiáticas, pois as publicações sobre o assunto carecem de aprofundamento taxonômico e de abrangência continental.

Em todas Costoideae, exceto em *Monocostus*, a inflorescência é terminal, tanto em uma haste enfolhada, ou menos frequentemente em distintas hastes sem folhas. Em algumas espécies ambas as condições com todas as transições podem ser encontradas. A inflorescência geralmente é uma espiga ovóide ou cilíndrica (como uma cabeça), o eixo principal sendo coberto por brácteas densamente imbricadas as quais são arrançadas em muitas series. Se as brácteas encerram o eixo inteiro, como em *Dimerocostus strobilaceus* subsp *strobilaceus*, continua o arranjo espiralado das folhas; se ao eixo é somente parcialmente envolvido, as espirais das brácteas são um pouco embebidas. A inflorescência grandemente avoluma-se na frutificação muitas vezes alongando-se a 30 cm em *Costus*.

As brácteas subtendem uma flor nos *Costus* do Novo Mundo; em algumas espécies africanas de *Costus*, entretanto, elas subtendem duas flores.

A cor das partes expostas das brácteas pode ser: verde a amarelo (*Costus* subgen *Caldavena*); verde, amarelo, laranja ou vermelho (*Costus* subgen *Costus*); verde (*Dimerocostus*).

A forma também é variada: em *Costus* subgen *Caldavena* as brácteas são estreitamente ovado-triangu-lares e em *Costus* subgen *Costus* e em *Dimerocostus* elas são amplamente ovado-triangu-lares.

O mapa de distribuição do gênero *Costus* mostra claramente dois centros de concentração de espécies. O centro primário está na Costa Rica, Panamá, parte oeste da Colômbia,, Andes venezuelanos e equadoriano. Um centro secundário ocorre nas Guianas e na região amazônica do Pará, no Brasil.

Quase todos *Costus* requerem um habitat úmido e mais ou menos sombreado. Eles são, portanto, fundamentalmente encontrados nas florestas úmidas, no interior sombreado, ou frequentemente em clareiras. Eles são confinados em matas típicas de florestas úmidas de terras baixas, florestas úmidas de montanhas, e periodicamente em florestas de várzeas inundadas. Poucas espécies preferem florestas com pântanos com água fresca (*C. arabicus*). Algumas espécies são confinadas em bancos de areia de rios e riachos onde ocorrem associados a outras Scitamináceas . Somente poucas espécies são confinadas a florestas de savanas, como o *C. spiralis* var. *spiralis*. Uma espécie é conhecida por ocorrer nos campos cerrados do centro e oeste do Brasil, o *C. warmingii*. Essa espécie tem tubérculos espessos terminando as raízes para armazenamento de água. Muitas espécies são encontradas em vegetações secundárias como áreas de cultivo, laterais de rodovias e florestas secundárias.

Todos *Costus* do Novo Mundo são terrestres (algumas espécies africanas de *Costus*, em contraste, são epífitas). Elas ocorrem principalmente em solos arenosos ou argilosos, com a maioria das espécies preferindo areias escuras e poucas em areias brancas (*C. spiralis* var. *spiralis*). Espécies como *C. claviger* e *C. spiralis* var. *villosus* preferem um substrato granítico.

A faixa de altitude de Costoideae se estende do nível do mar à cerca de 2.000 m de altitude. A maioria das espécies é encontrada em altitudes de 1.000 m; somente algumas ocorrem em altitudes mais elevadas como é o caso do *C. montanus*, na costa Rica, e do *C. argenteus*, na Bolívia.

As espécies nativas do Brasil são: *Costus acreanus* (Loesener) Maas, *Costus amazonicus* (Loesener) Macbride); *Costus arabicus* L.; *Costus claviger* R. Benoist, *Costus congestiflorus* L. C. Richard ex Gagnepain, *Costus cuspidatus* (Nees & Martius) Maas; *Costus erythrophyllus* Loesener, *Costus fragilis* Maas, *Costus fusiformis* Maas, *Costus guanaiensis* Rusby, *Costus lanceolatus* O. G. Petersen, *Costus lasius* Loesener, *Costus productus* Maas, *Costus scaber* Ruiz & Pavón, *Costus spiralis* (Jacquin) Roscoe, *Costus sprucei* Maas, *Costus subsessilis* (Nees & Martius) Maas e *Costus varzeanum* Maas

## ZINGIBERACEAS

### Alpínias

O gênero *Alpinia* Roxb. reúne mais de 200 espécies, amplamente distribuídas em regiões úmidas, com altitudes entre 100 e 2.000 m acima do nível do mar, na Indo-Malásia, Ilhas Molucas, sudoeste da Ásia, China e Japão. O nome alpínia decorre de uma homenagem prestada a Próspero Alpino, botânico italiano (1553-1616).

O gênero é composto por plantas herbáceas, multiramificadas formando touceiras, com normal-

mente 2,0 m a 4,0 m de altura, mas com algumas espécies atingindo até 12,0 m. A inflorescência pode ser compacta, um rácemo ou uma panícula frouxa, normalmente terminal em um ramo vigoroso, ocasionalmente radial e, às vezes, com brácteas estéreis na base. As brácteas férteis abrigam um cincino de duas a muitas flores. As bracteolas são tubulares ou não, ou ausentes. O cálice tubular é unilateralmente dividido, com labelo frequentemente vistoso, ou pequeno e inconspícuo. Os estaminóides laterais estão presentes com pequenos dentes subulados ou ausentes. A antera é subséssil ou com um filamento bem desenvolvido conectivo não prolongado até uma crista conspícua. A cápsula é esférica, raramente alongada.

As principais espécies do gênero são *Alpinia abundiflora* Burt & Smith, *Alpinia fax* Burt & Smith, *Alpinia rufescens* (Thw.) Schum., *Alpinia nigra* (Gaertn.) Burt., *Alpinia galanga* (L.) Sw., *Alpinia calcarata* Roscoe, *Alpinia malaccensis* (Burm. f.) Roscoe, *Alpinia zerumbet* e *Alpinia purpurata* (Vieill. Schum.). As oito primeiras espécies são empregadas como plantas de jardim.

A *Alpinia purpurata*, alpinia vermelha, gengibre vermelho ou panamá, conforme as denominações populares, é uma das plantas tropicais mais conhecidas devido tanto ao seu uso em jardim, em touceiras individuais, formando maciços florais ou por seu cultivo, que vem se tornando intensivo visando a comercialização de suas inflorescências quanto flor de corte. Entre os indicadores que definem o seu potencial como flor de corte se destacam o seu florescimento sucessivo, que ocorre o ano todo, e suas características de pós-colheita ideais, como a longevidade de até 14 dias (Broschat, 1988).

Essa espécie é nativa da Melanésia e Ilhas Molucas. De acordo com Clay & Hubbard (1987) é uma planta herbácea, perene, que pode atingir até 4,0 m de altura. Suas hastes vegetativas provêm de rizomas subterrâneos, cujas folhas são largas, lanceoladas e dispostas ao longo dos ramos aéreos.

As inflorescências são terminais e consistem de brácteas vermelhas brilhantes, rosadas ou até quase brancas que protegem as flores, que são pequenas e inconspícuas, de coloração branca. São emitidas desde a primavera até o final do outono, muitas vezes alcançando o inverno. A florada principal ocorre entre novembro e março, mas pode ser antecipada ou retardada, conforme as condições climáticas regionais.

As hastes florais mais velhas senescem após o florescimento. Novas plantas, que apresentam fácil emissão de raízes, brotam em grande número nas axilas das brácteas das inflorescências já senescentes, no processo denominado epistasia. Estas apresentam uma rápida taxa de crescimento e fácil pegamento depois da separação da planta matriz e plantio.

As principais variedades em cultivo são Red Ginger, Rose Ginger, Eileen McDonald, Tahitian Ginger, Jungle King e Jungle Queen. Esta última apresenta características idênticas da espécie de origem, exceção as suas brácteas de coloração rosa claro.

As alpinias devem ser cultivadas preferencialmente a pleno sol, em locais com solos que se mantenham úmidos, mas bem drenados. A faixa de temperatura de cultivo adequada esta situada entre 21°C e 35°C (diurna), com desenvolvimento mais rápido e maior produção ao redor de 28-30°C. Temperaturas noturnas inferiores a 18°C são prejudiciais ao desenvolvimento das plantas. Abaixo de 10°C, o crescimento cessa. Devem ser evitados locais onde existam variações entre as temperaturas noturnas e diurnas superiores a 10°C.

Em algumas condições de elevada temperatura e insolação, as brácteas das alpinias podem apresentar escurecimento decorrente de queimaduras. Nessas condições recomenda-se obrigatoriamente o sombreamento leve da cultura, buscando principalmente filtrar os raios solares. A umidade relativa ótima situa-se entre 60% e 80%.

As alpinias apresentam um adequado desenvolvimento em solos profundos, ricos em matéria orgânica e com boa drenagem. Crescem e florescem adequadamente tanto em solos ácidos quanto naqueles levemente alcalinos, com faixa de pH adequada situada entre 4,5 e 6,5.

A irrigação deve ser abundante, principalmente após a emissão das folhas para manter a umidade do solo.

O método mais empregado para a propagação da alpinia é a divisão de rizomas.

Como vantagem da propagação por divisão de rizoma, Broschat (1988) salienta que plantas de *Alpinia purpurata* obtidas pela separação de matrizes adultas produzem normalmente poucas hastes, mas estas apresentam um grande diâmetro e elevado peso, sendo capazes de produzirem precocemente inflorescências com características comerciais.

Outro método freqüentemente utilizado é o de mudas produzidas nas axilas das brácteas de

inflorescências senescentes. Contudo, a alpínia propagada por este método requer de dois a três anos para produzir flores com tamanho e qualidade comercial.

Além desses métodos, podem ser utilizadas mudas micropropagadas ou provenientes de sementes.

As principais pragas em alpínias são os ácaros, os nematóides, formigas e pulgões.

Como doenças destacam-se as podridões de raízes e rizomas que só ocorrem quando os cultivos são instalados em locais de drenagem inadequada.

Dependendo do tipo de muda utilizado o florescimento comercial ocorre entre um ano e meio a três anos após plantio quando as plantas atingem um desenvolvimento satisfatório. Cada touceira produz em média 30 inflorescências distribuídas no período compreendido entre primavera e outono. Algumas vezes o florescimento pode se estender ao inverno, mas o pico da produção ocorre no verão.

As inflorescências são colhidas, preferencialmente no período matutino, quando o terço inferior das brácteas já se encontra totalmente expandido e as hastes florais apresentem um comprimento mínimo de 40 cm. As alpínias são muito sensíveis ao corte sob o sol forte, o que acarreta murcha da inflorescência. Por isso, é recomendada a colheita nos horários de baixa temperatura e o rápido resfriamento.

As folhas devem ser eliminadas, mantendo apenas uma ou duas folhas mais próximas da inflorescência para proteção durante o transporte. As inflorescências devem ser examinadas com cuidado para a remoção de formigas, insetos e sujeiras das brácteas, principalmente em períodos de chuva.

Recomenda-se após a colheita o tratamento das hastes florais com soluções conservantes. Quando adequadamente manuseadas e preparadas, as inflorescências apresentam uma durabilidade de 20 dias aproximadamente.

A temperatura de armazenamento e transporte não deve ser inferior a 15°C. Quando ocorrem exposições a baixas temperaturas as inflorescências apresentam murchamento precoce e escurecimento das brácteas.

No mercado internacional, a dúzia de inflorescências de alpínia é comercializada entre 8 a 12 dólares mantendo-se nesse patamar o ano todo em função da oferta ainda ser insuficiente para o abastecimento do mercado.

Existe uma significativa e crescente produção comercial nos Estados Unidos, em países da América Central como Costa Rica e Jamaica, e no Brasil, sobretudo nos estados de Pernambuco, Alagoas, Ceará e Santa Catarina.

### GENGIBRES ORNAMENTAIS

*Zingiber*, o gênero tipo da família Zingiberaceae, forma um importante grupo da ordem Zingiberales. O nome gengibre normalmente se refere ao gengibre condimentar, o *Zingiber officinale*. Gengibre, entretanto, é também um termo comum para outros componentes da família Zingiberaceae, que inclui cerca de 150 espécies de *Zingiber* silvestres ou cultivadas como planta ornamental, aromática ou medicinal.

As espécies com valor ornamental, apresentam, de um modo geral, desenvolvimento vigoroso, inflorescências de grande durabilidade e freqüentemente brácteas com colorido brilhante, sendo portanto amplamente utilizadas como flores de corte em arranjos florais. A gradual mudança da coloração das brácteas das inflorescências, em algumas espécies, passando do verde ao amarelo e então a vários tons do vermelho e, finalmente, ao vermelho intenso, agregam um valor de interesse adicional as plantas.

Algumas das espécies são consideradas excelentes plantas para jardins devido a arquitetura da planta e características das folhas. As folhas, dependendo da espécie, exibem tons de verde claro ao escuro, variação de amarelo e branco, ou púrpura intensa na face inferior.

Os gengibres são plantas herbáceas, perenes, em geral de tamanho médio, com rizomas vigorosos. A maioria das espécies produz a inflorescência em uma haste separada que emerge diretamente do rizoma, no ápice de um pedúnculo de tamanho variável, de 0,15 m a 1,00 m, mas raramente maior que 0,80 m. Em algumas poucas espécies (*Z. capitatum* e *Z. niveum*), as inflorescências se desenvolvem no ápice de uma haste frondosa.

A inflorescência possui um certo número de brácteas intensamente sobrepostas, cada uma conten-

do uma flor simples. As flores são peculiares no fato que os estaminódios laterais são fundidos com o labelo, enquanto em outros gêneros da família Zingiberaceae estes órgãos são livres, altamente reduzidos, ou ausentes. A antera é única por ter um ápice curvado ou um apêndice na forma de um chifre.

Embora as inflorescências sejam muito longevas, podendo permanecer na planta em média por 90 dias, a duração das flores verdadeiras é muito curta, um a dois dias, diferindo de uma espécie para outra, mas sendo constante em cada espécie. No *Z. zerumbet*, as flores podem se abrir durante todo o transcorrer do dia em uma mesma inflorescência. Nas demais espécies, a abertura ocorre preferencialmente no período matutino.

As flores são normalmente de polinização cruzada. A polinização nas espécies de *Zingiber* é relativamente simples devido a estrutura da antera especialmente modificada e a natureza dos estaminódios. A polinização é feita por abelhas.

As principais espécies com uso ornamental são: *Z. amaricanus* Bl.; *Z. aromaticum* Val.; *Z. argenteum* J. Mood e I. Theilade; *Z. bradleyanum* Craib.; *Z. chrysanthum* Rosc.; *Z. citriodorum* J. Mood & I. Theilade; *Z. clarkii* King ex Benth.; *Z. collinsii* J. Mood & I. Theilade; *Z. corallinum* Hance; *Z. eborium* J. Mood & I. Theilade; *Z. griffithii* Baker; *Z. gramineum* Noronha; *Z. junceum* Gagnepain; *Z. lambi* J. Mood & I. Theilade; *Z. longipedunculatum* Ridley; *Z. malaysianum* C. K. Lim; *Zingiber mioga* Roscoe.; *Zingiber montanum* (Koenig) Link ex Dietr.; *Z. neglectum* Valet.; *Z. niveum* J. Mood & I. Theilade; *Z. ottensii* Valet.; *Z. pachysiphon* B. L. Burt & R. M. Sm.; *Z. rubens* Roxb, *Z. spectabile* Griff, *Z. vinosum* J. Mood & I. Theilade, *Zingiber zerumbet* (L.) Smith.

Do *Z. spectabile* são conhecidas duas variedades: uma, que tem brácteas vermelhas, a “Chocolate”, e outra, com brácteas amarelas douradas, a “Champagne”. Essa última, é comercializada como gengibre dourado xampu. Ambas são utilizadas como plantas de vaso ou para a produção de flores de corte.

Algumas variedades variegadas do *Z. zerumbet* são também utilizadas em jardins. A variedade Darceyi é muito popular. É algumas vezes incorretamente denominada *Z. darceyi* ou *Zingiber d'Arceyi* e tem folhagem variegada verde - branco cremoso, e cresce somente cerca de 1,20 m de altura. Responde bem a locais levemente sombreados. Em pleno sol sem manutenção cresce até 0,40 m e de 1,0 m a 1,2 m em sombra, com manutenção, ou seja, fornecendo adequadas condições de cultivo (irrigação e nutrição). A inflorescência é verde e a flor é branca amarelada.

Outra variedade, chamada Twice as Nice, produz tanto inflorescências basais como ocasionalmente espigas terminais em plantas muito compactas.

Tem-se ainda a cultivar Dwarf Waimanalo Pinstripshell com 0,60 m a 1,20 m de altura. Esta cultivar apresenta listas brancas nas folhas verdes, muito resistentes, constituindo um excelente material para arranjos florais.

O gengibre ornamental é uma planta de fácil adaptação, mas que melhor se desenvolve em ambientes protegidos de ventos. As plantas se desenvolvem bem a pleno sol ou em locais levemente sombreados. Em ambientes muito sombreado as plantas têm o florescimento retardado, além da redução do número total de flores produzidas. A pleno sol sempre é necessária a manutenção da umidade do solo e ambiente para evitar queimaduras nas folhas e inflorescências.

A faixa de temperatura adequada está situada entre 22°C e 28°C. Temperaturas inferiores a 15°C são prejudiciais ao desenvolvimento das plantas, pois ocorre a diminuição do crescimento vegetativo e pode atrasar o florescimento. Também pode ocorrer o distúrbio fisiológico pelo frio, quando as temperaturas são menores que 13°C. Nesse caso, o desenvolvimento da planta cessa completamente e a folhagem pode apresentar amarelecimento pontual ou localizado.

Os gengibres apresentam um melhor desenvolvimento em solos ricos em matéria orgânica e bem drenados. Crescem e florescem adequadamente tanto em solos ácidos quanto naqueles levemente alcalinos. São plantas altamente exigentes em água, devendo manter o solo sempre úmido, situação em que as plantas vegetam e florescem adequadamente. Em condições de solos mais secos, o comprimento do pedúnculo da haste floral é reduzido.

O método mais utilizado consiste na divisão de rizoma com 6,0 a 12,0 cm de comprimento. Outro método muito utilizado é a estaquia. Além desses métodos, podem ser utilizadas mudas micropropagadas ou provenientes de sementes, estas mais raras em nossas condições.

O plantio deve ser efetuado no início da primavera, em solo preparado e após a calagem. Planta-se uma muda por cova, no espaçamento adequado à espécie, irrigando-se adequadamente para assegurar o rápido desenvolvimento da muda.

As principais pragas que incidem em gengibres são os ácaros, os nematóides, formigas e pulgões. Como doenças destacam-se as podridões de raízes e rizomas que só ocorrem quando os cultivos são instalados em locais de drenagem inadequada.

Dependendo do tipo de muda utilizado, o florescimento comercial ocorre um ano e meio a três anos após o plantio quando as plantas atingem um desenvolvimento satisfatório, ou seja, quando as plantas apresentam de cinco a oito folhas bem expandidas. O número de hastes florais produzidas por ciclo é variável para cada espécie. O *Z. spectabile* em condições ideais produz em média 15 inflorescências por touceira no período compreendido entre primavera e final de verão. Algumas vezes o florescimento pode se estender a meados do outono, mas o pico da produção ocorre no verão.

Embora a colheita ocorra também em estádios de desenvolvimento das inflorescências mais precoces, estas devem ser colhidas quando o terço inferior das brácteas apresenta mudança de coloração (do amarelo para o vermelho). Recomenda-se que as hastes florais apresentem um comprimento mínimo de 40,0 cm.

As inflorescências devem ser túrgidas, sem manchas ou sintomas de queimaduras pelo sol, limpas e sem danos mecânicos.

O gengibre ornamental é bem aceito nos mercados nacional e internacional apresentando uma crescente demanda. A época de maior oferta das inflorescências está situada entre outubro e fevereiro. No Brasil, ele é produzido principalmente nos estados das regiões nordeste, norte e sudeste.

### CURCUMA

As espécies do gênero *Curcuma* L. são conhecidas pela sua utilização como alimento, planta têxtil, medicinal, aromática ou ornamental. Como planta ornamental podem ser utilizadas como flor de corte, florífera envasada (Kuehny, 2001) e no paisagismo (Criley, 1999).

O mercado internacional para as cúrcumas ornamentais tem apresentado crescimento significativo anualmente (Sarmiento & Kuehny, 2003).

O gênero apresenta cerca de 70 espécies, com ampla variação morfológica entre elas. Ocorre nas zonas tropicais e subtropicais, com distribuição geográfica desde a Índia até a Tailândia, Indochina, Malásia, Indonésia e Norte da Austrália (Apavatjirut et al., 1999).

As plantas são herbáceas rizomatosas, perenes, com altura desde 30 cm até 2,2 m. A inflorescência é compacta, do tipo espiga com duas a dez flores protegidas por brácteas basais, geralmente de coloração verde. As brácteas da porção superior da inflorescência são normalmente mais longas que as inferiores e diferem na coloração geralmente rósea-lilás, branca, laranja ou vermelha, podendo ser estéreis.

Várias espécies vêm sendo cultivadas para a produção de flores cortadas e envasadas, destacando-se dentre elas a *C. alismatifolia* Gagnep. Outras espécies cultivadas para esses propósitos são: *C. amada* Roxb., *C. australasica* Hook.f.; *C. domestica* Valetton; *C. elata* Roxb.; *C. ferruginea* Roxb.; *C. gracillima* Gagnep.; *C. ornata* Wall. ex Voigt; *C. parviflora* Wall.; *C. petiolata* Roxb.; *C. roscoeana* Wall., *C. sumatrana* Miq., *C. thorelli* Gaenep. e *C. zedoaria* Roscoe (Pinto & Graziano, 2003). A origem e as principais características dessas espécies são mostradas na tabela 1.

Tabela 1 – Espécies e algumas características de curcuma

Espécie	Origem	Cor da inflorescência	Altura (cm)
<i>C. alismatifolia</i>	Tailândia e Camboja	Rósea-lilás, branca ou vermelha	40-60
<i>C. amada</i>	Bengala	rósea	
<i>C. australasica</i>	Austrália	Rosa escuro	
<i>C. domestica</i>	Índia	Branco-esverdeado	40-80
<i>C. elata</i>	Ásia	rósea	
<i>C. ferruginea</i>	Ásia	Com listas marrons e bronze	
<i>C. gracillima</i>	Tailândia	Róscas com listas vermelho-castanhas	30-40
<i>C. ornata</i>	Ásia	róseas	
<i>C. parviflora</i>	Ásia	Branco-róseo	25

Espécie	Origem	Cor da inflorescência	Altura (cm)
<i>C. petiolata</i>	Tailândia	Róseo-alaranjadas	
<i>C. roscoeana</i>	Burma	alaranjadas	30-60
<i>C. sumatrana</i>	Sumatra	magenta	
<i>C. thorelli</i>	Ásia	branca	20
<i>C. zedoaria</i>	Índia	Branco-arroxeadas	

1500 m e a temperatura de 20°C a 30°C, precipitação mínima de 1.500 mm por ciclo, o qual pode variar de sete a nove meses. O cultivo, conforme a espécie é praticado desde ao pleno sol até em locais levemente sombreados.

A propagação é realizada normalmente pela divisão de rizomas, micropropagação e algumas vezes através de sementes.

Os principais cultivares da *C. alismatifolia* disponíveis no mercado são ‘Chiang Mai Pink’, ‘Red’ e ‘White’, para corte e ‘Thai’ e ‘Thai Beauty’ para vaso.

A planta de cúrcuma é bastante resistente ao ataque de pragas e doenças. Em condições normais de cultivo, não é feita nenhuma aplicação de defensivos agrícolas, pois é bastante raro o aparecimento de qualquer problema relacionado ao ataque de patógenos.

Cultivada no Brasil, a *C. longa* L. apresenta propriedades corantes, antioxidante, medicinal e repelente (May & Cecilio Filho, 2005).

### CONCLUSÃO

Os vários gêneros que integram as famílias incluídas na Ordem Zingiberales apresentam inúmeras características favoráveis para se constituírem em cultivos de expressão sócio-econômica. São inúmeras as espécies nativas de áreas de florestas em nosso país, bem como aquelas que, face as suas exigências edafoclimáticas apresentam fácil adaptação aos vários microclimas brasileiros. Sem dúvida, o conhecimento dessas espécies e a definição de condições adequadas de cultivo, devem ser etapas a serem superadas pela pesquisa e desenvolvimento, no sentido de se estabelecer as bases técnicas de empreendimentos bem sucedidos. Destaca-se, pela sua origem, rusticidade e diversidade genética, o potencial de uso dessas espécies em sistemas agroflorestais.

### LITERATURA CITADA

- ABALO, J.E. & MORALES, L.G. Doce (12) heliconias nuevas del Ecuador. *Phytologia*, 52:387-433, 1983a.
- ABALO, J.E. & MORALES, L.G. Diez (10) heliconias nuevas de Colômbia. *Phytologia*, 54:411-433, 1983b.
- ABALO, J.E. & MORALES, L.G. Veinticinco (25) heliconias nuevas de Colômbia. *Phytologia*, 51:1-61, 1982.
- ANDERSSON, L. An evolutionary scenario for the genus *Heliconia*. In: HOLM-NIELSEN, L.B.; NIELSEN, I.C. & BALSLEV, H., eds. Tropical foresta, botanical dynamics, speciation and diversity, 1989. p.173-184.
- APAVATJRUT, P.; NUNTALABROCHAI, S.; SIRIKUGSAS, P. & ALISI, C. Molecular markers in the identification of some early flowering *Curcuma* L. (Zingiberaceae) species. *Annals of Botany*, 84:529-534, 1999.
- ARISTEGUIETA, L. El genero *Heliconia* en Venezuela. Instituto Botânico. Dirección de Recursos Naturales Renovables. Ministerio de Agricultura y Cria, Caracas, 1961. 32p.
- BERRY, F. & KRESS, J. *Heliconia – an identification guide*. London, Smithsonian Institution Press, 1991. 334p.

- BROSCHAT, T.K.; DONSELMAN, H.M. & WILL, A.A. Golden Torch, an orange heliconia or cut-flower use. Gainesville, Agricultural Sciences, University of Florida, 1984. 5p. (Circular, S-308)
- BROSCHAT, T.K. Production and postharvest culture of ed ginger in South Florida. Proc. Fla. State Hort. Soc., 101:326-327, 1988.
- CASTRO, C.E.F. Helicônias como flores de corte: adequação de espécies e tecnologia pós- colheita. Piracicaba, SP: Escola Superior Luís de Queiroz (ESALQ/USP), 1993. 191p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior Luís de Queiroz (ESALQ/USP), 1993.
- CASTRO, C.E.F. Inter-relações das famílias das zingiberales. Rev. Bras. Hort. Orn., 1:2-11, 1995a.
- CASTRO, C.E.F. Heliconia para exportação: aspectos técnicos a produção. Brasília, EMBRAPA/FRUPEX, 1995b. 43p. (Série Publicações Técnicas FRUPEX, 16).
- CASTRO, C.E.F. & GRAZIANO, T.T. Espécies do gênero *Heliconia* (Heliconiaceae) no Brasil. Rev. Bras. Hort. Orn., 3: 5-28, 1997.
- CLAY, H.F. & HUBBARD, J.C. The Hawaii garden tropical exotics. Honolulu, University of Hawaii Press, 1987.
- CRILEY, R. Propagation of tropical flower Anthurium, bird-of-paradise, ginger and heliconia. Horticulture Digest. 90:1-2, 1989.
- CRILEY, R.A. Production of heliconia as cut flowers and their potential as new potted plant. Horticulture Digest, 92:1-7, 1990.
- CRILEY, R.A. Landscaping with heliconias, gingers and, their relatives. Acta Horticulturae, 486:247-253, 1999.
- CRILEY, R.A. & BROSCHAT, T.K. Heliconia: botany and horticulture of a new floral crop. Horticultural reviews, 14:1-55, 1992.
- DOBKIN, D.S. Flowering patterns of long-lived *Heliconia* inflorescences: implications for visiting and resident nectarivores. Oecologia, 64:245-254, 1984.
- DOBKIN, D.S. Heterogeneity of tropical floral microclimates and the response for hummingbird flower mites. Ecology, 66:536-543, 1985.
- KOECHLIN, J. Flore du Gabon, 9, Scitaminales: Musacées, trelitziacées, Zingiberacées, Cannacées, Marantacées. Paris, Muséum Nacional D'Historie Naturelle, 1964. 173p.
- KOECHLIN, J. Flore du Cameroun. 4. Scitaminales: Musacées, Strelitziacées, Zingiberacées, Cannacées, Marantacées. Paris, Muséum Nacional D'Historie Naturelle, 1965. 162p.
- KRESS, W.J. Systematics of Central American *Heliconia* (Heliconiaceae) with pendant inflorescences. J. Arnold Arbor., 65:429-532, 1984.
- KRESS, W.J. Bat pollination of an old world *Heliconia*. Biotropica, 17:302-308, 1985.
- KRESS, W. J. New Heliconias (Heliconiaceae) from Panamá. Selbyana, 9:156-166, 1986.
- KRESS, W.J. He taxonomy of Old World *Heliconia* (Heliconiaceae). Allertonia, 6:1-58, 1990.
- KUEHNY, J. S. Zingiberaceae: an exciting family of new ornamental plants. New Crops Research Symposium. Program and Abstracts. Chicago. Il., 2001. p.12.
- MAAS, P.J.M. Flora Neotropica. Monograph n° 8. Costoideae (Zingiberaceae). New York, 8:1-139, 1972.
- MAAS, P.J.M. Flora Neotropica. Costoideae (Zingiberaceae). Additions to Flora Neotropica. Monograph n° 8. Costoideae Zingiberaceae). New York, 18:163-213, 1976.
- MAAS, P.J.M. & MAAS, H. Notes on New World Zingiberaceae: IV. Some new species of *Costus* & *Renealmia*. Notes from the Royal Botanic Garden, 46):307-320, 1990.
- MAAS, P.J.M. & MAAS, H. & KAMER, van de. Two new species of *Costus* (Costaceae) from Costa Rica. Britonia, 49:274-279, 1997.
- MAY, A. & CECILIO FILHO, A.B. *Curcuma* (*Curcuma longa* L.). Jaboticabal, UNESP, 2005. 60p.
- NAGAI, H. Viroses de pimentão pimenta. Informe Agropecuário, 10:52-54, 1984.
- ROSSINI PINTO, A.C. & GRAZIANO, T.T. Potencial Ornamental de *Curcuma*. Rev. Bras. Hort. Orn., 9:99-109, 2003.

- SANTOS, E. Revisão das espécies de gênero *Heliconia* L. (Musaceae) espontâneas na região fluminense. *Rodriguésia*, 45:99-221, 1978.
- SARMIENTO, M.J. & KUEHNY, J.S. Efficacy of paclobutrazol and giberelin<sub>447</sub> on growth and flowering of three *Curcuma* species. *HortTechnology*, 13:493-496, 2003.
- SEIFERT, R.P. Clumps of *Heliconia* inflorescences as ecological islands. *Ecology*, 56:1416-1422, 1975.
- SEIFERT, R.P. Neotropical *Heliconia* insect communities. *Quart. Rev. Biol.* 57:1-28, 1982.
- STILES, F. G. Ecology, flowering phenology, and hummingbird pollination of some Costa Rican *Heliconia* species. *Ecology*, 56:285-301, 1975.
- STILES, F. G. Temporal organization of flowering among hummingbird food plants of a tropical wet forest. *Biotropica*, 10:194-210. 1978.
- WATSON, D.P. & SMITH, R.R. Ornamental Heliconias. Cooperative Extension Service. Honolulu, University of Hawai, 1979. 12p. (Circular 428)

# Parte IV

Solos e Nutrição de Plantas



## The Role of Soil Science in the Sustainability of Agroforestry Systems: Eliminating Hunger and Poverty

P. K. RAMACHANDRAN NAIR

### INTRODUCTION

The topic of this presentation as stated above was assigned to me by the Congress organizers. I believe their expectation from my presentation is a broad-brush approach to examining the role of soils and their management in the sustainability of agroforestry systems and then taking the discussion to a broader plane for examining the role of agroforestry in addressing the complex issue of poverty and hunger alleviation. These are, indeed, very broad topics!

To set the stage, first I will present a general picture of the current situation on poverty, hunger, and income disparity among peoples of the world. I will then revisit the much discussed issue of sustainability before moving on to examining the role of soils and soil management in agroforestry in addressing these complex issues. Thus, what I think about this context is:

*“...Sustainability, a concept about meeting today’s needs without compromising the ability of future generations to satisfy their needs, has been a cornerstone of agroforestry right from the early stages of scientific development of the discipline. The perceived beneficial role of trees in improving soil productivity and protection has been central to the sustainability attributes of agroforestry. The extent of soil improvement in agroforestry systems is determined by three main nutrient-related processes: biological nitrogen fixation, nutrient cycling, and deep capture of nutrients. Additionally, there are benefits such as improvement of soil physical conditions. Other environmental services provided by trees in agroforestry systems include soil conservation, carbon storage, biodiversity conservation, and enhancement of water quality. As a development tool, agroforestry figures prominently in the attainment of the Millennium Development Goals. By contributing to enhancement of food production and providing ecosystem services, sustainable agroforestry systems can play a vital role in poverty alleviation and hunger eradication. This potential has, however, been not adequately recognized, let alone exploited...”*

### GLOBAL DISPARITY, POVERTY, AND HUNGER

Global disparity is an inequality of basic resources worldwide that affect peoples’ ability to survive and experience quality life. The United Nations Development Report, 2004 ([www.undp.org/hdr.2004](http://www.undp.org/hdr.2004)) estimates that the number of people living in poverty (those who earn less than \$1 a day) is a staggering 1.2 billion, about one-fifth of the world’s population. The number earning less than \$2 per day is almost 3 billion. In 1963, the poorest 20% of the world’s population only had a share of 2.3% of the

global income, the top 20% of the world's population earned 70% of the global income, and the high/low ratio was 30. By 1998, the share of global income of the poorest 20% of the world's population further shrunk to 1.2% and the high/low ratio increased to 74, while the top 20% of the population earned 89% of global income. The gulf between the richest nations and the poorer countries is also widening, not narrowing: in 1960, the average per capita income in industrialized nations was nine times that in sub-Saharan Africa; today it is 18 (Figure 1). Just one-fifth of the world's population accounts for 86% of consumption; the richest 225 individuals in the world have more wealth between them than half the Earth's population; the combined wealth of the three richest people in the world is more than that of 48 of the world's poorest nations. Such alarming statistics on global disparity, hunger, and poverty are abundant today, thanks to the Internet. Most of the reports present the statistics in various forms, very few of them present critical analyses, and even fewer offer any solutions to overcome the problem. Simple solutions for such complex problems are neither feasible nor effective.

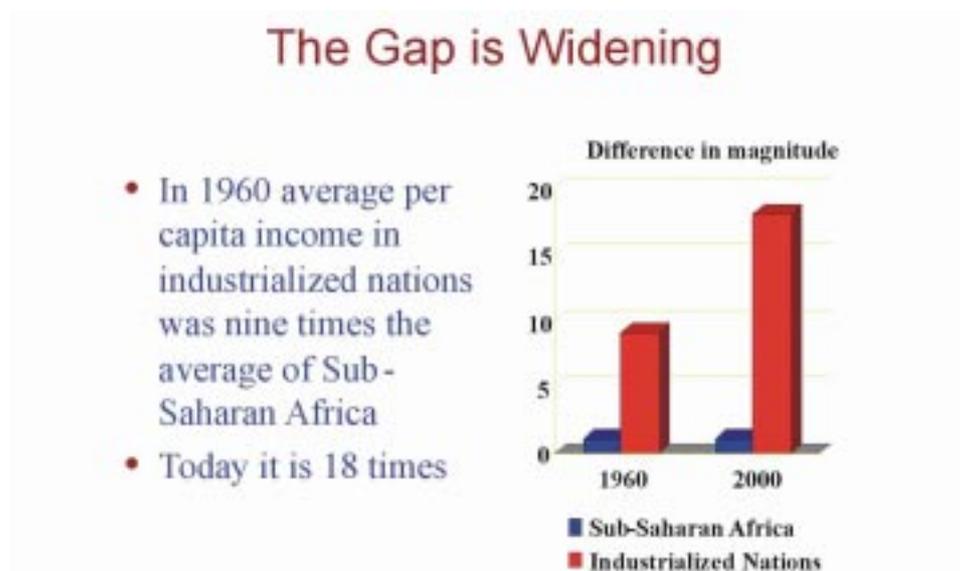


Figure 1 - The gap between the rich and poor nations is widening: Average per capita income in industrialized nations and sub-Saharan African nations in 1960 and 2000. (Adapted from UN Development Report, 2004) ([www.undp.org.hdr.2004](http://www.undp.org.hdr.2004)).

The chasm between the richest and poorest people on earth is one of the major problems – if not the greatest one – facing the world today. The results of this growing disparity are the root causes of most of the world's unresolved problems (Carter Center, 2005: [www.cartercenter.org](http://www.cartercenter.org)). There is little debate among those who study these problems – be it fighting diseases such as Bird Flu, or stemming illegal immigration, or avoiding conflict – that creating greater equity and reducing human suffering through development offers the answer to these problems.

The impacts of this widening rich – poor gap are varied. They include environmental destruction: richer nations and individuals can afford to over-consume resources, while poorer nations and individuals are forced to over-exploit the environment just to survive. They include migration: people are forced to move in search of adequate resources; and they include conflict: wealthier nations and individuals fight to keep what they have, while those suffering a lack of resources fight to obtain them. Because poorer groups typically lack the assets and technology to conduct large-scale conventional war to obtain their goals, they often resort to low-intensity conflict and terrorism (Facing the Future: [office@facingthefuture.org](mailto:office@facingthefuture.org)).

This rich – poor disparity is reflected on almost all facets of human activity. For example, land-use systems such as agriculture and forestry practiced in developing and industrialized countries are quite different in their organization, management, social and societal involvement, input intensity, and level of outputs. Wide disparity exists not only between the rich and the poor countries, but also

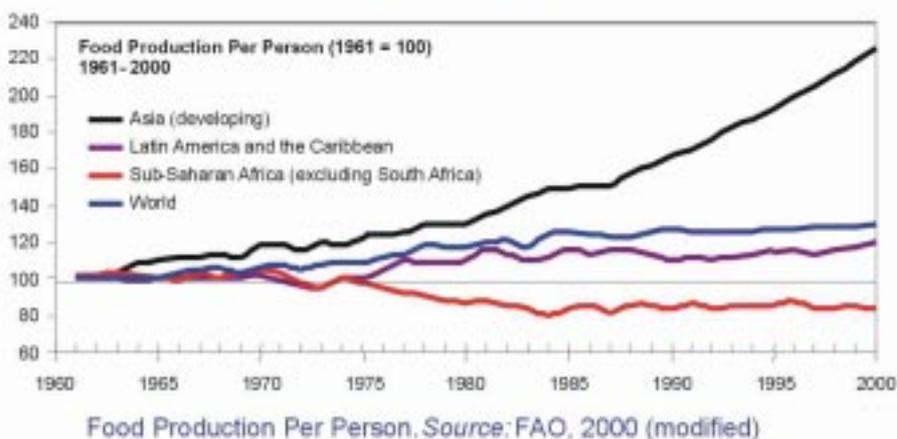
among various developing countries (Figure 2) and between the rich and the poor as well as within different regions within a country especially the large ones. To paraphrase Thomas Friedman’s best-seller book *The World is Flat* (Friedman, 2005), no matter whether the world is flat or round, it is full of disparities. The prevailing gloomy state of global disparity, hunger, and poverty are so well known – thanks to the convincing statistics of a whole host of indicators that are available – that additional efforts are not needed here to emphasize the gravity of the situation.

### SUSTAINABILITY

Sustainability is perhaps the most widely discussed, yet least well-defined, term across disciplines in contemporary agricultural and land-use literature. Even before publication of the much-acclaimed Brundtland Commission Report (WCED, 1987), sustainability has been a cornerstone of many traditional land-use systems and it used to figure prominently in the early debates on agroforestry (Bene et al., 1977). All through the past three decades of scientific developments in agroforestry, sustainability has been, and still is, a key issue (Nair et al., 2005). Without going into any discussion on this much-discussed issue, suffice it to say that sustainability is about meeting today’s needs without compromising the ability of future generations to satisfy their needs, and it strives to achieve a balance between ecological preservation, economic vitality, and social justice. It is not a new concept, simply the retrieval of ancient wisdom dictating that “you don’t eat your seed corn.”

Much of the discussion on ecological sustainability of agroforestry systems is linked to the perceived ability of tree-based systems such as agroforestry systems to enhance or maintain the productivity of the soils beneath them, and to some extent on species diversity. The soil-related sustainability issue, which is the focus of this paper, is examined later. As far as the species-diversity issue is concerned, the common approach is to use the diversity indices as a basis for comparing agroforestry systems with nearby natural vegetation – usually forests – on the assumption that in terms of species abundance and diversity, agroforestry systems such as homegardens are in between natural systems and managed systems (Mohan et al., in press). Homegardens are perhaps the most diverse agroforestry practice, and among all agroforestry practices, they are at one end of the spectrum, two-species (a tree and a crop) associations such as alleycropping being at the other end (Rao et al., 1988; Nair, 1993).

### Getting Hungrier?



Note: When printed in black and white, the four lines (graphs) represent, from top, Asia (developing), the world, Latin America & the Caribbean, and sub-Saharan Africa, respectively.

Figure 2 - Food production trends in the developing continents during 1960 – 2000.

Nair (2007) argues that species abundance and diversity of agroforestry systems such as homegardens should not be equated with ecological succession that is characteristic of natural systems and the benefits of which are exploited in some traditional low-input agricultural systems such as shifting cultivation. The fact that natural systems are more diverse than agricultural systems has been known for long, one of the most widely cited articles on the subject being that of Odum (1969). In the very few examples of low-input agriculture that take advantage of the process of succession, the species are all carefully selected, but are not random successional species that seed-in naturally. Homegardens start off from one particular stage of the natural successional process, but keep natural succession from carrying the community to a so-called “climax” community. On the other hand, agroforestry practices such as alleycropping that are at the “other end” of the species-diversity spectrum have little similarity with the natural systems and do not fit into the realm of successional processes.

---

### Sustainability

- ... is about meeting today's needs without compromising the ability of future generations to satisfy their needs.
- ... is not a new concept, simply the retrieval of ancient wisdom dictating that you do not eat your seed grain.
- ... strives to achieve a balance between ecological preservation, economic vitality, and social justice.

**Box 0 - Sustainability: A complex concept.**

---

Economic and social sustainability attributes of agroforestry are even less well studied than ecological sustainability attributes. A common problem seen mentioned in most attempts to study economic benefits of agroforestry systems is, again, lack of widely accepted procedures to measure economic benefits of intangible benefits and services; so much so, the importance of economic sustainability of agroforestry remains an attribute that can only be felt qualitatively and intuitively, but is difficult to quantify. The same can be said about social sustainability. All social studies on agroforestry exclaim their social attributes, ranging from their role in ensuring gender equality and nutritional security to societal harmony and cultural heritage. The strength of these threads that are woven together in the fabric of social sustainability cannot, however, be expressed in quantitative terms.

### SOIL-RELATED SUSTAINABILITY ATTRIBUTES OF AGROFORESTRY

#### Systems

As already noted, the perceived beneficial role of trees in improving soil productivity and protection has been central to the sustainability attributes of agroforestry systems right from the early stages of development of scientific agroforestry. The soil improving role of agroforestry was a dominant theme of agroforestry research during the 1980s and 1990s (Nair, 1984; Sanchez, 1995; Buresh & Tian, 1998) and it became one of the main conceptual foundations of tropical agroforestry (Nair, 2005). A substantial body of information is now available on the mechanisms involved and the extent to which they could be exploited under various agroforestry scenarios (Rao et al., 1998; Nair et al., 1999; Schroth & Sinclair, 2003; van Noordwijk et al., 2005). It is now well recognized that land-use systems that are structurally and functionally more complex than either crop- or tree monocultures result in greater efficiency of resource (nutrients, light, and water) capture and utilization, and greater structural diversity that entails a tighter coupling of nutrient cycles. Above- and below-ground diversity provides more system stability and resilience at the site-level. At the landscape and watershed levels, such systems can provide connectivity with forests and other landscape features to achieve desired ecological services such as protection of wildlife habitat and water- and soil quality (Nair et al., 2005).

### MECHANISMS OF SOIL IMPROVEMENT BY TREES

Research results during the past two decades show that three main tree-mediated, nutrient-related processes determine the extent and rate of soil improvement in agroforestry systems: biological nitrogen fixation, nutrient cycling, and deep capture of nutrients. Additionally, there are benefits such as improvement of soil physical conditions (Box 2).

---

The tree-mediated processes that determine the extent and rate of soil improvement in agroforestry systems are:

- 1) Biological nitrogen fixation by nitrogen-fixing trees (NFTs),
- 2) Nutrient cycling related to tree biomass, and
- 3) Nutrient uptake from deeper soil layers.

Furthermore, the presence of deep-rooted trees in the system can contribute to improved soil physical conditions and higher soil microbiological activities under agroforestry, and proper arrangements of trees as contour hedgerows and windbreaks on or around farmlands can contribute substantial benefits through erosion control and soil conservation.

#### Box 2 - Mechanisms of Soil Fertility Improvement in Agroforestry.

---

A substantial body of literature is available on all these aspects; therefore detailed discussions on any of them are not warranted here. Therefore, in this paper, these issues will only be examined briefly in relation to the overall scope of the paper, i.e., sustainability, poverty alleviation, hunger eradication.

#### Nitrogen Fixation

Biological nitrogen fixation by tropical trees, mostly belonging to the family Leguminosae (Fabacea) but also some non-legumes – the so-called actinorhizal planta – are a particularly valuable resource for soil improvement. Farmlands in many parts of the developing world generally suffer from the continuous depletion of nutrients as farmers harvest without fertilizing adequately or fallowing the land. For example, annual nutrient depletion rates of 22 kg nitrogen, 2.5 kg phosphorus, and 15 kg potassium per hectare of cultivated land over the past 30 years in 37 African countries amount to an annual loss equivalent to the application of \$ 4 billion worth of fertilizers (Sanchez, 2002). Commercial fertilizers cost two to six times as much in Africa as in Europe or Asia. Even at these prices, supplies are problematic due to poorly functioning markets and road infrastructure. One promising way for overcoming this problem is to enable smallholders to use fertilizer-tree systems that increase on-farm food production (Sachs, 2005). After years of experimentation with a wide range of soil-fertility replenishment practices, three major types of simple, practical, fertilizer-tree systems have been developed:

1. Improved fallows using trees and shrubs such as sesbania (*Sesbania sesban*) or tephrosia (*Tephrosia vogelii*),
2. Mixed intercropping with species such as gliricidia (*Gliricida sepium*), and
3. Biomass transfer with species such as wild sunflower (*Tithonia diversifolia*) or gliricidia.

These practices can provide 50 to 200 kg N ha<sup>-1</sup> to the associated cereal crops (Buresh & Tian, 1998), and they tend to be adopted to a greater extent by the poorer than better-off farm families in Africa (Figure 3).

### Nutrient Cycling

In the agroforestry context, nutrient cycling – the continuous transfer of nutrients that are present within a soil-plant system within and between different components of the system – is an important mechanism of soil improvement by trees. Nutrient cycling can be exploited in agroforestry systems through appropriate management practices by which the relatively large quantities of tree biomass produced by fast-growing trees can be returned to soil as a source of nutrients to crops that are grown with the trees simultaneously (as in alleycropping) or subsequently (as in improved fallows). A relatively large volume of literature is available on a number of aspects of nutrient cycling in agroforestry systems in different parts of the tropics. The results demonstrate that agroforestry systems can provide N to crop production; however, not all benefits can be attributed to nutrient cycling, nor can positive results be expected in all situations (Nair et al., 1999).

### Deep Capture of Nutrients

Downward movement of mobile nutrients such as  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ , and  $\text{Mg}^{++}$  happens when nutrient supply exceeds plant demand/uptake. In addition to events such as breakdown of organic matter in top soil, external addition of manures and fertilizers, irrigation and rainfall that can cause downward movement of such nutrients, biological breakdown of soil organic matter or chemical breakdown of soil minerals in deeper soil layers can contribute to nutrient accumulation in deeper soil layers. Deeper-rooting trees and other perennials can utilize such reserves of deep soil nutrients and increase the overall efficiency of nutrient cycling, making the “deep” nutrients available in top soil layers and thus for crop uptake. Although the mechanisms involved in the process are fairly well understood, the extent of benefits derived from such “deep capture” of nutrients has not been adequately quantified (Buresh et al., 2004).



**Figure 3** - Growing fast-growing, nitrogen-fixing trees in association with crops in the same field simultaneously, or in short rotations of one to two years of crops followed by one to two years of trees, and using the tree biomass as a nutrient source for crops is an agroforestry technology that has gained acceptance among farmers who can ill-afford fertilizers. For example, thousands of farmers in eastern and southern Africa intercrop *Gliricidia sepium* with maize (*Zea mays*) in their fields. (Photo credit: ICRAF, Nairobi, Kenya).

## Soil Conservation

The other major avenue of soil improvement with agroforestry is through soil conservation. Eroding soils and advancing deserts are looming dangers facing humanity today. Drawing from historical examples – from the decline of the Mayan empire (that flourished from the sixth century B.C. to the ninth century A.D.) to the U.S. Dust Bowl of the Great Plains in the 1930s and the Soviet Dust Bowl in the Virgin Lands in the 1960s, and the current day situations in many countries of Africa and Asia – Brown (2004) presents an extremely gloomy scenario and calls for action to avert the danger (Box 3).

The near tripling of irrigated area during 1950 to 2000 (from about 90 million hectares in 1950 to 275 million ha in 2000) alone has caused rapid increase in the extent of salt-affected soils; today soil salinity levels are excessively high in nearly a billion ha (about 7% of total) land area, and an estimated 3 ha of land is becoming non-productive every minute because of salinity. The potential of agroforestry to reduce the hazards of soil erosion – caused by both water and wind – and desertification as well as to rehabilitate salt-affected lands and to conserve soil and water has been well recognized (Nair, 2003). Direct or supplementary use of trees and shrubs to control soil erosion (as in soil-conservation hedgerows and windbreaks) is now a widespread agroforestry practice in both tropical and temperate regions (Nair, 2005). *Albizia lebbek*, *Azadirachta indica*, *Butea monosperma*, *Eucalyptus* spp., *Melia azedarac*, *Parkinsonia aculeata*, *Pongamia pinnata*, *Prosopis* spp., and *Zizyphus* spp. are just a few examples of tree species with known potential for use in agroforestry practices for soil conservation, desertification control, and soil salinity reclamation.

---

About 2.0 billion ha, a third of total farmland, in developing nations are estimated to be degraded through erosion (water erosion = 56%; wind erosion = 28%; physical deterioration = 12%, and chemical deterioration = 4%). While degradation is classified as slight in 38% of these lands, 40% are moderate, 15% severe, and 0.5% extreme. Today soil salinity levels are excessively high in nearly a billion ha (about 7% of total) land area, and an estimated 3 ha of land is becoming non-productive every minute because of salinity.

**Box 3 - Extent of Soil Degradation in Developing Countries.** (Adapted from Scherr, 1999).

---

## OTHER ENVIRONMENTAL SERVICES OF AGROFORESTRY

## Biological diversity in working landscapes

Many landscapes do not have adequate forested habitat to satisfy the requirements of some species of plants and animals, and available forest reserve areas may be too small to contain the habitat requirements of all species. Agroforestry can provide ways of augmenting the supply of forest habitat and providing greater landscape connectivity. Where croplands occupy most of the landscape, riparian forest buffers and field shelterbelts can be essential for maintaining plant and animal biodiversity, especially under a changing climate scenario. A comprehensive assessment of shelterbelt agroforestry systems in the northern Great Plains of the USA has clearly demonstrated their importance on breeding bird species richness and community composition at both the farm- and landscape levels (Pierce et al., 2001). Agroforestry adds plant and animal biodiversity to landscapes that might otherwise contain only monocultures of agricultural crops (Schroth et al., 2004). Growing commercial crops such as coffee (*Coffea* sp.) and cacao (*Theobroma cacao*), known as shaded-peren-

nial systems in agroforestry literature (Nair, 1993), is projected to start a trend of combining environmental research with consumer products, which could then have a large impact on global conservation (Schroth & McNeely, 2006).

The well being of the land is directly tied to the well being of its inhabitants. Providing rural people and poor farmers with the opportunity to earn sustainable, stable livelihoods will help conserve the planet's biodiversity (Schroth et al., 2004). As much as 90 percent of the biodiversity resources in the tropics are located in human-dominated or working landscapes. Agroforestry impinges on biodiversity in working landscapes in at least three ways. First, the intensification of agroforestry systems can reduce exploitation of nearby or even distant protected areas. Second, the expansion of agroforestry systems into traditional farmlands can increase biodiversity in working landscapes. Third, agroforestry development may increase the species and within-species diversity of trees in farming systems (McNeely, 2004).

A new paradigm is emerging that integrates protected areas into their broader landscapes of human use and biodiversity conservation, particularly in agricultural areas that now constitute the principal land use in most of the developing world (Garrity, 2004). The issue of how best to achieve a balance between production and biodiversity conservation has become the basis for the concept of *ecoagriculture*, which refers to land-use systems managed for both agricultural production and wild biodiversity conservation (McNeely & Scherr, 2003). Agroforestry is uniquely suited to provide *ecoagriculture* solutions (McNeely, 2004); but more needs to be understood before widespread application of the solutions can be recommended.

#### Carbon Storage

Agroforestry systems can sequester substantial quantities of carbon (Dixon, 1995; Lal, 2004; Montagnini, 2006). Through either deposition of wind-blown soils or interception of surface runoff sediments, many of the linear-based agroforestry practices, such as shelterbelts and riparian buffers, trap significant amounts of carbon-rich topsoil that would otherwise be lost from these systems. Riparian forest buffers are natural carbon sinks (Montagnini & Nair, 2004). When suitable trees and shrubs are grown in these moist environments they filter out contaminants from adjacent agricultural or community activities (Schultz et al., 2004).

In temperate regions, agroforestry practices have been estimated to have the potential to store C in the range of 15 to 198 Mg C ha<sup>-1</sup> (mode: 34 Mg C ha<sup>-1</sup>) (Pandey, 2002). The C sequestration potential of agriculture in the United States through the application of agroforestry practices by 2025 is estimated as 90.3 Tg C yr<sup>-1</sup> (Nair & Nair, 2003) (Tg = tera gram = 10<sup>12</sup> g = million tons). In the tropics, agroforestry systems are estimated to have helped to regain 35 % of the original C stock of the cleared forest, compared to only 12 % by croplands and pastures (Palm et al., 2004). Lal (2004) has estimated that an increase of 1 ton (Mg) of soil carbon pool of degraded cropland soils may increase crop yields by 20 to 40 kg per hectare. A projection of C stocks for smallholder agroforestry systems indicates C sequestration rates ranging from 1.5 to 3.5 Mg C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> and a tripling of C stocks in a 20-year period, to 70 Mg C ha<sup>-1</sup> (Palm et al., 2004). Global deforestation, which is estimated to occur at the rate of 17 million ha yr<sup>-1</sup>, is expected to cause the emission of 1.6 Pg C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>. Assuming that one hectare of agroforestry could save five hectares from deforestation, carbon emission caused by deforestation could be reduced substantially by establishing agroforestry systems (Lal, 2004; Palm et al., 2004).

We hypothesize that, because of the presence of tree roots in deeper soil layers (below crop-root zone of 30 to 40 cm), agroforestry systems will contain substantially more stable soil C than under common (treeless) land-use systems. We also hypothesize that the amount of stable C present in soils will be related to the soil orders, with soils and horizons within them having higher content of finer particles (< 53 μm) retaining more recalcitrant C compared to those with lower content of fine fractions. We are currently testing these hypotheses at four different sites in four different continents: Florida, USA; Mali, West Africa; Lugo, Northwest Spain; and Kerala, southwestern India. At each site, the soils are sampled from locally prevalent agroforestry and other land-use systems to one meter depth from three soil profiles each, and

fractionated into various particle-size classes (250 – 2000  $\mu\text{m}$ , 53 – 250  $\mu\text{m}$ , and < 53  $\mu\text{m}$ ). Within each aggregate class, the plant source for soil organic matter will be determined using stable isotope composition ( $^{12}\text{C}$ :  $^{13}\text{C}$ ).  $^{14}\text{C}$  analysis will be used to study the chronology of soil development and to estimate turnover times of soil organic matter (SOM) pools. Our preliminary studies at two locations in Florida on Ultisols and Spodosols have supported these hypotheses (Haile et al., 2006).

Global warming is now accepted as a real issue the world over. Ways of reducing  $\text{CO}_2$  in the atmosphere will undoubtedly be receiving increasing attention in the future. Along with these efforts, carbon markets will become stronger and more active. The opportunity offered by agroforestry systems to sequester carbon and market it for real money is real, even in poor countries.

#### Water Quality and Environmental Amelioration

The effectiveness of some agroforestry practices such as riparian buffers in reducing non-point source pollution, and thereby improving water quality, is well documented (Udawata et al., 2002; Schultz et al., 2004). The deeper and more extensive tree roots will invariably be able to take up more nutrients (especially N) from the soil compared to crops with shallower root systems – the so-called “safety-net” effect that has been affirmed in various agroforestry situations (Buresh & Tian, 1998; Jose et al., 2004). Consequently, nutrient-leaching rates from soils under agroforestry systems where trees are a major component can be lower than those from treeless systems (Nair & Graetz, 2004). The water-quality enhancement resulting from the reduction of nutrient loading could be a substantial environmental benefit of agroforestry in heavily fertilized agricultural landscapes. For example, in Florida, USA, where phosphorus (P) loss from sandy soils that predominates the 1.4 million ha of pastureland is a major cause of nutrient pollution of water bodies, our studies have demonstrated that the loss of P to surface and ground water could be less from silvopastoral systems than from treeless pastures because the trees would remove the nutrient from the soil (Michel et al., 2005; Nair et al., 2006).

### AGROFORESTRY AS A DEVELOPMENT TOOL

#### Agroforestry and the Millennium Development Goals

The Millennium Development Goals (MDGs) of the United Nations are so central and dominating an issue in the global development agenda today that any discussion on poverty eradication and hunger elimination will not only be incomplete but even deemed meaningless without reference to them. The eight MDGs – which range from halving extreme poverty to halting the spread of HIV/AIDS and providing universal primary education, all by the target date of 2015 (Box 4) – “form a blueprint agreed to by all the world’s countries and all the world’s leading development institutions. They have galvanized unprecedented efforts to meet the needs of the world’s poorest” ([www.un.org/millenniumgoals](http://www.un.org/millenniumgoals)).

Garrity (2004) has articulated that agroforestry research and development is contributing to virtually all of the MDGs, but particularly MDGs 1 and 7. The role of fertilizer-tree systems in increasing on-farm food production (Figure 3) has received special mention in major MDG initiatives (Sachs, 2005). Other promising agroforestry pathways such as income generation through expanded tree cropping and improved tree product processing and marketing can also contribute to the MDGs. Garrity (2004) argues that these advances can also help address the lack of enterprise opportunities on small-scale farms, inequitable returns to small-scale farmers (especially women), and national tree-product deficits (especially timber). A major role for agroforestry is also emerging in the domain of environmental services through development of mechanisms to reward the rural poor for ecosystem services such as watershed protection and carbon sequestration. Carbon markets in the European Union have traded at least 500 million tons of  $\text{CO}_2$  since January 2005 (Time magazine, April 3, 2006; p. 47); it is only a matter of time when others catch up.

- 
- 
- Goal 1: Eradicate Extreme Hunger and Poverty
- 
- Goal 2: Achieve Universal Primary Education
- 
- Goal 3: Promote Gender Equality and Empower Women
- 
- Goal 4: Reduce Child Mortality
- 
- Goal 5: Improve Maternal Health
- 
- Goal 6: Combat HIV/AIDS, Malaria and other Diseases
- 
- Goal 7: Ensure Environmental Sustainability
- 
- Goal 8: Develop a Global Partnership for Development

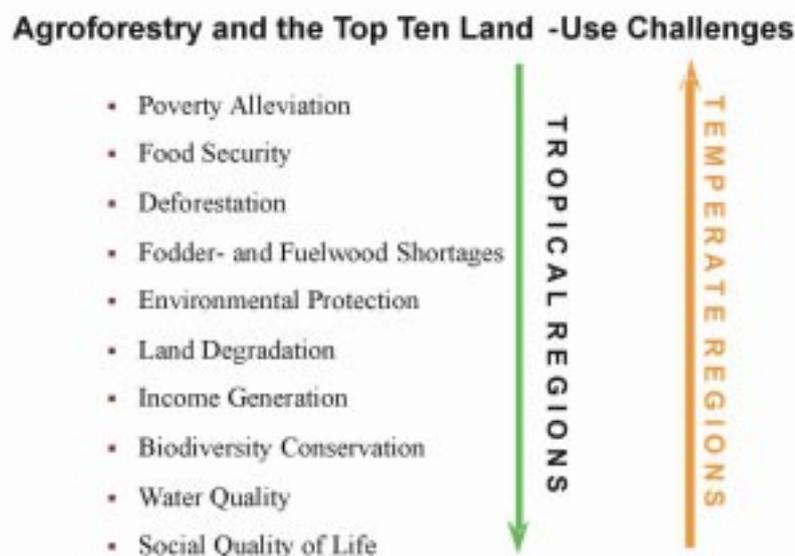
**Box 4 - The Millennium Development Goals ([www.un.org/millenniumgoals](http://www.un.org/millenniumgoals))**

---

#### Agroforestry and Other Development Agendas

The benefits offered by agroforestry systems are so varied and elaborate that they could have a potential role in a large range of conditions – from poor economic and harsh ecological conditions to commercial farming systems. Today, the idea of incorporating the structure and functions of naturally occurring agroecosystems into the design of managed ecosystems is gaining wider acceptance. Current interest in ecosystem management in industrialized countries – where the legacy of maximizing production of agricultural products without sufficient knowledge of, or regard for, impacts on future productivity, the environment, and society in general – strongly suggests that there is a need to embrace and apply agroforestry principles to help mitigate non-point source pollution and other environmental problems and better meet the current and future needs for the products and services of the land. Box 5 summarizes the potential applications of agroforestry in addressing the major land-use problems in the tropical and industrialized (temperate) regions of the world. While subsistence farming and emphasis on the role of trees in improving soil quality of agricultural lands are characteristic of tropical agroforestry systems, environmental sustainability is a major driving force for the development and adoption of agroforestry in the industrialized nations. In general, the economic advantage of diversified income is a major motivation for practicing such systems in both tropical and temperate regions.

### Agroforestry and the Top Ten Land -Use Challenges

- 
- Poverty Alleviation
  - Food Security
  - Deforestation
  - Fodder- and Fuelwood Shortages
  - Environmental Protection
  - Land Degradation
  - Income Generation
  - Biodiversity Conservation
  - Water Quality
  - Social Quality of Life

**Box 5 - Agroforestry and the top ten land-use challenges.** The major land-use problems in the tropical and industrialized (temperate) regions of the world, in addressing which agroforestry could have play a role. The directions of the arrows indicate that the items listed from top to bottom are in descending order of importance in the tropics, and in the reverse order in the temperate (industrialized) regions. (Adapted from Nair, 2007 - in press).

## CONCLUSIONS

What, then, is the role of soil science and soil management in agroforestry in addressing the complex issues of sustainability and eradication of hunger and poverty? A recent publication by Hartemink (2006) that compiles the views of 55 soil scientists from 28 countries on “*The Future of Soil Science*” suggests that there is consensus among soil scientists about the significant contributions the discipline can make to addressing major global issues such as food production, climate change, and environmental impacts. This may not be new or surprising information. It seems, however, that the extent to which soil scientists can contribute to these issues through development of sustainable agroforestry systems has not caught the attention of the mainstream soil scientists. The contributions of agroforestry systems to enhance food production and provide environmental services and thus to the larger issues of poverty alleviation and hunger eradication, summarized schematically in Figure 4, could be enormous.

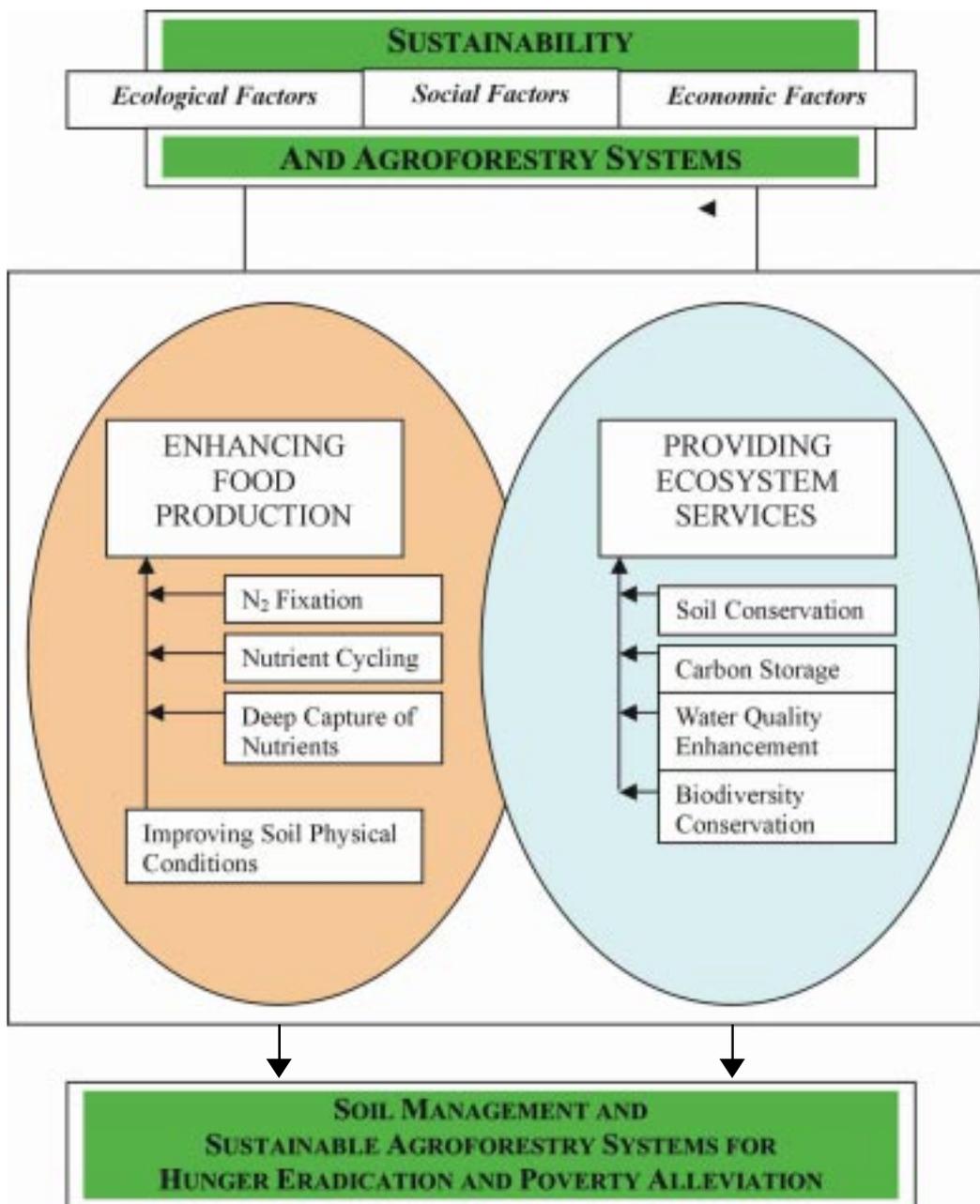


Figure 4 - A schematic diagram showing the major soil-related and tree-mediated sustainability parameters of agroforestry systems.

Broadly, there are two unique sets of factors that set agroforestry systems apart from other land-use systems: first, the basic foundations of soil-related and tree-mediated sustainability parameters such as nitrogen fixation, nutrient cycling, and deep capture of nutrients (which are not applicable to tree-less agricultural systems), and secondly the potential of agroforestry systems, as presented in Box 5, to address land-use problems in both developing and industrialized countries (which, again, is not feasible with the conventional agricultural and forestry systems). It needs to be emphasized, however, that agroforestry is certainly not a panacea or “cure-all” for all problems of land management under all situations, but there certain situations that can be better addressed by agroforestry than by conventional agriculture and forestry approaches. Unfortunately, the significant contribution that sustainable agroforestry systems can make to enhancing food production and alleviating poverty and hunger through soil-related processes has not been adequately explored, nor the potential of these systems in environmental amelioration and income generation recognized.

## LITERATURE CITED

- BENE, J.G.; BEALL, H.W. & CÔTE, A. Trees, food and people. Ottawa, International Development Research Centre, 1977. 52p.
- BROWN, L.R. Outgrowing the earth: The food security challenge in an age of falling water tables and rising temperatures. New York, W.W. Norton, 2004. 239p.
- BURESH, R.J. & TIAN, G. Soil improvement by trees in sub-Saharan Africa. *Agroforestry Systems*, 38:51–76, 1998.
- BURESH, R.J.; ROWE, E.C.; LIVESLEY, S.J.; CADISCH, G. & MAFONGOYA, P. Opportunities for capture of deep soil nutrients. In: van NOORDWIJK, M.; CADISCH, G. & ONG, C. K., eds, *Below-ground interactions in tropical agroecosystems: Concepts and models with multiple plant components*. Wallingford, CABI, 2004. p.109–125.
- DIXON, R.K. Agroforestry systems: Sources or sinks of greenhouse gases? *Agroforestry Systems*, 31:99–116, 1995.
- FRIEDMAN, T.L. *The world is flat: A brief history of the twenty-first century*. New York, Farrar, Straus and Giroux, 2005. 488p.
- GARRITY, D.P. Agroforestry and the achievement of the Millennium Development Goals. *Agroforestry Systems*, 61/62:5–17, 2004.
- HAILE, S.G.; NAIR, V.D. & NAIR, P.K.R. Soil carbon sequestration and stabilization in tree-based pasture systems. Presentation to ASA/CSSA/SSSA Annual Meetings, 12–16 November, Indianapolis, IA, USA, 2006.
- HARTEMINK, A. *The future of soil science*. Wageningen, International Union of Soil Science, 2006. 165p.
- JOSE S.; GILLESPIE, A.R. & PALLARDY, S.G. Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agroforestry Systems*, 61:237–255, 2004.
- LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304:1623–1627, 2004.
- MCNEELY, J.A. Nature vs. nurture: Managing relationships between forests, agroforestry and wild biodiversity. *Agroforest. Syst.*, 61: 155–165, 2004.
- MCNEELY, J.A. & SCHERR, S.J. *Ecoagriculture: Strategies to feed the world and save wild biodiversity*. Washington, DC, Island Press, 2003. 323p.
- MICHEL, G.A.; NAIR, V.D.; NAIR, P.K.R. & ALLEN, S.C. Tree integration on pastureland: Role of silvopasture in reducing nutrient pollution from pasturelands in Florida. *ASA/CSSA/SSSA Annual Meeting Abstracts*. Salt Lake City, UT, USA, 2005.
- MOHAN, S.; NAIR, P.K.R., & LONG A.J. An assessment of homegarden diversity: A case study from Kerala State, India. *J. Sust. Agri.* (in press).
- MONTAGNINI, F. & NAIR, P.K.R. Carbon sequestration: An under-exploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 61/62:281–298, 2004.
- MONTAGNINI, F. ed. *Environmental services of agroforestry systems*. Binghamton, New York, Haworth Press, 2006. 126p.
- NAIR, P.K.R. *Soil productivity aspects of agroforestry*. Nairobi, ICRAF, 1984. 85p.
- NAIR, P.K.R. *An introduction to agroforestry*. Dordrecht, Kluwer, 1993. 499p.
- NAIR, P.K.R.; BURESH R.J.; MUGENDI, D.N. & LATT, C.R. Nutrient cycling in tropical agroforestry systems: Myths and science. In: BUCK L.E.; LASSOIE J.P. & FERNANDES, E.C.M. eds. *Agroforestry in sustainable agricultural system*. Boca Raton, FL CRC Press, 1999. p.1–31.
- NAIR, V.D. & GRAETZ, D.A. Agroforestry as an approach to minimizing nutrient loss from heavily fertilized soils: The Florida experience. *Agroforestry Systems*, 61:269–279, 2004.
- NAIR, P.K.R.; RAO, M.R. & BUCK, L.E. eds. *New vistas in agroforestry*. Dordrecht, Kluwer, 2004. 480p.

- NAIR, P.K.R. Agroforestry: Trees in support of sustainable agriculture. In: HILLEL, H.C.; ROSENZWEIG, D.; POWLSON, K.; SCOW, M.; SINGER, D. & SPARKS, D. eds. *Encyclopedia of soils in the environment*. London, Elsevier, 2005. Vo1 1, p.35–44.
- NAIR, P.K.R.; BANNISTER, M.E. & ALLEN, S.C. Agroforestry today: An analysis of the 750 abstracts presented to the 1<sup>st</sup> World Congress of Agroforestry, 2004. *J. of Forestry*, 103:417–421, 2005.
- NAIR, P.K.R. Agroforestry for sustainability of lower-input land-use systems. *J. Crop Improvement*, 2007 (in press).
- NAIR, V.D.; HARRIS, W.G.; NAIR, P.K.R. & GRAETZ, D.A. Phosphorus storage capacity of soils under various animal operations. Presentation to the Int'l Soil Science Congress, 9 – 15 July 2006, Philadelphia, USA. (<http://a-c-s.confex.com/crops/wc2006/>), 2006.
- ODUM, E.P. The strategy of ecosystem development. *Science*, 164:262–270, 1969.
- PALM C.A.; TOMICH, T.; van NOORDWIJK, M.; VOSTI, S.; GOCKOWSKI, J.; ALEGRE, J. & VERCHOT, L. Mitigating GHG emissions in the humid tropics: Case studies from the Alternatives to Slash-and-Burn Program (ASB). *Environ. Dev. Sust.*, 6:145–162, 2004.
- PANDEY, D.N. Carbon sequestration in agroforestry systems. *Clim Policy*, 2:367–377, 2002.
- RAO M.R.; NAIR, P.K.R. & ONG, C.K. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 38:3–50, 1998.
- SACHS, J.D. *The end of poverty: Economic possibilities for our time*. New York, Penguin, 2005. 320p.
- SANCHEZ, P.A. Science in agroforestry. *Agroforestry Systems*, 30:5 – 55, 1995.
- SANCHEZ, P.A. Soil fertility and hunger in Africa. *Science*, 295:2019–2020, 2002.
- SCHERR, S.J. *Soil degradation: A threat to developing-country food security by 2020?* Washington, DC, International Food Policy Research Institute, 2004. 63p.
- SCHROTH, G. & SINCLAIR, F.L., eds. *Trees, crops and soil fertility*. Wallingford, CABI, 2003. 437p.
- SCHROTH, G.; DA FONSECA, A.B.; HARVEY, C.A.; GASCON, C.; VASCONCELOS, H.L. & IZAC, N. eds. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Washington, DC, Island Press, 2004. 523p.
- SCHROTH, G. & McNEELY, J.A., eds. *Agroforestry and biodiversity conservation: Traditional practices, present dynamics, and lessons for the future*. *Biodiversity and Conservation, Special Issue*, 15:549–798, 2006.
- SCHULTZ, R.C.; ISENHART, T.M.; SIMPKINS, W.W. & COLLETTI, P.J. Riparian forest buffers in agroecosystems: Lessons learned from the Bear Creek Watershed, central Iowa, USA. *Agroforestry Systems*, 61:35–50, 2004.
- UDAWATTA, R.P.; KRSTANSKY, J.J.; HENDERSON, G.S. & GARRETT, H.E. Agroforestry practices, runoff, and nutrient loss: A paired watershed comparison. *J. Environ. Qual.*, 31:1214–1225, 2002.
- van NOORDWIJK, M.; CADISCH, G. & ONG, C.K. eds. *Below-ground interactions in tropical agroecosystems: Concepts and models with multiple plant components*. Wallingford, CABI, 2004. 440p.
- WCED (World Commission on Environment and Development). *Our common future*. Oxford, Oxford University Press, 1987. 400p.

## **Biodiversity and Function of Soil Animals in Brazilian Agroforestry Systems**

GEORGE G. BROWN, JÖRG RÖMBKE, HUBERT HÖFER, MANFRED VERHAAGH, KLAUS D. SAUTTER & DALVA LUIZ DE QUEIROZ SANTANA

### **INTRODUCTION**

Agroforestry (AF) systems are generally considered to have positive effects on biodiversity and its conservation when compared with simpler agroecosystems (McNeeley & Schroth, 2006). Both above and belowground biodiversity may be positively affected by the adoption of AF systems, particularly as the structure of the system approaches that of the native vegetation. It is generally assumed that below-ground biodiversity is positively influenced by the diversity of plants growing above ground, but the nature of this relationship is still far from clear, as a large number of interactive processes are involved (Hooper et al., 2000). Consequently, little information is available regarding the role of plant diversity in regulating soil biodiversity at different levels of the landscape (Susilo et al., 2004). In simpler systems and for some groups of soil organisms, positive relationships are apparent, but as the system becomes more complex, the relationships become less clear (van Noordwijk, 1999). Furthermore, the taxonomic level of identification is also important; group diversity of soil animals may have positive relationships to plant diversity (e.g., Luizão et al., 2001; Barros et al., 2006), but at species level, relationships may be lost. Clarification of this relationship is an important and urgent task for soil ecologists, particularly in the light of agricultural expansion and intensification in many tropical countries such as Brazil. Land use cover change, especially for agriculture, has been considered one of the main driving forces of the present “biodiversity crisis” (Wilson, 1985).

The relationship between species richness and functional diversity in soils is also rather loose, and little information is available which shows that soils function better in the presence of greater soil animal biodiversity (Ekschmitt & Griffiths, 1998). The difficulty of showing this relationship is heightened by the apparent functional redundancy of many species of soil animals, as well as the wide range of functions and services that they perform in soils (Bengtsson, 1998). For instance, in an agroecosystem, the local spider, ant or beetle community may be represented by dozens up to hundreds of species, many of them performing similar (and/or multiple) functions. In fact, redundancy and species richness may also be an important component of the ecosystem’s stability and resilience to perturbations (Ekschmitt & Griffiths, 1998; Wardle et al., 1999). Therefore, even a large number of apparently redundant species may be desirable. Once again, this may be particularly the case as agriculture expands and intensifies to feed growing populations and human aspirations. It is in these simpler (agricultural) systems that various associated risks from lack of biodiversity both above- and below-ground may increase (Giller et al., 1997). Therefore, the possibility of AF as a sustainable alternative land use system needs further exploration, particularly its role in mitigating species loss

and in enhancing biodiversity (above- and below-ground), ecosystem functions and services at the local and regional scale (McNeeley & Schroth, 2006).

In the present chapter, we review the currently available data on soil animal communities under AF systems in Brazil, focusing particularly on the impact of various Amazonian AF systems on the conservation and maintenance of soil animal populations. We also summarize the diversity and functional roles of animals in soils and review the available data on their potential roles in the functioning of Amazonian AF systems.

### SOILS AND GLOBAL BIODIVERSITY

Much beyond being only substrates for growing plants, soils are living entities and the home of numerous organisms whose diversity may even surpass that of the aboveground flora and fauna, especially in agroecosystems. Soils are among the most biologically rich habitats on earth (Brussaard et al., 1997; Wall & Moore, 1999). Nowhere in nature are species so densely packed as they are in soil communities (Hågvar, 1998). For example, a single gram of soil may contain millions of bacteria and several thousand species of microorganisms (Torsvik et al., 1994), while soils of tropical forest habitats (e.g., a few hectares of Amazonian or Atlantic Rainforests) may harbor more than 2200 species of invertebrates (Mathieu, 2004) in a single site. Of these, only a few (less than 20) are likely to be earthworms (Fragoso & Lavelle, 1992) or pseudoscorpions (Franklin & Morais, 2006), while spiders, mites and myriapods might be represented by several dozen species each (Franklin et al., 2004; Adis, 2002). However, the vast majority of the total are likely to be nematodes (Huang & Cares, 2006) and insects (Barros et al., 2006), each representing generally more than 100 species (the latter mostly of beetles and ants).

In fact, over 1 million species of insects may inhabit Brazilian ecosystems (Lewinsohn & Prado, 2005), and a large proportion (up to 25% or more) of these may be associated with soils for an important part of their life cycle (Decaëns et al., 2006). Therefore, as many as 250,000 species of soil insects may live in Brazilian soils. Presently, more than 50,000 species of soil + litter inhabiting animals have been described from Brazil (Table 1), being the beetles, Protozoa, spiders, nematodes, ants, and mites the most diverse, each with > 1,000 classified or estimated species. However, most groups of soil animals remain poorly known, and their species diversity is certainly much larger than the currently known totals. For instance, only 3% and 5% of the world's estimated diversity of nematodes and mites is presently known (Hammond et al., 1995). Furthermore, several groups of animals lack specialists in many tropical countries (including Brazil; Brandão et al., 2006), complicating identification, and many important collections of soil invertebrates are located in foreign museums (mainly in Europe and the USA), making access difficult for taxonomists from developing countries.

This immense diversity, added to the technical difficulties associated with studying the soil ecosystem and the lack of taxonomists to describe it, has resulted in an appallingly poor knowledge of the world's soil biodiversity. Therefore the few currently available taxonomic inventories fall short of an accurate picture of the number of species living in soil systems (Table 1; Lewinsohn et al., 2005; Brandão et al., 2006). Because soil communities are so diverse yet so poorly known and described, they have been called the "other last biotic frontier" (André et al., 1994), or the "poor man's tropical rainforest" (Usher et al., 1979; Giller, 1996). Further efforts are urgently needed to overcome the taxonomic challenges involved in describing the world's soil biota, especially considering the potential negative impacts on global biodiversity of climate and further land use changes worldwide.

Soils are also very complex physically. Crisscrossed by an immense network of micropores, macropores and tunnels, soil pore spaces provide the habitat for a wide range of organisms and their activities. The great spatial and temporal variability in available organic matter (OM), water, and other nutrients promotes a complex niche structure in the soil. The soil structure and its food resources provide conditions for the evolution and maintenance of complex interactions between soil organisms, as well as apparently functionally redundant species or trophic groups. Given this ecological complexity, myriad plant, animal, and microbial communities are able to coexist and provide a range of functions and services. However, this vital and dynamic subterranean soil ecosystem often is unrecognized, little understood, and therefore mismanaged.

**Table 1** - Estimates of global and national species diversity of various representatives of soil + litter inhabiting animals (values taken from Adis, 2002; Brandão et al., 2006; Brown & Fragoso, 2006; Culik & Zeppelini Filho, 2003; Lewinsohn & Prado, 2005; 2006; Lewinsohn et al., 2005; Moreira et al., 2006)

Taxonomic/size categories Common (Scientific) names	N° species <sup>1</sup>	
	Brazil	World
<i>Microfauna</i>		
Protozoans (Protista)	[3,060-4,140]	36,000
Nematodes (Nematoda)	[1,280-2,880]	15,000
Rotifers (Rotifera) <sup>2</sup>	457	2,000
Tardigrades (Tardigrada) <sup>2</sup>	67	750
<i>Mesofauna</i>		
Diplura	NA	659
Mites (Acari)	1,500	45,000
Potworms (Enchytraeidae)	100	800
Pseudoscorpions (Pseudoscorpionida)	>100 <sup>3</sup>	3,235
Springtails (Collembola)	199	7,500
Symphyla	NA	200
<i>Macrofauna</i>		
Ants (Formicidae)	2,750	11,826
Beetles (Coleoptera)	30,000	350,000
Carabidae	1,132	30,000
Cerambycidae	4,000	35,000
Curculionidae	5,041	65,000
Elateridae	590	9,300
Leiodidae	22	4,240
Lucanidae	70	1,200
Psalidae	72	600
Ptiliidae	9	430
Scarabidae	1,777	25,000
Seydmaenidae	59	200
Staphylinidae	1,571	35,000
Tenebrionidae	1,234	18,000
Earthworms (megadriles)	306	3,800 [8,000]
Glossoscolecidae	202	533
Harvestmen (Opiliones)	951 [1,800]	5,500
Myriapoda	424	15,100
Centipedes (Chilopoda)	150	2,500
Millipedes (Diplopoda)	NA	10,000
Scorpions (Scorpionida)	119	1,259
Snails (Gastropoda)	670 [2,000]	30,000
Spiders (Aranae)	2587 [10,000]	38,884
Termites (Isoptera)	290 [600]	2,800
Velvet worms (Onychophora)	4	90
Woodlice (Isopoda) <sup>2</sup>	135	4,250

<sup>1</sup>Number shown is of classified species; the numbers in brackets [ ] is the estimated number; NA = Data not available.

<sup>2</sup>Includes soil and aquatic species. <sup>3</sup> 75 spp. of pseudoscorpions are known from Brazilian Amazonia.

SOIL FAUNA AND SOIL FUNCTION

Soil animals have a broad range of body sizes, feeding strategies, and life habits, from strictly aquatic to obligatorily terrestrial (Lavelle & Spain, 2001). They range in size from the tiniest one-celled protozoa, to the more complex nematodes and micro-arthropods, to the visible earthworms, insects, small vertebrates. Together with bacteria, fungi, algae, plant roots and litter, this community of organisms makes up the soil food web—including probably the longest food chains found in nature (Coleman et al., 2004), with multiple primary producers (plants, lichens, moss, photosynthetic bacteria and algae) and numerous consumers (primary, secondary, tertiary, and so-on) (Figure 1). The food-chain concept is basic to ecology and represents an ecosystem in a simple way, as a chain of species where one species is preyed upon by the next. The chain also depicts how energy, fixed by plants as primary producers, is transferred over trophic levels to the top consumers.

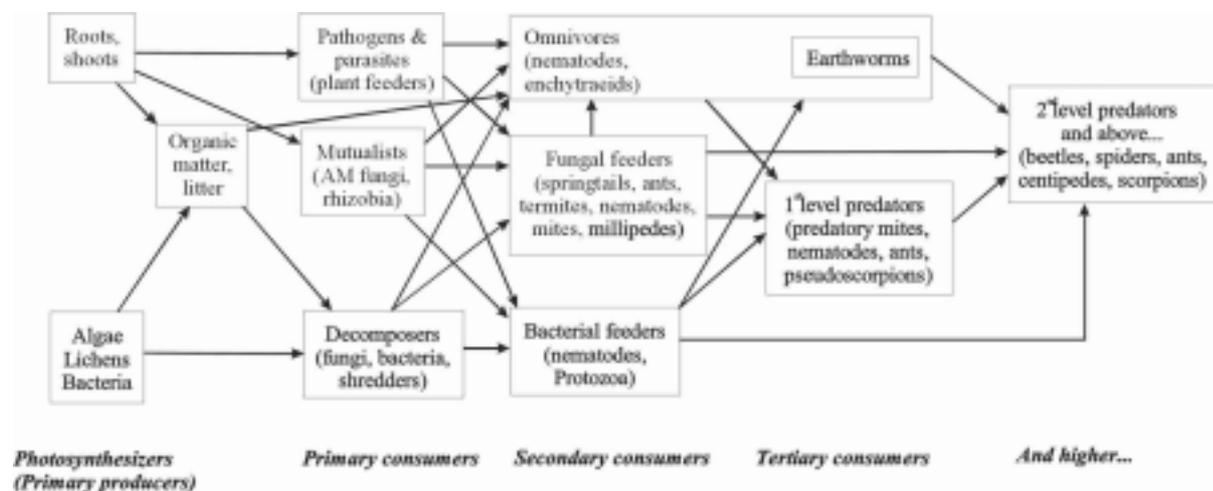


Figure 1 - Example of a complex belowground food web. Note particularly, the disjunct placement of earthworms and omnivores, which occupy several levels of the trophic food chain hierarchy, depending on the predominant food sources (modified after USDA-NRCS, 1998).

Important aspects of the structure, functioning and stability of the belowground part of ecosystems can be captured in a study of the dynamics of the soil food web (Neutel et al., 2002). However like most natural communities, soil communities are not simple chains of species. They are diverse, complex systems, where species often feed on more than one trophic level. With food-web models, ecologists have, over the years, attempted to capture the interconnected dynamics of populations in complex soil communities. These studies have provided insight into processes like overall energy flow and nutrient cycling of the soil system, and also the stability of communities and the environments in which they live (de Ruiter et al., 1994). However, considerable methodological challenges still need to be overcome in the wide scale application of food web models to (adequately) predict soil community interactions and their effects on soil function (Lavelle, 2000).

Soil animals perform various ecosystem services and key functions in both natural and agricultural ecosystems (Table 2). Biocontrol is achieved primarily through predation, although changes in the soil environment may also indirectly affect populations of pests, parasites and disease agents. Decomposition, nutrient cycling and carbon sequestration are influenced mainly by soil animal feeding habits and digestive processes. Soil formation and its physical properties such as porosity and aggregation, that affect aggregate stability, soil erodibility, gaseous exchanges, C sequestration, water runoff, infiltration and storage capacity, are affected primarily by soil animal bioturbation. Some soil animals, particularly snails, earthworms, ants, termites, beetle grubs and caterpillars are also important sources of food for indigenous human societies (Paoletti, 2005). Many insects that often spend a

critical stage of their life cycle within the soil or on its immediate surface are important plant pollinators. The combined physical, chemical and biological effects of soil animals on soil properties and processes and their feeding preferences (e.g., plant residues, decaying roots, living plant parts-both shoots and roots) can also significantly influence plant growth, both positively and/or negatively. Finally, soil animals and their biodiversity have also been widely used as bioindicators of soil and water quality (Paoletti, 1999; Römbke & Moltmann, 1996).

It has been estimated that the value of the ecosystem services provided each year by the soil biota worldwide might exceed 1.5 trillion US dollars (van der Putten, 2004; values estimated from Pimentel et al., 1997 and Costanza et al., 1997). The recycling of organic wastes is estimated to provide some 50% of the total benefits of soil biotic activity worldwide. Were it not for the decomposing/recycling activity of soil organisms, much of the world's land surface would be literally covered with organic debris, including the 38 billion metric tons of organic waste produced annually by humans worldwide (Pimentel et al., 1997).

**Table 2** - Ecosystem services and soil functions performed by the different classes of soil animals (modified from Brown et al., 2006)

Ecosystem services/soil functions	Size classes of soil animals involved		
	Microfauna	Mesofauna	Macrofauna
Decomposition of organic matter and nutrient cycling	X	X	X
Gas exchanges and carbon sequestration	X	X	X
Maintenance of soil structure and regulation of soil hydrological processes			X
Plant growth control (positive and negative)	X	X	X
Pollination			X
Soil formation			X
Sources of food and medicines			X
Biological control of pests, parasites and diseases	X	X	X
Symbiotic and asymbiotic relationships with plants and their roots			X (ants)

The function of soil animals and their role in providing ecosystem services is therefore highly variable depending on their body size, feeding habits and where they live (e.g., litter, rhizosphere, soil pores or water films), although the latter (where) is mainly governed by the former two features (size and food sources) (see Table 3).

The ability to transport, ingest, or modify greatly the soil's physical structure is generally positively related to the body size of the organism, so that larger animals (earthworms, termites, and ants) are more able to modify soils than smaller ones. On the other hand, litter decomposition and soil chemical reactions are performed mainly by the smaller biota (mites, springtails, and particularly microorganisms), although some larger animals (the litter shredders) may be particularly important in preparing the materials for and enhancing the roles of the smaller biota. Thus a classification based on body size produces certain correlation between taxonomy and function.

- The *microfauna* are the smallest soil animals (less than 0.1 mm in diameter) and include the extremely abundant, ubiquitous, and diverse nematodes, protozoa, turbellarians, tardigrades, and rotifers, that generally live in soil water films and feed on microorganisms, plant roots, other microfauna, or sometimes larger organisms.
- The *mesofauna* (organisms generally ranging in size from 0.1 to 2.0 mm in diameter) include mainly microarthropods, such as pseudoscorpions, Protura, Diplura, springtails, mites, small myriapods (Paupoda and Symphyla) and potworms (enchytraeids). This group of organisms

has limited burrowing ability, generally lives in soil pores, and feeds on OM (some on plant roots), microbiota, or other invertebrates.

- The *macrofauna* (organisms generally greater than 1 cm in length or 2.0 mm in diameter and visible to the naked eye) include mainly soil invertebrates (e.g., ants, termites, millipedes, centipedes, earthworms, woodlice and other crustaceans, caterpillars, cicadas, ant-lions, beetle larvae and adults, fly larvae, earwigs, swordfishes, silverfishes, snails, spiders, harvestmen, scorpions, crickets, and cockroaches) that live and feed in or on the soil or surface litter and their components. Large insects such as bees and wasps occasionally burrow into the soil, but these are generally not considered soil organisms, even though their influence can sometimes be important.

**Table 3 - Size, habitat and food preferences of some of the principal soil animals (modified from Susilo et al., 2004)**

Soil animal	Size (length, mm)	Habitat			Food preferences <sup>1</sup>
		Litter	Soil	Rhizo- sphere	
Protozoa	0.002–0.2	X	X	X	Microbes
Nematodes	0.25–5.5	X	X	X	Microbes, fungi, plant and animal tissue (parasites), other nematodes (cannibals)
Mites	0.1–6	X	X		Microbes, detritus, nematodes, other microarthropods, other mites (cannibals)
Springtails	1–10	X	X		Microbes, detritus, fungi
Ants	1–30	X	X		Other arthropods & annelids (carnivores), fungi, plant parts (exudates, pollen), honey dew
Woodlice	5–20	X	Under rocks		Detritus, fungi, excrements, occasionally plants
Termites	0.5–20	X	X		Wood, litter, humus, fungi
Scorpions	12–180	X	Under rocks or logs		Other arthropods, lizards, mice and birds (carnivores); other scorpions (cannibals)
Spiders	0.5–90	X	X		Similar to scorpions
Centipedes	25–280	X	X		Similar to scorpions
Beetles	0.5–200	X	X		Plants, detritus, animal dung, carcasses, other arthropods & annelids (carnivores)
Millipedes	2–250	X	X		Detritus, excrements
Earthworms	20–2000	X	X		Detritus, soil OM, microbes, excrements

<sup>1</sup>Microbes = Bacteria, yeasts and algae and protozoa. Fungi and nematodes considered separately.

It is important to note that there may be considerable overlap between some of these categories: for instance, some springtails, mites or enchytraeids may be larger than 2 mm, while some species of ants and beetles might be smaller than 1 cm in length and/or 2 mm in diameter. Therefore, Lavelle et al.'s (2003) definition is more appropriate: the animals are considered macrofauna when > 90% of its specimens are easily visible to the naked eye.

The food preferences of soil animals can be divided into five main classes: a) microbes; b) other animals (living or dead); c) plant residues in various stages of decomposition; d) fresh plant tissues (roots or shoots); and e) soil with its organic fraction (see Table 3).

- (a) Microbial grazers include mainly small invertebrates, especially protozoa, nematodes, mites and springtails that feed on microorganisms. They live freely in the soil pore spaces and water films. Predation of microorganisms, particularly by nematodes and Protozoa, plays an important role in regulating the biomass and activity of fungi and bacteria, and can lead to significant nutrient (especially N) release (Clarholm, 1985; Ingham et al., 1985).
- (b) Predatory soil animals such as ants, centipedes, beetles (e.g., carabids), spiders and other arachnids (scorpions, pseudo-scorpions, opilionids, predatory mites) prey mainly on decomposers and microbial grazers, but also on other predators including individuals of the same or closely related species. Their activity tends to be more concentrated in the litter layer than in the soil. When they prey on herbivores or parasites, they may play an important role in bio-control.
- (c) Decomposers, also called litter transformers or shredders are organisms that comminute and stimulate the decomposition of plant residues, and produce purely organic fecal pellets, that are less persistent than those produced by geophagous animals. Often, these animals also graze on the fungal biomass colonizing decomposing plant litter, or on feces produced by other animals (or themselves), once assimilable organic compounds have been released by microbial preconditioning. This group includes micro- and macro-arthropods, woodlice, termites, some species of slugs, snails, earthworms and enchytraeids (epigeic) that feed on and live in the litter layer. Also included in this category are anecic species (termites, earthworms, some species of scarab beetle larvae and leaf-cutter ants) that remove surface litter, burying it in the soil.
- (d) Herbivores, such as some species of beetles, stinkbugs, snails, slugs, nematodes and cicadas (among others) feed on above- and below-ground plant parts, affecting plant growth and primary productivity. Leaf-cutter ants among the Attini (esp. the genera *Atta* and *Acromyrmex*) that cultivate and feed on fungi growing on chewed fresh plant leaves, should also be considered herbivores.
- (e) Geophagous animals include primarily endogeic species (mainly earthworms and termites) that live in the soil and feed on OM and dead roots, ingesting and casting large quantities of mineral materials.

Through their feeding activities, especially geophagous and anecic animals move a considerable amount of topsoil and OM, redistributing it through the soil profile, simultaneously forming galleries and channels that alter soil structure and macroporosity. This bioturbation process also produces stable, resistant structures (mounds, chambers, casts) that may persist for long periods of time (from months to years) and which profoundly affect nutrient cycling and the environment for other organisms, including plants, invertebrates, and microbes (Lavelle et al., 1997; Brown et al., 2000). Therefore, these animals have been termed *ecosystem engineers* (Jones et al., 1994).

Many soil animals contribute to a specific soil process, operating at different scales of magnitude in space and time. Moreover, many animals contribute to several discrete processes. For example, nematodes feeding on bacteria and fungi at the micrometer scale may influence nitrogen mineralization (Ingham et al., 1985), and mites and springtails feeding on nematodes and fungi at the scale of a few millimeters may affect microbial community processes over several centimeters (Anderson, 1995). On the other hand, earthworms create tunnels or burrows several millimeters in diameter and centimeters in length that, in turn, may affect soil structure and hydrological processes over a scale of several meters. Finally, the wide-ranging activities associated with termite and ant colonies may affect soil physical and chemical processes over several hectares (Swift et al., 1996).

DETERMINANTS OF SOIL ANIMAL POPULATIONS IN AGROFORESTRY SYSTEMS

Soil animal populations are controlled by a suite of hierarchically organized determinants, operating at different scales of space and time (Lavelle, 1996) (Figure 2). At the top of the hierarchy, climate determines moisture and temperature regimes. These, in turn, help shape regional vegetation and soil parameters, which determine the nature and abundance of clay minerals and soil nutrient content (also partly determined by the parent bedrock). At this level, the landscape variability, topography and species diversity/pool of the vegetation are also important. Finally, at the plot level, quality and quantity of the organic materials and litter (above- and below-ground) produced, and the number (single or mixtures) and type of different plants present are of great significance in determining soil animal populations and their diversity. Finally, soil foodweb interactions and the community of soil animals, particularly of ecosystem engineers are, in turn, proximate determining factors for the diversity of subordinate animals within the community (Lavelle et al., 1997).

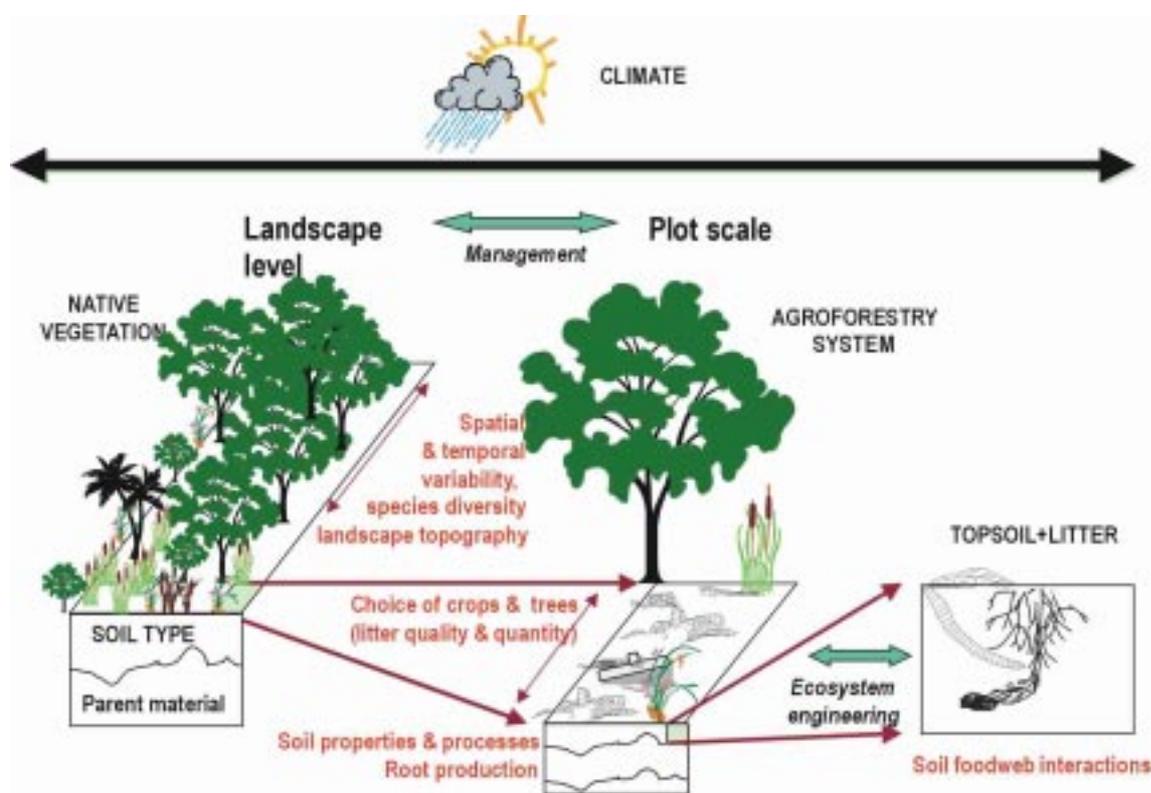


Figure 2 - Hierarchical determinants (sensu Lavelle, 1996) of soil animal communities in agroforestry systems (drawing by G. Brown).

Climatic vagaries such as the El Niño or La Niña oscillations, hurricanes and other natural disasters can cause significant shifts in the populations of some soil animals (particularly epigeic species that respond more to variations in litterfall), although the effects may be partly buffered in more stable ecosystems such as the Amazonian rainforest (Hanagarth et al., 2004). Seasonal variations in the population densities of soil animals are common, and determined by rainfall and temperature regimes; in general, populations reach their maxima in the rainy season, although this depends on the sampling depth. In the rainy season, animals are more concentrated at the soil surface, while in the dry season, they tend to migrate deeper into the soil (Bandeira & Harada, 1998).

Differences in vegetation and soil types within the same region are also important in determining

soil animal communities at a particular site (Barros et al., 2004; Bandeira & Harada, 1998). Ecosystems including soil surface protection and more abundant organic resources tend to have higher soil animal populations (Lavelle et al., 2001). For instance, the presence of trees (e.g., in AF systems) affects soil and litter microclimates, properties and processes and therefore the living conditions for soil animals. In this regard, the amount of shade, rooting patterns, and the quality and quantity of litter produced are main controlling factors (Tian et al., 1995; Vohland & Schroth, 1999; Martius et al., 2004b) (Figure 2). Therefore, the choice of trees and crops is critical in affecting the properties and spatio-temporal dynamics of litter production and quality, soil cover, shade and evapotranspiration in AF systems.

The provision of food, particularly the quality and quantity of the litter system is a key feature in the maintenance of diverse soil animal communities (Lavelle & Spain, 2001). Tree-based systems tend to favor epigeic animals such as detritivorous micro- and macro-arthropods, small litter-dwelling earthworms, predators such as spiders and ants, as well as some anecic invertebrates that live in the soil, but feed on surface litter (e.g., some termite and earthworm species). Vohland & Schroth (1999) and Lavelle et al. (2001; 2003) calculated that an active community of macroinvertebrates would need around 3-6 t ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> of surface litter and 2 t ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> of assimilable OM to sustain their activities. However, litter quality, feeding preferences, assimilation efficiencies, are highly variable among different soil animals, so these estimates require much further refining for different AF practices at different sites (Lavelle et al., 2003).

Human management decisions therefore play a crucial role in the determination of several factors important to the maintenance of active and beneficial soil animal community (and in the control of pest species). The absence of tillage in AF systems favors a particular soil animal community, as soil disturbance generally has a negative effect on many soil invertebrates (House & Parmelee, 1985). Other management decisions important at the plot scale in AF systems are the use (or not) of various agrochemical inputs (lime, fertilizers, herbicides, pesticides), organic amendments, cover crops and green manures, rotations, irrigation, fire and heavy machinery. The effect of these practices is variable, and can lead to both positive and/or negative effects on total soil animal populations or the density and diversity of particular species/groups (Figure 3). Anecic and epigeic species are particularly affected by practices that alter the litter system, such as burning, compaction, tillage (negative effects), cover crops, organic amendments and no tillage (positive effects). On the other hand, endogeic species appear to be more resistant and persistent to many agricultural practices.

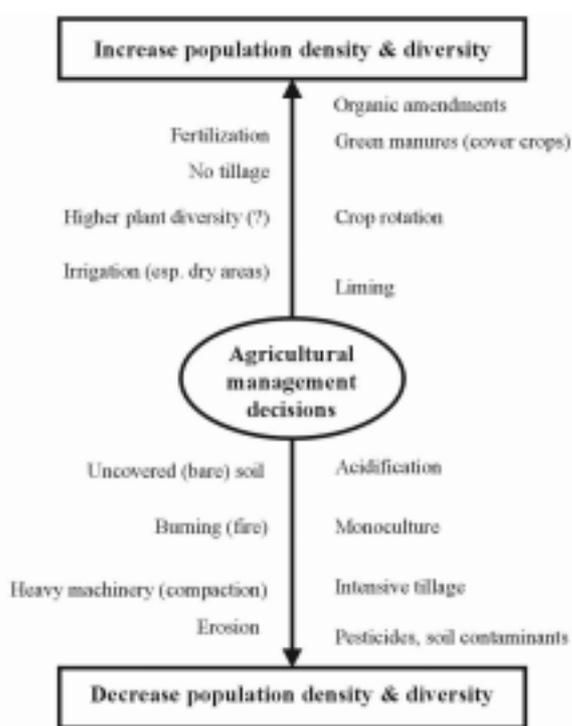


Figure 3 - The effect of different agricultural management practices on soil animal populations (density and diversity) (after Hendrix et al., 1990). The position of the various practices on the y-axis represents their hypothetical relative contribution (importance) to increasing or decreasing soil animal populations.

The currently available data on soil animal populations under AF systems worldwide show that these systems have rather specific fauna communities compared with conventional row-cropping systems (Lavelle et al., 2003; Barros et al., 2006), due to their intrinsic and particular management features (mentioned above). Most of the studies in Brazil have been performed in the Amazonian region, with only one study (to the authors' knowledge) focusing on the Atlantic forest biome in northeastern Brazil (Peneireiro, 1999). In the following section therefore, we discuss three case studies of the impact of AF systems on soil animal communities, taken from the Central and Western Amazonian regions. These studies are the result of several international projects, undertaken by Brazilian and foreign research institutions.

### SOIL ANIMALS IN BRAZILIAN AGROFORESTRY SYSTEMS: THREE CASE STUDIES FROM CENTRAL AND WESTERN AMAZONIA

The sites for the first two case studies were located N of Manaus, at two separate Embrapa Amazônia Ocidental Research Stations: the first at the Distrito Agropecuário SUFRAMA, km 54 of the BR-174 (approximately 2°31'S, 60°01'W), and the second near the Agroforestry Research Station at km 29 of the Manaus-Itacoatiara road (approximately 3°08'S, 59°52'W). At the first site, meso- and macrofauna communities were evaluated in pastures of different ages, disturbed natural forest, fallows, agrosilvopastoral (ASP) and AF systems planted on abandoned pastures, as part of several projects involving the Institut de Recherche pour le Développement (IRD), the Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) and Embrapa (further details below). At the second site, meso- and macrofauna communities were evaluated in disturbed natural forest, secondary forest, and an abandoned rubber plantation planted with various fruit and timber producing trees (further details below), as part of a collaborative project involving European (ECT, SMNK) and Brazilian (INPA, Embrapa) Institutions (under the SHIFT Program umbrella).

Soil animals at both sites near Manaus were sampled using a variety of methods: mesofauna were extracted from small soil cores and litter samples with Berlese funnels or a Kempson apparatus; macrofauna was extracted from large soil monoliths and large litter samples manually (TSBF; Anderson & Ingram, 1993) or from large cores (21 cm diam.) with Berlese; large anecic earthworms were extracted with 0.5% formalin, and microdriles (e.g., enchytraeids, tubificids) were wet extracted from small soil cores.

The third case study was undertaken at two sites in Rondônia (Theobroma and Ji-Paraná) and two in Acre (Pedro Peixoto and a nearby reforested site; RECA = Reflorestamento Econômico Consorciado Adensado), as part of the Alternatives-to-Slash-and-Burn (ASB) project (Palm et al., 2005), undertaken to investigate relationships between land-use change and soil biodiversity in Indonesia, Cameroon, Brazil and Peru. At the four Brazilian sites, soil macrofauna and nematode populations were evaluated using standard methods (Swift & Bignell, 2001; Anderson & Ingram, 1993) in disturbed forests (Theobroma, RECA and Pedro Peixoto), fallows (Theobroma and Pedro Peixoto), AF systems (Ji-Paraná and RECA), pastures (Ji-Paraná, Theobroma and Pedro Peixoto) and annual cropping systems (Theobroma and Pedro Peixoto).

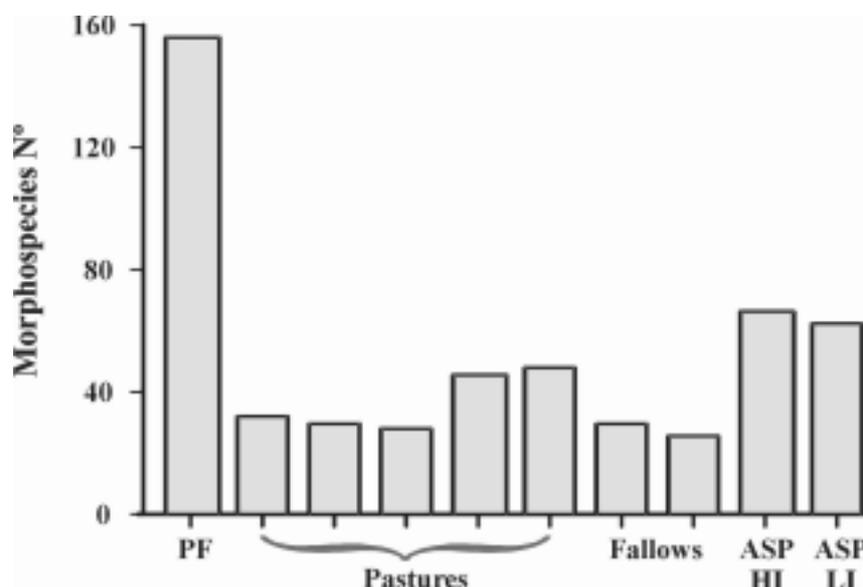
The climate at both sites near Manaus and at the sites in Rondônia and Acre is tropical, humid, with a mean annual temperature between 24°C and 26°C and a mean annual rainfall > 2000 mm (type Am; Köppen classification). The soil at the sites near Manaus was characterized as a clayey "Latosolo Amarelo" (Brazil), or Xanthic Ferralsol (FAO). In Acre and Rondônia, soils were Xanthic Ferralsols (FAO) or Ultisols (USDA), depending on the site.

#### Case Study 1. Embrapa Amazônia Ocidental Research Station, 54 km N of Manaus

Soil macrofauna populations and morpho-species diversity were assessed in the litter and soil to evaluate the environmental impacts of deforestation and land-use intensification on soil animals. Samples were taken in the rainy season of 1995 in five *Brachiaria humidicola* pastures of different ages (3, 6, 8, 15 yr), two AF systems including low (AF1) or high-diversity (AF2) of fruit and timber trees and two

ASP systems with different level of external inputs (HI=high input; LI=low input), two fallows of different ages (10, 20 yr) and a slightly disturbed native forest fragment (Barros, 1999; Tapia-Coral et al. 1999; Luizão et al., 2001; Barros et al., 2001; 2003; 2004; 2006). Sampling was repeated again in rainy season of 1997 in the pasture with high density of *Pontoscolex corethrurus* earthworms (Barros et al., 2004), and litter macrofauna was re-sampled the same year in the AF/ASP systems and the 10 yr fallow (Tappia-Coral et al., 1999). The AF/ASP systems were installed over abandoned pastures of *B. humidicola*. AF1 and AF2 were both fruit-tree based systems, but AF1 was palm based and had 3 fruit trees and one forest tree (total 4 spp.), while AF2 had six fruit trees, a trailing vine-fruit (passion-fruit, *Passiflora edulis*), Brazil nut, and two timber trees (total 10 spp.). The HI ASP received mechanical tillage, fertilizers and lime, while the LI system was manually prepared and received only P-fertilizer (Barros et al., 2003). Three tree species were used, and the soil was covered with a grass pasture (*Brachiaria brizantha* in HI and *B. humidicola* in LI) and a fodder legume (*Desmodium ovalifolium*) (Tapia-Coral et al., 1999).

Morphospecies diversity of the sampled land use systems (Figure 4) was highest in the native forest (156 spp.), and lowest in the 20 yr old fallow (29 spp.) and in the pastures, where richness ranged from 26 (site with high density of *P. corethrurus*) to 48 spp. (old, degraded pasture) (Decaëns et al., 2004; Barros et al., 2004; 2006). The pastures also tended to have a higher number of invasive species, non-native to the forest (Barros, 1999). In the ASP systems, morphospecies richness was intermediate (around 60-65 spp.), but still much lower than in the native forest (Barros, 1999).



**Figure 4** - Number of morphospecies of soil macrofauna in various land use systems at and surrounding the Embrapa Amazônia Ocidental Research Station near Manaus (Barros, 1999). PF=primary forest; ASPHI=high-input agrosilvopastoral system; ASPLI=low-input agrosilvopastoral system.

Soil macrofauna abundance was highest (over 10,000 indiv. m<sup>-2</sup>) in the low- and high-input ASP systems and the 10 yr old fallow, mainly due to the large number of termites and ants found in these systems (Figure 5A). These two soil animals predominated throughout the land use systems sampled, being responsible for > 80% of all individuals collected in all sites except the 15 yr pasture (that had the lowest macrofauna density of all sample sites). The high number of soil animals in the ASP's compared to the AF's was probably due to the faster growth and better soil cover of the forage legume and the pasture grass in ASP (and hence better food supply and soil microclimate conditions). In the AF systems much of the soil surface was bare, as the litter system had still not developed properly (Tapia-Coral et al., 1999).

Hence, soil litter arthropod populations sampled in 1997 (Tappia-Coral et al., 1999) were significantly higher in the AF (AF1 and AF2) than the ASP systems or the fallow. Abundance ranged from

20 indiv. m<sup>-2</sup> the fallow to around 29 indiv. m<sup>-2</sup> in the ASP's and 57-95 indiv. m<sup>-2</sup> in AF1 and AF2, respectively. Woodlice predominated, representing > 80% of the abundance and biomass in all sites, except the fallow (70% of total density). The higher numbers in the AF systems compared to the ASP in the present case may have been due to the negative effect of cattle grazing (and trampling) in ASP just before sampling as well as the lower quality and diversity of the litter produced in this system (Tapia-Coral et al., 1999).

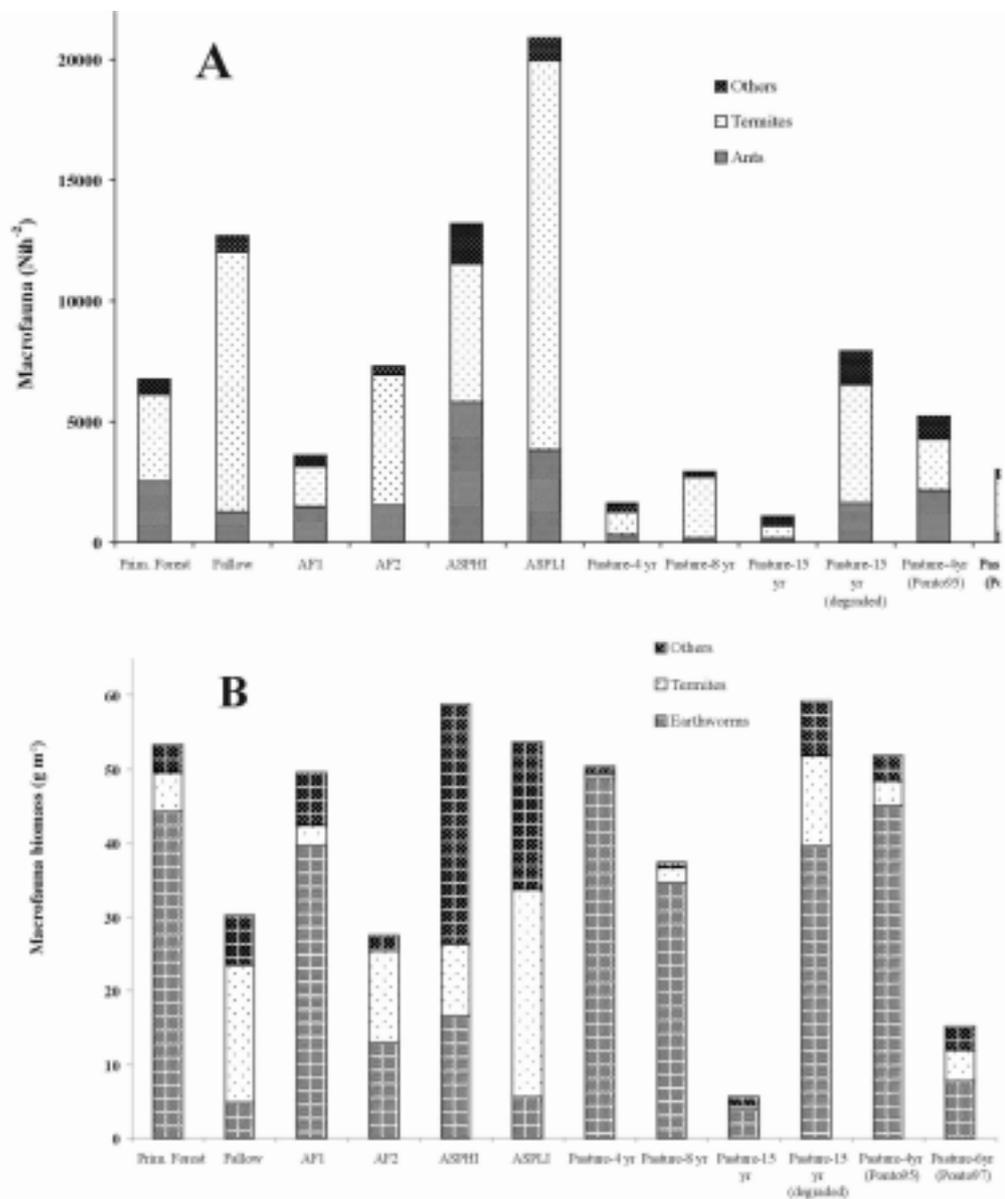


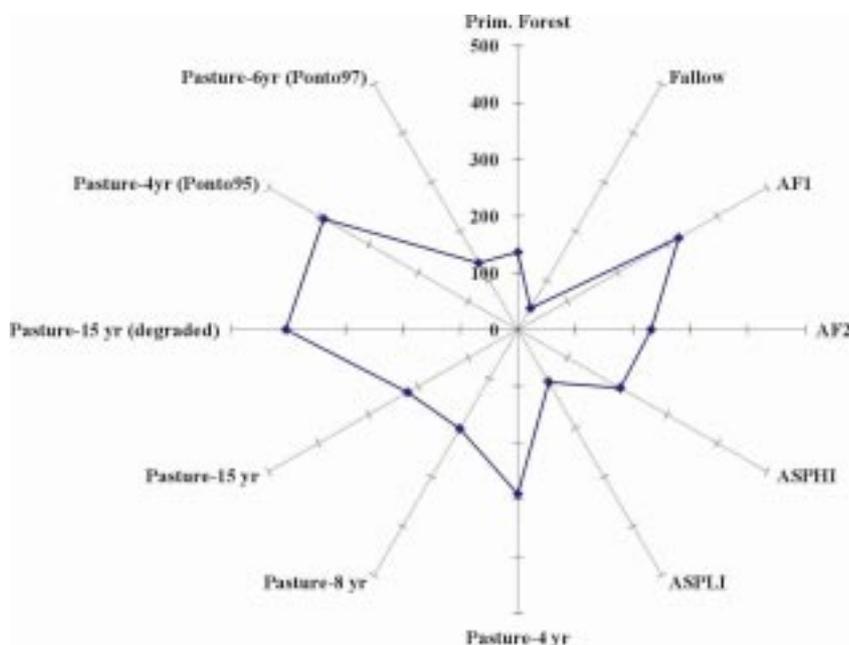
Figure 5 - Abundance of ants, termites and other soil+litter macrofauna (A) and biomass of earthworms, termites and other soil+litter macrofauna (B) in various land use systems at and surrounding the Embrapa Amazônia Ocidental Research Station near Manaus (Barros et al., 2003; 2004; 2006; Decaëns et al., 2004). AF1=low diversity and AF2= high-diversity agroforestry systems; ASPHI and ASPLI = high- and low-input agrosilvopastoral systems; Ponto95=pasture with abundant *P. corethrurus* sampled in 1995; Ponto97=the same pasture sampled in 1997. For further information see text.

On both sample dates, the low-diversity AF1 had fewer soil (Barros et al., 2003) and litter-dwelling (Tapia-Coral et al., 1999) animals than the high-diversity AF2 (Figure 5A), illustrating well the importance of diverse litter input for soil animal communities. Nevertheless, macrofauna biomass in AF1 was higher than in AF2, primarily because of the larger earthworm abundance (Figure 6) and biomass (Figure 5B). In AF1 earthworms were primarily poly-humic endogeics (i.e., geophages feed-

ing on soil rich in OM), living close to the soil surface (0-10 cm), while in AF2 they were oligo-humic species (i.e., geophages ingesting soil without particle selection), living deeper in the soil (> 10 cm). The earthworms may have benefited from the heart-of-palm (“palmito”) harvest in AF1, which left high-quality residues on the soil surface (Barros et al., 2003).

In the AF and ASP systems, significant effects of the presence of trees were observed on the soil and litter macrofauna. Tapia-Coral et al. (1999) found significantly higher macrofauna populations in cupuaçu (> 80 indiv. m<sup>-2</sup>) and peach palm litter (> 60 indiv. m<sup>-2</sup>) in AF1 and AF2 than in the litter of *D. ovalifolium* and *Brachiaria* spp. in ASP1 and ASP2 or the fallow (all < 20 indiv. m<sup>-2</sup>). In the ASP systems, Barros et al. (2003) observed a trend for higher soil animal abundance (density and biomass) under the trees compared with the *D. ovalifolium* and *Brachiaria* spp. pasture in between the tree rows. In AF1, the soil under peach palm (3107 indiv. m<sup>-2</sup>) had a significantly higher total fauna density than under cupuaçu (524 m<sup>-2</sup>), although total biomass in both systems was similar (25.6 and 24 g m<sup>-2</sup>, respectively) (Barros et al., 2003; 2006). The difference was mainly in the number of termites under peach palm, and may be related to the faster root and shoot development and soil cover provided by these plants. In AF2, on the other hand, fauna biomass tended to be higher under cupuaçu (10 g m<sup>-2</sup>), than Brazil nut (7 g m<sup>-2</sup>), mahogany (5 g m<sup>-2</sup>) and passion fruit (4 g m<sup>-2</sup>) (Barros et al., 2003).

Comparing the different systems sampled in 1995, macrofauna biomass was highest (> 50 g m<sup>-2</sup>) in the native forest, both ASP systems (HI and LI), AF1, in the 4 yr pastures (with and without *P. corethrurus*) and the 15 yr degraded pasture (Figure 5B). However, dominance of the various groups in each land use system was different; in the ASP systems, beetles, myriapods (especially millipedes) and isopods contributed significantly to total biomass, while in the remaining systems (except the fallow), earthworms predominated. However, in the native forest and the 4 yr pasture where *P. corethrurus* had not yet invaded, the high biomass (44 and 49 g m<sup>-2</sup>, respectively) was of large native anecic species, probably *Rhinodrilus priollii*. In the remaining pastures, most (if not all) of the earthworms found were *P. corethrurus*, ranging in abundance from 136 to 403 indiv. m<sup>-2</sup> (Figure 6) and biomass of 3.9 (not-degraded, 15 yr) to 45.1 g m<sup>-2</sup> (4 yr with *P. corethrurus*). Pasture degradation in the region appears to be intricately linked to the invasion of *P. corethrurus* (and vice-versa), although the relationship of cause-effect is not straightforward and involves various mechanisms that require further study. For instance, comparing the 1995 and 1997 samples of the degraded *B. humidicola* pasture, density and biomass of *P. corethrurus* had decreased from 390 to 136 indiv. m<sup>-2</sup> and 45.1 to 7.8 g m<sup>-2</sup>, respectively.



**Figure 6** - Earthworm density (N° indiv. m<sup>-2</sup>) in various land use systems at and surrounding the Embrapa Amazônia Ocidental Research Station near Manaus (Barros et al., 2003; 2004; 2006; Decaëns et al., 2004). For meanings of abbreviations see Figure 5 legend.

The role of *P. corethrurus* and a diverse assemblage of soil organisms (other earthworm species, termites, millipedes, isopods, ants, etc.) in destroying and re-creating soil structure was evaluated in a 15 yr old degraded *B. humidicola* pasture and the native forest (Barros et al., 2004). Soil monoliths (25 x 25 cm square x 30 cm deep) were removed from the pasture, where a large and active population of *P. corethrurus* had been found previously, and placed in the native forest. Similar blocks were taken from the forest and placed in the pasture. After one year, the structure of the compacted pasture soil was completely restored to levels of those typical in native forest soils by the action of the diverse community of forest soil animals. Meanwhile the macroaggregate structure of the forest soil was completely destroyed by *P. corethrurus*, reaching compaction and porosity levels similar to those of the degraded pasture.

The research performed in the above studies highlights:

- The importance of a diverse assemblage of plants, including trees and cover crops, in enhancing soil animal populations;
- The major role of a diverse assemblage of macro-invertebrates in the maintenance of soil structure (especially in these kaolinitic soils);
- The role of exotic, invasive species on ecosystem properties and processes;
- The problems associated with management practices that are not well adapted to the environment (i.e., extensive pastures on problem soils after deforestation).

Further work on these topics is necessary, in particular to assess the functional integrity over time, of the community of soil animals in AF and ASP systems, and how they can be managed for maximum benefits and to prevent “biodiversity accidents” such as those described above (Lavelle, 2000). In this regard, connectivity in the landscape for more rapid re-colonization of animals (and plants) in soils recovering from various agricultural (or other) uses, is particularly important. At the study sites near Manaus, lack of continuity (and distance) of the fallows to the native forest led to a low morphospecies richness, even after 20 yr. Apparently, a large proportion of the animals in species-rich soil communities, such as those found in Brazilian Amazonia, are very sensitive to disturbance, particularly deforestation and land use intensification. Many forest species are rare and endemic, and disappear together with the forest. With time, invasive and/or exotic species may replace the native species almost irreversibly, leading to considerable shifts in the potential contribution of the soil animal community to soil function and ecosystem sustainability.

#### Case Study 2. The SHIFT Program at the Embrapa Amazônia Ocidental Research Station, 30 km N of Manaus

As part of the German-Brazilian SHIFT Program (Studies of Human Impact on Forests and Floodplains in the Tropics), to restore degraded lands for sustainable use, a large experiment was set up at the Embrapa Amazônia Ocidental Research Station near Manaus. The main aim of this trial was to test the ecological viability and impact of various polyculture AF systems including fruit- and timber wood-producing tree species. The experimental area had been cleared of primary forest in 1979-80, when a rubber tree (*Hevea brasiliensis*) monoculture was established. The plantation was abandoned in 1984, and the secondary growth that had become established was cut and burned in 1992, to establish the present trial. The polyculture AF plots had 30-60 species of vascular plants and the dominant species were rubber and three timber tree species; in the secondary and primary forest, 200 and 500 species of vascular plants were found, respectively (Martius et al., 2004a). Of the 90 plots established in 5 blocks in the trial, two polyculture AF plots (POA and POC), a 13-year-old secondary forest on the same degraded land and a nearby little-disturbed primary forest, were chosen for the present study.

The structure of the soil fauna community and its function (e.g. the decomposition of OM), in relation to the abiotic conditions of the polyculture systems (Hanagarth et al., 2004) were studied when the two AF systems were 5-year-old. Abundance and biomass of functional groups (i.e., predators, decomposers, herbivores and others) of soil meso- and macro-fauna were measured using standard methods at three-monthly-intervals over 2 years (1997-1999) and litterbag experiments (filled with a “standard litter” of *Vismia guianensis*) were carried out with fauna exclusion. In most cases the fauna was sorted to higher taxa representing functional groups. Only few taxa were classified to genera, morphospecies or species.

Soil animal diversity tended to be lower in the AF systems compared to the primary forest; this

was the case for ants (Garcia et al., 2000; 2002; Verhaagh, 2005), termites (Martius et al., 2000) and beetles (Hanagarth & Brändle, 2001) (Table 4). Some taxa common in the forest were never found in the AF plots, like Palpigradi and scorpions (Arachnida), most mygalomorph spider species and some ant and termite genera. Nine earthworm species of the family Glossoscolecidae were found (Römbke et al., 1999), and no differences occurred between treatments (the same was true also for enchytraeids). The most conspicuous worms (up to > 1 m long) were *R. priollii* and *R. contortus*, both endemic to the Manaus area. *P. corethrus* was found in all plots except in the primary forest. The same pattern was observed for five non-autochthonous millipede species, originating from Asia, (*Trigoniulus corallinus*, *Rhinotus purpureus*, *Asiomorpha coarctata*), or introduced by humans from other neotropical regions (*Epitrigoniulus cruentatus*, *Xenobolus carnifex*). Strong shifts in species composition and dominance were also found for beetles and woodlice. In the primary forest plot Philosciidae dominated, whereas the genus *Cirroniscus* (Scleropactidae) was rare. This scleropactid woodlouse strongly dominated in the AF plots and is abundant in many other disturbed habitats, probably being one of the most important decomposer species in anthropogenic landscapes.

**Table 4** - Biodiversity of selected groups of soil invertebrates in the AF plots (POA & POC), secondary and primary forest at the Embrapa Amazônia Ocidental Research Station near Manaus (results from the SHIFT project) (Garcia et al., 2000; Martius et al., 2000; Römbke, 2000; Römbke & Garcia, 2000; Hanagarth & Brändle, 2001; Höfer et al., 2001). The taxonomic level is indicated for each animal.

Soil animals	AF plot POA	AF plot POC	Secondary forest	Primary forest
Beetles (Families)	24	26	28	36
Ants (Genera)	28	28	35	43
Termites (Genera)	8	8	9	13
Millipedes (Families)	13	13	13	12
Earthworms (Species)	5	8	8	7
Enchytraeids (Species)	19	18	17	18

The macrofauna community at the research sites showed, therefore, a substitution of taxa and functional groups in the AF plots, compared to primary forest. Here, social insects (mainly termites) and earthworms occurred in high abundance and biomass, whereas in the AF system other decomposer groups like woodlice and millipedes became dominant. Strong shifts were also observed within the groups, e.g. on the family, genus or species level. Species richness of several predator and decomposer groups was lower in the AF systems and the secondary forest, as compared to the primary forest.

Soil mesofauna abundance was around 25,000 indiv. m<sup>-2</sup> and dry biomass around 650 mg m<sup>-2</sup> in three sites but distinctly higher in POA (Table 5; Höfer et al., 2001). In all sites the mesofauna was strongly dominated by oribatid mites, which accounted for, on average, 42-59% of all individuals and 58-71% of the total mesofauna biomass (Franklin et al., 2001). Predatory mites were also abundant (7-22% of individuals and 13-16% of biomass, respectively). Springtails accounted for around 5% of abundance and 5-8% of biomass in the AF systems, and their total contribution was greater in the primary forest (13% of individuals, 11% of biomass). Enchytraeidae were more abundant in the primary and secondary forest, with around 24% of the individuals and 12% of total biomass in these sites, when compared with the AF plots (around 16% of individuals and 7% of biomass, respectively). In relation to the arthropod macrofauna, the mesofauna accounted for 83-90% of the total faunal abundance and for 40% of the total biomass in POA and 33% in the secondary forest, but only 22% in POC and 18% in the primary forest (Höfer et al., 2001).

Macrofauna abundance and biomass were lower in POA and the secondary forest than in POC and the primary forest (Table 5; Höfer et al., 2001). Arthropods were generally more abundant in samples taken at the beginning of the rainy season and less abundant in June, at the beginning of the dry season. Predatory arthropods accounted for 46-53% of the whole arthropod macrofauna while decomposers ranged from 35-43% of the total. The most abundant predators in all sites were pseudoscorpions, Diplura, ants and spiders. Ants were most abundant in primary forest (16%), but much less represented in the AF

plots (3-6%). In the AF system millipedes dominated the decomposer guild (around 8% of all arthropods), whereas termites were the most abundant decomposers in the primary forest (24%).

Decomposer biomass differed strongly between the AF plots and the primary forest. In the AF systems, termites had a much lower biomass (Table 5), accounting for only for 8-13% of the total, while in both the primary and secondary forest, their contribution was over 20%. By contrast, millipedes and woodlice dominated strongly in the AF plots (millipedes, 12-18%; woodlice, 17-43 %), but not in the forest (millipedes, 8%; woodlice 11%). The biomass of woodlice was especially high in POC (Table 5), due to the high abundance of large individuals of *Cironiscus* sp., while their biomass was very low in the secondary forest. Earthworms showed rather low and highly variable abundance. The occurrence of very large earthworms led to high biomass values in the primary forest and very high variance in the AF plots, where these large earthworms occurred only occasionally (Table 5). Median biomass of earthworms reached 50% of the biomass of all decomposers in the primary forest, 28% in the secondary forest and 22% in POC, but only 3% in POA (Höfer et al., 2001).

**Table 5 - Abundance (indiv. m<sup>-2</sup>) and dry biomass (mg m<sup>-2</sup>) of meso- and macrofauna (including the most important decomposer groups) in the AF plots (POA & POC), secondary and primary forest at the Embrapa Amazônia Ocidental Research Station near Manaus (results from the SHIFT project) (Höfer et al., 2001). Shown are means over 8 sampling events and standard deviations (sd) in % of the mean.**

Decomposition rates measured in each of the land use systems were strongly determined by the

Size class	AF plot POA		AF plot POC		Secondary forest		Primary forest	
Animal								
Abundance	mean	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd
Mesofauna	32.890	62%	25.033	28%	24.703	40%	24.450	21%
Macrofauna	3.745	37%	4.266	41%	3.769	31%	4.866	31%
Biomass								
Mesofauna	937	69%	655	29%	679	41%	609	21%
Macrofauna	1.368	28%	2.332	48%	1.391	62%	2.713	38%
Termites	109	111%	304	133%	305	44%	654	24%
Millipedes	247	69%	276	59%	107	72%	220	85%
Woodlice	227	77%	994	81%	34	67%	287	66%
Earthworms	397	205%	963	123%	259	80%	1.541	68%

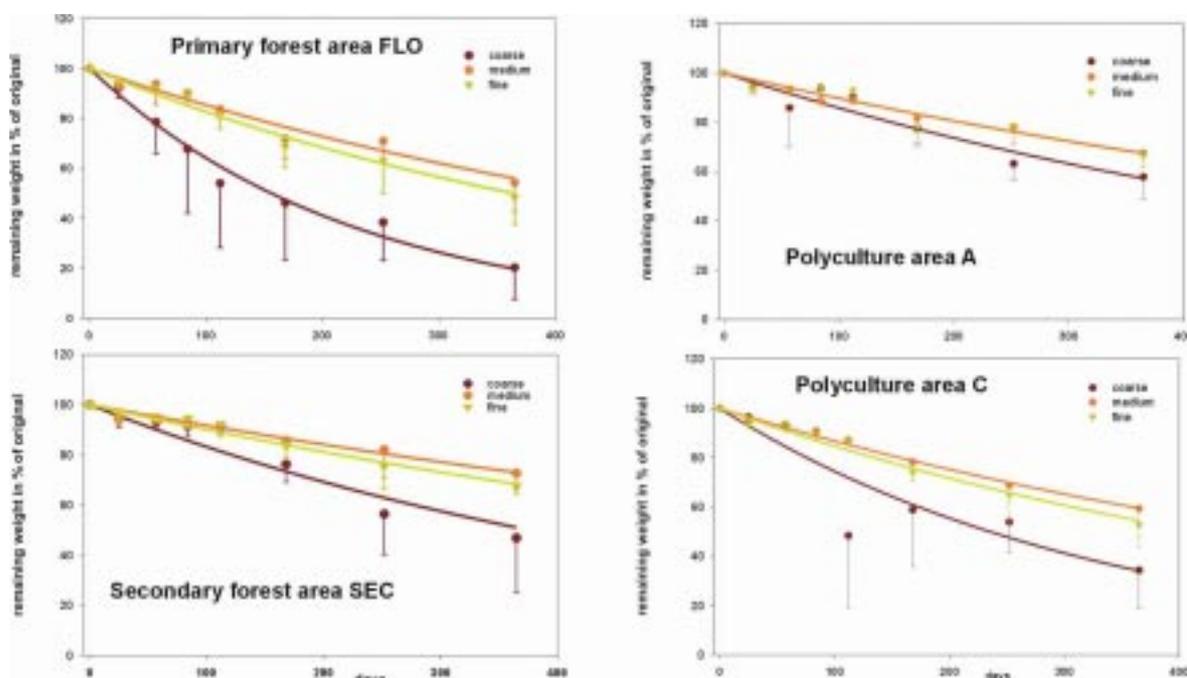
macrofauna (rates were much lower in litterbags when macrofauna were excluded). Their role appeared to be particularly important in the primary forest where large earthworms, termites and ants dominated the soil fauna. In the AF plots, where litter originated predominantly from non-planted, adventitious vegetation, an abundant decomposer fauna was also found, but dominated by other groups or species. Decomposition rates in the AF plots were about 60% lower, and soil biological variables like OM, nitrogen-content and water holding capacity were slightly lower than in the primary forest (Martius et al., 2004a) (Figure 7). However, no accumulation of litter was observed.

Furthermore, macrofauna biomass (i.e., arthropods and earthworms) in the plots was positively correlated with decomposition rates and negatively with litter stocks. Conversely, mesofauna biomass was not correlated with decomposition rates and litter stocks, and exclusion of mesofauna in litterbags did not result in further decrease of decomposition rates (Franklin et al., 2004). These functional groups seem to play another role in decomposition than the macro-decomposers (Franklin & Morais, 2006). The latter accelerate physical and chemical decay by fragmenting large organic particles like leaves and wood, while the importance of the mesofauna is mostly due to their grazing effect, exerting control on microbial populations.

Soil- and litter-inhabiting animals depend on the quality and quantity of litter, and on microclimatic conditions in their specific habitats. On the other hand, the feeding and casting activities of decomposer fauna and ecosystem engineers also influences litter quantity and quality and the turn-

over of soil OM. Thus, some of the differences in the soil animal communities and decomposition rates between primary forest and AF sites were explainable by the different abiotic conditions of these habitats (Martius et al., 2004b). The reflection of these parameters was particularly evident in POA, probably due to more extreme microclimatic conditions (i.e., surface temperatures) in this plot. Höfer et al. (2001) also hypothesized that the impoverished macrofauna populations in the secondary forest plot was likely responsible for the observed litter accumulation. These results highlight the importance of soil cover and shade for soil animals and decomposition processes and corroborate the hypothesis that tolerance of secondary vegetation in plantations, although creating competition with the culture plants, has positive effects on microclimate and the litter layer and, consequently, on soil fauna, soil structure and nutrient recycling. These effects seem especially important for low input systems on the extremely poor soils in Amazonia.

Figure 7 - Decomposition (mass loss) in the AF plots (Polyculture area A and C), secondary and



primary forest at the Embrapa Amazônia Ocidental Research Station near Manaus (results from the SHIFT project) (Adapted from Höfer & Luizão, 2000).

In summary, the present experiments found that:

- In terms of species number, the soil fauna in the AF systems often resembles the fauna of the nearby primary forest, but the species composition and dominance spectra are different;
- Nearly no differences in abundance but differences in biomass occurred when primary rain forest was converted to the AF plantations;
- Despite structural differences (i.e., species and dominance spectra), functional efficiency (i.e., concerning litter decomposition) of the soil fauna was similar in all sites, although decomposition rates were lower in the AF plots than in the native forest.

Case Study 3. The Alternatives to Slash and Burn Project Sites  
(Rondônia and Acre)

The nematodes, recovered from the five land use systems sampled in Rondônia and Acre, were distributed in 159 genera and 59 families (Bignell et al., 2005; Huang & Cares, 2006). At the

genus level, richness was lowest in the pastures (79 gen.), intermediate in the annual crops (97 gen.) and highest in the forests, fallows and AF systems (102, 113 and 108 gen., respectively) (Table 6). Shannon index was also higher in fallows and AF than the other systems (including the forest).

Nematode abundance was significantly greater in the pasture than the cropping and AF systems. Plant parasites were the dominant trophic group, representing 30-75% of the total abundance (depending on the system), followed by the bacterivores (11-24% of total). In the AF systems, forests and pastures, there was a high abundance of plant parasites and low density of bacterivores, while in the fallow plots, the opposite occurred (Huang & Cares, 2006). Plant parasitic index was highest in pastures, followed by the AF systems, intermediate in the fallows and lowest in the annual crops and forests (Table 6).

**Table 6** - Nematode abundance, diversity and community structure and macrofauna abundance, biomass and diversity (including termites) at the ASB project sites in Acre (RECA and Pedro Peixoto) and Rondônia (Ji-Paraná and Theobroma), in western Brazilian Amazonia (Huang & Cares, 2006; Bignell et al., 2005; Barros et al., 2002; 2006). Values are means of three sites per land use system

Parameter	Disturbed forests	Fallows	Agroforestry systems	Annual crops	Pastures
<i>Nematodes</i>					
Abundance (N° x 10 <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	1,715ab	1,597ab	1,290b	1,226b	2,401a
Total generic richness	102	113	108	97	79
Total family richness	42	45	44	41	37
Generic richness sample <sup>-1</sup>	7.3ab	8.1a	8.2a	6.8bc	5.8c
Shannon index	1.0b	1.2a	1.1a	1.0b	0.9b
Maturity index	3.4a	3.3ab	3.3ab	2.9c	3.1bc
Plant parasitic index	3.2d	3.6bc	3.8ab	3.4cd	4.0a
<i>Macrofauna</i>					
Total abundance (N° m <sup>-2</sup> )	884	1737	1744	1760	840
Termites (%)	30	41	41	68	7
Ants (%)	36	32	38	10	20
Coleoptera (%)	13	5	4	7	29
Earthworms (%)	5	5	5	6	32
Total biomass (g m <sup>-2</sup> )	10.2	9.2	9.5	9.3	56.2
Earthworms (%)	35	14	56	33	63
Myriapoda (%)	15	42	17	18	5
Coleoptera (%)	27	13	7	8	26
Termites (%)	4	13	6	24	<1
Group richness	13	15	12	14	10
Shannon index	2.2	2.1	1.9	1.6	1.7
Termite genera (N°)	10	7	9	4	2

The Maturity Index showed distinct values in tree-based systems (fallow, AF, forest) than the annual crops and pastures. This index measures the balance between colonizer nematodes (species with and high reproduction rates and tolerance to disturbance) and persistent species (with long life-cycles and low reproduction rates). Therefore, the presence of trees, such as in AF systems, appears to favor a more persistent nematode fauna, typical of more protected, stable environments, while cropping systems and pastures favor more rapid nematode community turnover, with dominance of species more tolerant to disturbance.

Similar to the nematodes, termite genera richness and Shannon index were higher in the tree-based systems (7-10 gen.) than the cropping and pasture systems (4 and 2 gen., respectively) (Table 6). At the

level of macrofauna orders, however, this distinction was not maintained. Macrofauna abundance was similar in fallows, AF and crop systems (around 1750 indiv. m<sup>-2</sup>) and higher than in forests and pastures (840-880 indiv. m<sup>-2</sup>). Total biomass was higher in the pastures (56 g m<sup>-2</sup>) than the remaining land use systems (9.2-10.2 g m<sup>-2</sup>). Lowest and highest macrofauna abundance observed over all the sample sites was 195 indiv. m<sup>-2</sup> (forest, Pedro Peixoto) and 2899 indiv. m<sup>-2</sup> (annual crop, Theobroma), respectively. Lowest and highest overall biomass was 2.8 g m<sup>-2</sup> (fallow, Pedro Peixoto) to 151 g m<sup>-2</sup> (pasture, Ji-Paraná), respectively.

As observed in the Manaus area, ants and termites dominated the abundance of most sites, together representing 63-79% of the total, except in the pastures (27% of total), where earthworms and mainly rhizophagous (pest) beetles predominated (32% and 29% of total, respectively) (Table 6). In terms of biomass, earthworms predominated (especially in the pastures), except in the fallows (where millipedes predominated), as had also been observed previously in Manaus.

In summary, these results show that:

- Tree-based (e.g., AF) systems can maintain higher soil animal diversity than pastures or annual cropping systems, and their communities are more similar to those of native forests;
- Soil animal communities are sensitive indicators of land-use system change and management.

### MANAGEMENT OF SOIL ANIMALS IN AGROFORESTRY SYSTEMS

We have seen that AF systems influence the community of soil animals and that, in turn, these animals can have important effects on soil function, feeding back to the system productivity and sustainability. Therefore, soil animals should be considered part of the biological resources of AF systems, and they must be considered in the agroecosystem's management decisions. Management of AF systems can be performed at various levels, and Swift (1999) proposed a series of potential "entry points" or management practices that can affect soil biological processes and their contribution to agricultural sustainability (Figure 8):

- The choice of plants and their spatio-temporal organization in the system, and the inclusion or not of livestock (and their management);
- Alteration of the plant's resistance to disease, or the quality of residues (roots and shoots) produced, through genetic plant improvement;
- Change in the amount and/or quality of the organic residues entering the soil system (external or internal to the system) to help control pests and feed beneficial soil biota;
- Minimum soil disturbance and use of pesticides, irrigation, and fertilizers (when and if necessary);
- Use of biological control (pests and diseases) practices;
- Inoculation of beneficial soil organisms (disease antagonists, microsymbionts, rhizobacteria, and earthworms) for disease control and soil fertility improvement.

These entry points can influence positively and/or negatively soil animal populations directly and/or indirectly. Greatest benefits to soil animal populations (activity and diversity), particularly over the long term, are likely to come from the proper choice of crops and trees and their distribution in space and time in the AF system, the enhancement of natural pest and disease resistance of the chosen plants, improvement in the quality of residues produced, and management of OM and other external inputs (e.g., fertilizers) into the system. Minimum tillage and maintenance of crop residue cover on the soil surface also benefit belowground food webs and processes compared with conventionally cultivated soils (House & Parmelee, 1985; Brown et al., 2002b). The adoption of all these practices should help increase food quality and quality for the soil community and create a more suitable environment for their activities. However, further research is needed, particularly to optimize the supply of organic resources (and in particular, their quality, including mixtures of different litter types) in different AF practices under various soil and climate conditions.

The direct management of soil animal communities, for example the inoculation of earthworms (see below) or the use of biocontrol practices to control diseases and pests (as an alternative to synthetic pesticide use), is generally costly and difficult. Biocontrol techniques are already used widely by farmers and land managers in some countries and for some crops. Nevertheless, they continue to

be underutilized in many less developed countries, particularly by resource-poor farmers, when there is considerable cost involved or when the biocontrol agent is not readily available. Furthermore, biocontrol has not been developed for all major crops and trees of economic significance to developing world farmers. The potential benefits of the use of this technique can be high, and the relevant institutions and governments responsible for agricultural development should promote both research and mainstreaming of available biocontrol agents and practices.

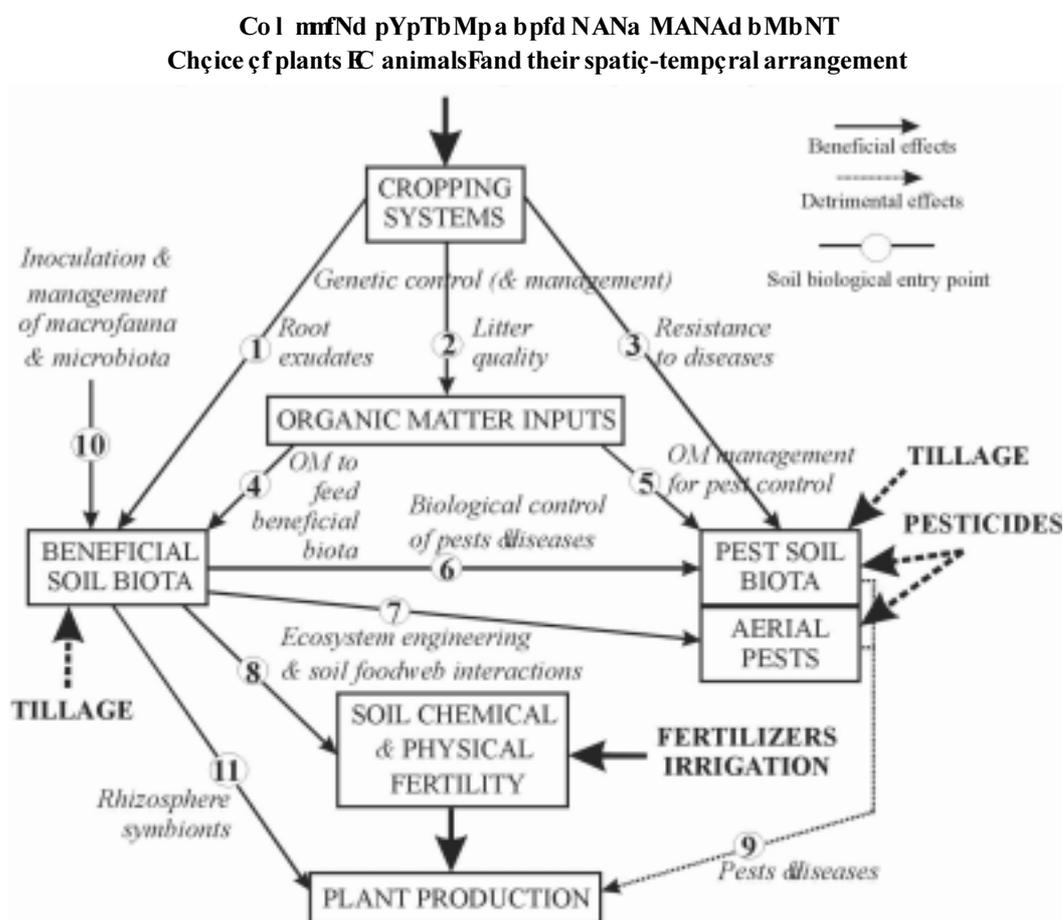


Figure 8 - The potential entry points for biological management of beneficial and pest soil organisms, cropping systems, OM inputs and soil fertility, affecting plant production (Adapted from Swift, 1999; modified from Susilo et al., 2004). OM=organic matter.

Inoculation of beneficial soil animals such as earthworms has been successful under some circumstances (Senapati et al., 1999), but for the meantime still depends on the availability of abundant and cheap human labor (to produce and disseminate the earthworms in the field). A major future challenge to overcome is the development of automated reproduction systems and inoculating machinery. Furthermore, research must show that the inoculated species is strictly beneficial and does not cause any externalities. Native species should be given preference, as exotics have been known to cause problems to soils, plants and other animal species in various parts of the world (Hendrix et al., 2006).

### CONCLUSIONS AND FUTURE RESEARCH PRIORITIES

AF systems are a promising alternative to the intensive monoculture-based systems that have been promoted and adopted throughout the world since the green revolution. These systems optimize the ecological interactions and synergies between biological components of the ecosystem and the bio-

logical efficiency of soil processes in order to maintain soil fertility, productivity and crop protection (Swift, 1999).

Diversification, and especially the incorporation of trees (of several species) into agricultural production systems, appears to be a major driving force in determining soil animal communities and soil processes, and can also play an important role in ensuring production in the face of various climatic and other disturbances (e.g., pest and/or disease outbreaks). However, further research is necessary to properly assess these phenomena for a variety of agroecosystems, including AF systems.

Most of the research on soil animal communities in Brazilian AF systems has been done only in Amazonia. Efforts should be made to widen the present knowledge base on soil animals and soil processes in AF and other agroecosystems throughout Brazil, over a wide range of climate, soil and vegetation types. These will help reveal the particular conditions that promote soil biodiversity, ecosystem function and sustainability. Measurements should preferably integrate the spatial structure of the AF production systems at scales from the landscape to the farming system and plot, so that all aspects of the system are included and so that the practical aspects of the results can be scaled-up or down, as needed.

Brazil is host to a large part of the world's biodiversity (Lewinsohn & Prado, 2005). However, many species of the soil biota must still be discovered and described, and this is limited by the few specialists working in Brazil. Mainstreaming and facilitation of taxonomy, as well as training and research on the biology and life history of many groups and species of soil fauna must be prioritized if we are to reach an adequate understanding of soil biodiversity and its role in natural and agricultural ecosystems of Brazil.

Finally, soil animals are part of the biological resources that need to be managed in AF systems. They can be used as indicators of the health of the system and they play an important part in maintaining its fertility and productivity. A diverse community of soil animals may help reduce pest outbreaks (Lavelle et al., 2004), and their activity creates and maintains soil structure (Barros et al., 2004), regulates decomposition and mineralization processes and can influence the long-term turnover and protection of OM (Lavelle et al., 2003). Proper management practices, in particular those that preserve and enhance the litter layer (quality and quantity), protect the soil's physical integrity, minimize the use of external synthetic inputs (especially pesticides), and enhance soil organic resources will be the most interesting to promote soil animal activities and their beneficial role in AF soils.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge the support of Embrapa, CNPq and the SHIFT program, and thank the organizers of the Conference for the invitation to contribute this chapter.

#### LITERATURE CITED

- ADIS, J. Amazonian Arachnida and Myriapoda. Moscow, Pensoft, 2002.
- ANDERSON, J.M. Soil organisms as engineers: Microsite modulation of macroscale processes. In: JONES, C.G. & LAWTON, J.H. eds. Linking species and ecosystems. New York, Chapman and Hall, 1995. p.94-106.
- ANDRÉ, H.M.; NOTI, M.-I. & LEBRUN, P. The soil fauna: The other last biotic frontier. *Biodiv. Conserv.*, 3:45-56, 1994.
- BANDEIRA, A.G. & HARADA, A.Y. Densidade e distribuição vertical de macroinvertebrados em solos argilosos e arenosos na Amazônia central. *Acta Amaz.*, 28:191-204, 1998.
- BARROS, E.; CURMI, P.; HALLAIRE, V.; CHAUVEL, A. & LAVELLE, P. The role of macrofauna in the transformation and reversibility of soil structure of an oxisol in the process of forest to pasture conversion. *Geoderma*, 100:193-213, 2001.
- BARROS, E.; PASHANASI, B.; CONSTANTINO, R. & LAVELLE, P. Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. *Biol. Fertil. Soils*, 35:338-347, 2002.

- BARROS, E.; NEVES, A.; BLANCHART, E.; FERNANDES, E.C.M.; WANDELLI, E. & LAVELLE, P. Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in Amazonia. *Pedobiologia*, 47:273-280, 2003.
- BARROS, E.; GRIMALDI, M.; SARRAZIN, M.; CHAUVEL, A.; MITJA, D.; DESJARDINS, T. & LAVELLE, P. Soil physical degradation and changes in macrofaunal communities in Central Amazonia. *Appl. Soil Ecol.*, 26:157-168, 2004.
- BARROS, E.; MATHIEU, J.; TAPIA-CORAL, S.; NASCIMENTO, A.R.L. & LAVELLE, P. Soil macrofauna communities in Brazilian Amazonia. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. & BRUSSAARD, L. eds. *Soil biodiversity in Amazonian and other Brazilian ecosystems*. Wallingford, CABI, 2006. p.43-55.
- BARROS, M.E. Effet de la macrofaune sur la structure et les processus physiques du sol de pâturages dégradés d'amazone. PhD Thesis, Université Paris VI, Paris, 1999.
- BATER, J.E. Micro- and macro-arthropods. In: HALL, G.S. ed. *Methods for the examination of organismal diversity in soils and sediments*. Wallingford, CABI, 1996. p.163-174.
- BENGTSSON, J. Which species? What kind of diversity? Which ecosystem function? Some problems in studies of relations between biodiversity and ecosystem function. *Appl. Soil Ecol.*, 10: 191-199, 1998.
- BIGNELL, D.E.; TONDOH, J.; DIBOG, L.; HUANG, S.P.; MOREIRA, F.; NWAGA, D.; PASHANASI, B.; SUSILO, F.X. & SWIFT, M. Belowground biodiversity assessment: Developing a key functional group approach in best-bet alternatives to slash and burn. In: PALM, C.A.; VOSTI, S.A.; SANCHEZ, P.A. & ERICKSEN, P.J. eds. *Slash-and burn agriculture: The search for alternatives*. New York, Columbia University Press, 2005. p.119-142.
- BRANDÃO, C.R.F.; CANCELLO, E.M.; YAMAMOTO, C.I. & SCOTT-SANTOS, C. Invertebrados terrestres. In: LEWINSOHN, T.M., ed. *Avaliação do estado do conhecimento da biodiversidade brasileira*, Vol. 1. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2006. p.205-259.
- BROWN, G.G.; BAROIS, I. & LAVELLE, P. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *Eur. J. Soil Biol.*, 36:177-198, 2000.
- BROWN, G.G.; PASINI, A.; BENITO, N.P.; de AQUINO, A.M. & CORREIA, M.E.F. Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no-tillage agroecosystems. In: *Proceedings of the International Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems*, 8-10 November, 2001. Montreal, UNU/CBD, CD-Rom, 2002. p.1-20.
- BROWN, G.G. & FRAGOSO, C. *Minhocas na América Latina: Biodiversidade e ecologia*. Londrina., Embrapa, 2006. In press.
- BROWN, G.G.; SWIFT, M.J.; BENNACK, D.E.; BRUSSAARD, L.; BUNNING, S. & MONTÁÑEZ, A. Managing soil biodiversity in agricultural ecosystems. In: JARVIS, D.; PADOCH, C. & COOPER, D. eds. *Managing biodiversity in agroecosystems*. New York, Columbia University Press, 2006. In press.
- BRUSSAARD, L.; BEHAN-PELLETIER, V.M.; BIGNELL, D.E.; BROWN, V.K.; DIDDEN, W.; FOLGARAIT, P.; FRAGOSO, C.; WALL-FRECKMAN, D.; GUPTA, V.V.S.R.; HATTORI, T.; HAWKSWORTH, D.L.; KLOPATEK, C.; LAVELLE, P.; MALLOCH, D.W.; RUSEK, J.; SÖDERSTRÖM, B.; TIEDJE, J.M. & VIRGINIA, R.A. Biodiversity and ecosystem functioning in soil. *Ambio*, 26:563-570, 1997.
- CLARHOLM, M. Interactions of bacteria, protozoa and plants leading to mineralization of soil nitrogen. *Soil Biol. Biochem.*, 17:181-187, 1985.
- COLEMAN, D.C.; CROSSLEY JR., D.A. & HENDRIX, P.F. *Fundamentals of soil ecology*, 2<sup>nd</sup> ed. New York, Elsevier, 2004.
- COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R.V.; PARUELO, J.; RASKIN, R.G.; SUTTON, P. & van den BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387:253-260, 1997.

- CULIK, M.P. & ZEPPELINI FILHO, D. Diversity and distribution of Collembola (Arthropoda: Hexapoda) of Brazil. *Biodiv. Conserv.*, 12:1119-1143, 2003.
- DECAËNS, T.; JIMÉNEZ, J.J.; BARROS, E.; CHAUVEL, A.; BLANCHART, E.; FRAGOSO, C. & LAVELLE, P. Soil macrofaunal communities in permanent pastures derived from tropical forest or savanna. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 103:301-312, 2004.
- DECAËNS, T.; JIMÉNEZ, J.J.; GIOIA, C.; MEASEY, G.J. & LAVELLE P. The values of soil animals for conservation biology. *Eur. J. Soil Biol.*, 42, in press, 2006.
- de RUITER, P.C.; NEUTEL, A.M. & MOORE, J.C. Modelling food webs and nutrient cycling in agroecosystems. *TREE*, 9:378-383, 1994.
- EKSCHMITT, K. & GRIFFITHS, B. S. Soil biodiversity and its implications for ecosystem functioning in a heterogeneous and variable environment. *Appl. Soil Ecol.*, 10:201-215, 1998.
- FRAGOSO, C. & LAVELLE, P. Earthworm communities of tropical rain forests. *Soil Biol. Biochem.*, 24:1397-1408, 1992.
- FRANKLIN, E.N.; MORAIS, J.W. & SANTOS, E.M.R. Density and biomass of acari and collembola in primary forest, secondary regrowth and polycultures in central Amazonia. *Andrias*, 15:141-153, 2001.
- FRANKLIN, E.; HAYEK, T.; FAGUNDES, E.P. & SILVA, L.L. Oribatid mite (Acari: Oribatida) contribution to decomposition dynamic of leaf litter in primary forest, second growth and polyculture in the central Amazon. *Braz. J. Biol.*, 64:59-72, 2004.
- FRANKLIN, E.N. & MORAIS, J.W. Soil mesofauna in Central Amazon. In: MOREIRA, F.M.S., SIQUEIRA, J.O. & BRUSSAARD, L. eds. *Soil biodiversity in Amazonian and other Brazilian ecosystems*. Wallingford, CABI, 2006. p.142-162.
- GARCIA, M.V.B.; VERHAAGH, M. & MARTIUS, C. Soil ants in primary forest, secondary forest and an agroforestry plantation system in central Amazonia. In: HÖFER, H.; MARTIUS, C.; HANAGARTH, W.; GARCIA, M.; FRANKLIN, E.; RÖMBKE, J. & BECK, L., eds. *Soil fauna and litter decomposition in primary and secondary forests and a mixed polyculture system in Amazonia*. Final report of SHIFT project ENV 52, BMBF, Bonn, Germany, 2000. p.180-187.
- GARCIA, M.V.B.; VERHAAGH, M. & MARTIUS, C. Ant fauna in Central Amazonian polyculture systems and forests, In: LIEBEREI, R.; BIANCHI, H-K.; BOEHM, V. & REISDORFF, C. eds. *Neotropical ecosystems*. Proceedings of the German-Brazilian workshop, Hamburg 2000. Geesthacht (GKSS-Geesthacht), 2002. p.233.
- GILLER, K.E.; BEARE, M.H.; LAVELLE, P.; IZAC, A.M.N. & SWIFT, M.J. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Appl. Soil Ecol.*, 6:3-16, 1997.
- GILLER, P.S. The diversity of soil communities, the 'poor man's tropical rainforest'. *Biodiv. Conserv.*, 5:135-168, 1996.
- HÅGVAR, S. The relevance of the Rio-Convention on biodiversity to conserving the biodiversity of soils. *Appl. Soil Ecol.*, 9:1-7, 1998.
- HAMMOND, P.M.; HAWKSWORTH, D.L. & KALIN-ARROYO, M.T. Magnitude and distribution of biodiversity. 3.1. The current magnitude of biodiversity. In: HEYWOOD, V.H. ed. *Global biodiversity assessment*. Cambridge, Cambridge University Press, 1995. p.113-138.
- HANAGARTH, W. & BRÄNDLE, M. Soil beetles (Coleoptera) of a primary forest, secondary forest and two mixed polyculture systems in central Amazonia. *Andrias*, 15:155-162, 2001.
- HANAGARTH, W.; HÖFER, H.; MARTIUS, C.; GARCIA, M.V.B. & RÖMBKE, J. Soil fauna densities and fluctuations in central Amazonian forests and polyculture plantations as affected by the El Niño and La Niña events in the years 1997-1999. *Environtropica*, 1:1-18, 2004.
- HENDRIX, P.F.; BAKER, G.; BAROIS, I.; CALLAHAM, M.; DAMOFF, G.; FRAGOSO, C.; FRASER, T.; GONZÁLEZ, G.; JAMES, S.; LACHNICHT, S.; WINSOME, T. & ZOU, X. Invasion of exotic earthworm species into native earthworm communities. *J. Biol. Invas.*, 2006, in press.
- HENDRIX, P.F.; CROSSLEY, D.A. JR.; BLAIR, J.M. & COLEMAN, D.C. Soil biota as components of sus-

- tainable agroecosystems. In: EDWARDS, C.A.; LAL, R.; MADDEN, P.; MILLER, R.H. & HOUSE, G. eds. Sustainable agricultural systems. Ankeny, SWCS, 1990. p.637-654.
- HÖFER, H. & LUIZÃO, F. Decomposition in litterbags and mini-containers. In: HÖFER, H.; MARTIUS, C.; HANAGARTH, W.; GARCIA, M.; FRANKLIN, E.; RÖMBKE, J. & BECK, L. eds. Soil fauna and litter decomposition in primary and secondary forests and a mixed polyculture system in Amazonia. Final report of SHIFT project ENV 52, BMBF, Bonn, Germany, 2000. p.214-228.
- HÖFER, H.; HANAGARTH, W.; GARCIA, M.; MARTIUS, C.; FRANKLIN, E.; RÖMBKE, J. & BECK, L. Structure and function of soil fauna communities in Amazonian anthropogenic and natural ecosystems. *Eur. J. Soil Biol.*, 37:229-235, 2001.
- HOOPER, D.U.; BIGNELL, D.E.; BROWN, V.K.; WALL, D.H.; WARDLE, D.A.; COLEMAN, D.C.; GILLER, K.E.; LAVELLE, P.; van der PUTTEN, W.H.; de RUITER, P.C.; RUSEK, J.; SILVER, W.L.; TIEDJE, J.M. & WOLTERS, V. Interactions between aboveground and belowground biodiversity in terrestrial ecosystems: Patterns, mechanisms and feedbacks. *BioSci.*, 50:1049-1061, 2000.
- HOUSE, G.J. & PARMELEE, R.W. Comparison of soil arthropods and earthworms from conventional and no-tillage agroecosystems. *Soil Till. Res.*, 5:351-360, 1985.
- HUANG, S.P. & CARES, J.E. Nematode communities in soils under different land use systems in Brazilian Amazon and savanna vegetation. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. & BRUSSAARD, L. eds. Soil biodiversity in Amazonian and other Brazilian ecosystems. Wallingford, CABI, 2006. p.163-183.
- INGHAM, R.E.; TROFYMOW, J.A.; INGHAM, E.R. & COLEMAN, D.C. Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers: Effects on nutrient cycling and plant growth. *Ecol. Monog.*, 55:119-140, 1985.
- JONES, C.G.; LAWTON, J.H. & SHACHAK, M. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69:373-386, 1994.
- LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biol. Intern.*, 33:3-16, 1996.
- LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; LEPAGE, M.; WOLTERS, V.; ROGER, P.; INESON, P.; HEAL, O.W., & GHILLION, S. Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. *Eur. J. Soil Biol.*, 33:159-193, 1997.
- LAVELLE, P. Ecological challenges for soil science. *Soil Sci.*, 165:73-86, 2000.
- LAVELLE, P.; BARROS, E.; BLANCHART, E.; BROWN, G.G.; DESJARDINS, T.; MARIANI, L. & ROSSI, J.P. SOM Management in the tropics: Why feeding the soil macrofauna? *Nutr. Cycling Agroecosyst.*, 61:53-61, 2001.
- LAVELLE, P. & SPAIN, A.V. *Soil Ecology*. Dordrecht, Kluwer, 2002. 653p.
- LAVELLE, P.; SENAPATI, B.K. & BARROS, E. Soil macrofauna. In: SCHROTH, G. & SINCLAIR, F.J. eds. Trees, crops and soil fertility. Wallingford, CABI, 2003. p.303-323.
- LAVELLE, P.; BLOUIN, M.; BOYER, J.; CADET, P.; LAFFRAY, D.; PHAM-THI, A.-T., REVERSAT, G.; SETTLE, W. & ZUILY, Y. Plant parasite control and soil fauna diversity. *C.R. Acad. Sci. Paris, Ser. Biol.*, 327:629-638, 2004.
- LEWINSOHN, T.M.; FREITAS, A.V.L. & PRADO, P.I. Conservação de invertebrados terrestres e seus habitats no Brasil. *Megadiversidade*, 1:62-69, 2005.
- LEWINSOHN, T.M. & PRADO, P.I. Quantas espécies há no Brasil? *Megadiversidade*, 1:36-42, 2005.
- LEWINSOHN, T.M. & PRADO, P.I. Síntese do conhecimento atual da biodiversidade brasileira. In: LEWINSOHN, T.M. ed. Avaliação do estado do conhecimento da biodiversidade brasileira, Vol. 1. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2006. p.21-109.
- LUIZÃO, F.J.; TAPIA-CORAL, S.C.; BARROS, E. & WANDELLI, E. Relación entre la diversidad encimay dentro del suelo de sistemas agroforestales in la Amazonía Central. In: Congreso Latino Americano de Ciencia del Suelo, Havana, Cuba, 2001. CD-Rom.
- MARTIUS, C.; GOMES, E. & GARCIA, M.V.B. Soil termites. In: HÖFER, H.; MARTIUS, C.;

- HANAGARTH, W.; GARCIA, M.; FRANKLIN, E.; RÖMBKE, J. & BECK, L. eds. Soil fauna and litter decomposition in primary and secondary forests and a mixed polyculture system in Amazonia. Final report of SHIFT project ENV 52, BMBF, Bonn, Germany, 2000. p.188-193.
- MARTIUS, C.; HÖFER, H.; GARCIA, M.V.B.; RÖMBKE, J. & HANAGARTH, W. Litter fall, litter stocks and decomposition rates in a rain forest and agroforestry sites in central Amazonia. *Nutr. Cycling Agroecosyst.*, 68:137-154, 2004a.
- MARTIUS, C.; HÖFER, H.; GARCIA, M.V.B.; RÖMBKE, J.; FÖRSTER, B. & HANAGARTH, W. Microclimate in agroforestry systems in Central Amazonia: Does canopy closure matter to soil organisms? *Agrofor. Syst.*, 60:291-304, 2004b.
- MATHIEU, J. Étude de la macrofaune du sol dans une zone de déforestation en Amazonie du sud-est, dans le contexte de l'agriculture familiale. PhD Thesis, University of Paris VI, Paris, 2004. 238p.
- McNEELEY, J.A. & SCHROTH, G. Agroforestry and biodiversity conservation—traditional practices, present dynamics, and lessons for the future. *Biodiv. Conserv.*, 15:549-554, 2006.
- MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. & BRUSSAARD, L. Soil organisms in tropical ecosystems: A key role for Brazil in the global quest for the conservation and sustainable use of biodiversity. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. & BRUSSAARD, L. eds. *Soil biodiversity in Amazonian and other Brazilian ecosystems*. Wallingford, CABI, 2006. p.1-12.
- NEUTEL, A.M.; HEESTERBEEK, J.A.P. & de RUITER, P.C. Stability in real food webs: Weak links in long loops. *Science*, 296:1120-1123, 2002.
- PALM, C.A.; VOSTI, S.A.; SANCHEZ, P.A. & ERICKSEN, P.J. *Slash-and burn agriculture: The search for alternatives*. New York, Columbia University Press, 2005. 480p.
- PAOLETTI, M.G. Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes: Practical use of invertebrates to assess sustainable land use. Amsterdam, Elsevier, 1999.
- PAOLETTI, M.G. *Ecological implications of minilivestock: Potential of insects, rodents, frogs and snails*. Enfield, Science Publishers, 2005. 648p.
- PENEIREIRO, F.M. *Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: Um estudo de caso*. Piracicaba, SP: University of São Paulo, 1999. MSc. Thesis.
- PIMENTEL, D.; WILSON, C.; MCCULLUM, C.; HUANG, R.; DWEN, P.; FLACK, J.; TRAN, Q.; SALTMAN T. & CLIFF, B. Economic and environmental benefits of biodiversity. *BioSci.*, 47:747-757, 1997.
- RÖMBKE, J. & MOLTMANN, J. *Applied Ecotoxicology*. Boca Raton, CRC Press, 1996.
- RÖMBKE, J.; MELLER, M. & GARCIA, M. Earthworm densities in central Amazonian primary and secondary forests and a polyculture forestry plantation. *Pedobiologia*, 43:518-522, 1999.
- RÖMBKE, J. Microdrili: enchytraeidae, naididae and tubificidae. IN: HÖFER, H.; MARTIUS, C.; HANAGARTH, W.; GARCIA, M.; FRANKLIN, E.; RÖMBKE, J. & BECK, L. eds. *Soil fauna and litter decomposition in primary and secondary forests and a mixed polyculture system in Amazonia*. Final report of SHIFT project ENV 52, BMBF, Bonn, Germany, 2000. p.164-179.
- RÖMBKE, J. & GARCIA, M.V.B. Earthworms. In: HÖFER, H.; MARTIUS, C.; HANAGARTH, W.; GARCIA, M.; FRANKLIN, E.; RÖMBKE, J. & BECK, L. eds. *Soil fauna and litter decomposition in primary and secondary forests and a mixed polyculture system in Amazonia*. Final report of SHIFT project ENV 52, BMBF, Bonn, Germany, 2000. p.149-163.
- RÖMBKE, J.; HÖFER, H.; GARCIA, M.V.B. & Martius, C. Feeding activities of soil organisms at four different forest sites in central Amazonia using the bait lamina method. *J. Trop. Ecol.*, 22:313-320, 2006.
- SENAPATI, B.K.; LAVELLE, P.; GIRI, S.; PASHANASI, B.; ALEGRE, J.; DECAËNS, T.; JIMÉNEZ, J.J.; ALBRECHT, A.; BLANCHART, E.; MAHIEUX, M.; ROUSSEAU, L.; THOMAS, R.; PANIGRAHI, P.K. & VENKATACHALAN, M. In-soil technologies for tropical ecosystems. In: LAVELLE, P.; BRUSSAARD, L. & HENDRIX, P.F. eds. *Earthworm management in tropical agroecosystems*. Wallingford, CABI, 1999. p.199-237.

- SUSILO, F.X.; NEUTEL, A.M.; van NOORDWIJK, M.; HAIRIAH, K.; BROWN, G.G. & SWIFT, M.J. Soil biodiversity and food webs. In: van NOORDWIJK, M.; CADISCH, G. & ONG, C.K. eds. *Below-ground interactions in tropical agroecosystems: Concepts and models with multiple plant components*, Wallingford, CABI, 2004. p.285-307.
- SWIFT, M.J.; VANDERMEER, J.; RAMAKRISHNAN, P.S.; ANDERSON, J.M.; ONG, C.K. & HAWKINS, B.A. Biodiversity and agroecosystem function. In: MOONEY, H.A.; CUSHMAN, J.H.; MEDINA, E.; SALA, O.E. & SCHULZE, E.D. eds. *Functional roles of biodiversity: A global perspective*. New York, Wiley, 1996. p.261-298.
- SWIFT, M.J. Towards the second paradigm: Integrated biological management of soil. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTANI NETO A.E. & CARVALHO, J.G. eds. *Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas*. Lavras, UFLA, 1999. p.11-24.
- SWIFT, M.J. & BIGNELL, D. Standard methods for assessment of soil biodiversity and land use practice. In: van NOORDWIJK, M.; WILLIAMS, S.E. & VERBIST, B. eds. *Toward integrated natural resource management in forest margins of the humid tropics: local action and global concerns*. ASB Lecture Note 6B, Bogor, ASB-ICRAF/SEA, 2001. 34p.
- TAPIA-CORAL, S.C.; LUIZÃO, F.J. & WANDELLI, E.V. Macrofauna da liteira em sistemas agroflorestais sobre pastagens abandonadas na Amazônia Central. *Acta Amaz.*, 29:477-495, 1999.
- TIAN, G.; BRUSSAARD, L. & KANG, B.T. An index for assessing the quality of plant residues and evaluating their effects on soil and crop in the (Sub-) humid tropics. *Appl. Soil Ecol.*, 2: 25-32, 1995.
- TORSVIK, V.; SORHEIM, R. & GOKSOYR, J. Total bacterial diversity in soil and sediment communities – a review. *J. Indust. Microb.*, 17:170-178, 1996.
- USDA-NRCS. Soil quality resource concerns: Soil biodiversity. Soil quality information sheet, Washington DC, USDA, Natural Resources Conservation Service, 1998.
- USHER, M.B.; DAVIS, P.; HARRIS, J. & LONGSTAFF, B. A profusion of species? Approaches towards understanding the dynamics of the populations of microarthropods in decomposer communities. In: ANDERSON, R.M.; TURNER B.D. & TAYLOR, L.R. eds. *Population dynamics*. Oxford, Oxford University Press, 1979. p.359-384.
- van der PUTTEN, W.H.; ANDERSON, J.M.; BARDGETT, R.D.; BEHAN-PELLETIER, V.; BIGNELL, D.E.; BROWN, G.G.; BROWN, V.K.; BRUSSAARD, L.; HUNT, H.W.; INESON, P.; JONES, T.H.; LAVELLE, P.; PAUL, E.A.; ST. JOHN, M.; WARDLE, D.A.; WOJTOWICZ, T. & WALL, D.H. The sustainable delivery of goods and services provided by soil biota. In: WALL, D.H. ed. *Sustaining biodiversity and ecosystem services in soils and sediments*. San Francisco, Island Press, 2004. p.15-43.
- van NOORDWIJK, M. Belowground biodiversity and sustainability of complex agroecosystems. In: GAFUR, A.; SUSILO, F.X.; UTOMO, M. & van NOORDWIJK, M. eds. *Management of agrobiodiversity in Indonesia for sustainable land use and global environmental benefits*. Bogor, ICRAF, 1999. p.8-28.
- VERHAAGH, M. Diversität und Ökologie von Ameisen in neotropischen Regenwäldern (Hymenoptera, Formicidae). *Entomologie heute*, 17:119-145, 2005.
- VOHLAND, K. & SCHROTH, G. Distribution patterns of the litter macrofauna in agroforestry and monoculture plantations in central Amazonia as affected by plant species and management. *Appl. Soil Ecol.*, 13:57-68, 1999.
- WALL, D.H. & MOORE, J.C. Interactions underground: Soil biodiversity, mutualism, and ecosystem processes. *BioSci.*, 49:109-117, 1999.
- WARDLE, D.A.; GILLER, K.E. & BARKER, G.M. The regulation and functional significance of soil biodiversity in agroecosystems. In: WOOD, D. & LENNÉ, J.M. eds. *Agrobiodiversity*. Wallingford, CABI, 1999. p.87-121.
- WILSON, E.O. The biological diversity crisis: A challenge to science. *BioSci.*, 35:700-706, 1985.

## **Atributos Biológicos em Solos sob Sistemas Agroflorestais de Cacau: Um Estudo de Caso**

EMANUELA FORESTIERI DA GAMA-RODRIGUES, MARIA KELLEN DA SILVA MOÇO, ANTONIO CARLOS DA GAMA-RODRIGUES & REGINA CELE REBOUÇA MACHADO

### **INTRODUÇÃO**

A Mata Atlântica tem sua extensão compreendida entre os Estados do Ceará e do Rio Grande do Sul, cobrindo uma área de 100 a 120 milhões de ha. Atualmente, existe apenas 1% a 5% da cobertura original, resultando não apenas na drástica redução do maciço florestal, mas também num elevado grau de degradação dos solos e o aumento da emissão de CO<sub>2</sub> para atmosfera. A maioria dos fragmentos florestais remanescentes é, de maneira geral, pobre em espécies de alto valor comercial, caracterizando ecossistemas bastante degradados quanto ao solo e sua biodiversidade. Além disso, os agrossistemas baseados no uso indiscriminado de agroquímicos, no manejo intensivo e na perda da vegetação (biodiversidade) têm como conseqüências a redução da qualidade do solo e o decréscimo da contribuição dos processos biológicos do solo para a nutrição das plantas. Este problema é mais agravante em solos das regiões tropicais de avançado estágio de intemperismo.

Nesse caso, torna-se imperativo a adoção de um novo paradigma de produção vegetal, que é sustentado na integração dos recursos e fatores de produção (Sanchez, 1997), e nas interações entre os processos do sistema solo-planta (Siqueira et al., 1999). Nesse segundo paradigma, é relevante, portanto, o papel dos processos biológicos na otimização da ciclagem de nutrientes em minimizar as necessidades do ingresso de insumos através de fertilizantes e maximizar a eficiência deles, possibilitando com isso uma acentuada redução dos custos de produção e do seu potencial de poluição do solo.

O reflorestamento, desse modo, pode atender a diversos objetivos, tais como a produção de madeira e seus derivados; formação de sistemas agroflorestais; acumulação de carbono e de nitrogênio; proteção, conservação, recuperação e manutenção do potencial produtivo e regulação hídrica do solo; aumentar o potencial de regeneração natural; interligar os fragmentos florestais remanescentes; proteção de efeito de borda; aumentar o estoque de água; ou uma combinação desses objetivos.

Os sistemas agroflorestais (SAF's), no contexto do segundo paradigma, por enfatizar as funções ecológicas do sistema solo-planta para a manutenção ou melhoria da fertilidade do solo, seriam os mais viáveis para as condições dos trópicos úmidos e subúmidos, porque são sistemas de uso sustentável da terra que combinam, de maneira simultânea ou em seqüência, a produção de cultivos agrícolas com plantações de árvores frutíferas ou florestais e, ou, animais, utilizando à mesma unidade de terra e aplicando técnicas de manejo que são compatíveis com as práticas culturais da população local (Alvim, 1989).

Para o monitoramento dos SAF's é necessário à abordagem holística, ou seja, uma combinação de

atributos que servirão de base para o estudo da sustentabilidade. Nesse sentido, a qualidade do solo, constitui-se o mais importante elo entre as práticas agrícolas e a agricultura sustentável (Santana & Bahia Filho, 1998). A qualidade do solo pode ser definida como a capacidade ou especificidade do solo de exercer várias funções, dentro dos limites do uso da terra e do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter ou melhorar a qualidade ambiental e contribuir para a saúde das plantas, dos animais e humana (Doran & Parkin, 1994). A matéria orgânica é o atributo que melhor representa a qualidade do solo, pois tem influência sobre vários atributos do solo – biota, disponibilidade de nutrientes, estrutura do solo, disponibilidade de água, erosão, etc. (Swift & Woomer, 1993).

A biomassa microbiana é um compartimento da matéria orgânica do solo que representa proporcionalmente a menor fração do C orgânico do solo e constitui uma parte significativa e potencialmente mineralizável do nitrogênio que estará disponível para as plantas. Apresenta rápida ciclagem, responde intensamente as flutuações sazonais de umidade e temperatura, ao cultivo e ao manejo de resíduos. A variação das condições macroclimáticas tem efeito sobre a atividade e a biomassa microbiana do solo e, subseqüentemente, no ciclo global do carbono e nitrogênio (White & Gosz, 1987; Gama-Rodrigues et al., 2005). Desta maneira, é possível utilizar a estimativa da biomassa ou atividade microbiana como um indicador biológico dos níveis da matéria orgânica do solo, ou como índice de qualidade do solo (Mele & Carter, 1993; Gama-Rodrigues, 1999).

Além disso, a fauna do solo por ser também um componente ativo nos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes, sensível às práticas de manejo do solo; bem como, as propriedades inerentes do próprio ecossistema, tais como o clima, o solo e a vegetação. Tem sido também considerada como um bioindicador da qualidade do solo. Desse modo, alterações na densidade e diversidade da fauna do solo em ecossistemas ou agrossistemas que sofreram algum tipo de intervenção na sua cobertura vegetal constituem-se, portanto, num bom indicador de mudanças ocorridas nesses sistemas (Curry & Good, 1992; Giller et al. 1997; Moço et al., 2005).

Neste capítulo será abordado um estudo de caso em que se avaliou a fauna edáfica e os atributos microbiológicos em solos sob diferentes sistemas agroflorestais de cacau no sul da Bahia.

### SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CACAU

O cacau, por se caracterizar como uma cultura de sub-bosque, seja sob floresta natural, seja sob floresta homogênea, constitui um agrossistema adequado para os estudos de ciclagem de nutrientes. Existem basicamente dois sistemas de cultivo de cacau: o cacau cabruca, que é um sistema de cultivo do cacau em consórcio com as florestas nativas que são parcialmente derrubadas. E o sistema de cultivo em que a floresta é totalmente derrubada e inseri-se uma outra espécie como sombreamento do cacau. Neste sistema utiliza-se o sombreamento provisório com uma espécie não lenhosa e uma espécie lenhosa no sombreamento definitivo.

A combinação do cacaueiro com espécies não lenhosas (banana, mandioca, etc.) e espécies lenhosas (eritrina, gliricídia, etc.), é uma excelente comprovação da compatibilidade e complementaridade de diferentes espécies e ao mesmo tempo sustentabilidade de sistemas de produção multiestratificados (Müller et al., 2004). Sistemas de cultivo de cacau são considerados como os mais eficientes na proteção dos solos contra agentes de degradação (Müller et al., 2004; Duguma et al., 2001). Em termos de seqüestro de carbono e biodiversidade, a agrofloresta de cacau é superior a sistemas de produção agrícola (Duguma et al., 2001; Somarriba & Harvey, 2004). Alguns trabalhos têm sido realizados procurando dar ênfase no ciclo da matéria orgânica e à sua contribuição no fornecimento de nutrientes (Alpizar et al., 1986; Fassbender et al., 1988; Heuveldop et al., 1988).

A expansão de sistemas agroflorestais de cacau dá-se, normalmente, em solos ácidos e de baixa fertilidade. A capacidade produtiva desses solos decresce acentuadamente a cada safra, devido à taxa de exportação de nutrientes via sementes do cacau e de outros produtos das plantas associadas (seringueira, pupunha, coco, madeira, etc). Nesta situação, para manter a capacidade produtiva do sistema é necessário o emprego de altas doses de fertilizantes. Entretanto, isso elevaria os custos de produção, reduzindo, por sua vez, a rentabilidade econômica. Assim, para reduzir a necessidade e maximizar o uso de fertilizantes é preciso otimizar a ciclagem de nutrientes no sistema solo-planta. Estudos desse tipo poderiam fornecer subsídios para o desenvolvimento de técnicas de manejo que sejam ecológica e economicamente viáveis.

Para a adoção de um manejo racional do carbono e dos nutrientes em SAF's de cacau, que leve em conta não só o aumento da produtividade, mas também à manutenção desses nutrientes no sistema, é necessária a avaliação da disponibilidade desses elementos nos diferentes compartimentos do ecossistema: solo-planta-atmosfera.

Dentro deste contexto, a quantificação da biomassa e da atividade microbiana do solo, associada aos atributos químicos e físicos do solo, a qualidade nutricional, orgânica e biológica (fauna) da serapilheira, permite o monitoramento do carbono e dos nutrientes e, conseqüentemente, uma avaliação sistêmica do manejo adotado para a obtenção de indicadores de qualidade desses agrossistemas.

### BIOMASSA MICROBIANA

A biomassa microbiana é definida como a parte viva da matéria orgânica do solo incluindo bactérias, actinomicetos, fungos, protozoários, algas e microfauna. Mas excluindo-se raízes de plantas e animais do solo maiores do que  $5 \times 10^3 \text{ mm}^3$ . A biomassa microbiana contém em média de 2 a 5% do C orgânico do solo (Jenkinson & Ladd, 1981) e de 1 a 5% do N total do solo (Smith & Paul, 1990); representa o compartimento ativo da matéria orgânica do solo no qual a ciclagem de carbono orgânico é mais rápida e sua estimativa tem sido utilizada em estudos do fluxo de C e N, ciclagem de nutrientes e produtividade das plantas em vários ecossistemas terrestres (Salamanca et al., 2002; Dinesh et al., 2003; Monteiro et al., 2004; Gama-Rodrigues et al., 2005). A quantificação da biomassa microbiana, além de estimar a biomassa viva presente no solo em um determinado tempo, possibilita a associação da quantidade de nutrientes imobilizados com a fertilidade e o potencial de produtividade do solo.

A atividade dos microrganismos é geralmente medida em termos metabólicos, através de indicadores como  $\text{CO}_2$  evoluído,  $\text{O}_2$  absorvido, atividades enzimáticas e caloríficas, N, P, S mineralizados (Grisi, 1995). O termo respiração do solo é definido como a absorção de  $\text{O}_2$  e, ou, liberação de  $\text{CO}_2$  pelas entidades vivas e metabolizantes do solo. Já a respiração microbiana é definida como a absorção de  $\text{O}_2$  ou liberação de  $\text{CO}_2$  pelas bactérias, fungos, algas e protozoários no solo e, incluindo as trocas gasosas que resultam de ambos os metabolismos aeróbio e anaeróbio (Anderson, 1982). A vantagem de se medir  $\text{CO}_2$ , ao invés de  $\text{O}_2$ , está no fato do  $\text{CO}_2$  refletir a atividade, tanto de microrganismos aeróbios quanto de anaeróbios.

Neste contexto, a biomassa e a atividade microbiana têm sido consideradas como atributos microbiológicos sensíveis a impactos causados pelo manejo dos solos (Gama-Rodrigues et al., 2005). E, portanto, suas estimativas têm sido propostas como bioindicadores dos níveis de matéria orgânica e da qualidade do solo, auxiliando na orientação de mudanças das técnicas de manejo do solo (Mele & Carter, 1993). Contudo, mais importante que o valor absoluto da biomassa microbiana é o estudo das relações entre a biomassa e atividade microbiana e atributos químicos para o melhor entendimento sobre a funcionalidade do sistema solo.

Em estudo conduzido por Gama-Rodrigues et al. (2006) avaliou-se a influência de diferentes sistemas de cacau em alguns atributos microbiológicos do solo. As áreas experimentais estudadas foram: mata natural, cacau com renovação de copa em sistema com *Erythrina*, cacau com renovação de copa em sistema cabruca, cacau sem renovação de copa em sistema cabruca, cacau sem renovação de copa em sistema com *Erythrina* e jardim clonal adensado. As amostras de solo foram coletadas em duas épocas do ano (inverno de 2003 e verão de 2004) na profundidade de 0-10 cm. Determinou-se o C orgânico, N total, C e N da biomassa microbiana, respiração do solo e o potencial de mineralização de N.

Os solos amostrados neste estudo são de média fertilidade, com acidez variando de muito elevada à média e teor de argila de 204,7 a 518,7  $\text{g kg}^{-1}$  (Tabela 1). O C orgânico variou significativamente entre as coberturas, com os maiores valores para mata natural, tanto no inverno quanto no verão. O N total no verão também foi 32,96% maior na mata natural. Entretanto, no inverno, o N total não variou entre as coberturas. O carbono da biomassa microbiana do solo no inverno quase não variou entre as coberturas vegetais. Porém, no verão a mata natural apresentou valor 61,56% maior do que a média dos SAF's. O nitrogênio da biomassa microbiana do solo e a respiração acumulada também foram 48,27% e 24,80% maiores na mata natural no verão, respectivamente (Tabela 2). A substituição da cobertura florestal nativa por sistemas de produção resultou em decréscimo nos níveis de C orgânico e N total e na biomassa e atividade biológica dos solos. Esta redução somente foi significativa no

verão. Provavelmente, pelas mudanças ocorridas nos processos biológicos e físicos do solo (Sharma et al., 2004). No verão, as temperaturas mais altas associadas a precipitações pluviométricas elevadas promovem um aumento nas taxas dos processos químicos e bioquímicos do solo. Entretanto, os valores de carbono da biomassa microbiana nos solos sob SAF's foram, em média, próximos e os de nitrogênio da biomassa microbiana maior do que aqueles observados em sistemas florestais no sul da Bahia (Gama-Rodrigues et al., prelo) e em cultivos agrícolas consorciados com adubos verdes (Brito, 2003).

O carbono da biomassa microbiana representou de 1,13% do C orgânico e o nitrogênio da biomassa microbiana 6,19% do N total nestes solos. Estes resultados quando comparados com os obtidos em outros tipos de SAF's (Sharma et al., 2004; Kaur et al., 2000), sugerem que nos solos sob SAF's de cacau existiria uma reserva significativa de N microbiano potencialmente disponível para a cultura.

**Tabela 1** - Caracterização química e física do solo sob diferentes sistemas agroflorestais de cacau

	CAE	CRE	CAC	CRC	JCA	MN
pH	5,89 b	4,57 e	5,41 c <sup>(7)</sup>	4,86 d	6,01 a	3,77 f
P (mg dm <sup>-3</sup> )	17 b	7,69 c	6,81 c	6,74 c	73,3 a	4,34 c
K (mg dm <sup>-3</sup> )	97,33 b	53,00 e	114,33 a	44,67 e	87,00 c	69,00 d
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	10,20 b	3,92 e	5,75 c	4,81d	12,43 a	1,38 f
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,65 b	2,31 e	3,05 d	3,46 c	6,55 a	1,14 f
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,00 d	0,27 b	0,02 cd	0,08 c	0,00 d	1,92 a
C/N	4,98 e	13,53 b	15,19 a	12,16 c	14,13 ab	10,57 d
DAP	1,12 b	1,05 b	1,04 b	1,10 b	1,42 a	0,84 c
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	234,7 e	440,0 b	373,7 d	398,3 c	204,7 f	518,7 a
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	420,3 b	431,0 b	519,3 a	510,7 a	517,7 a	382,0 c

CAE - Cacau sem renovação de copa com eritrina; CRE - cacau com renovação de copa com eritrina; CAC - cacau sem renovação de copa cabruca; CRC - cacau com renovação de copa cabruca; JCA - jardim clonal adensado; MN - mata natural. DAP - densidade aparente do solo. Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O qCO<sub>2</sub> variou de 10,64 a 62,04 mg g dia<sup>-1</sup> (Tabela 3), com os menores valores observados para o cacau cabruca sem renovação de copa, sugerindo que este solo foi mais eficiente na imobilização de C do que os demais solos. Provavelmente, por se tratar de uma área que não foi alterada pela derrubada total da mata e, também, pela renovação da copa. Anderson & Domsch (1993) e Wardle (1993) propõem a utilização do qCO<sub>2</sub> como um índice metabólico para avaliar o efeito das condições de estresse (diminuição da quantidade de matéria orgânica, diminuição do pH, redução dos níveis de nutrientes e aumento nos teores de C orgânico recalcitrante) sobre a atividade e a biomassa microbiana.

De modo geral, houve diferença significativa entre as coberturas quanto às quantidades totais de N mineralizado nas 11 semanas de incubação, mostrando que, para todos os solos, a queda na inclinação da curva foi regular e progressiva, até uma possível estabilização a partir da oitava semana. A mata apresentou maior taxa de produção de N, com uma diferença de 29% da produção do jardim clonal, este apresentando uma menor produção de nitrogênio mineralizável, entre as coberturas estudadas (Figura 1).

As maiores taxas de mineralização de N nas primeiras semanas de incubação, independente da cobertura, permitem constatar que a velocidade de mineralização foi maior no período inicial, diminuindo até atingir uma estabilização. Mais de 50% do N mineralizado foi obtido até a quarta semana, atingindo cerca de 90% na sétima semana. Esse comportamento pode ser explicado pelo rápido esgotamento da fração da matéria orgânica facilmente mineralizável. A partir daí, o processo atingiu valores mais estáveis, com menores acréscimos da quantidade de N mineralizado em função do tempo.

A diferença entre o maior potencial de mineralização no CAE e o menor no JCA foi de 33% (Tabela 4). O maior potencial de mineralização de N no CAE deve-se, provavelmente, às folhas e outros resíduos que caem dos cacauzeiros e das árvores de sombra, formando uma densa camada de serapilheira sob o solo, representando uma relevante fonte de nitrogênio. A queda anual dos resíduos dessa leguminosa, que apresenta teores de nitrogênio mais elevados que os resíduos do cacauzeiro contribuem ainda mais para elevar a quantidade desse elemento que se torna disponível para as plantas em um prazo relativamente curto, comprovando que essa espécie beneficia o solo.

O carbono da biomassa microbiana relacionou-se num modelo quadrático com o nitrogênio da biomassa microbiana, indicando que o C e o N estão sendo quantificados no mesmo compartimento do solo (Tabela 5). As regressões lineares positivas do C orgânico, N mineralizado, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana com o teor de argila representam modelos preditivos que explicam a variação destes atributos. O teor de C orgânico foi mais influenciado pelo teor de argila do que a própria biomassa microbiana. A argila dá maior proteção e estabilidade à matéria orgânica do solo preservando-a da biodegradação. Isto promoveria um efeito indireto na biomassa microbiana pelo aumento da quantidade de substrato para o metabolismo dos microrganismos.

Assim, os solos mais argilosos, além de apresentarem maior estoque de C, apresentariam maior potencial de fornecimento de N para o cacau e uma biomassa microbiana mais ativa. Além do teor de argila, outros atributos de solo que regulam a atividade dos microrganismos são o C orgânico e N total. O C orgânico explicou 86% e o N total 89% da variação do carbono da biomassa microbiana. Porém, as regressões quadráticas do C orgânico e o N total com o nitrogênio da biomassa microbiana apresentaram baixa capacidade preditiva. Quando se conjugou o C orgânico e o N total, por meio da regressão múltipla, aumentou-se a capacidade preditiva da imobilização do N em 75%. As regressões lineares múltiplas do N mineralizado com o N total e o nitrogênio da biomassa microbiana, e do N mineralizado com o C orgânico e carbono da biomassa microbiana, aumentaram a capacidade preditiva da mineralização de N em 72%. Assim como, a regressão múltipla do N mineralizado com o nitrogênio da biomassa microbiana e o C orgânico explicou 78% (Tabela 5). O aumento na quantidade de C e N, indispensáveis ao metabolismo microbiano, favoreceu o processo de imobilização de C e N e a mineralização do nitrogênio.

**Tabela 2 - Atributos microbiológicos de solos sob diferentes sistemas agroflorestais de cacau**

CAE - cacau sem renovação de copa com eritrina; CRE - cacau com renovação de copa com eritrina; CAC - cacau cabruca sem renovação de copa; CRC - cacau cabruca com renovação de copa; JCA - jardim clonal adensado; MN - mata natural. CBM - carbono da biomassa microbiana do solo; NBM - nitrogênio da biomassa microbiana do solo; RA - respiração do solo. Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na linha, entre épocas, por variável, não diferem entre si pelo Teste-F, 5% de probabilidade. Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey, 5% de probabilidade. <sup>(ns)</sup> Não houve diferença significativa entre as coberturas.

Coberturas	Setembro de 2003				
	CBM	NBM	RA	N Total <sup>(ns)</sup>	C orgânico
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----			-----g kg <sup>-1</sup> -----	
CAE	230,57 a	159,83 a AB	48,46 a AB	2,25 a	19,08 a BC
CRE	207,70 a	163,35 a AB	60,92 a AB	2,03 a	18,42 a BC
CAC	273,19 a	216,90 a A	36,55 a B	2,51 a	21,29 b BC
CRC	270,34 a	152,08 a AB	22,28 b B	2,45 a	23,07 a B
JCA	201,00 a	123,22 a B	99,16 a A	2,21 a	16,59 a C
MN	254,37 a	174,39 a AB	51,72 a AB	2,69 a	30,30 b A

Coberturas	Fevereiro de 2004				
	CBM <sup>(ns)</sup>	NBM	RA <sup>(ns)</sup>	N Total	C orgânico
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----			-----g kg <sup>-1</sup> -----	
CAE	147,03 a	115,11 a C	60,60 a	2,55 a B	17,35 a C
CRE	303,05 a	129,93 b BC	66,29 a	2,19 a B	24,50 a B
CAC	299,14 a	153,68 a B	76,10 a	2,72 a AB	27,12 a B
CRC	242,66 a	141,32 a BC	49,30 a	2,41 a B	26,35 a B
JCA	148,06 a	77,29 a D	75,54 a	2,12 a B	13,82 a D
MN	593,11 a	238,70 a A	87,30 a	3,58 a A	38,85 a A

Tabela 3 - Índices microbiológicos de solos sob diferentes sistemas agroflorestais de cacau

Coberturas	Setembro/2003			Fevereiro/2004		
	CBM:C	NBM:N	qCO <sub>2</sub>	CBM:C	NBM:N	qCO <sub>2</sub>
CAE	1,208	7,112	41,073	0,847	4,516	59,195
CRE	1,127	8,029	41,678	0,833	5,926	33,896
CAC	1,283	8,633	25,780	1,102	5,658	10,641
CRC	1,171	6,205	40,212	0,921	5,843	21,519
JCA	1,211	5,563	62,047	1,071	3,639	49,898
MN	0,839	6,469	42,422	1,526	6,674	23,883

CAE - Cacau sem renovação de copa com eritrina; CRE - cacau com renovação de copa com eritrina; CAC - cacau cabruca sem renovação de copa; CRC - cacau cabruca com renovação de copa; JCA - jardim clonal adensado; MN – mata natural. CBM:C – relação C microbiano:C orgânico; NBM:N - relação nitrogênio microbiano: N total; qCO<sub>2</sub> – quociente metabólico.

Estes resultados indicam que a biomassa microbiana funcionaria como um compartimento fonte para a mineralização do nitrogênio e a inter-relação da quantidade de C e N com a biomassa microbiana seria refletida na disponibilidade de nitrogênio para a cultura do cacau durante o ano.

Portanto, a inter-relação dos atributos analisados, ao invés da análise dos valores isolados e absolutos das medidas de biomassa e de atividade microbiana, C orgânico, N total e teor de argila, seria a maneira mais adequada para a compreensão dos processos de imobilização e mineralização de C e N em sistemas agroflorestais de cacau.

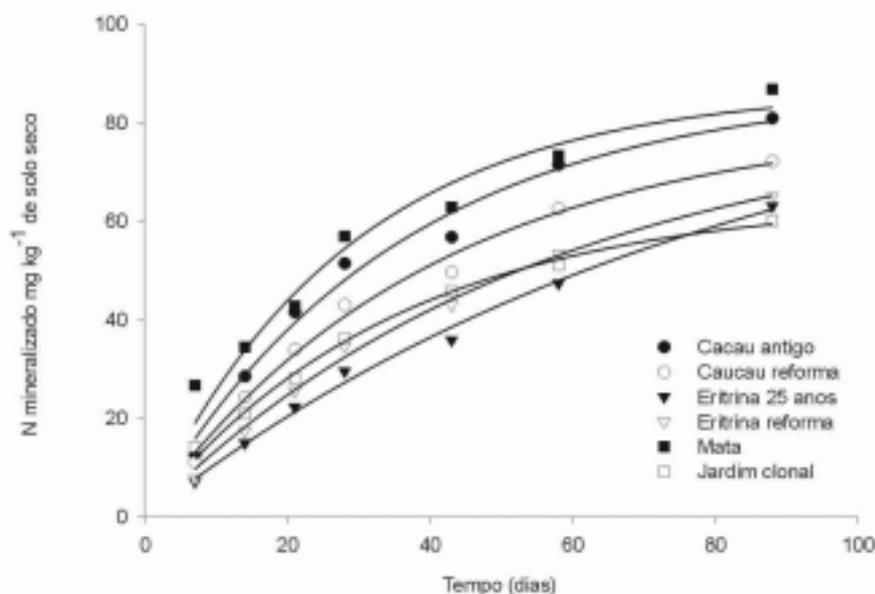


Figura 1 - Curvas de N mineralizado acumulado durante período de incubação de solos sob diferentes sistemas agroflorestais de cacau, ajustadas ao modelo exponencial simples para obtenção do N<sub>0</sub> e da constante K.

**Tabela 4** - Parâmetros cinéticos de mineralização do nitrogênio de solos sob diferentes sistemas agroflorestais de cacau

Coberturas	Nm <sup>(1)</sup>	No <sup>(2)</sup>	R <sup>2</sup> <sup>(3)</sup>	EPE <sup>(4)</sup>	K <sup>(5)</sup>
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----				dia <sup>-1</sup>
CAE	63,07	96,04	0,9968***	10,342	0,0119
CRE	64,97	82,18	0,9977***	4,560	0,0179
CAC	80,85	87,46	0,9923***	4,979	0,0284
CRC	72,16	80,60	0,9956***	3,979	0,0251
JCA	60,18	64,64	0,9970***	2,159	0,0285
MN	86,80	86,98	0,9788***	5,785	0,0351

<sup>(1)</sup> N mineralizado; <sup>(2)</sup> N potencialmente mineralizável; <sup>(3)</sup> Coeficiente de determinação do ajuste para a estimativa do No; \*\*\* p < 0,001; <sup>(4)</sup> Erro-padrão da estimativa de No; <sup>(5)</sup> Constante de mineralização.

**Tabela 5** - Regressões entre atributos microbiológicos e químicos dos solos e teor de argila, em solos sob diferentes sistemas agroflorestais de cacau

Regressões	R <sup>2</sup>
CBM = 271,49 – 2,499 NBM + 0,0142 NBM <sup>2</sup>	0,734**
CBM = 37,46 + 6,0408 ARGILA	0,359*
NBM = 63,11 + 2,507 ARGILA	0,442**
C = 0,520 + 0,0493 ARGILA	0,669**
NM = 47,19 + 0,667 ARGILA	0,577**
CBM = 354,68 – 216,71 C + 69,60C <sup>2</sup>	0,856**
CBM = 823,98 – 6317,12 N + 15846 N <sup>2</sup>	0,886**
NBM = 366,84 + 183,36 C – 150,53 C <sup>2</sup> – 4009,78 N + 2063,10 CN	0,753**
NM = 26,24 + 0,107NBM + 115,49 N	0,725**
NM = 42,64 – 0,002 CBM + 12,74 C	0,719**
NM = 38,55 + 8,365 NBM + 8,636 C	0,783**

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade.; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; CBM: carbono da biomassa microbiana; NBM: nitrogênio da biomassa microbiana; C: C orgânico; NM: nitrogênio mineralizado; N: N total.

## FAUNA DO SOLO

A comunidade de invertebrados atuante em ecossistemas terrestres, associada ao compartimento solo-serapilheira é chamada fauna do solo. A influência desses organismos no comportamento dos solos varia de um grupo para outro e, por vezes, entre as espécies de um mesmo grupo. Além de atuarem como reguladores da atividade microbiana, os invertebrados do solo agem como fragmentadores do material vegetal e engenheiros do ecossistema, modificando-o estruturalmente (Lavelle, 1996).

Devido a grande complexidade, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos, o conhecimento de toda uma comunidade de organismos do solo é praticamente inviável. Porém, é possível retratar parcelas desta comunidade, escolhendo-se determinados grupos taxonômicos, grupos associados a frações do habitat ou grupos que tenham uma função semelhante no ecossistema (Lavelle et al., 1993; Takeda, 1995; González et al., 1996).

A vantagem de se estudar uma comunidade pela determinação da composição de organismos ao nível de grandes grupos taxonômicos, em uma determinada fração do habitat é, primeiramente, a facilidade de

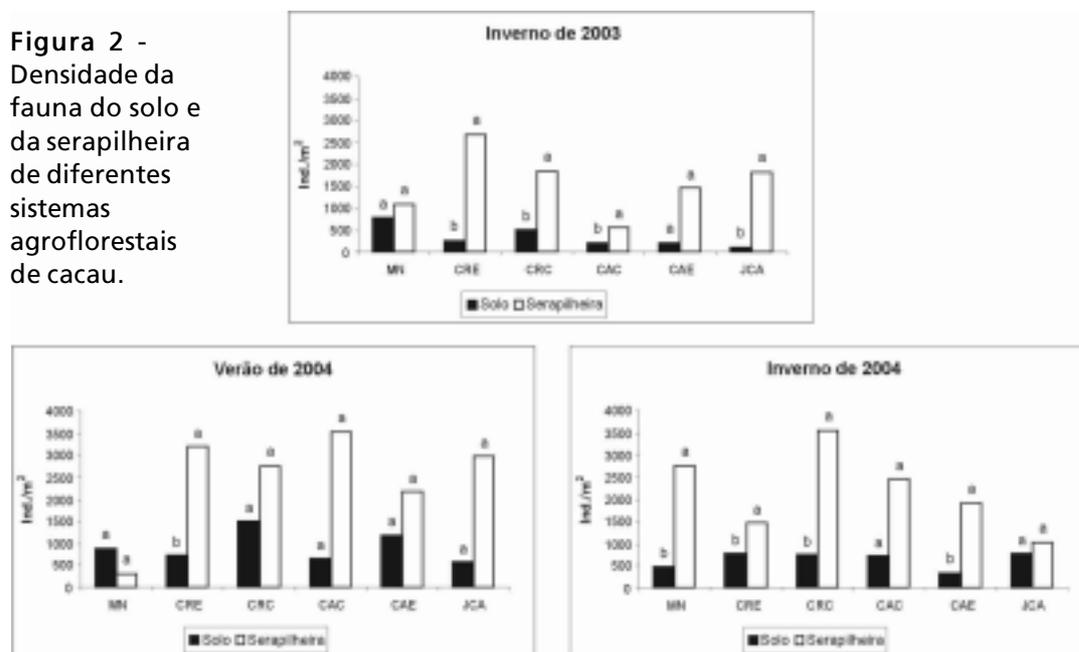
execução, já que não é necessário um conhecimento profundo da taxonomia dos grupos, pois a identificação é feita ao nível de classe, ordem ou, ocasionalmente, família. Além disso, esta abordagem permite uma primeira inferência sobre a funcionalidade destes organismos no solo e fornece uma indicação simples da complexidade ecológica das comunidades do solo (Stork & Eggleton, 1992). Entretanto, este estudo apresenta algumas limitações. A primeira limitação é de caráter metodológico, uma vez que determinada técnica de amostragem e extração de animais pode ser mais eficiente para um ou mais grupos, em detrimento de outros. A segunda limitação seria a impossibilidade de se determinar a funcionalidade exata de vários grupos da fauna de solo, ao nível de classe, ordem ou, até mesmo, família.

Estas limitações podem ser contornadas quando se trabalha com comparações, seja entre diferentes épocas do ano dentro de uma mesma comunidade, ou seja entre comunidades e sistemas de manejo. Assim, o enfoque deverá ser dado à modificação imposta por algum componente do ambiente. Além disso, deve-se pressupor que este tipo de estudo pode fornecer bases tanto para uma avaliação global da qualidade do solo, como também de apontar grupos funcionais para um estudo mais detalhado (Lavelle, 1996).

Em estudo conduzido por Moço et al (2006) caracterizou-se a densidade e diversidade da meso e macrofauna do solo em agrossistemas de cacau localizados no sul da Bahia, Brasil. As áreas pesquisadas se dividem em: cacau renovado com sombreamento definitivo de *Erythrina* spp. (CRE); cacau renovado cabruca (CRC); cacau antigo cabruca (CAC); cacau antigo com sombreamento definitivo de *Erythrina* spp. (CAE); jardim clonal adensado (JCA); mata natural (MN). As amostras de solo e serapilheira foram coletadas no inverno de 2003, no verão e inverno de 2004 e a extração da fauna foi realizada através de funis de Berlese-Tüllgren.

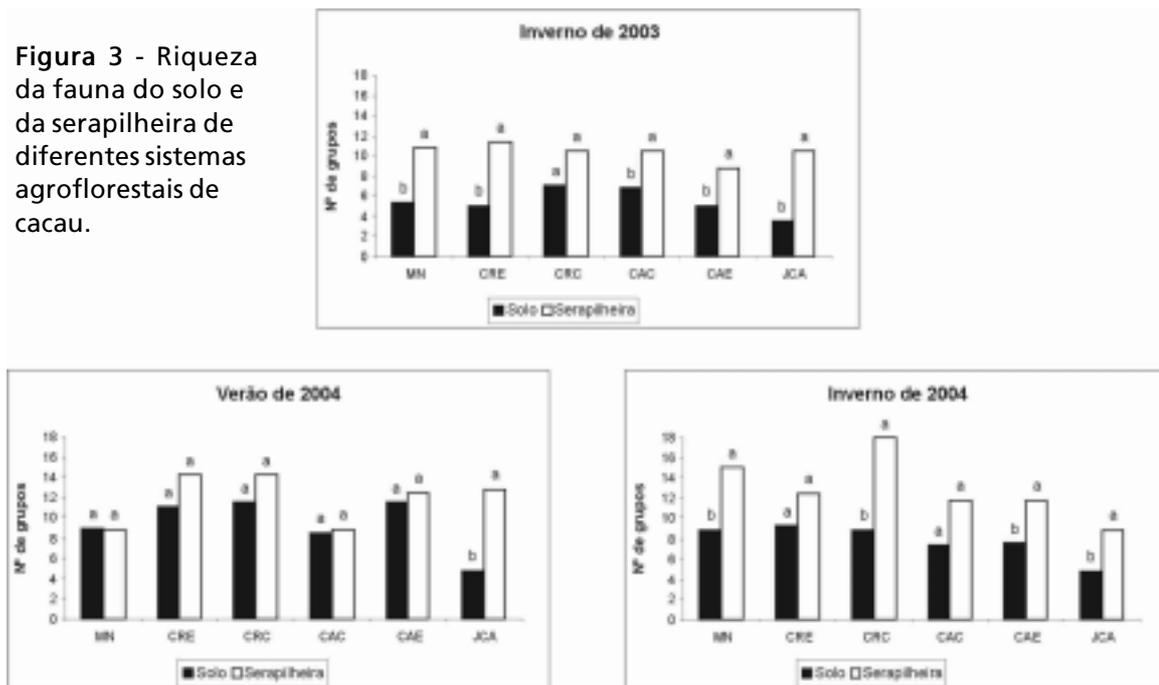
As comunidades da fauna edáfica foram consideravelmente influenciadas pela variação sazonal nos diferentes compartimentos estudados. De modo geral, no inverno de 2003 foi observada no solo menor densidade de indivíduos em relação às outras coletas. A mata natural, contudo, apresentou maior número de indivíduos neste período (776 indivíduos m<sup>-2</sup>). No verão de 2004 foi encontrado no solo de cacau renovado cabruca maior densidade (1508 ind. m<sup>-2</sup>), seguido por cacau antigo com eritrina (1196 indivíduos m<sup>-2</sup>) e mata natural (892 indivíduos m<sup>-2</sup>). No solo do jardim clonal adensado foi observado maior número de indivíduos no inverno de 2004 (776 indivíduos m<sup>-2</sup>). Na serapilheira de cacau renovado com eritrina foi encontrado maior número de indivíduos no inverno de 2003 (2692 indivíduos m<sup>-2</sup>), em cacau antigo cabruca no verão de 2004 (3536 indivíduos m<sup>-2</sup>) e em cacau renovado cabruca no inverno de 2004 (3556 indivíduos m<sup>-2</sup>) (Figura 2).

**Figura 2 -**  
Densidade da fauna do solo e da serapilheira de diferentes sistemas agroflorestais de cacau.



Médias seguidas das mesmas letras minúsculas, entre os compartimentos, dentro de cada área, não diferem entre si pelo Teste-T a 5 %. Ind. m<sup>-2</sup> - indivíduos m<sup>-2</sup>; MN - mata natural; CRE - cacau com renovação de copa com eritrina; CRC - cacau cabruca com renovação de copa; CAC - cacau cabruca sem renovação de copa; CAE - cacau sem renovação de copa com eritrina; JCA - jardim clonal adensado.

Figura 3 - Riqueza da fauna do solo e da serapilheira de diferentes sistemas agroflorestais de cacau.



Médias seguidas das mesmas letras minúsculas, entre os compartimentos, dentro de cada área, não diferem entre si pelo Teste-T a 5 %. Riqueza - Número de grupos encontrados. MN - mata natural; CRE - cacau com renovação de copa com eritrina; CRC - cacau cabruca com renovação de copa; CAC - cacau cabruca sem renovação de copa; CAE - cacau sem renovação de copa com eritrina; JCA - jardim clonal adensado.

Em geral, houve maior média de grupos encontrados durante a época de verão, indicando que a umidade proveniente da maior quantidade de chuvas neste período colaborou com a sobrevivência de mais grupos no solo. Neste período foi encontrado maior riqueza no solo de cacau renovado cabruca e cacau antigo com eritrina (11,5 grupos em média). No inverno de 2003, maior média de grupos foi verificada no solo de cacau renovado cabruca (7,0) e no inverno de 2004 no solo de cacau renovado com eritrina (9,3). Quanto a serapilheira, mais grupos foram observados em cacau renovado com eritrina (11,3 grupos em média) no inverno de 2003; cacau renovado cabruca e cacau renovado com eritrina (14,3) no verão de 2004; e cacau renovado cabruca (18,3) no inverno de 2004 (Figura 2).

Ao comparar o compartimento solo com a serapilheira, observa-se que na serapilheira ocorreu maior número de indivíduos e de grupos da fauna, com exceção da Mata natural que apresentou maior densidade e riqueza no solo no período do verão (Figuras 2 e 3). A maior população da fauna na serapilheira está relacionada ao C e N lábil presente em maior quantidade nesta camada. A quantidade e a qualidade da serapilheira depositada sobre o solo resultam diretamente da estrutura e natureza da vegetação. Mais que uma fonte de alimentação, a serapilheira representa um habitat apropriado para a maioria dos grupos de invertebrados do solo (Decaëns et al, 1998).

Além disso, verificou-se que, durante o verão o número de indivíduos e de grupos não difere significativamente entre os compartimentos solo e serapilheira para a maioria das áreas (Figuras 2 e 3). Como este foi o período mais chuvoso, a serapilheira sofreu lavagem pela ação das chuvas, enriquecendo o solo com nutrientes (Gama-Rodrigues & Miranda, 1991). Por outro lado, a influência da umidade não se restringiu apenas sobre a lixiviação de nutrientes, mas também sobre a criação de condições favoráveis à colonização de invertebrados do solo, culminando com a igualdade da densidade e riqueza de grupos no solo e na serapilheira neste período.

As áreas que apresentaram maiores índices de Shannon no solo por época foram cacau renovado com eritrina no inverno de 2003 ( $H=2,55$ ) e no verão de 2004 ( $H=3,19$ ) e, a mata natural no inverno de 2004 ( $H=3,07$ ) (Tabela 6), enquanto o índice de Pielou apresentou maiores índices

no solo do jardim clonal adensado (U=0,80), inverno de 2003; cacau renovado com eritrina (U=0,78), verão de 2004; e mata natural (U=0,79), inverno de 2004 (Tabela 7). Na serapilheira, os índices de diversidade e uniformidade foram mais altos nas áreas de cacau antigo cabruca (H = 2,90 e U = 0,70), mata natural (H = 3,37 e U = 0,82) e cacau antigo com eritrina (H=2,81 e U=0,65), respectivamente no inverno de 2003, verão de 2004 e inverno de 2004 (Tabelas 6 e 7). Altos valores dos índices de diversidade e uniformidade indicam comunidades mais uniformes, onde a dominância de um ou poucos grupos é mais atenuada.

**Tabela 6** - Índice de diversidade de Shannon (H) do solo e da serapilheira de diferentes sistemas agroflorestais de cacau

Coberturas	Inverno de 2003		Verão de 2004		Inverno de 2004	
	Solo	Serapilheira	Solo	Serapilheira	Solo	Serapilheira
CAE	2,45	2,18	2,47	2,22	2,78	2,81
CRE	2,55	1,73	3,19	2,45	2,65	2,64
CAC	2,52	2,90	2,07	1,63	1,77	1,97
CRC	2,42	2,19	2,72	2,43	2,71	2,43
JCA	2,39	2,18	1,38	1,41	1,97	2,51
MN	1,37	2,84	1,63	3,37	3,07	2,62

MN - mata natural; CRE - cacau renovado com eritrina; CRC - cacau renovado cabruca; CAC - cacau antigo cabruca; CAE - cacau antigo com eritrina; JCA - jardim clonal adensado.

**Tabela 7** - Índice de uniformidade de Pielou (U) do solo e da serapilheira sob diferentes sistemas agroflorestais de cacau

Coberturas	Inverno de 2003		Verão de 2004		Inverno de 2004	
	Solo	Serapilheira	Solo	Serapilheira	Solo	Serapilheira
CAE	0,74	0,54	0,59	0,51	0,75	0,65
CRE	0,74	0,42	0,78	0,55	0,65	0,61
CAC	0,70	0,70	0,53	0,39	0,48	0,44
CRC	0,64	0,55	0,68	0,54	0,64	0,52
JCA	0,80	0,53	0,41	0,33	0,57	0,66
MN	0,40	0,68	0,41	0,82	0,79	0,58

MN - mata natural; CRE - cacau renovado com eritrina; CRC - cacau renovado cabruca; CAC - cacau antigo cabruca; CAE - cacau antigo com eritrina; JCA - jardim clonal adensado.

A comunidade da fauna apresentou-se dominada por Collembola e Formicidae. Estes grupos estão associados aos processos do sistema decompositor, principalmente à decomposição da matéria orgânica.

A mais alta população de colêmbolos foi observada no solo (70%) e na serapilheira (80%) do Jardim clonal adensado no verão de 2004. No entanto, a porcentagem da população de Collembola entre as outras áreas e épocas variou no solo de 4 a 52% e na serapilheira de 9 a 61%.

As maiores abundâncias de Formicidae foram observadas tanto no solo quanto na serapilheira da Mata natural (entre 21 a 77%) entre todas as épocas de coleta. Para as outras áreas, a população de formigas variou de 12 a 56% no solo e de 3 a 62% na serapilheira, entre as épocas estudadas.

Outros grupos identificados nos agrossistemas de cacau foram Coleoptera (larva e adulto), Diptera (larva e adulto), Pauropoda, Pseudoscorpionida, Isopoda, Symphyla, Diplopoda,

Hemiptera, Araneae, Psocoptera, Thysanoptera, Chilopoda, Oligochaeta, Protura, Gastropoda, Diplura, Blattodea, larva de Lepidoptera, Orthoptera, Isoptera, Dermaptera, Thysanura e Embioptera.

### CONCLUSÕES

O grande desafio da ciência do solo é demonstrar a relação entre indicadores biológicos do solo, como as estimativas da biomassa e da atividade microbiana e da fauna edáfica, e o funcionamento sustentável do ecossistema. Isto porque, estes indicadores são sensíveis às mudanças ocorridas no sistema, devido a sua rápida ciclagem. Neste sentido, a medida do “status biológico” permitiria avaliar as alterações na qualidade do solo provocadas por mudanças de uso da terra.

Nos agrossistemas de cacau do sul da Bahia, a biomassa microbiana funcionaria como um compartimento fonte para a mineralização do nitrogênio, e a inter-relação da quantidade de C e N com a biomassa microbiana seria refletida na disponibilidade de nitrogênio para a cultura do cacau durante o ano.

Assim, a inter-relação dos atributos biológicos seria a forma mais adequada para a compreensão dos processos de imobilização e mineralização de C e N em sistemas agroflorestais de cacau. Desse modo, a biomassa, a atividade microbiana e a fauna edáfica devem fazer parte dos estudos de ciclagem de matéria orgânica e de nutrientes, tendo como enfoque a sua contribuição na decomposição e mineralização da matéria orgânica e, conseqüentemente, na fertilidade do solo.

### LITERATURA CITADA

- ALPIZAR, L.; FASSBENDER, H.W.; HEUVELDOP, J.; FOSTER, H. & ENRIQUEZ, G. Modelling Agroforestry Systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. I. Inventory of organic matter and nutrients. *Agroforestry Systems*, 4:175-189, 1986.
- ALVIM, P.T. Tecnologias apropriadas para agricultura nos trópicos úmidos. *Agrotropica*, 1:5-26, 1989.
- ANDERSON, J.P.E. Soil respiration. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R. eds. *Method of soil analysis*. 2.ed. Part 2. Madison, American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, 1982. p.831-871.
- ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol. Biochem.*, 25:393-395, 1993.
- BRITO, E.C. de. Adubação verde e sua influência em alguns atributos microbiológicos e químicos de um Argissolo vermelho-amarelo sob cultivo de maracujá. Campos dos Goytacazes, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2003. 116p. Tese (Dissertação em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2003.
- CURRY, J. P. & GOOD, J.A. Soil fauna degradation and restoration. *Advances in Soil Science*, 17:171-215, 1992.
- DECAËNS, T.; DUTOIT, T.; ALARD, D. & LAVELLE, P. Factors influencing soil macrofaunal communities in post-pastoral successions of western France. *Applied Soil Ecology*, 9:361-367, 1998.
- DINESH, R.; CHAUDHURI, S.G.; GANESHAMURTHY, A.N. & DEY, C. Changes in soil microbial indices and their relationships following deforestation and cultivation in wet tropical forest. *Applied Soil Ecology*, 24:17-26, 2003.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A. eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, SSSA, 1994. p.22.

- DUGUMA, B.; GOCKOWSKI, J. & BAKALA, J. Smallholder cacao (*Theobroma cacao* Linn.) cultivation in agroforestry systems of west and central Africa: challenges and opportunities. *Agroforestry Systems*, 51:177-188, 2001.
- FASSBENDER, H.W.; ALPÍZAR, L.; HEUVELDOP, J.; FOSTER, H. & ENRÍQUEZ, G. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. III. Cycles of organic matter and nutrients. *Agroforestry Systems*, 6:49-62, 1988.
- GAMA-RODRIGUES, A.C. & MIRANDA, R.C.C. Efeito da chuva na liberação de nutrientes do folhedo num agrossistema de cacau no sul da Bahia. *Pesq. Agropec. bras.*, 26:1345-1350, 1991.
- GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. eds. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre, Gênese, 1999. p.227-243.
- GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. & SANTOS, G.A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:893-902, 2005.
- GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; ALVES, B.J.R.; VAZ, L.V. & MACHADO, R.C.R. Atividade, biomassa microbiana e potencial de mineralização de n em solos sob diferentes sistemas de cultivo de cacau no sul da Bahia. In: *Proceedings 15<sup>th</sup> International Cocoa Research Conference, San José, Cocoa Producers' Alliance, 2006*. (prelo)
- GILLER, K.L.; BEARE, M.H.; LAVELLE, P.; IZAC, A.M.N. & SWIFT, M.J. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology*, 6:3-16, 1997.
- GONZÁLEZ, G.; ZOU, X. & BORGES, S. Earthworm abundance and species composition in abandoned tropical croplands: comparison of tree plantations and secondary forests. *Pedobiologia*, 40:385-391, 1996.
- GRISI, B.M. Biomassa e a atividade de microrganismos do solo: revisão metodológica. *Revista Nordestina de Biologia*, 10:1-22, 1995.
- HEUVELDOP, J.; FASSBENDER, H.; ALPÍZAR, L.; ENRÍQUEZ, G. & FOSTER, H. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. II. Cacao and wood production, litter production and decomposition. *Agroforestry Systems*, 6: 37-48, 1988.
- JENKINSON, D.S. & LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A. & LADD, J.N. eds. *Soil biochemistry*. New York, Marcel Dekker, 1981. v.5. p.415-471.
- KAUR, B.; GUPTA, S.R. & SINGH, G. Soil carbon, microbial activity and nitrogen availability in agroforestry systems on moderately alkaline soils in northern India. *Applied Soil Ecology*, 15:283-294, 2000.
- LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biology International*, 33:3-16, 1996.
- LAVELLE, P.; BLANCHART, E.; MARTIN, S.; MARTIN, A.; BAROIS, S.; TOUTAIN, F.; SPAIN, A. & SCHAEFER, R. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystem. Application to soils in the humid tropics. *Biotropica*, 25:130-150, 1993.
- MELE, P.M. & CARTER, M.R. Effect of climatic factors on the use of microbial biomass as an indicator of changes in soil organic matter. In: MULONGOY, K. & MERCKX, R. eds. *Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture*. New York, John Wiley & Sons, 1993. p.57-64.
- MOÇO, M.K.S.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. & CORREIA, M.E.F. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:555-564, 2005.
- MOÇO, M.K.S.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; MACHADO, R.C.R. & BALIGAR, V.C. Characterization of soil and litter fauna in different cocoa agroecosystem. In: *Proceedings 15<sup>th</sup> International Cocoa Research Conference, San José, Cocoa Producers' Alliance, 2006*. (prelo)

- MONTEIRO, M.T. & GAMA-RODRIGUES, E.F.. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serapilheira de uma floresta natural. *R. Bras.Ci. Solo*, 28:819-826, 2004.
- MÜLLER, M.W.; ALMEIDA, C.M.V.C. & GOMES, A.R.S. Sistemas agroflorestais com cacau como exploração sustentável dos biomas tropicais. In: MÜLLER, M.W.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BRANDÃO, I.C.F.L. & SERÓDIO, M.H.C.F. eds. *Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos: Sustento da vida e sustento de vida*. Ilhéus, SBSAF/CEPLAC/UENF, 2004. p.169-179.
- SALAMANCA, E.F.; RAUBUCH, M. & JOERGENSEN, R.G. Relationships between soil microbial indices in secondary tropical forest soils. *Applied Soil Ecology*, 21:211-219, 2002.
- SANCHEZ, P.A. Changing tropical soil fertility paradigms: from Brazil to Africa and back. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; SCHAEFFERT, R.E.; FAGERIA, N.K.; ROSOLEM, C.A. & CANTARELLA, H. eds. *Plant-soil interactions at low pH*. Campinas/Viçosa, Brazilian Soil Science Society, 1997. p.19-28.
- SANTANA, D.F. & BAHIA FILHO, A.F.C. Soil quality and agriculture sustainability in the Brazilian Cerrado. In: *World Congress of. Soil Science*, 16., 1998. Montpellier, França. Proceedings, Montpellier:ISSS, 1998. CD ROM.
- SHARMA, P.; RAI, S.C.; SHARMA, R. & SHARMA, E. Effects of land-use change on soil microbial C, N and P in a Himalayan watershed. *Pedobiologia*, 48: 83-92, 2004.
- SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. & LOPES, A.S. Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição mineral de plantas: base para um novo paradigma na agrotecnologia do século XXI. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E. & CARVALHO, J.G. eds. *Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas*. Viçosa, SBCS, Lavras, UFLA/DCS, 1999. p.1-9.
- SMITH, J.L. & PAUL, E.A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J.M. & STOTZKY, G. eds. *Soil Biochemistry*, v 6, 1990. p.357-396.
- SOMARRIBA, E. & HARVEY, C. 2004. Cacao, biodiversidad y pueblos indígenas: producción sostenible y conservación de biodiversidad en fincas. In: MÜLLER, M.W.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BRANDÃO, I.C.F.L. & SERÓDIO, M.H.C.F. eds. *Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos: Sustento da vida e sustento de vida*. Ilhéus, SBSAF/CEPLAC/UENF, 2004. p.181-188.
- STORK, N.E. & EGGLETON, P. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7:38-47, 1992.
- SWIFT, M.J. & WOOMER, P.L. Organic matter and the sustainability of agricultural systems: Definition and measurement. In: MULONGOY, K.; MERCKX, R. eds. *Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture*. Leuven, IITA, 1993. p.3-18.
- TAKEDA, H. Templates for the organization of collembolan communities. In: EDWARDS, C.A.; ABE, T. & STRIGANOVA, B.R. eds. *Structure and function of soil communities*. Kyoto, Kyoto University, 1995. p.5-20.
- WARDLE, D.A. Changes in the microbial biomass and metabolic quotient during leaf litter succession in some New Zealand forest and scrubland ecosystem. *Functional Ecology*, 7:346-355, 1993.
- WHITE, C.S. & GOSZ, J.R. Factors controlling nitrogen mineralization and nitrification in forest ecosystems in New Mexico. *Biol. Fert. Soil*, 5:195-202, 1987.



## Importância da Fixação Biológica de Nitrogênio na Sustentabilidade de Sistemas Agroflorestais

GABRIELA TAVARES ARANTES SILVA, ALEXANDER SILVA DE RESENDE, EDUARDO FRANCA CARNEIRO CAMPELLO, PAULO FRANCISCO DIAS & AVÍLIO ANTÔNIO FRANCO

### INTRODUÇÃO

Os Sistemas Agroflorestais (SAF's) apresentam-se como uma alternativa de produção que têm como premissa o consórcio entre espécies arbóreas e cultivos agrícolas e, ou, animal numa mesma área de maneira seqüencial ou simultânea (OTS/CATIE, 1986). O princípio fundamental da Agrofloresta está nos processos da sucessão ecológica, da ciclagem de nutrientes e na cobertura do solo (Costa, 2001; Gama-Rodrigues & May, 2001; Macêdo et al., 2001). Modelos agroflorestais que associem não somente espécies de valor comercial, mas também espécies que possuam a capacidade de se associarem a bactérias diazotróficas para obter nitrogênio do ar e simbiose com fungos micorrízicos são os mais indicados (Buck et al., 1999).

Dentro desse contexto, a família botânica Leguminosae apresenta elevado potencial de uso. As leguminosas tropicais, em sua maioria, nodulam e fixam nitrogênio atmosférico, e muitas das espécies se associam a fungos micorrízicos. A simbiose planta + bactéria diazotrófica + fungo micorrízico adquire a capacidade de incorporar C e N ao solo, sendo mais eficiente na absorção de nutrientes e tornando-se mais tolerante aos estresses ambientais. Esta associação pode incorporar mais de 500 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N ao sistema solo-planta (Siqueira & Franco, 1988). Desse modo, as espécies de leguminosas que formam a simbiose tripartite são as mais indicadas para aumentar o conteúdo de matéria orgânica de solos de baixa fertilidade em sistemas produtivos (Franco et al., 2003).

### O PAPEL DO NITROGÊNIO

Dos nutrientes minerais essenciais às plantas, o nitrogênio é, juntamente com o fósforo, o mais limitante aos sistemas de produção (Mafongoya et al., 1998; Odum, 2001; Rickfles, 2003). Este elemento está presente em muitos dos compostos bioquímicos das células vegetais, estando envolvido em processos vitais ao desenvolvimento das plantas. Apenas elementos como o carbono, o hidrogênio e o oxigênio são mais abundantes nas plantas que o nitrogênio. A maioria dos agroecossistemas apresenta um expressivo ganho de produtividade com a fertilização nitrogenada (Barros et al., 1990; Aita et al., 1994; Araújo et al., 2005).

Na biosfera, o nitrogênio está presente em diversas formas. Na atmosfera, 78% da sua composição é de nitrogênio molecular (N<sub>2</sub>). Porém esse grande reservatório não está diretamente disponível para os organismos vivos que, em sua maioria, não têm a capacidade de utilizar o nitrogênio atmosférico para sintetizar aminoácidos e outras substâncias orgânicas. Esses organismos são dependentes de compostos nitrogenados mais reativos, como o amônio e o nitrato, presentes no solo (Raven et al., 2001). A obtenção do nitrogênio

atmosférico requer a quebra de uma ligação tripla covalente, de elevada estabilidade, entre dois átomos de nitrogênio, produzindo amônia ou nitrato. Para superar a alta energia de ativação da reação, são necessárias condições extremas de temperatura e pressão. Tais reações podem ser obtidas por processo industrial ou natural. No processo industrial para cada kg de N-fixado na forma de uréia, por exemplo, há a necessidade de cerca de 15 Mcal, normalmente geradas a partir da queima de combustíveis fósseis (Resende et al., 2006).

Os processos naturais fixam cerca de  $190 \times 10^{12}$  g ano<sup>-1</sup> de nitrogênio, no qual a fixação biológica (FBN), realizada por microrganismos procariontes (bactérias e cianobactérias), que responde por 90% do total, constitui-se na principal fonte natural de incorporação de nitrogênio ao sistema solo-planta-animal. Em seguida vêm os relâmpagos, que respondem por 8% do nitrogênio fixado e que precipita sobre a terra junto com a chuva. Em terceiro, estão as reações fotoquímicas, com uma participação de 2% do total (Tabela 1).

Tabela 1- Principais processos do ciclo biogeoquímico do nitrogênio. (Adaptado de Taiz & Zeiger, 2004)

Processo	Descrição	Taxa (10 <sup>12</sup> g ano <sup>-1</sup> de N)
Fixação industrial	Conversão industrial do N <sub>2</sub> em amônia	80
Fixação atmosférica	Conversão fotoquímica e pelos relâmpagos do N <sub>2</sub> em nitrato	19
Fixação biológica	Conversão do N <sub>2</sub> em NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> pelos organismos procariontes	170
Aquisição pelos vegetais	Absorção e assimilação do amônio ou nitrato pelos vegetais	1200
Volatilização	Perda física do gás amônia para a atmosfera	100
Fixação do NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> no solo	Ligação física do amônio nas partículas do solo	10
Desnitrificação	Conversão bacteriana do nitrato em óxido nitroso e N <sub>2</sub>	210
Lixiviação do nitrato	Perdas por percolação do nitrato para o lençol de água	36

A fixação industrial de nitrogênio requer energia proveniente de recursos naturais não renováveis, como o gás natural e outros derivados do petróleo, num processo de encarecimento do produto final, o N-fertilizante. Além disso, os fertilizantes nitrogenados, quando usados em excesso, podem causar a poluição de aquíferos subterrâneos, rios e lagos. Por outro lado, a fixação biológica de nitrogênio, apesar de também requerer energia, essa é retirada de fontes renováveis como carboidratos sintetizados pelas plantas a partir da energia solar e é fornecida de forma equilibrada, diretamente para atender as necessidades nutricionais das plantas. Na década de 70, com a diminuição dos estoques de petróleo e conseqüente aumento dos preços, os estudos sobre a fixação biológica de nitrogênio (FBN) foram intensificados (Serraj, 2004). Ainda que responsável por uma maior eficiência energética, a FBN é menos utilizada nos sistemas produtivos dos continentes Europeu, Asiático e na América do Norte em relação à aplicação de N-fertilizante. Já na América Latina, África e Oceania a FBN excede as entradas de fertilizante sintético (Tabela 2).

Tabela 2: Entrada anual de N em agroecossistemas via fixação biológica de nitrogênio (FBN) ou nitrogênio mineral (N-Fertilizante) nos diferentes continentes do mundo. (Adaptado de Crews & Peoples, 2005)

Continentes	Taxa (10 <sup>12</sup> g ano <sup>-1</sup> de N)	
	FBN	N-Fertilizante
Ásia	23	44
Europa	6	14
América do Norte	10	13
América Latina	8	5
África	3	2
Oceania	5	1
Total Global	55	79

No cenário atual, o uso de leguminosas herbáceas, arbustivas e arbóreas associadas com bactérias do gênero *Rhizobium* pode ser a grande opção para o aumento da produtividade sem aumento nos custos de produção (Döbereiner et al., 1995; Franco & Campello, 2005).

### IMPORTÂNCIA DAS LEGUMINOSAS NOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Nos trópicos, a matéria orgânica do solo constitui a principal fonte de N, P, S e Mo (Tabela 3).

**Tabela 3** - Principais nutrientes minerais, disponibilidade nos solos tropicais e necessidade das plantas em sistemas naturais. (Adaptado de Chapman, 1965)

Nutrientes	Principal fonte no solo	Necessidades das plantas
Nitrogênio (N)	Matéria orgânica (MO)	1,5 a 4,0 %
Fósforo (P)	MO e colóides minerais	0,1 a 0,4 %
Potássio (K)	Colóides minerais e MO	1,0 a 2,5 %
Enxofre (S)	MO e intemperização de minerais	0,2 a 1,0 %
Cálcio (Ca)	Colóides minerais e MO	0,2 a 2,0 %
Magnésio (Mg)	Colóides minerais e MO	0,1 a 0,6 %
B, Cu, Fe, Mn e Zn	Colóides minerais e MO	10 a 150 mg kg <sup>-1</sup>
Mo	MO e colóides minerais	0,1 a 5 mg kg <sup>-1</sup>

A associação planta-bactéria-fungo apresenta algumas especificidades que podem ser utilizadas de maneira a tornar o sistema, ainda, mais eficiente. A nutrição nitrogenada em plantas vasculares tem efeito significativo na mudança do pH da rizosfera. Além da fonte de nitrogênio, as espécies vegetais também exercem efeito significativo sobre o controle do pH (Marscher & Römheld, 1983; Raven et al., 1990). Se a principal fonte de N é o nitrato, o pH da rizosfera tende a aumentar; ao contrário, se for amônio ou N-atmosférico tende a diminuir, mas com menos intensidade (Raven & Smith, 1976). Quando a biomassa é depositada ao solo, a acidez produzida durante a assimilação de N é neutralizada pelo processo de decomposição, não havendo mudança de pH do solo ao fim desse processo (Nyatsanga & Pierre, 1973). Porém, se a biomassa produzida for retirada, haverá um elevado aumento da acidez do solo (Franco et al., 2003).

Em sistemas naturais sem significativa lixiviação, a perda de bases é mínima e o pH tende a permanecer estável ao longo do tempo. Nos sistemas produtivos a mudança de pH vai variar com a intensidade e qualidade do produto exportado do sistema, da fonte de N e da intensidade da lixiviação de nitrato. O N perdido por volatilização e, ou, por desnitrificação não reduz o pH do solo, mas a perda de nitrato do sistema por erosão ou lixiviação, sim; e, por isso, práticas que levem à redução destas perdas devem ser estimuladas (Nyatsanga & Pierre, 1973, Raven et al., 1990). Por outro lado, a acidificação da rizosfera pode ser usada como fator de favorecimento da solubilização de fosfatos naturais, favorecendo a disponibilidade de P (Aguilar & van Diest, 1981).

Desta forma, a adubação com fosfatos naturais em conjunto com o uso de espécies fixadoras de N atmosférico representa uma forma eficiente de adição de C, N e P ao ciclo biogeoquímico do sistema solo-planta-animal. Isto pode ser observado na tabela 4, onde *Crotalaria juncea* apresentou crescimento e acúmulo de biomassa, N e P reduzidos, quando a fonte de fósforo era o fosfato natural. Por outro lado, a mucuna preta, uma espécie que acidifica mais intensamente a rizosfera (Jesus, 1993), acumulou semelhante quantidade de matéria seca, N e P tanto com fosfato natural quanto com termofosfato. A adubação verde com mucuna, além de incorporar 318 kg de N, transferiu aproximadamente 15 kg de P de uma fonte pouco solúvel à biomassa, enquanto a crotalaria foi muito menos eficiente quando a fonte de fósforo foi a rocha fosfatada. Isso indica que espécies que acidifiquem a região da rizosfera com mais intensidade podem se constituir em uma importante estratégia para suprir as necessidades de fósforo do sistema de cultivo.

Tabela 4 - Efeito da espécie vegetal na incorporação de matéria seca, fósforo e nitrogênio aos sistemas produtivos. (Adaptado de Silva, 1985)

Espécie	Fonte de fósforo	Matéria seca	N		P
		Mg ha <sup>-1</sup>	-----kg ha <sup>-1</sup> -----		
<i>Crotalaria juncea</i> (Crotalária)	Fosfato natural	8,4 c <sup>1</sup>	151 c		15,7 c
	Termofosfato – IPT	16,6 a	253 b		31,7 c
<i>Mucuna aterrimum</i> (Mucuna preta)	Fosfato natural	14,0 b	318 a		35,8 ab
	Termofosfato – IPT	14,8 b	353 a		37,2 a

<sup>1</sup> Valores na mesma coluna, seguidos da mesma letra, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Na tabela 5, verifica-se a contribuição da fixação biológica de nitrogênio de algumas espécies em diferentes países, e na tabela 6 são apresentadas estimativas da FBN para espécies arbóreas e arbustivas em diferentes condições de ensaio. Consta-se uma grande variação intraespecífica e interespecíficas na quantidade de N<sub>2</sub> fixado. Isto é decorrente do processo de fixação biológica de nitrogênio está sujeito a uma série de tipos de estresses, cada um potencialmente limitante, os quais determinam o sucesso das espécies e de suas associações com organismos superiores em cada ambiente (Cardoso et al., 1992). Os métodos de determinação da FBN, também, são fatores de grandes variações nas quantidades medidas (Boddey et al., 1987).

Tabela 5 - Porcentagem de nitrogênio proveniente da atmosfera e nitrogênio fixado segundo técnicas de diluição isotópica de <sup>15</sup>N (DI) e abundância natural de <sup>15</sup>N (d<sup>15</sup>N) por diferentes espécies no Brasil e no mundo. (Adaptado de Cardoso et al., 1992; Serraj, 2004)

Espécie	País	Idade		N fixado		Método
		anos	%	kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> de N		
<i>Acacia caven</i>	Chile	1	14	0,07		DI
<i>Acacia caven</i>	Chile	2	86	7,74		δ <sup>15</sup> N
<i>Acacia holosericea</i>	Senegal	10	39	nd		δ <sup>15</sup> N
	Brasil	nd	nd	6,4		-
<i>Acacia mangium</i>	-	2	50	nd		δ <sup>15</sup> N
<i>Acacia mearnsii</i>	Brasil	nd	nd	200		-
<i>Acacia melanoxydon</i>	Austrália	2,25	43	< 0,43		δ <sup>15</sup> N
<i>Acacia mucronata</i>	Austrália	2,25	48	< 0,48		δ <sup>15</sup> N
<i>Calliandra calothyrsus</i>	Austrália	1	50	38		δ <sup>15</sup> N
<i>Erythrina lanceolata</i>	Costa Rica	1	0-53	0-72		δ <sup>15</sup> N
<i>Faidherbia albina</i>	Senegal	1	15-23	nd		DI
<i>Flemingia macrophylla</i>	Burundi	1	nd	10		δ <sup>15</sup> N
	Senegal	10	17	nd		δ <sup>15</sup> N
<i>Gliricidia sepium</i>	Brasil	nd	nd	12,9		-
	Senegal	10	0-22	nd		δ <sup>15</sup> N
<i>Hardwickia binata</i>	Senegal	10	0-22	nd		δ <sup>15</sup> N
<i>Leucaena leucocephala</i>	Porto Rico	2	70	72,1		DI
	Brasil	nd	nd	200-600		-
<i>Prosopis alba</i>	Chile	1	25	0,1		DI
	Chile	2	52	0,936		DI
<i>Prosopis chilensis</i>	Chile	1	31	0,155		DI
	Chile	2	70	1,4		DI
<i>Prosopis cineraria</i>	Senegal	10	21	nd		δ <sup>15</sup> N
<i>Prosopis glandulosa</i>	U.S.A.	1	41-63	16,4-25,2		δ <sup>15</sup> N

nd = Não determinado.

Nota-se, portanto, que a contribuição da FBN às plantas pode chegar a 600 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Siqueira & Franco, 1988). Considerando todo esse potencial e as mais de 2000 espécies de leguminosas encontradas somente no Brasil (Lima, comunicação pessoal), se faz necessário convencer os agricultores da importância de utilizar leguminosas em seus sistemas de produção, sempre que possível. Nesse contexto, os sistemas agroflorestais (SAF's) podem ocupar papel de destaque, desde que a escolha das espécies, primeiro passo para o manejo bem sucedido, seja adequada, entendendo que o principal papel das leguminosas no sistema é o de “facilitadora” do sistema.

**Tabela 6** - Estimativa da FBN em leguminosas sob diferentes condições de ensaio. (Adaptado de Giller, 2001)

Espécies	N <sub>2</sub> fixado		Período (Meses)	Condições do ensaio ou parte da planta amostrada	Método
	kg ha <sup>-1</sup>	%			
<i>Acacia auriculiformis</i>	-	52-66	-	Folhas de árvores maduras	δ <sup>15</sup> N
<i>A. hereroensis</i>	-	49	-	Folhas de árvores maduras	δ <sup>15</sup> N
<i>A. holosericea</i>	3-6	30	7	Podas	δ <sup>15</sup> N
<i>A. melanoxylon</i>	46	43	27	Biomassa total	δ <sup>15</sup> N
<i>A. mellifera</i>	-	71	-	Folhas de árvores maduras	δ <sup>15</sup> N
<i>A. mucronata</i>	116	48	27	Biomassa total	δ <sup>15</sup> N
<i>Cajanus cajan</i>	-	65	-	Rebrota	δ <sup>15</sup> N
	71-118	53-72	6-9	Biomassa de área em recuperação	δ <sup>15</sup> N
<i>Calliandra calothyrsus</i>	-	0-14	-	Rebrota	δ <sup>15</sup> N
	1026	24-84	27	Podas	δ <sup>15</sup> N
				Biomassa de área em recuperação	δ <sup>15</sup> N
<i>Crotalaria grahantiana</i>	116-162	36-80	6-9	em recuperação	δ <sup>15</sup> N
<i>Desmodium rensonii</i>	-	68-84	-	Rebrota	δ <sup>15</sup> N
<i>Flemingia macrophylla</i>	27	24	12	Podas	δ <sup>15</sup> N
<i>Gliricidia sepium</i>	-	26-75	-	Rebrota	δ <sup>15</sup> N
	-	30-55	-	Planta de 1-3 anos	δ <sup>15</sup> N
	1063	56-89	27	Podas	δ <sup>15</sup> N
	146-204	54-92	12	Podas	δ <sup>15</sup> N
	19	37	12	Podas	δ <sup>15</sup> N
	70	44-58	7	Podas	δ <sup>15</sup> N
<i>Leucaena leucocephala</i>	224-274	56	-	Podas	Dif
	76-133	34-39	-	Podas	Dif
<i>Paraserianthes falcataria</i>	-	60-100	-	-	δ <sup>15</sup> N
	-	55	-	Folhas de árvores maduras	δ <sup>15</sup> N
<i>Sesbania grandiflora</i>	-	30	-	Folhas de árvores maduras	δ <sup>15</sup> N

δ<sup>15</sup>N = Abundância natural de N<sup>15</sup>; Dif = Diferença de N.

### ESCOLHA DAS LEGUMINOSAS MAIS ADEQUADAS PARA SISTEMAS AGROFLORESTAIS

O papel de “facilitadoras” do sistema que as leguminosas podem exercer se dá, principalmente, através de podas das copas, favorecendo a ciclagem de nutrientes. Para que esse papel seja otimizado é importante que se caracterize localmente o comportamento das espécies quanto à capacidade de produzir biomassa vegetal, à qualidade desse material, à velocidade em que ele estará disponível para as culturas de interesse comercial, à eficiência do sistema radicular em absorver nutrientes das camadas mais profundas do solo, à capacidade de rebrota após o corte, à rusticidade e à capacidade de realizar FBN. A espécie que apresentar um bom crescimento vegetativo, com um material rico em nutrientes, principalmente P e N, boa penetra-

ção das raízes e capacidade destas associarem-se a fungos e, ou, bactérias, além de boa capacidade de rebrota, será uma espécie de grande potencial para ser implantada em SAF's. Contudo, é importante frisar que os fatores edafoclimáticos de cada região devem ser considerados. Nesse sentido, a Embrapa Agrobiologia tem testado espécies de leguminosas em todas as regiões do território nacional e, com base nessas pesquisas, é possível indicar espécies para diferentes situações, devendo-se ressaltar que as aqui indicadas não esgotam as possibilidades para cada localidade (Tabela 7).

Tabela 7 - Indicação de espécies considerando condições de solo e regiões climáticas. (Adaptado de Faria & Campello, 1999)

Espécies definidas em função das condições de solo	
Espécie	Nome vulgar
<b>Espécies tolerantes a solos salinos</b>	
<i>Acacia auriculiformis</i>	Acácia auriculada
<i>Acacia mangium</i>	Acácia
<i>Albizia falcataria</i>	
<i>Albizia lebbek</i>	Coração de negro
<i>Inga edulis</i>	Ingá
<i>Mimosa caesapiniifolia</i>	Sabiá
<i>Prosopis juliflora</i>	Algaroba
<b>Espécies tolerantes a solos alcalinos</b>	
<i>Acacia auriculiformis</i>	Acácia
<i>Prosopis cineraria</i>	
<i>Prosopis juliflora</i>	Algaroba
<b>Espécies tolerantes a solos pouco drenados</b>	
<i>Acacia auriculiformis</i>	Acácia auriculada
<i>Acacia mangium</i>	Acácia
<i>Aeschynomene denticulata</i>	Paricazinho
<i>Aeschynomene fluminenses</i>	Paricazinho
<i>Chamaecrista nictitans var. praetexta</i>	Paricazinho
<i>Erythrina fusca</i>	Mulungu
<i>Inga spp</i>	Ingá
<i>Mimosa bimacronata</i>	Maricá
<i>Sesbania bispinosa</i>	Sesbania
<i>Sesbania grandiflora</i>	
<i>Sesbania sesban</i>	
<i>Sesbania virgata</i>	
Espécies definidas por regiões climáticas	
<b>Espécies para trópicos úmidos e sub-úmidos</b>	
<i>Acacia mangium</i>	Acácia
<i>Anadenanthera colubrina</i>	Angico
<i>Ateleia glazioviana</i>	Pau cabrito
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Orelha de negro
<i>Erythrina falcata</i>	Mulungu
<i>Inga sessilis</i>	Ingá
<i>Mimosa bimacronata</i>	Maricá
<i>Mimosa flocculosa</i>	Bracatinga dos campos
<i>Parapiptadenia rigida</i>	Angico
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	Jacaré
<i>Sclerolobium paniculatum</i>	Taxi
<b>Espécies para acima de 1.200 m de altitude</b>	
<i>Acacia mearnsii</i>	Acácia negra
<i>Mimosa flocculosa</i>	Bracatinga dos campos
<i>Mimosa scabrella</i>	Bracatinga
<b>Espécies para regiões semi-áridas</b>	
<i>Albizia lebbek</i>	Coração de negro
<i>Cajanus cajan</i>	Guandu
<i>Mimosa tenuiflora</i>	Jurema preta
<i>Pithecellobium dulce</i>	
<i>Prosopis alba</i>	Alba, juliflora, chilensis
<i>Prosopis juliflora</i>	Algaroba

Na escolha da espécie adequada, além da preocupação com a contribuição ecológica que este componente trará para o sistema, pode-se considerar ainda, outras propriedades que trarão benefícios de cunho financeiro ao produtor, como por exemplo, da espécie ser melífera, frutífera, madeireira, atrativa da fauna silvestre, dentre outras. Algumas espécies utilizadas em sistemas agroflorestais e o tipo de função no sistema de produção (Tabela 8). Das espécies descritas na tabela 8, apenas o *Schizolobium parahyba* não nodula. Todas as demais espécies descritas realizam associações com bactérias, nodulando e fixando o nitrogênio da atmosfera, apresentando-se com potencial para serem implantadas em SAF's com a finalidade de contribuir no fornecimento de nutrientes, principalmente o nitrogênio.

**Tabela 8** - Espécies da família Leguminosae e suas principais utilidades em SAF's. (Adaptado de Lorenzi, 1992; Lorenzi, 1998; Lorenzi et al., 2003)

Nome científico	Nome vulgar	Utilidade
<i>Arachis pintoi</i>	Amendoim-forrageiro	Adubação verde, cobertura do solo
<i>Acacia angustissima</i>	Acácia	Adubação verde, sombreamento
<i>Acacia auriculiformis</i>	Acácia-auriculada	Lenha, adubação verde
<i>Acacia holosericea</i>	Acácia	Adubação verde, sombreamento
<i>Acacia mangium</i>	Acácia	Madeireira, sombreamento
<i>Acacia mearnsii</i>	Acácia negra	Madeireira, extração de tanino, quebra-vento
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	Angico	Madeireira, sombreamento, biomassa
<i>Albizia lebbek</i>	Albizia	Adubação verde, sombreamento
<i>Cajanus cajan</i>	Guandu	Adubação verde, alimentação humana e animal
<i>Canavalia brasiliensis</i>	Feijão de porco	Adubação verde
<i>Calliandra roustoniana</i>	Calliandra-candelabro	Sombreamento, ornamental
<i>Crotalaria juncea</i>	Crotalaria	Adubação verde
<i>Enterolobium contortisiliquium</i>	Orelha de negro	Apícola, madeireira, sombreamento.
<i>Erythrina variegata</i>	Eritrina-variegada	Madeireira, quebra-vento, alimentação animal, adubação verde, moirões vivos
<i>Gliricidia sepium</i>	Gliricidia	Sombreamento, adubação verde, forrageira, apícola, moirões vivos
<i>Inga edulis</i>	Ingá	Apícola, fauna silvestre, frutos, madeireira, biomassa
<i>Inga semialata</i>	Ingá	Apícola, fauna silvestre, frutos, madeireira, biomassa
<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucena	Alimentação animal, adubação verde
<i>Mimosa flocculosa</i>	Bracatinga do campo mourão	Adubação verde, sombreamento
<i>Mimosa caesalpinifolia</i>	Sabiá	Apícola, forrageira, madeireira, moirões
<i>Mimosa scabrella</i>	Bracatinga de campo mourão	Apícola, madeireira,
<i>Prosopis juliflora</i>	Algaroba	Biomassa, sombreamento
<i>Schizolobium parahyba</i>	Guapuruvu	Artesanato, sombreamento
<i>Sesbania virgata</i>	Sesbania	Adubação verde

### POTENCIAL DAS LEGUMINOSAS COMO FONTE DE NUTRIENTES

Um aspecto importante no manejo de sistemas agroflorestais, que visa potencializar a eficiência do processo de ciclagem de nutrientes, é associar o período de maior disponibilidade de nutrientes no sistema, normalmente proveniente de práticas como a poda, com a demanda da cultura de interesse comercial.

Em se tratando de sistemas convencionais de produção, pode-se dizer que estudos sobre a curva de

crescimento e demanda nutricional de espécies comerciais são muito comuns na literatura. Informações sobre o pico de absorção de nutrientes do milho, do arroz, do feijão, da soja, da cana, etc, são bem consolidadas. Essas informações permitiram que a pesquisa identificasse o período ideal de aplicação de fertilizantes solúveis (que estão prontamente disponíveis), suas doses e necessidade de parcelamento. O sucesso da agricultura se deve em grande parte a essas informações (Urquiaga & Zapata, 2000).

No entanto, em Sistemas Agroflorestais, a principal entrada de nutrientes ocorre via decomposição de biomassa, portanto, não estando prontamente disponíveis para a cultura de interesse comercial. Assim, é imprescindível que se conheça bem os processos de decomposição do material vegetal utilizado como adubo verde e também a velocidade com que os nutrientes presentes nesse material são liberados para o solo. Se houver alta taxa de mineralização antes ou depois do crescimento logarítmico da cultura, pode haver perdas por lixiviação e a cultura não será beneficiada (Stute & Posner, 1995). Sob as mesmas condições de clima e solo, a velocidade de decomposição dos resíduos e a liberação de nutrientes são influenciadas pela soma de muitos fatores, como as características químicas do material, teor de N, relação C:N, teor de lignina e relação lignina:N, teor de polifenóis e relações polifenóis:N e (lignina + polifenóis):N (Palm & Sanchez, 1991), associados à atuação de macro e microrganismos (Correia & Andrade, 1999).

Conhecer o potencial de fertilização das espécies através da decomposição de seus resíduos passa, inicialmente, pela caracterização química dessas espécies. Na tabela 9, são mostrados os teores de polifenol, N, Ca, Mg, P e K e a relação C:N de folhas maduras de 20 leguminosas arbóreas (Silva et al., 2004).

**Tabela 9** - Teores de polifenol, nitrogênio (N), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e potássio (K) e relação C:N, no tecido foliar de 20 leguminosas arbóreas. (Adaptado de Silva et al., 2004)

Espécies	Polifenol	N	Ca	Mg	P	K	C:N
<i>Acacia angustissima</i>	14,63	3,83	0,51	0,17	0,18	0,50	11,87
<i>Acacia auriculiformis</i>	11,29	2,08	0,68	0,31	0,04	0,40	22,26
<i>Acacia holosericea</i>	10,10	2,13	0,34	0,25	0,04	0,24	21,36
<i>Acacia mangium</i>	11,12	2,70	0,66	0,18	0,07	0,63	16,88
<i>Albizia guachapele</i>	7,82	3,30	0,54	0,18	0,05	0,41	13,79
<i>Albizia lebbek</i>	5,07	3,67	0,28	0,15	0,03	0,29	12,48
<i>Albizia saman</i>	3,65	3,40	0,99	0,11	0,07	0,44	13,26
<i>Centrolobium tomentosum</i>	7,61	2,64	0,54	0,10	0,02	0,17	17,20
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	5,79	2,96	0,21	0,21	0,04	0,35	15,45
<i>Erythrina poeppigiana</i>	6,28	3,57	0,61	0,26	0,05	0,24	12,68
<i>Gliricidia sepium</i>	5,34	2,71	0,66	0,26	0,06	0,38	17,55
<i>Inga semialata</i>	12,22	2,41	0,49	0,14	0,06	0,24	19,22
<i>Leucaena leucocephala</i>	14,54	3,68	0,76	0,22	0,05	0,36	12,31
<i>Machaerium isadelphum</i>	14,51	2,60	0,74	0,21	0,08	0,59	17,45
<i>Mimosa artemisiana</i>	14,88	2,63	0,53	0,15	0,04	0,25	17,28
<i>Mimosa caesalpinifolia</i>	10,70	2,29	0,42	0,22	0,04	0,25	19,92
<i>Mimosa tenuiflora</i>	11,77	2,27	0,31	0,11	0,03	0,36	19,85
<i>Peltophorum dubium</i>	19,26	1,99	0,71	0,27	0,10	0,40	24,50
<i>Schizolobium parahyba</i>	7,23	2,91	1,08	0,21	0,13	0,56	16,43
<i>Senna siamea</i>	8,04	2,69	2,17	0,19	0,09	0,23	16,82

Contudo, somente conhecer as características químicas das plantas não é suficiente. Faz-se necessário entender os processos de decomposição dos resíduos vegetais para que a escolha das espécies “facilitadoras” e o planejamento das podas possam ser adequados. Assim, espécies como *Gliricidia sepium* e *Erythrina poeppigiana*, que rapidamente exercem sua função de “facilitadoras”, uma vez que ambas apresentam tempo de meia vida aproximadamente de 15 dias para liberação do nitrogênio (Silva et al.,

2005), devem ser podadas simultaneamente com as espécies que apresentem decomposição mais lenta, visto que em pouco tempo o solo já não terá resíduo vegetal e, portanto, nem fonte de liberação de nutrientes. Ao consorciar essas espécies de rápida decomposição com espécies nas quais tais processos sejam mais lentos, por exemplo, *Acacia holosericea* e *Acacia auriculiformis* (tempo de meia vida próximo de 100 dias), é garantido o suprimento contínuo de nutrientes e matéria orgânica para o solo (Embrapa Agrobiologia, dados não publicados).

Na tabela 10, encontram-se alguns valores da taxa de decomposição e do teor de nitrogênio de folhas de diferentes espécies.

**Tabela 10** - Taxa de decomposição (k), tempo de meia vida ( $t_{1/2}$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da matéria seca e do nitrogênio total contido em leguminosas herbáceas e arbóreas. (Resende et al., 2003; Nóbrega et al., 2003; Espíndola et al., 2004; Perin et al., 2004)

Espécies	Parâmetros de Decomposição					
	Matéria Seca			Nitrogênio Total		
	k	$t_{1/2}$ (dias)	$R^2$	k	$t_{1/2}$ (dias)	$R^2$
<i>Indigophera</i> sp.	0,013	54	0,93***	0,017	41	0,94***
<i>Canavalia ensiformis</i>	0,013	54	0,79**	0,015	46	0,92***
<i>Crotalaria juncea</i>	0,014	50	0,99***	0,020	34	0,99***
<i>Gliricidia sepium</i>	0,037	11	0,97**	0,056	19	0,98***
<i>Melia azedarach</i>	0,022	31	0,90***	0,023	31	0,92***
<i>Arachis pintoi</i>	0,195	36	-	0,0156	44	-
<i>Pueraria phaseoloides</i>	0,0102	68	-	0,0063	110	-
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	0,0103	67	-	0,0081	86	-
<i>Crotalaria juncea</i>	0,0176	39	0,95**	0,0474	15	0,93**

Na tentativa de reunir informações de diferentes experimentos sobre a caracterização de potenciais adubos verdes nas mais diversas situações de campo no território brasileiro, a Embrapa Agrobiologia têm elaborado um banco de dados. Sua primeira versão ainda está em aprimoramento, mas já encontra-se disponível na internet ([http://www.cnpab.embrapa.br/adubacao\\_verde/](http://www.cnpab.embrapa.br/adubacao_verde/)). O objetivo desse banco de dados é alcançar um nível de conhecimento em que seja possível criar grupos de espécies com semelhantes potenciais fertilizantes, de maneira que seja viável a recomendação de um grupo de espécies para determinada situação de clima, solo, época do ano, região do país, dentre outras características.

### USO DE LEGUMINOSAS EM SISTEMAS SILVIPASTORIS

No Brasil e no mundo, diversas experiências sobre a utilização de leguminosas nos diferentes Sistemas Agroflorestais já foram relatadas e um dos exemplos que tem mostrado resultados satisfatórios é a arborização de pastagens.

A atividade pecuária ocupa papel de destaque no Brasil. Cerca de 200 milhões de hectares do território nacional são dedicados a esta prática (EMBRAPA, 2001). Porém, a expansão da bovinocultura no país se deu através da derrubada de extensas áreas de florestas naturais, caracterizando esta atividade pela monocultura de gramíneas, nativas e, ou, cultivadas, numa pecuária com baixa produtividade, pouco uso de mão-de-obra e, salvo raras exceções, eliminando todas as árvores do sistema (Franco et al., 2003).

Nas regiões tropicais a fertilidade dos solos é proveniente, principalmente, da manutenção da matéria orgânica do solo através da conservação da vegetação. Desse modo, a substituição dos sistemas naturais afeta todo o ecossistema, proporcionando a exposição direta do solo às chuvas, picos de temperatura e pisoteio animal; o que ocasiona alterações na estrutura do solo, na perda de sua fertilidade e na diversidade de microrganismos. Em consequência, aproximadamente 60% das áreas cobertas com pastagens se encontram com algum grau de degradação (EMBRAPA, 1995).

De acordo com EMBRAPA (2001), a degradação de pastagens tem início a partir da insuficiência

nutricional, na qual o nitrogênio é o principal responsável. A fonte natural de N no solo é a matéria orgânica, composta principalmente, pela deposição de folhas, galhos e outros resíduos vegetais, formando a serapilheira que libera nutrientes para as plantas através do processo de decomposição (Figura 1). Se a formação de serapilheira diminui, devido ao alto consumo da forragem pelos animais, não haverá nitrogênio suficiente para manter o ciclo e, assim, a pastagem se degrada (Boddey et al., 2001).

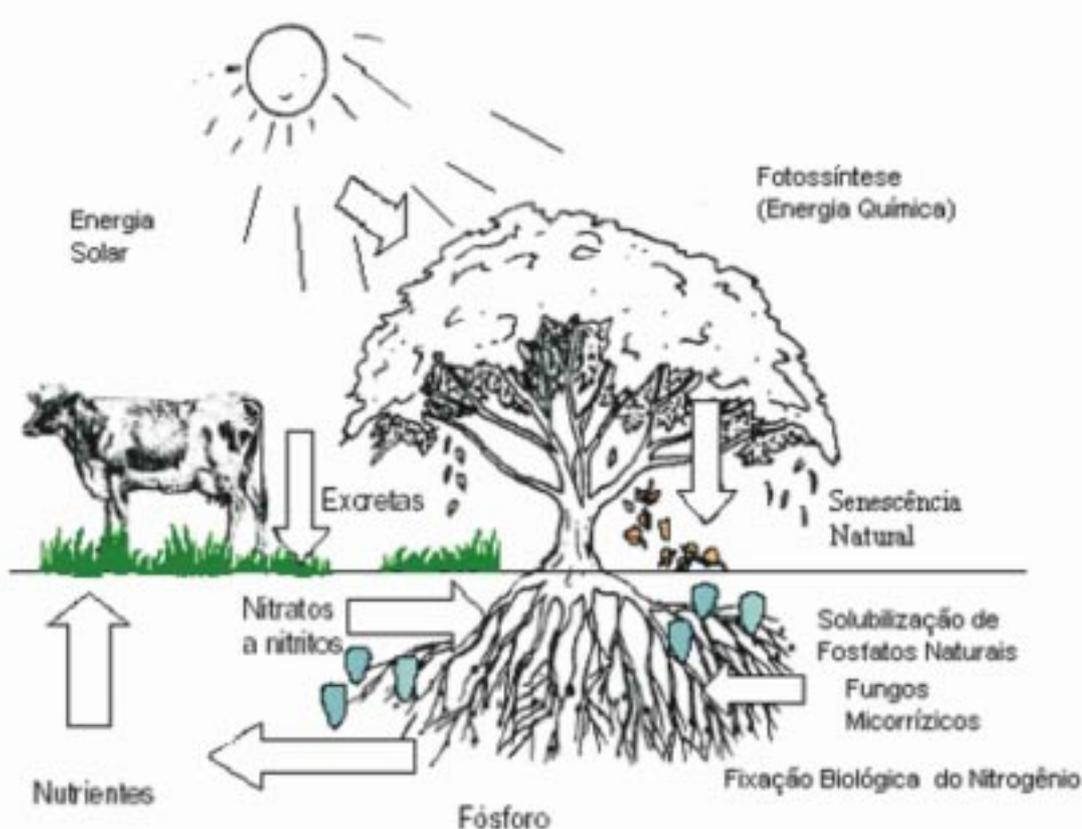


Figura 1 - Ciclagem de nutrientes em um sistema silvipastoril. (Adaptado de Murgueitio et al., 1999).

Estudos de respostas de gramíneas forrageiras à aplicação de fertilizantes nitrogenados indicam que no Brasil as pastagens não adubadas com nitrogênio vêm produzindo somente 10 a 40% do obtido com adubo nitrogenado (Vilela & Alvim, 1998). No entanto, a prática de adubação tem sido limitada, devido ao alto custo dos fertilizantes, principalmente o nitrogenado. Dessa forma, as leguminosas arbóreas inoculadas e micorrizadas se apresentam como importante estratégia para manutenção e recuperação de pastagens degradadas, uma vez que podem adicionar ao sistema até 600 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de nitrogênio (Siqueira & Franco, 1988).

Estudo realizado com pastagens degradadas de braquiária, em solos do cerrado, encontrou que o aumento da quantidade de N-disponível no sistema poderia elevar consideravelmente a produção das pastagens (EMBRAPA, 2001). Mahecha et al. (1999), trabalhando na Colômbia, encontrou para o capim-estrela (*Cynodon plectostachyus*) um aumento de cerca de 40% na produção de massa seca quando associado a *Leucaena leucocephala* e *Prosopis juliflora* em relação à monocultura. A espécie *C. nlemfuensis* teve sua produção total de massa seca 50% maior, quando associada com *Erythrina poeppigiana*, do que em área sem a árvore (Bustamante et al., 1998).

Outro aspecto que vem sendo observado na associação leguminosa x pastagem é citado por Carvalho et al. (2000) que, trabalhando com a introdução de leguminosas arbóreas em pastagens, constataram que após quatro anos a forrageira (*Brachiaria decumbens*), sob a copa das árvores, apresentava-se sempre mais verde, com maior teor de proteína bruta (PB) e maior digestibilidade *in vitro* da matéria seca do que o capim braquiária, tanto na época seca quanto na chuvosa (Tabela 11). Efeitos semelhantes podem ser observados na figura 2.



Figura 2 – Efeito de *Stryphnodendrum adstringens* no crescimento de *Brachiaria brizantha* (Barbatimão), em Porto Trombetas - PA..

A serapilheira depositada pelas leguminosas proporciona aumentos, principalmente nos teores de N e, conseqüentemente, de proteínas, melhorando a qualidade da forragem ofertada, até mesmo na época seca (Tabela 11).

Tabela 11 - Efeito do sombreamento proporcionado por três leguminosas arbóreas sobre a qualidade da forragem nas épocas seca e chuvosa, em pastagem de *Brachiaria decumbens*. (Adaptado de Carvalho et al., 2000)

Espécies	Tratamento	Seca		Chuvosa	
		PB <sup>a</sup>	DIVMS <sup>b</sup>	PB <sup>a</sup>	DIVMS <sup>b</sup>
		-----%-----			
<i>Acacia angustissima</i>	Sol	4,44b	35,63c	5,54b	42,27
	Sombra	7,50a	45,17ab	6,25ab	42,12
<i>Acacia auriculiformis</i>	Sol	4,37b	40,06b	5,40b	43,98
	Sombra	8,81a	50,96a	5,82ab	43,66
<i>Acacia mangium</i>	Sol	4,37b	34,70c	5,39b	43,41
	Sombra	7,3a	48,76a	7,61a	50,28

<sup>a</sup>PB = Proteína bruta, <sup>b</sup>DIVMS = Digestibilidade *in vitro* da matéria seca. Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

A entrada do componente arbóreo, além de melhorar as características químicas e físicas do solo via deposição de serapilheira, também proporciona ao animal maior conforto térmico, através da disponibilidade de áreas sombreadas (Figura 3). Com a arborização de pastagens existe, ainda, a possibilidade de utilização de espécies fornecedoras de produtos que adicionam valor a produção pecuária, tais como madeira, óleos, resinas, mel, moirões, dentre outros; o que pode representar uma importante fonte adicional de renda, principalmente para os pequenos produtores.



Figura 3 – Áreas sombreadas disponibilizadas através da arborização de pastagens

Um fator relevante na conversão das pastagens tradicionais em sistemas silvipastoris é que se a introdução dessas árvores ocorrer sem que haja a necessidade de indisponibilização temporária da pastagem para o gado ou utilização de proteções físicas na implantação das mudas, haverá uma redução substancial nos custos de implantação desse sistema. Para tanto, é interessante a escolha de espécies que apresentem defesas contra herbivoria, como acúleos ou espinhos, ou ainda, espécies que apresentem defesas químicas, como elevado teor de polifenol, que torna a planta pouco palatável ao animal.

Dias (2005), ao estudar a viabilidade da introdução de 16 espécies arbóreas sem o isolamento das mudas em um pasto localizado no município de Seropédica, RJ, observou uma taxa de sobrevivência superior a 90% para *Mimosa tenuiflora*, *Mimosa caesalpinjifolia*, *Mimosa artemisiana*, *Enterolobium contortisiliquum* e *Machaerium hirtum*. Essas espécies apresentaram elevado potencial de serem introduzidas em pastagens de braquiária na presença de bovinos, sem que houvesse necessidade de proteção das mudas. O autor também recomendou as espécies *Acacia holosericea* e *Acacia auriculiformis*, mas ambas apresentam ciclo de vida curto. Outras espécies, como *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala* e *Albizia lebbek*, foram altamente pastejadas, demonstrando potencial para serem aproveitadas na formação de bosques e bancos de proteína; com estabelecimento protegido dos bovinos. No caso da *Gliricidia*, ainda, é possível sua introdução a partir de estacas como moirão vivo para cercas ecológicas.

Além da implantação de árvores em pastagens também é interessante o consórcio entre a pastagem e leguminosas herbáceas e, ou, arbustivas, na tentativa de aumentar as entradas de nitrogênio no sistema. Na tabela 12, são apresentadas algumas estimativas da fixação biológica de nitrogênio realizada por leguminosas crescendo em pastagens tropicais.

Tabela 12 - Estimativas da FBN em espécies leguminosas associadas a pastagens tropicais. (Adaptado de Giller, 2001)

Espécies	N <sub>2</sub> Fixado		Periodo	País	Método
	kg ha <sup>-1</sup>	%			
<i>Arachis pintoi</i>	1-7	68-82	12 semanas	Colômbia	DI
<i>Calopogonium mucunoides</i>	136-182	-	1 ano	W. Samoa	Dif
	64	-	1 ano	Brasil	DI
<i>Centrosema aculifolium</i>	43	82	17 semanas	Colômbia	DI
<i>C. macrocarpum</i>	41	83	17 semanas	Colômbia	DI
	5-40	63-94	10-14semanas	Colômbia	DI
<i>C. pubescens</i>	67-68	-	1 ano	W. Samoa	Dif

Espécies	N <sub>2</sub> Fixado		Período	País	Método
	kg ha <sup>-1</sup>	%			
	136	-	1 ano	Uganda	Dif
<i>Clitoria ternatea</i>	42	45	-	Austrália	δ <sup>15</sup> N
<i>Desmanthus virgatus</i>	3-15	15-24	-	Austrália	δ <sup>15</sup> N
<i>Desmodium canum</i>	90	-	1 ano	Havai	Dif
<i>D. intortum</i>	380	-	1 ano	Havai	Dif
	103	-	1 ano	Austrália	Dif
	35-51	41-55	6 meses	Kenya	δ <sup>15</sup> N
<i>D. ovalifolium</i>	64-110	-	1 ano	W. Samoa	Dif
	25	70	17 semanas	Colômbia	DI
	31-54	82-89	14 semanas	Brasil	DI
	-	30-72	-	Brasil	DI
<i>Galactia striata</i>	31-54	81-93	14 semanas	Brasil	DI
<i>Lablab purpureus</i>	32-146	51-90	-	Austrália	δ <sup>15</sup> N
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	46-167	-	1 ano	W. Samoa	Dif
	97-137	-	1 ano	Austrália	Dif
	29	33	-	Austrália	δ <sup>15</sup> N
<i>Pueraria phaseoloides</i>	115	88	17 semanas	Colômbia	DI
<i>Stylosanthis spp.</i>	39	49	-	Austrália	δ <sup>15</sup> N
<i>S. capitata</i>	38	87	17 semanas	Colômbia	DI
	141-179	73-88	16 meses	Brasil	δ <sup>15</sup> N
<i>S. guianensis</i>	76-102	68-79	16 meses	Brasil	δ <sup>15</sup> N
	47	75	17 semanas	Colômbia	DI
<i>S. macrocephala</i>	71	88	17 semanas	Colômbia	DI
	68-89	74-79	16 meses	Brasil	δ <sup>15</sup> N
<i>S. scabra</i>	22-40	52-70	16 meses	Brasil	δ <sup>15</sup> N
<i>Zornia glabra</i>	61	88	17 semanas	Colômbia	DI

d<sup>15</sup>N = Abundância Natural de <sup>15</sup>N; DI = Diluição Isotópica de <sup>15</sup>N; Dif = Diferença de N.

Espécies capazes de realizar a fixação biológica de nitrogênio são interessantes para garantir a sustentabilidade de qualquer sistema produtivo e estas também se destacam na construção de cercas e moirões vivos. A cerca ecológica refere-se ao aproveitamento da estrutura formada a partir da disposição de espécies vegetais de ocorrência natural ou plantada, de forma justaposta ou em linha, formando barreiras vivas, renques e quebra-ventos. Assim, a definição das expressões “cerca viva ou ecológica” está associada ao fato de se plantar ou manter os arbustos e árvores, ao invés de cortá-las para fazer os moirões para cerca. Em termos gerais, oferece muito mais vantagens do que as cercas convencionais, especialmente na redução dos custos de implantação (Maradei, 2000; Gliessman, 2001).

O uso de moirões vivos de leguminosas arbóreas na construção de cercas ecológicas surge como uma alternativa promissora para minimizar os impactos causados pela exploração indiscriminada das reservas florestais. Além disso, pode gerar uma série de produtos econômicos e benefícios sócio-ecológicos, como efeito estético e paisagístico, geração de serviços ambientais e de produtos econômicos, fixação biológica de nitrogênio, aporte de biomassa, reciclagem de nutrientes perdidos para as camadas mais profundas do solo, abrigo para animais, pasto para abelhas, produção de lenha, formação de banco de proteínas, uso como forragem para o gado, melhoria da fertilidade do solo, maior durabilidade, alto poder calorífico (lenha), dentre outros (Matos et al., 2005). As espécies mais indicadas para uso como moirão vivo são aquelas que apresentam capacidade de enraizamento por estaquia, resistência a podas e ao fogo, boa capacidade de rebrota, maior durabilidade, rápido crescimento e, se possível, capacidade de associar-se a bactérias fixadoras de nitrogênio, o que faz com que algumas leguminosas se destaquem.

Nesse sentido, espécies como a *Gliricidia sepium* e o gênero *Erythrina sp.*, destacam-se das demais, pois

ambas possuem a capacidade de propagação via estaquia, rebrota e de realizar FBN (Franco, 1988; Maradei, 2000; Matos et al., 2005).

### CONCLUSÃO

Analisando todo o potencial de diversidade biológica do Brasil, que inclui cerca de 2.000 espécies de leguminosas, a maioria capaz de se associar a bactérias e fixar nitrogênio do ar, associado à conhecida baixa fertilidade nitrogenada dos solos tropicais e da intensa demanda nutricional dos sistemas agroflorestais, parece bem claro que a família Leguminosae é a mais indicada para fazer o papel de “facilitadora” desses modelos produtivos, necessitando que os técnicos do setor entendam e estimulem seu uso.

### LITERATURA CITADA

- AGUILAR, S.A. & van DIEST, A. Rock-phosphate mobilization induced by the alkaline uptake pattern of legumes utilizing symbiotically fixed nitrogen. *Plant Soil*, 61:27-42, 1981.
- AITA, C.; CERETTA, C.A.; THOMAS, A.L.; PAVINATO, A. & BAYERC, C. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:101-108, 1994.
- ARAÚJO, A.S.F. de; TEIXEIRA, G.M.; CAMPOS, A.X. de; SILVA, F.C.; AMBROSANO, E.J. & TRIVELIN, P.C.O. Utilização de nitrogênio pelo trigo cultivado em solo fertilizado com adubo verde (*Crotalaria juncea*) e/ou uréia. *Ciência Rural*, 35:2:284-289, 2005.
- BARROS, N.F. & NOVAIS, R.F. Relação solo-eucalipto. Viçosa, Folha de Viçosa, 1990. 330p.
- BODDEY; R.M. Methods for quantification of nitrogen fixation associated with gramineae. *CRC Crit. Rev. Plant Sci.*, 6:209-266, 1987.
- BODDEY; R.M., POLIDORO J.C.; RESENDE A.S.; ALVES B.J.R. & URQUIAGA, S. Use of the <sup>15</sup>N natural abundance technique for the quantification of the contribution of N<sub>2</sub> fixation to grasses and cereals. *Aust. J. Plant Phys.*, 28:1-7, 2001.
- BUSTAMANTE, J.; IBRAHIM, M. & BEER, J. Evaluación agronómica de ocho gramíneas mejoradas en un sistema silvopastoril com poro (*Erythrina poeppigiana*) en el trópico húmedo de turrialba. *Agroforesteria en las Américas*, 5:19:11-16, 1998.
- CARDOSO, E.J.B.N; TSAI, S.M. & NEVES, M.C.P. Microbiologia do solo. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 360p.
- CARVALHO, M.M.; XAVIER, D.F. & ALVIM, M.J. Uso de leguminosas arbóreas na recuperação e sustentabilidade de pastagens cultivadas. In: Simpósio Internacional sobre Sistemas Agroflorestais Pecuários na América do Sul, 18-20 de setembro de 2000.
- CHAPMAN, H. D. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, H.D. Chapman, 1965. 793p.
- CORREIA, M.E.F. & ANDRADE, A.G. de. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Gênese, 1999. p.197-225.
- COSTA, F.A. Desenvolvimento sustentável na Amazônia: O papel estratégico dos SAF's, seus gestores e produtores. In: MACEDO, J.LV.; WANDELLI, E.V. & SILVA J., J.P. eds. Sistemas Agroflorestais: Manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural. Manaus, Embrapa Amazônia Ocidental, 2001. p.168-192.
- CREWS, T.E. & PEOPLES, M.B. Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer-based agroecosystems? A review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 72:101-120, 2005.
- DIAS, P.F. Importância das leguminosas fixadoras de nitrogênio na arborização de pastagens. Seropédica, RJ: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2005. 128p. Tese (Dissertação em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2005.

- DÖBEREINER, J.; URQUIAGA, S. & BODDEY, R.M. Alternatives for nitrogen nutrition of crops in tropical agriculture. *Fertilizer Research*, 42:339-346, 1995.
- EMBRAPA CNPAB. A degradação das pastagens e o ciclo do nitrogênio. Informativo do CNPAB n° 16. R. A Lavoura, 104:637:48-51, 2001.
- EMBRAPA CNPAF. Programa de recuperação de pastagens degradadas no cerrado brasileiro: sistema agropastoril auto-sustentável. Goiânia, EMBRAPA-CNPAF, 1995. 26p. (Documentos, 59).
- ESPINDOLA, J.A.A.; ALMEIDA, D.L.; GUERRA, J.G.M. & RIBEIRO, R. L. D. Gestão do nitrogênio em sistemas orgânicos de produção através da adubação verde. *Ciência & Ambiente*, 29:123-130, 2004.
- FARIA, S.M de & CAMPELLO, E.F.C. Algumas espécies de leguminosas fixadoras de nitrogênio recomendadas para revegetação de áreas degradadas. *Recomendação Técnica*, 7:1-4, 1999.
- BUCK, L.E.; LASSOIE, J. & FERNANDES, E.C.M. eds. *Agroforestry in sustainable agricultural systems*. Boca Raton, CRC, 1999. 416p.
- FRANCO, A.A.; RESENDE, A.S. de & CAMPELLO, E.F.C. Importância das leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas agroflorestais. *Sistemas Agroflorestais e Desenvolvimento Sustentável*. p.1-24, 2003.
- FRANCO, A.A. Uso de *Gliricidia sepium* como moirão vivo. *Seropédica*, EMBRAPA – UAPNPBS, 1988. 5p. (Comunicado Técnico, 3).
- FRANCO, A.A. & CAMPELLO, E.F.C. Manejo integrado na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas produtivos utilizando a fixação biológica de nitrogênio como fonte de nitrogênio. In: AQUINO, A.M.de & ASSIS, R.L.de. eds. *Processos biológicos no sistema solo-planta: Ferramentas para uma agricultura sustentável*. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p.201-220.
- GAMA-ROFRIGUES, A.C. & MAY, P. Saf e o planejamento do uso da terra: Experiência na região norte-fluminense-RJ. In: MACEDO, J.LV.; WANDELLI, E.V. & SILVA J., J.P. eds. *Sistemas Agroflorestais: Manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural*. Manaus, Embrapa Amazônia Ocidental, 2001. p.130-136.
- GILLER, K.E. *Nitrogen fixation in tropical cropping systems*. 2° ed. Zimbabwe, CABI Publishing, 2001. 423p.
- GLIESSMAN, S.R. *Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável*. 2° ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 653p.
- JESUS, E.L. de. Seleção de leguminosas para adubação com maior capacidade de acidificação da rizosfera. *Seropédica-RJ: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*, 1993. 123p. Tese (Dissertação em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1993.
- LORENZI, H. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. 2° ed. Nova Odessa, Instituto Plantarum, 1998. 352p. v. 2.
- LORENZI, H. *Árvores Brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Nova Odessa, São Paulo. Instituto Plantarum, 1992. 352p. v. 1.
- LORENZI, H.; SOUZA, H.M. de; TORRES, M.A.V. & BACHER, L.B. *Árvores exóticas no Brasil: Madeiras, ornamentais e aromáticas*. Nova Odessa, Instituto Plantarum, 2003. 368p.
- MACEDO, I.C. Greenhouse gas emissions and energy balances in bio-ethanol production and utilization in Brazil. *Biomass Bioenergy*, 14:77-81, 1998.
- MACEDO, J.L.V.; WANDELLI, E.V. & SILVA J., J.P. *Sistemas Agroflorestais: Manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural*. Manaus, Embrapa Amazônia Ocidental, 2001. 248p.
- MAFONGOYA, P.L.; GILLER, K.E. & PALM, C.A. Decomposition and nitrogen release patterns of tree prunnings and litter. *Agroforestry Systems*, 38:77-97, 1998.
- MAHECHA, L.; ROSALES, M.; MOLINA, C.H. & MOLINA, E.J. Un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala-Cynodon plectostachyus-Prosopis juliflora* en el Valle del Cauca, Colombia. In:

- SÁNCHEZ, M.D. & ROSALES, M.M. Agroforesteria para la producción animal en América Latina. Roma, FAO, 1999. p.407-419.
- MARADEI, M. & FRANCO, A. A. Avaliação de dez espécies do gênero *Erythrina* no Rio de Janeiro, para uso como moirão vivo. R. Agronomia, 34:26-30, 2000.
- MARSCHER, H. & RÖMHELD, V. In Vivo measurement of root-induced pH changes at the soil-root interface: effect of plant species and nitrogen source. Zeitschrift fur Pflanzenernahrung und Bodenkunde, 111:241-251, 1983.
- MATOS, L.V.; CAMPELLO, E.F.C. & RESENDE, A.S. de. Plantio de Leguminosas arbóreas para produção de moirões vivos e construção de cercas ecológicas. EMBRAPA- CNPAB – Sistemas de Produção, 2005. 80p.
- MURGUEITIO, E.; ROSALES M. & GÓMEZ, M. Agroforestería para la producción animal sostenible. Cali, Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, 1999. 67p.
- NÓBREGA, P. de O.; SILVA, G.T.A.; SOARES, P.G.; CAMPELLO, E.F.C. & RESENDE, A.S. de. Decomposição de fitomassa e liberação de nitrogênio em resíduos das espécies *Racosperma mangium* e *Melia azedarach* para fins de adubação verde em sistemas agroflorestais. In: Jornada de Iniciação Científica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ, 2003. CD-ROM.
- NYATSANGA, T. & PIERRE, W. H. Effect of nitrogen fixatin by legumes on soil acidity. Agron. J., 65:936-940, 1973.
- ODUM, E.P. Fundamentos de ecologia. 6º ed. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 2001. 927p.
- ORGANIZACIÓN PARA ESTUDIOS TROPICAIS (OTS) & CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANSA (CATIE). Sistemas agroflorestais: Principios y aplicaciones en los tropicos. San José, Trejos Hnos. Sucs., S.A., 1986. 818p.
- PALM, C.A. & SANCHEZ, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. Soil Biol. Biochem., 23:83-88, 1991.
- PERIN, A.; SANTOS, R.H.S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J.G.M. & CECON, P.R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. Pesq. Agropec. brasileira, 39:35-40, 2004.
- RAVEN, J. A. & SMITH, F. A. Nitrogen assimilation and transport in vascular land plants in relation to intracellular pH regulation. New Phytologist, 76:415-431, 1976.
- RAVEN, J.A.; FRANCO, A.A.; JESUS, E.L. de & JACOB-NETO, J. H<sup>+</sup> extrusion and organic acid synthesis in N<sub>2</sub>-fixing symbioses involving vascular plants. New Phytologist, 114:369-389, 1990.
- RAVEN, P.H.; EVERT, R.F. & EICHHORN, S.E. Biologia vegetal. 6ºed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2001. 906p.
- RESENDE, A.S.; XAVIER R. P.; QUESADA D. M.; URQUIAGA S.; ALVES B. J. R. & BODDEY, R. M. Use of green manures in increase inputs of biological nitrogen fixation to sugar cane. Biology Fertility Soils, 37:215-220, 2003.
- RICKFLES, R.E. A economia da natureza. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2003. 503p.
- SERRAJ, R. Symbiotic nitrogen fixation: Prospects for enhanced application in tropical agriculture. Nova Delhi, Oxford & IBH publishing, 2004. 367p.
- SILVA, E.M.R. da; ALMEIDA, D.L. de; FRANCO, A.A. & DOBEREINER, J. Adubação verde no aproveitamento de fosfato em solo ácido. R. Bras. Ci. Solo, 9:85-88, 1985.
- SILVA, G.T.A.; MATOS, L.V.; NÓBREGA, P. de O.; CAMPELLO, E.F.C. & RESENDE, A.S. de. Velocidade de decomposição de fitomassa e liberação de nitrogênio de leguminosas arbóreas em um sistema agroflorestal. In: Jornada de Iniciação Científica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ, 2006. CD-ROM.
- SILVA, G.T.A.; QUEIROZ, R.O.M.; NÓBREGA, P. de O.; CAMPELLO, E.F.C. & RESENDE, A.S. de. Caracterização dos teores de nitrogênio, polifenol e relação C:N no tecido foliar de

- diferentes espécies vegetais em um sistema silvipastoril. In: Jornada de Iniciação Científica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ, 2004.CD-ROM.
- SIQUEIRA, J.O. & FRANCO, A.A. Biotecnologia do solo: Fundamentos e perspectivas. Brasília, MEC/ESAL/FAEPE/ABEAS, 1988. 236p.
- STUTE, J.K. & POSNER, J.L. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the Upper Midwest. *Agron. J.*, 87:1063-1069, 1995.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 3º ed. Porto Alegre, Artmed, 2004. 719p.
- URQUIAGA, S. & ZAPATA, F. Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales em América Latina y el Caribe. Porto Alegre, Gênese, 2000. 110p.
- VILELA, D. & ALVIM, J.M. Manejo de pastagens do gênero *Cynodon*: Introdução, caracterização e evolução do uso no Brasil. In: Simpósio sobre manejo da pastagem. Anais. Piracicaba, Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1998. p.23-54.



## **Organic Matter Management in Tropical Agroforestry Systems: Soil Quality, Soil C Storage and Soil-Atmosphere Gas Exchange**

GEORG CADISCH, PATRICK MUTUO, AGUSTIN MERCADO, KURNIATUN HAIRIAH, PHILIP NYAMUGAFATA, ANJA BOYE & ALAIN ALBRECHT

### INTRODUCTION

Association of trees with crops or pastures, can represent a sustainable alternative to slash-and-burn agriculture and has a large potential for C sequestration in croplands. Estimates have shown that the combination of woody perennials and crops has the potential to store between 12 and 228 Mg ha<sup>-1</sup> aboveground C in the humid tropical regions. Perennial-crop combinations, agroforests and home gardens, widely practised in the humid tropics of Africa, South America and Southeast Asia, play various functions including shading crops to reduce evapotranspiration, control of soil erosion and provide nutrient inputs. In these systems, it is estimated that between 10 and 30 t ha<sup>-1</sup> of biomass are returned to the soil every year as litter, prunings and root exudations and turnover, with soil carbon increases of up to 4 Mg C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>. The regular addition of pruning materials and root turnover contribute to the build up of soil organic matter and nutrient stocks in the soil.

The build up of soil C is a function of both the quantity and quality of the biomass returned to the soil. These parameters are dependent on the tree species and the way they are combined in the different agroforestry systems. The quantity of litter and prunings returned to the soil is usually higher in humid and sub-humid conditions and in fertile soils. According to projections, the area of the world under agroforestry will increase substantially in the near future and this will, undoubtedly, have a great impact on the flux and long-term storage of carbon in the terrestrial biosphere, if used on degraded soils, rather than replacing natural forests (FAO, 2001).

Here we summarize literature and report from experiences in two large EU-INCO projects: IMPALA (Improved fallows by legume plants (trees, shrubs and grasses) in Eastern and Southern Africa) (IMPALA, 2004) and SAFODS 'Smallholder agroforestry options for degraded soils: Tree establishment in cropped fields' (SAFODS, 2006) dealing with agroforestry systems and soil attributes in tropical environments. In particular, we focus on effects on soil quality, carbon storage potentials and mechanisms as well as impact on greenhouse gas balances.

### SOIL QUALITY

Soil quality includes a wide range of attributes, i.e. biological, chemical and physical attributes. Here we concentrate on the impact of agroforestry practices on biophysical properties, which are closely related to carbon and water dynamics and environmental impact.

## Improvement of Soil Physical Properties Improvement under Improved Fallows

Results from the EU-INCO IMPALA study in Kenya using a rainfall simulator showed that even short-term improved fallows such as *Tephrosia candida*, *Crotalaria grahamiana*, *Sesbania sesban*, and *Macroptilium atropurpureum* resulted in significantly improved soil physical properties, i.e. enhanced infiltration and increased soil resistance to detachment and transport by rain water resulting in reduced runoff, soil and carbon losses (Table 1) (IMPALA, 2004). No significant differences between fallow species were observed suggesting that presence of fallows and associated soil cover and litter inputs were main determinants in achieving improved soil quality attributes. Additionally, for plots cropped previously with improved fallows, runoff and soil loss was not influenced by tillage practice. This can be attributed to the short time since the plots were converted to no-tillage (6-12 months) but also to the lasting impact of improved fallows. Other studies have reported that for degraded soils improvement of soil physical properties is a slow process, which may take several years (Ingram & Fernandes, 2001; Rhoton et al., 2002). However, for maize monocrop plots, no-tillage increased runoff and soil loss. Thus, no-tillage should preferentially be practiced in combination with improved fallows or other practices, which are associated with inputs of organic matter.

The positive effect gained through the 18-month fallow phase was seen to persist through the following cropping phase for the clayey soils (Luero, Nyabeda). For the sandy soils (Teso), generally, runoff, soil and carbon losses were reduced but the effect was not significant. Significant improvements in soil physical attributes in the sandy soil were only achieved after a renewed 8 month fallow phase following the maize cropping period during the rainy season. Thus, for strongly degraded sandy soils, the impact of improved fallows on soil physical properties and control of runoff and soil loss might be a longer process than for more clayey soils.

**Table 1** - Runoff, sediment concentration, and soil loss for continuous maize (CC) and 18 month old improved fallows (IF) for sites with different soil texture. (Source: IMPALA, 2004)

Site	Units	Teso I		Teso II		Lubao		Luero		Nyabeda	
		CC	IF	CC	IF	CC	IF	CC	IF	CC	IF
Runoff depth <sup>a</sup>	mm	31 <sup>bc</sup>	24	18ABa	6Aa	20	0	15	5	34Bb	2Aa
Runoff	%	68	51	41Ba	13ABa	46	0	34	11	79Cb	6Aa
Sediment conc	g l <sup>-1</sup>	0,8	0,8	1.1Bb	0.5Aa	2,9	0,0	1,3	0,5	3.1Bb	0.4Aa
Soil loss	g m <sup>-2</sup>	23	18	24Ab	2Aa	64	0	25	4	93Bb	1Aa
Carbon losses	g m <sup>-2</sup>	1,2	1,0	1.3Aa	0.3Aa	3,0	na	1,1	0,4	4Bb	0.1Aa

<sup>a</sup>Runoff depth, percent runoff, sediment concentration, and soil and carbon losses were measured over a period of 30 minutes; <sup>b,c</sup> Means followed by the same upper/lower case letter in the same row for each site are not statistically different at  $p \leq 0.05$ .

In Zimbabwe, improved fallows showed also showed significantly higher infiltration rates, e.g. two years after fallow termination steady state infiltration rates still averaged 21, 14 and 5 mm h<sup>-1</sup>, for natural fallow, *S. sesban* and continuous maize (IMPALA, 2004). Runoff losses were 44% in continuous maize compared to 22% in *S. sesban* and none in *Acacia angustissima* and natural fallow plots after 30 minutes at fallow termination. After two years, runoff losses were 63%, 61% and 45% and 0% for continuous maize, *S. sesban*, natural fallow and *A. angustissima*. Improved fallows also resulted in significantly higher soil water retention, hydraulic conductivity and an increase in the proportion of larger pore sizes one year after fallow termination. At 10 cm tension the number of pores m<sup>-2</sup> varied from 4500-8900 in fallows relative to 3900 pores m<sup>-2</sup> in continuous maize. Reduced water and soil losses were a result of increased infiltration rates and aggregate stability during fallowing. However, these benefits decreased with the introduction of tillage as shown by the decline in infiltration rates and aggregation from fallow termination (October 2000) to October 2002. Therefore fallowing can improve soil and water conservation relative to continuous maize cropping.

Soil Aggregation Improvement under Improved Fallow/no Till Practices in Kenya

Soil aggregation is a process that is controlling soil physical properties such as erodibility; it is also involved in soil carbon protection against mineralization. Soil aggregation can be characterized by laboratory tests; therefore it is a quick assessment of the impact of alternatives practices on soil physical properties and hence an indicator of soil quality.

Water stable aggregates (WSA), and in particular macro-aggregates, were identified as a major factor determining soil physical and chemical properties. However, data on WSA have to be viewed in relation to soil texture as there exists a relationship between soil C and the presence of water-stable macro-aggregates (MA). The amount of water-stable macro-aggregates was increasing with soil C content across sites (Figure 1). Thus even in continuous maize plots in more clayey soils more water-stable macro-aggregates were detected. For the sandy loam (Teso), there was no major improvement in water-stable macro-aggregates under the improved fallow (IF). Thus the impact of IF on soil aggregation was higher in more clayey soils (Lueero).

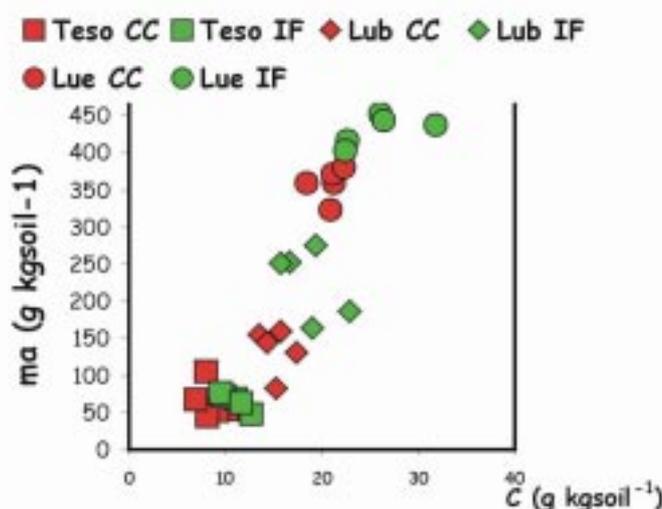


Figure 1 - Relationship of water-stables macro-aggregates with soil carbon at three sites (Teso 17%, Lubao 29% and Lueero 40% clay; layer 0-5 cm), and impact of improved fallow (*Tephrosia candida*) vs. continuous cropping system (CC). (Source: IMPALA, 2004).

Prediction of Soil Porosity Based on Litter Input

The transfer of organic matter from the litter layer to the soil pools by soil fauna influences the formation of macropores, which apart from the presence of macro aggregates, are the main determinants in drainage and runoff properties of soils. A model was constructed which predicts soil porosity based on macropore formation derived from litter inputs and associated earthworm activity (Figure 2).

Increasing annual litter input was followed by increased soil macroporosity in all tree based systems, the highest increment (300%) was shown in the *Paraserienthes* + cassava intercropping system (SAFODS, 2006). The predicted values of soil macroporosity in the tree-based systems reflected actual measured values of infiltration; the highest water infiltration was found in *Paraserienthes* + cassava systems (1.182 mm day<sup>-1</sup>) followed by *Mahogany* + cassava (780 mm day<sup>-1</sup>) and rubber + cassava (550 mm day<sup>-1</sup>). Results of field measurement on soil infiltration in the cassava monoculture system, however, showed a different result as the model predicted. Measured soil infiltration in cassava monoculture was rather high, which probably can be explained by the differences in soil cultivation performed by farmers, which have not been considered in the model yet. Maintaining soil macroporosity tends to reduce run off and erosion in intercropping systems.

Maintaining the thickness of surface litter is important to maintain soil macroporosity through: (a) protecting the soil surface against raindrop impact, which causes the breakdown of aggregates to

transportable sizes and can lead to clogging surface-connected infiltration pores ('sealing'), (b) maintaining food availability for earthworms from epigeic (litter transformers) and anecic groups that redistribute surface litter over the soil profile and influence soil structure and hydraulic properties. The results of our field measurement and the model suggest that differences in surface litter stock between tree species in agroforestry systems can be understood from differences in the annual amount of litter inputs and its decomposition rates. Apart from climatic conditions, litter decomposition is known to be influenced by edaphic factors (soil texture and bulk density), decomposer organisms and resource quality. In this study, litter samples from the various trees species had ratios of (Lignin + Polyphenol) to N > 10 indicating slow decomposition (Palm et al., 2001). Such materials are potentially ideal for providing soil cover and protecting the soil surface against raindrop impact, which causes surface sealing and compaction.

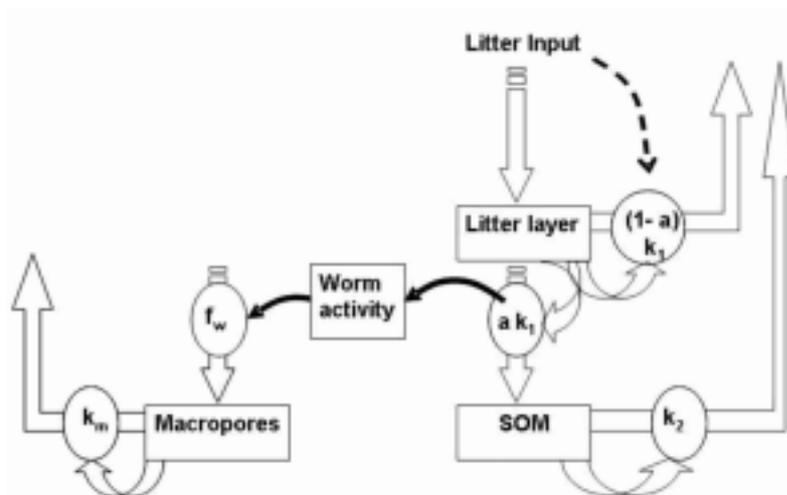


Figure 2 - Conceptual model that relates the effect of land use on soil organic matter and soil structure. (Source: SAFODS, 2006).

### SOIL C STORAGE

The soil C pool of the world is estimated to be on the order of 1300 – 1500 Gt C, which is about twice the pool in terrestrial plant biomass and three times the atmospheric pool. Approximately 32% of these soil C stocks occur in tropical soils. Soil C losses associated with CO<sub>2</sub> emissions following conversion of forest to row-crop agriculture generally vary on the order of 20 – 30% of the original C stocks, and these losses generally occur within 20 years of deforestation.

#### Carbon Sequestration Potential of Improved Fallows

Throughout the SAFODS study period, soil C stocks in the 0-20 cm depth in continuous maize cropping remained more or less unchanged (SAFODS, 2006). During the first fallow-crop cycle (18 months), soil C stocks only increased (by 2 – 3 Mg C ha<sup>-1</sup>) in the 0-5 cm depth (averaged for IF treatments), but did not increase further during the second fallow-crop cycle, while there was no soil C stock increases in the 5-20 cm depth (Figure 3). After the second fallow and the second crop phases, increases in soil C stocks in IF treatments in 0-20 cm were 5-8 Mg C ha<sup>-1</sup>, with the difference resulting from increases in the 5-10 and 10-20 cm depths. This data showed that the increase in soil C stock in IF treatments up to the end of the first crop phase resulted largely from additions of C in the top 0-5 cm, which can be associated to additions of aboveground inputs. Increases in C in the 5-10 and 10-20 cm depths (NT) after the second fallow phase and second crop could be associated with C from root biomass.

Data obtained from soil samples taken at the end the second fallow phase below 20 cm depth in Luero and Teso showed that there potentially increments of 8-10 Mg C ha<sup>-1</sup> (representing about 10% of soil C) in *T. candida* treatment compared to continuous maize at 20-50 and 50-100 cm soil depths.

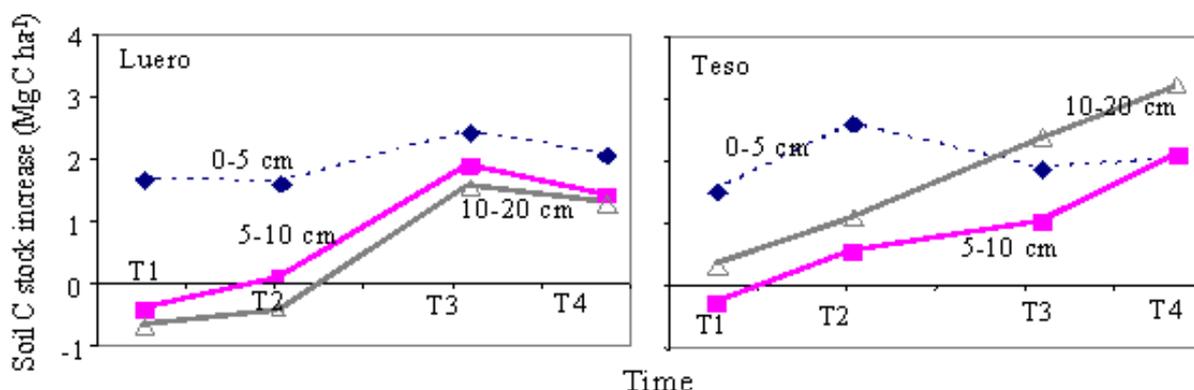


Figure 3 - Increases in soil C stocks in IF (averaged for IF) with time in Luero and Teso above that of continuous maize, in the 0-5, 5-10 and 10-20 cm soil depths. (Source: Mutuo, 2004).

By the end of the second fallow-crop phase, soil δ<sup>13</sup>C signatures changed significantly in IF treatments compared to continuous maize in the 0-50 cm depth at all sites (Figure 3). Larger changes in δ<sup>13</sup>C (over 3 ‰) were observed in the sandy soil compared to the clayey soils probably because of the originally low C contents in the sandy soil. In the heavy clayey soil, the resulting fallow-derived C in the 0-10 cm soil depth was about 3 Mg C ha<sup>-1</sup> (25% of soil C), but was less than 10% of total soil C in the 10-20 cm depth. In Lubao, fallow-derived C in the top 0-5 cm soil depth ranged from 1 to almost 3 Mg C ha<sup>-1</sup> (about 15-25 % of soil C) but was much less (0-6% of total soil C) in the 5-10 and 10-20 cm soil depths. Fallow-derived C in the sandy soil was 1.5-2.5 Mg C ha<sup>-1</sup> (20-30% of total soil C) in the 0-20 cm depth.

Location of Newly Stored Carbon in Soils

The contribution of C in aggregates was about 90% in the surface soil (0-5 cm) of the 2 clayey soils (averaged for treatments) and about 75% in the sandy soil (IMPALA, 2004). Macroaggregate-associated C was higher in the clayey soils (8.7-14 g kg<sup>-1</sup> soil) compared to the sandy soil (4 g kg soil<sup>-1</sup>), demonstrating the role of clay in the stabilization of soil C in aggregates.

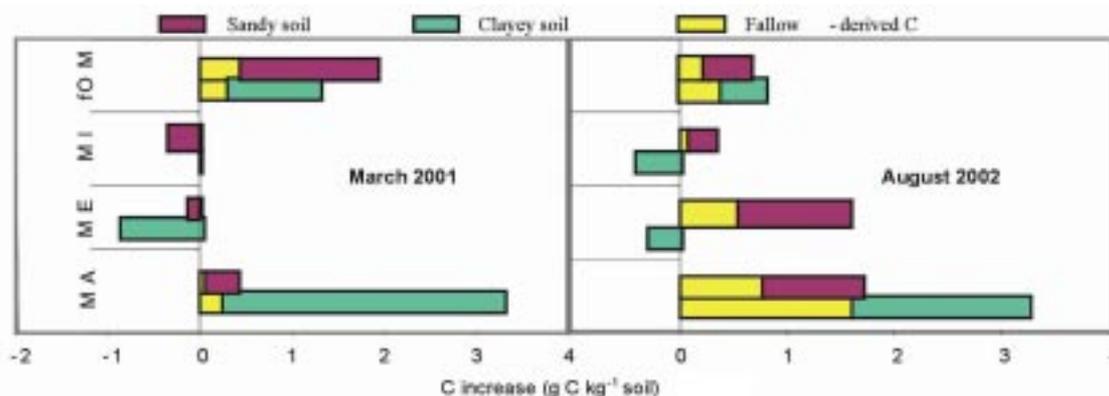


Figure 4 - Increases in fraction-C (aggregates and fOM) and fallow derived C in surface soils (0-5 cm) under *T. candida* IF treatment above that of continuous maize in a clayey and sandy soil in March 2001 and August 2002. (Source: Mutuo, 2004).

After fallowing, there was a significant increase (P < 0.05) of C storage in macroaggregates com-

pared to continuous maize in 0-5 cm depth of both sandy and clayey soils, but not in meso- and microaggregates. The decline in meso- and microaggregate associated C in both soils with concomitant increase in MA-C (Figure 4) indicate that aggregation processes were responsible for the transfer of C from smaller aggregates to large ones. After the initial fallowing in the sandy soil, soil C increased in the free organic matter (f-OM) and not in aggregates (Figure 4). However, the C contained in MA in the sandy soil increased to almost 2 g C kg<sup>-1</sup> soil by August 2002. The progressive increase in the contribution of fallow-derived C in WSA (from about 10% in March 2001 to 30-40% of WSA-C by August 2002 (Figure 4) in both sandy and clayey soils showed that a substantial amount of added C was stored in WSA. The quantities of fallow-derived C in f-OM were about 0.5 g C kg<sup>-1</sup> soil, and did not change markedly between March 2001 and August 2002. Therefore, IF increased C storage in WSA in all soils, but the potential for storage was higher in clayey soil than in sandy soil. However, fallow-derived C constituted a larger proportion of C in fractions of the sandy soils compared to clayey soils because of the low content of native C in the sandy soil.

Water stable aggregates and whole soils from Luero were completely dispersed by shaking for 16 hours in water with Na<sup>+</sup>-enriched resins followed by sonication to obtain constituent components (sand particles > 20 µm, intra-aggregate particulate organic matter (iPOM) and fine fractions < 20 µm). On average, mineral particles, iPOM and fine fractions included in WSA contained about 3, 19 and 78% of WSA-C, respectively. IF treatments increased fine fraction-associated C in WSA by 1.7-4.0 mg C g<sup>-1</sup> soil (18-50% increase) to that in continuous maize (Table 2). Half of soil POM-C was occluded in aggregates as iPOM-C. Average iPOM-associated C was 2.35, 2.90 and 3.46 mg C g<sup>-1</sup> soil in continuous maize, *C. paulina* and *T. candida*, respectively. However, it was only in *T. candida* where the increase was significantly higher (P < 0.05) compared to continuous maize. In all land uses, comparison of till and NT sub treatments showed that there was no effect of tillage practices on fine fraction- and iPOM-associated C incorporated in WSA (Table 2).

**Table 2 - Effect of tillage practices on C (g C kg<sup>-1</sup> soil) contained in fine fractions and iPOM included in WSA (MA + ME). Values in parenthesis are standard error of means. (Source: Mutuo, 2004)**

	g C kg <sup>-1</sup> soil			
	Fine fractions		iPOM	
	Till	NT	Till	NT
Continuous maize	9.3 (0.34)	9.0 (0.44)	2.2 (0.29)	2.5 (0.57)
<i>C. paulina</i>	12.6 (1.72)	10.7 (1.16)	2.9 (0.26)	3.0 (0.56)
<i>T. candida</i>	12.1 (1.06)	11.7 (1.11)	3.3 (0.20)	3.6 (0.75)

#### Protection Mechanisms for Organic Carbon in Soils

Physical and chemical C protection mechanism exists in soils. The comparison C respired from crushed (ground with a mortar) and uncrushed WSA and soils showed that crushing almost doubled the amount of C mineralized (Figure 5). Increased respiration in crushed samples resulted from breaking down organic matter fractions increasing their surface area and accessibility to microbial attack, and de-protecting inaccessible pool of soil organic C. These results showed that about 6% of the C in the WSA and soils were physically protected from microbial attack.

In fine soil fractions (clay, 0-5 µm and fine silt, 5-20 µm), the quantity of C respired per unit C in fraction after 103 days of incubation was highest in the hypothetically saturated forest fractions and least in those with highest C saturation deficit (difference to C in undisturbed forest soil). In both fine fractions, the relationship between C mineralized (mg C g<sup>-1</sup> C) and their C saturation deficit exhibited polynomial functions, and especially when curves were fitted to pass through zero as expected at 100% saturation deficit (Figure 6). These results imply that the strength of binding and protection of C, as well as the amounts of biodegradable matter in fine fractions are dependent on their C saturation. Addition of glucose to incubated fine fractions increased mineralization of fine fraction-derived C especially in those with high C saturation deficits, with a large amount of glucose-derived C evolved within 21 days of incubation.

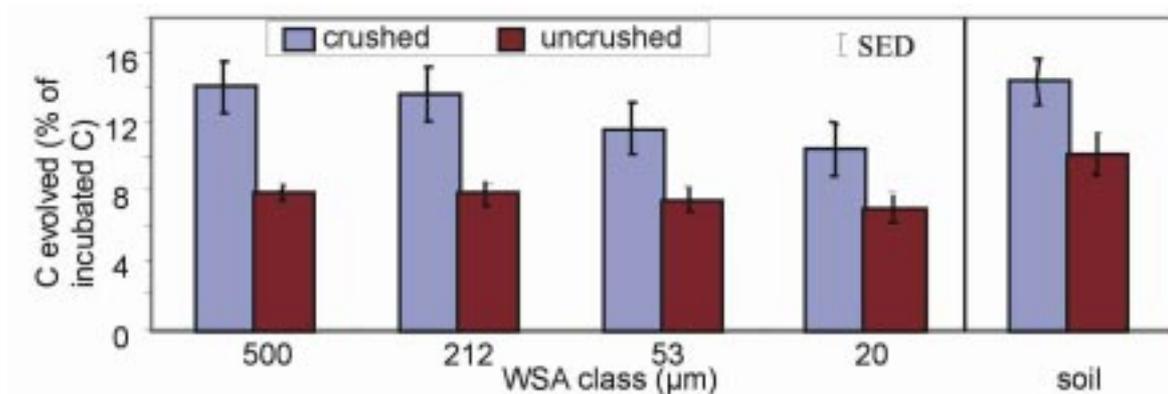


Figure 5 - Respiration of incubated soil samples from fallow and continuous maize treatments in different soil types, expressed as percentage of incubated C. (Source: Mutuo, 2004).

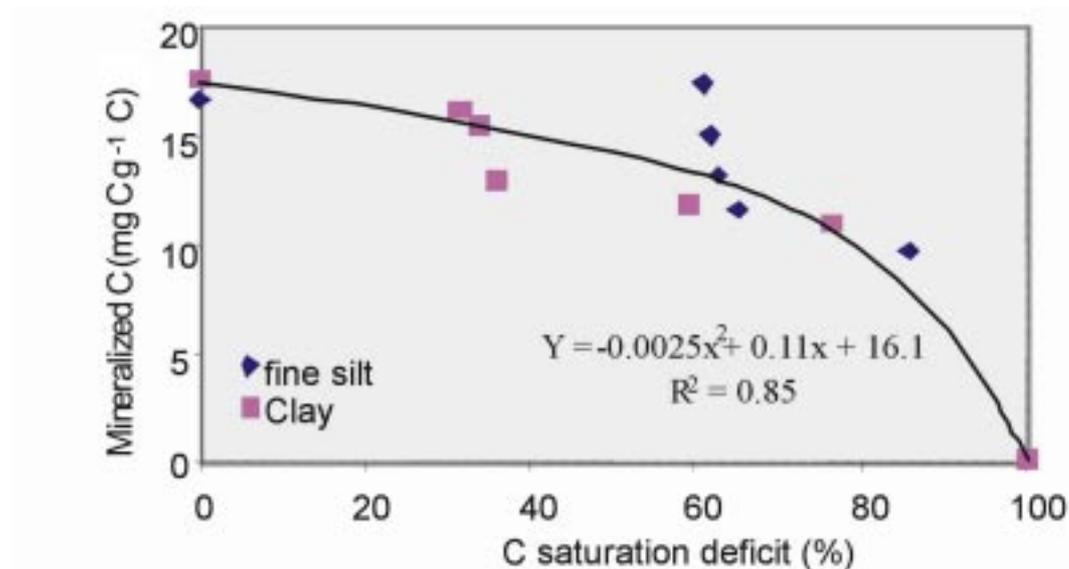


Figure 6 - Carbon mineralized in fine fractions (5-20 mm and 0-5 mm) of different C saturation deficits (difference to C in undisturbed forest soil) after 103 days of incubation.

#### Carbon Sequestration Potential of Timber Based Fallow Systems

Growing timber trees on degraded soils is one of the options debated in the Clean Development Mechanisms of the Kyoto Protocol or as an option for farmers to generate cash income from timber sales while regenerating soil fertility. A study was conducted in 45 farmer's fields growing *Acacia mangium* or *Gmelina arborea* trees, as a form of sequential agroforestry system, or practicing natural vegetation fallow in Claveria, Misamis Oriental, Philippines (8°38' N; 124°55' E). Trees corresponded to approximate ages of 4, 6, 8, 10 and 12 years.

Twelve years old fallows of *A. mangium*, *G. arborea* and natural vegetation produced a total biomass, including root estimates, of 405, 166 and 17 Mg ha<sup>-1</sup>, respectively. Associated C stocks were 237, 94 and 7 Mg ha<sup>-1</sup> for *A. mangium*, *G. arborea* and natural vegetation, respectively. *A. mangium* produced about 1.5 times more litter falls compared with *G. arborea*, and about 3 times more than natural fallows. Annual C inputs from litter fall in the *A. mangium* system gradually increased from 4 up to 8 years to 9.1 Mg C ha<sup>-1</sup> and declined thereafter. In *G. arborea* fallows, litter fall inputs declined gradually from 5.9 9.1 Mg C ha<sup>-1</sup> as the trees matured. Litter fall collected under the natural fallows fluctuated between 2 to 2.4 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>. In accordance to litter inputs there was an apparent increase (up to 3.2 Mg C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) of top soil C stocks from different fallows compared to continuous annual maize cropping in the order of *A. mangium* >

*G. arborea* > natural fallow (Figure 7). The fraction of soil C derived from trees ranged around 0.4 and was highest in the top 20 cm. Due to better residue quality (i.e. lower in polyphenols) which compensated for the lower amount of litter fall produced, *G. arborea* exhibited similar contribution to soil C on the top soil layer at early ages of fallow.

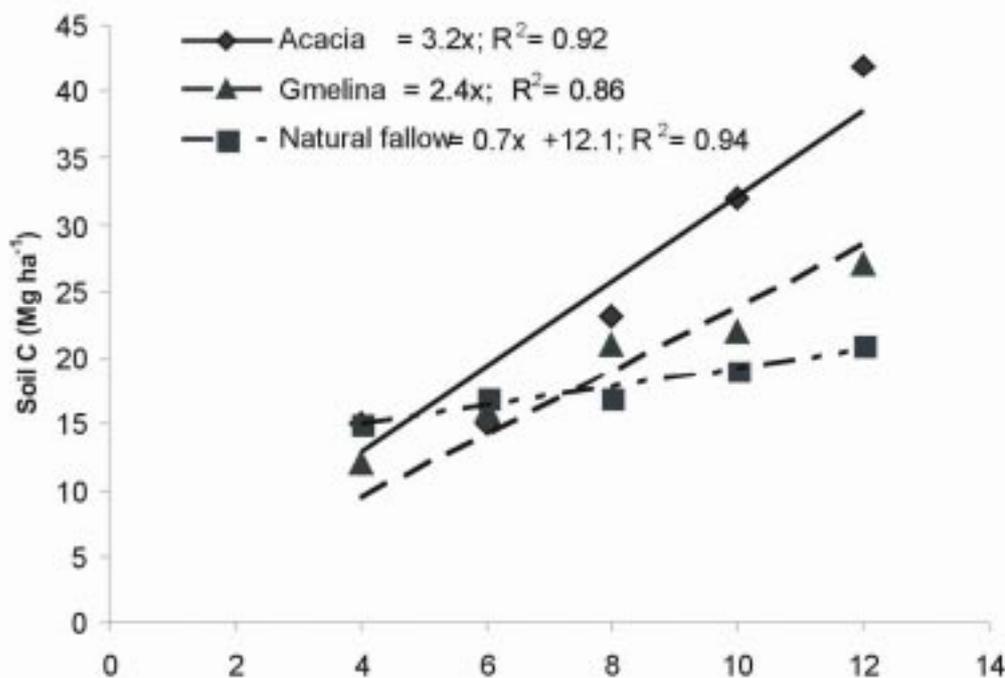


Figure 7 - Increment of soil C stocks over maize continuous cropping at 0-20 cm depth. (Source: Mercado, 2006).

#### The Importance of Roots in Soil Carbon and Nitrogen Dynamics

Most studies concentrate at surface soil layers, but in many areas of the tropics where soils are deep, the C stock below 1 m depth may exceed the stock above 1 m. Studies that look at deeper soil C suggest that overall stocks may decrease following land-use change, but high spatial variability and sampling difficulties often lead to inconclusive results. In eastern Amazonia, Trumbore et al. (1995) showed that 13% of the soil C at 8 m depth was from recent inputs and cycling rapidly. Thus, if land-use systems that replace forests do not maintain deep soil C inputs, significant soil C pools could be lost.

Our result of 3 year old improved fallows in Kenya showed that soil  $\delta^{13}\text{C}$  signatures changed significantly in IF treatments compared to continuous maize in the 0-50 cm depth at all sites (Figure 8). Larger changes in  $\delta^{13}\text{C}$  (over 3 ‰) were observed in the sandy soil compared to the clayey soils probably because of the originally low C contents in the sandy soil. In the heavy clayey soil, fallow-derived C in the 0-10 cm soil depth was about 3 Mg C ha<sup>-1</sup> (25% of soil C), but was less than 10% of total soil C in the 10-20 cm depth. Fallow-derived C in the sandy soil (Teso) was 1.5-2.5 Mg C ha<sup>-1</sup> (20-30% of total soil C) in the 0-20 cm depth.

The use of <sup>13</sup>C technique detected substantial accumulation (12% of soil C) of fallow-derived C in the 20-50 cm depths in clayey and sandy soils despite that there were no significant changes in soil C stocks. These results suggest that there is substantial potential for soil C storage in less than 20 cm depth if IF practices are continued in the longer-term.

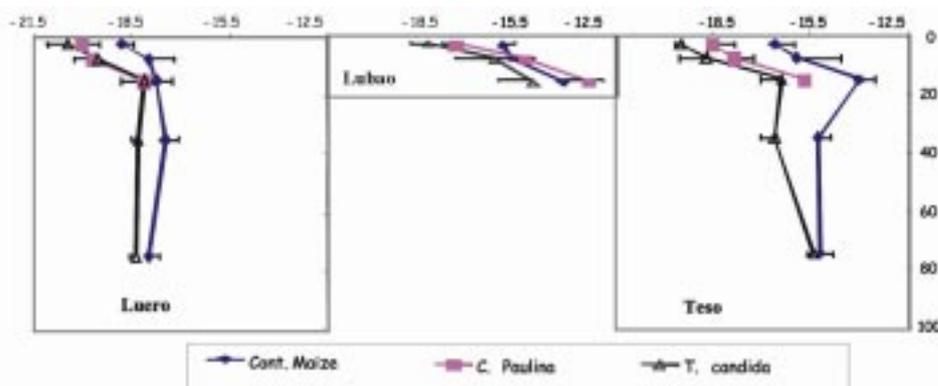
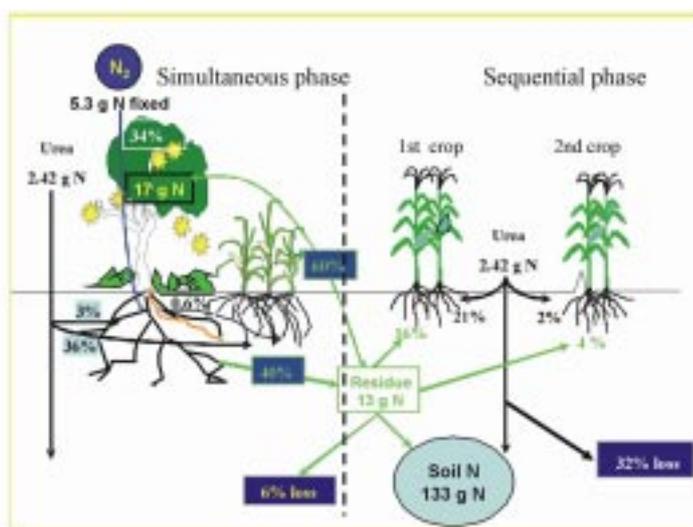


Figure 8 - Soil organic matter  $d^{13}C$  signatures of the 0-5, 5-10 and 10-20 cm depths in IF and continuous maize (NT only) at Luero, Lubao and Teso at the end of the second fallow-crop phase. Error bars are one standard error of means. (Source: Mutuo, 2004).

The importance of roots extends not only to C storage in soils but also to nutrient supply. In simultaneous and sequential agroforestry systems crop yields are governed by nutrient facilitation and competition particularly nitrogen. These relationships were tested timber tree – maize associations in a half-drum experiment in Claveria, Misamis Oriental, Philippines (SAFODS, 2006). It was hypothesised that the  $N_2$ -fixing *Acacia mangium* was less competitive for N during the intercrop phase and provided larger N benefits, particularly through belowground pathways, in the following crop phase than *Gmelina arborea*, a non  $N_2$ -fixing timber tree.

During the simultaneous phase,  $N_2$  fixation by *A. mangium* was estimated at 34% (Figure 9) and 59% with and without N application ( $80\text{ N kg ha}^{-1}$ ), respectively. Trees depressed associated maize growth parameters, except for grain yield when associated with *A. mangium* and supplied with N. *G. arborea* tree had taken up 36% of the applied N, while *A. mangium* took up 3% indicating that applied N was more available (sparing effect) for maize under *A. mangium* system than under *G. arborea*. N fertilizer use efficiency (FUE) in maize under *A. mangium* was 34% but only 16% under *G. arborea*. Results of the  $^{15}N$  stem injection technique indicated that during the simultaneous phase, maize  $^{15}N$  recovery was 0.45% and 0.60% with *Acacia* and *Gmelina*, respectively. More, finer, higher quality (low C:N ratio, low in polyphenols) roots of *Acacia* led to a larger N turnover than *Gmelina* roots during the subsequent maize crop. Above-ground contributions by *A. mangium* were of less immediate benefit since it had low quality leaf material that immobilized N. In contrast, *G. arborea* had higher quality leaf residues that contributed to immediate net N mineralization.

Figure 9 - Nitrogen cycling in *Accacia* – maize hedgerow agroforestry system during one cropping cycle in the simultaneous phase and two cropping cycles during the sequential phase. Urea treatments corresponding to  $80\text{ kg N ha}^{-1}$  and roots + leaves recycled. (Source: Mercado, 2006).



Although the  $N_2$  fixing *A. mangium* produced more above - and belowground biomass, it had a faster root turnover, providing a better below-ground environment to the associated maize crop during the simultaneous (sparing effect) and sequential (belowground contribution) phases than *G. arborea*. These results clearly demonstrated the importance of roots on nutrient dynamics in soil.

### SOIL-ATMOSPHERE GAS EXCHANGE

The objective of this chapter is to identify a few key issues on the effects of agroforestry systems on greenhouse gas loading in the atmosphere. In this context the important trace gases in the enhanced greenhouse effect are carbon dioxide ( $CO_2$ ), methane ( $CH_4$ ) and nitrous oxide ( $N_2O$ ). Because each of these gases has a different atmospheric lifetime and a different heat absorption capacity per molecule, warming effect on the atmosphere differs between the gases. This difference is expressed as the global warming potential (GWP) of the gas. GWP is expressed on a per molecule basis relative to  $CO_2$ , which is assigned a GWP of 1;  $N_2O$  has a GWP of 310 and  $CH_4$  one of 15. Changes in soil C pools have been discussed earlier. Thus we focus on  $N_2O$  and  $CH_4$  and particularly on GWP overall assessment, which is often missing in agroforestry research.

Few estimates on greenhouse gas emissions exist in tropical ecosystems. Recently, Verchot et al. (2004) summarized some of the findings. Measurement of trace gases in slash-and-burn systems in southern Sumatra suggested that soil under the primary forest site was a strong sink for atmospheric  $CH_4$ , and soils remained a sink under logged and rubber forest systems (Tsuruta et al., 2000).  $N_2O$  emissions were moderate in the primary forest sites, higher in the logged sites, low following the burning phase of regeneration, and low in the rubber plantation. Prasetyo et al. (2000) estimated that land-use change between 1986 and 1992 in Jambi province resulted in increased annual greenhouse gas emissions from soils of 4.3 million Mg of  $CO_2$ , 256 Mg of  $N_2O$  and the soil  $CH_4$  sink has decreased by 183 Mg  $y^{-1}$ . These soil GHG emissions equate to 4.4 million Mg of C equivalent per year.

Results of agroforestry systems in Yurimagua, Peru suggested that high input agriculture is often a net source of  $CH_4$ , while the other systems are mainly sinks (Palm et al., 2002). Additionally, high and low input agriculture had greater  $N_2O$  emissions than the investigated agroforestry systems (coffee and peach palm plantations) or fallow control, due to the higher mineral N availability in the former systems. Data from Veldkamp and Keller showed that soil type can have a larger effect than agroforestry systems (banana) in Costa Rica, e.g. 39 and 15 kg N  $ha^{-1} y^{-1}$  ( $N_2O$  and NO) in a Inceptisol and Andosol respectively (Veldkamp & Keller, 1997).

In agroforestry systems designed to restore or maintain soil fertility trees are often grown in the fields or nearby and tree litter is used as a green manure.  $N_2O$  flux is very much dependent on the quality of the plant litter that is produced and incorporated into the soil (Millar et al., 2004). Greater emissions have been measured following incorporation of residues with low C:N ratios, such as those of legumes, than after incorporation of material with high C:N ratio, such as cereal straw. Baggs et al. (2001) showed  $N_2O$  production in a controlled environment experiment to be influenced by the polyphenol content of the agroforestry prunings and their ability to bind proteins. Due to high quality residue inputs N dynamics in improved fallow systems in western Kenya can be high resulting in  $N_2O$  emissions over 34 days following incorporation of *Sesbania* residues (2 kg  $N_2O$ -N  $ha^{-1}$ ) were higher than following incorporation of *Macroptilium* and natural fallow (Millar et al., 2004). Recent investigations in Kenya and Zimbabwe suggested that despite increased  $N_2O$  emissions from improved fallow systems, there is a net positive contribution to mitigation of greenhouse gas emissions.

**Table 3** - Greenhouse gas balance (soil C stocks – N<sub>2</sub>O emission equivalent) of improved short duration fallows in Africa (Kenya/Zimbabwe). (Source: IMPALA, 2004)

	N <sub>2</sub> O-CO <sub>2</sub> equivalent	Change in soil C stocks Mg CO <sub>2</sub> /ha/y	C-GWP Balance
<i>Sesbania sesban</i>	1.3/0.3	1.5	0.2/1.4
<i>Tephrosia candida</i>	0.5	2.4	1.9
<i>Crotalaria paulina</i>	0.5	1.7	1.2
<i>Acacia angustissima</i>	0.2	1.9	1.7
Natural fallow	0.2	1.0	0.8
Maize monocrop: No N fertilizer	0.3/0.1	-0.3/0	-0.3/-0.1
Maize monocrop: +N fertilizer	0.4	Na	na

Although the underlying processes that produce or consume these gases are the same in tropical and temperate agricultural systems, and the understanding derived in temperate climates allows us to draw some broad generalizations about the nature of the impact of agriculture on atmospheric GHG loading, but pinning down the magnitude of this impact is more difficult (Verchot et al., 2004). As tropical agriculture intensifies and as inorganic fertilizer use becomes more widespread, the contribution of tropical agriculture to increased greenhouse loading will surely increase and the importance of agroforestry to counter these effects will become more important.

### CONCLUSIONS

Agroforestry systems have major impacts on soil quality, carbon dynamics and soil-atmosphere gas exchange. The direction and magnitude of the impact depend on the system investigated. A main driver of the impact is the amount and quality of the organic inputs as well as changes in water dynamics and microclimate. Quality of organic residues operates not only in the provision of nutrients and carbon but also through stimulation of macrofauna (porosity) and microfauna (aggregates) in improving soil physical properties. In particular below-ground inputs and their dynamics have been shown to have large impacts not only in competition between trees and associated food crops but also in soil carbon storage and potentially in formation of aggregates.

Results from short-term improved fallows in Africa showed that incorporation of nitrogen rich fallow residues provoked a significant increase in carbon storage and mineral nitrogen concentrations and entailed an increased pool of mineralizable nitrogen, both events lasting for several seasons. Other soil fertility parameters such as pH, CEC and indices for available P did not respond clearly to the treatments. Results in Zimbabwe demonstrated that while short-term improved fallows produced considerable amounts of biomass and associated impact on soil C and N in loamy texture but adapted poorly in degraded lighter soils.

The mean annual rate of C storage in the topsoil under improved fallows was about 1 Mg C ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> for the clayey soils and 0.5 Mg C ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> for sandy soils. However, there was a larger variation in these results depending on soil fertility, texture and water availability. This was demonstrated in a fallow *A. mangium* plantation which achieved C storage increments of 3.2 Mg C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>. Additionally, sandy soils have a lower potential for C sequestration as a large fraction of soil C remains in unprotected form with a high turnover rate. The research also demonstrated that only a finite amount of C could be sequestered in soil depending on chemical (clay-silt; saturation deficit) and physical (WSA) protection mechanisms. Thus, there is a higher C sequestration potential in degraded (C depleted) soils. Despite increased N<sub>2</sub>O emissions in IF systems, there is a net positive contribution of IF to mitigation of greenhouse gas emissions.

The results clearly demonstrated the important role agroforestry systems could play an important role in restoring degraded land and reducing runoff and soil loss. The effect of fallowing was immediate for the fine textured soils, but also became distinct for the more coarse textured soils over time.

No-tillage enhanced the effect of fallowing and played an important role in protecting the soil against runoff and splash detachment when introduced in association with fallows.

As tropical agriculture intensifies and as inorganic fertilizer use becomes more widespread, the contribution of tropical agriculture to environmental impact will surely increase and the importance of agroforestry to counter these effects will become more important.

### FUTURE RESEARCH NEEDS

Amount and quality of the organic inputs have been identified as main drivers of the impact of agroforestry systems on soil quality and C storage. While above ground inputs have been well-documented below-ground inputs and their dynamics have been undervalued and due to their difficulties in monitoring not sufficiently investigated. However, new techniques (e.g.  $^{15}\text{N}$  stem injection) allow *in situ* investigations of such processes and should foster our understanding of these processes.

The previous research also demonstrated, that impact should be assessed more holistically. For example, increases in C sequestration should be set against reduced/enhanced N and P availability in the system, e.g. 1 Mg sequestered C also binds 80 kg N and 10 kg P in soil. Nutrients sequestered in woody biomass will not any more be available in agricultural systems (wood offtake) and need to be replenished at some time. Additionally, using systems with high quality litter materials will also increase  $\text{N}_2\text{O}$  emissions and those potential C sequestrations need to be offset against changes in greenhouse gas emissions.

Most detailed research on agroforestry systems on carbon, nutrient and water concentrated at the plot scale. However, recently it has become clear that there is a need to assess impact at larger scale, e.g. watershed or region. That encompasses a need to understand better the fate of nutrients and carbon in the landscape, e.g. soil erosion lead to sedimentation and potential burying with altered properties for carbon dynamics.

### ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks go to all participants in the IMPALA and SAFODS project who provided background data for these studies.

### LITERATURE CITED

- BAGGS, E.M., MILLAR, N., NDUFA, J.K. & CADISCH, G. Effect of residue quality on  $\text{N}_2\text{O}$  emissions from tropical soils. In: REES, R.M., BALL, B.C., CAMPBELL, C. & WATSON, C.A. eds. Sustainable Management of Soil Organic Matter. Wallingford, CABI, 2001. p.120-125.
- FAO Carbon sequestration in soils: Proposals for land management in arid and tropical area. Rome, FAO, 2001.
- IMPALA. Improved fallows by legume plants (trees, shrubs and grasses) in Eastern and Southern Africa. Final Report EU-INCO project No. ICA4-CT-2000-30011. Montpellier, IRD, 2004. 112p.
- INGRAM, J.S.I. & FERNANDES, E.C.M. Managing carbon sequestration in soils: Concepts and terminology. Agriculture, Ecosystem and Environment, 87:111-117, 2001.
- MERCADO, J.A.R. Potential of timber based hedgerow intercropping for smallholder agroforestry on degraded soils in the humid tropics of Southeast Asia. PhD thesis, Institute of Plant Production and Agroecology in the Tropics and Subtropics. Stuttgart, Germany, University of Hohenheim, 2006.
- MILLAR, N., NDUFA, J.K., CADISCH, G. & BAGGS, E.M. Nitrous oxide emissions following incorporation of improved- fallow residues in the humid tropics. Global Biogeochem. Cycles, 18:art. n°.-GB1032, 2004.
- MUTUO, P. Potential of improved tropical legume fallows and zero tillage practices for soil organic carbon sequestration. PhD thesis, Department of Agriculture. London, Imperial College, 2004.

- PALM, C.A., ALEGRE, J.C., AREVALO, L., MUTUO, P.K., MOSIER, A.R. & COE, R. Nitrous oxide and methane fluxes in six different land use systems in the Peruvian Amazon. *Global Biogeochem. Cycles*, 16, 2002.
- PALM, C.A., GACHEGO, C., DELVE, R., CADISCH, G. & GILLER, K.E. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: Application of an organic resource database. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 83:27-42, 2001.
- PRASETYO, L.B., SAITO, G. & TSURUTA, H. Estimation of greenhouse gasses emissions using remote sensing and GIS techniques in Sumatra, Indonesia. Bogor, Indonesia, Global Change Impacts Centre, Southeast Asia, 2000. 53-59 p.
- RHOTON, F.E., SHIPITALO, M.J. & LINDBO, D.L. Runoff and soil loss from Midwestern and South-eastern US silt loam soils as affected by tillage practice and soil organic matter content. *Soil Tillage Res.*, 66:1-11, 2002.
- SAFODS. Smallholder agroforestry options for degraded soils: Tree establishment in cropped fields (SAFODS). Final report EU-INCO project No. ICA4-CT-2001-10092. Stuttgart, Germany, Institute of Plant Production and Agroecology in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim, 2006. 110p.
- TRUMBORE, S.E., DAVIDSON, E.A., DECAMARGO, P.B., NEPSTAD, D.C. & MARTINELLI, L.A. Belowground cycling of carbon in forests and pastures of Eastern Amazonia. *Global Biogeochem. Cycles*, 9:515-528, 1995.
- TSURUTA, H., ISHIZUKA, S., UEDA, S. & MURDIYARSO, D. Seasonal and spatial variations of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O fluxes from the surface soils in different forms of land-use/cover in Jambi, Sumatra. In: MURDIYARSO, D. & TSURUTA, H. eds. *The Impacts of land-use/cover change on greenhouse gas emissions in tropical Asia*. Bogor, Indonesia, Global Change Impacts Centre for Southeast Asia and National Institute of Agro-Environmental Sciences, 2000. p.7-30.
- VELDKAMP, E. & KELLER, M. Nitrogen oxide emissions from banana plantation in the humid tropics. *Journal of Geophysical Research*, 102:15889-15898, 1997.
- VERCHOT, L.V., MOSIER, A., BAGGS, E.M. & PALM, C. Climate change: Soil - atmosphere gas exchange in tropical agriculture. In: van NOORDWIJK, M., CADISCH, G. & ONG, C. eds. *Belowground interactions in tropical agroecosystems with multiple plant components*. Wallingford, CAB International, 2004, p.209-225.



# Parte V

Modelagem e Estatística



## Modelagem de Sistemas Agroflorestais: Conceitos e Aplicações

RICARDO B. SGRILLO & KÁTIA R. P. DE ARAÚJO SGRILLO

### INTRODUÇÃO

Desde a popularização dos microcomputadores ocorrida nas décadas de 60 e 70 a modelagem matemática para simulação de sistemas teve um impulso considerável. Modelos que até então exigiam computadores “*mainframe*”, com elevado custo de processamento, passaram a ser desenvolvidos e utilizados nos PCs, com baixo custo e capacidade crescente de processamento.

Novas técnicas de modelagem surgiram e, ou, foram aprimoradas, tornando a simulação uma ferramenta eficiente e confiável para dar suporte às tomadas de decisões. Dentre eles, destaca-se a Dinâmica de Sistemas cuja origem está no trabalho pioneiro de Jay W. Forrester *Industrial Dynamics* (Forrester, 1961). Inicialmente, as principais aplicações desta disciplina que eram dirigidas à modelagem de sistemas industriais e econômicos, passaram também a ser utilizadas em diversas outras áreas do conhecimento (Serman, 2000). As aplicações em sistemas agro-ecológicos tiveram, nos países desenvolvidos, crescimento considerável a partir dos anos 80. No Brasil, no entanto, são relativamente poucos os grupos e pesquisadores que utilizam esta técnica na solução de problemas relacionados à produção agrícola.

Sistemas especialistas, autômatos celulares e redes neurais são algumas de outras técnicas que surgiram nos últimos anos e hoje apresentam ampla aplicação nos mais diversos campos do conhecimento.

### SISTEMAS

Um sistema é um conjunto de partes, que interagem de acordo com algum tipo de processo, para funcionar como um todo, normalmente visualizado como uma série de blocos interconectados. Os blocos representam quantidades de matéria ou energia e as conexões os fluxos destas quantidades entre eles. São, portanto, basicamente compostos de quantidades que variam no tempo. Por exemplo, altura da planta e área basal são quantidades, enquanto taxa de crescimento ( $m/\text{ano}$  ou  $m^2/\text{ano}$ ) é fluxo. A magnitude e forma de variação dos fluxos dependem das interações entre os elementos constituintes. Os sistemas naturais são vistos como entidades que mantêm sua existência através das interações mútuas de suas partes.

As conexões entre estes blocos representam as interações entre as partes e delas emergem as propriedades dos sistemas. As propriedades emergentes do sistema são chamadas de *holismo*, ou seja, *o todo é mais do que a soma das partes*. O conceito de propriedade emergente pode ser mais bem ilustrado por um simples sistema químico, como a água, por exemplo. Seus componentes são hidrogênio e oxigênio. Quando estes compo-

entes interagem emergem propriedades como fluidez e transparência que somente o sistema (água) possui, mas que nenhum dos seus elementos individuais apresenta. Este conceito é especialmente importante nos sistemas agro-florestais, onde vários indivíduos de diferentes espécies interagem entre si e respondem de modo diverso às variáveis do ambiente. Normalmente, as propriedades emergentes não podem ser inferidas da análise do sistema. Elas só são percebidas através dos resultados gerados pelo modelo.

As fronteiras do sistema delimitam sua abrangência e são estabelecidas unicamente em função dos objetivos do pesquisador. Por exemplo, um sistema poderia abranger toda a biosfera, ou uma área com populações de diversas espécies, ou a população de uma única espécie, ou somente um indivíduo, ou órgãos deste indivíduo, ou ainda, reações químicas e bioquímicas nestes órgãos, etc.

O comportamento do sistema é determinado por sua estrutura. Conforme o foco do estudo passa do comportamento para a estrutura, o grau de compreensão que se tem do sistema aumenta (Figura 1). Somente quando se entende a estrutura é possível realizar ações efetivas para levar o sistema a ter o comportamento desejado. Talvez um dos maiores benefícios resultante do processo de desenvolvimento de um modelo seja o aumento no grau de compreensão do sistema.

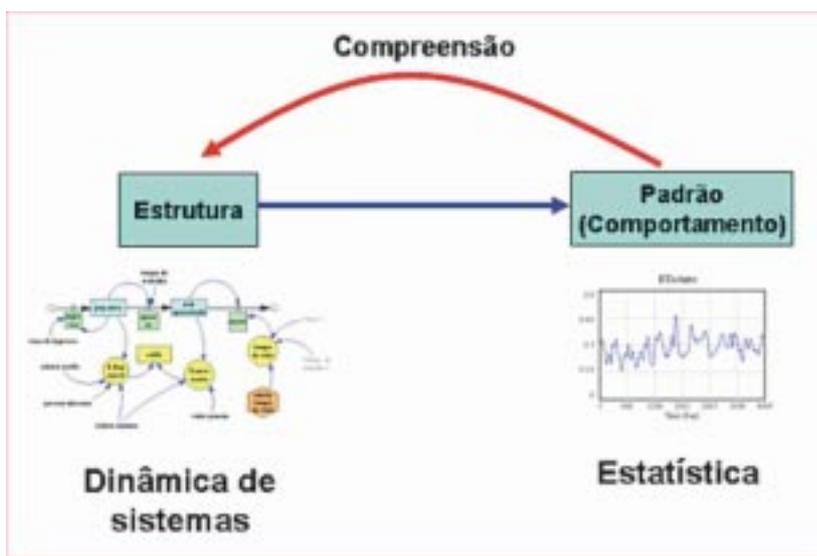


Figura 1 - Relação entre estrutura e comportamento de um sistema.

### REPRESENTAÇÕES DOS SISTEMAS

O desenvolvimento de modelos matemáticos de sistemas complexos inicia normalmente com a delimitação de suas fronteiras, que são estabelecidas em função dos objetivos do modelo. Este processo permite a escolha dos elementos constituintes e a construção de um modelo conceitual que represente as hipóteses estabelecidas com relação as interações entre os componentes. Para a elaboração deste tipo de modelo pode ser utilizado o diagrama de causas, onde se traçam linhas apontando da causa para o efeito. As relações diretas (quando a causa aumenta ou diminui o efeito também aumenta ou diminui) são assinaladas por um sinal positivo na extremidade da linha. Se relação é inversão (quando a causa aumenta o efeito diminui e se a causa diminui, o efeito aumenta) um sinal negativo é utilizado. O diagrama de causas deve agregar os componentes mais relevantes do sistema, sejam eles quantidades como populações ou indivíduos, ou fluxos como taxas de nascimento ou mortalidade, assim como outras variáveis importantes.

### ESTRUTURAS DOS SISTEMAS

Todos os sistemas naturais apresentam mecanismos de retroalimentação (*feedback*) que fazem com que o valor de um componente em um determinado instante no tempo altere, direta ou indiretamente, seu próprio valor futuro. As principais estruturas deste tipo são os *feedbacks* positivos e negativos.

Um *feedback* positivo gera o crescimento exponencial. Por exemplo, o crescimento de algumas plantas

pode apresentar este comportamento durante uma fase inicial. Nesta fase, quanto maior a área foliar maior será a fotossíntese que possibilita aumento da taxa de crescimento, o que faz com que a área foliar aumente ainda mais, aumentando conseqüentemente a taxa de crescimento e assim sucessivamente (Figura 2 A).

O feedback negativo pode aparecer em seguida quando a taxa de crescimento vai sendo reduzida até que atinja o valor zero (quando a área foliar atinge a área foliar máxima da espécie) quando a planta entra em equilíbrio dinâmico, sendo produzida biomassa somente para repor a biomassa perdida. O *feedback* negativo é, essencialmente, uma estrutura auto-reguladora.

O crescimento tipo logístico (sigmóide) que muitas plantas apresentam, nada mais é do que a interação de um *feedback* positivo com um negativo, conforme representado na figura 2 B.

Uma outra estrutura importante são os atrasos temporais (*delays*) que também ocorrem em na maioria dos sistemas naturais. Eles representam o atraso que pode existir na resposta do efeito devido a alterações na causa. Para representar um *delay* em um Diagrama causal utilizam-se duas retas paralelas interrompendo a linha que liga a causa ao efeito

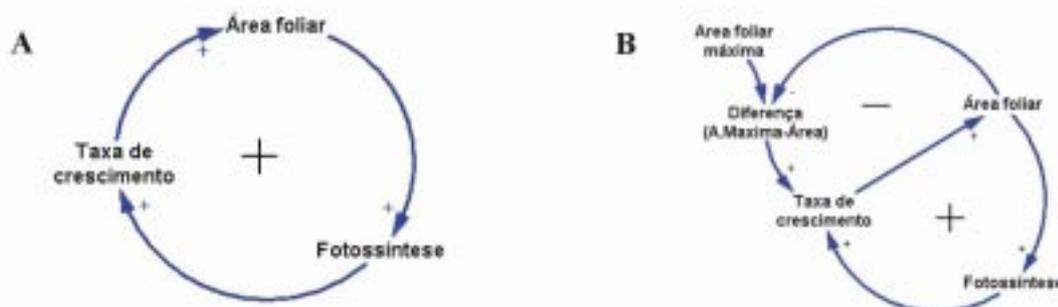


Figura 2 - Diagrama de causas: A - Feedback positivo; B - Crescimento logístico.

### MODELOS DE SISTEMAS

Modelos são representações simplificadas da realidade que incluem “declarações (*hipóteses*) sobre as relações entre os componentes do sistema. Se estas relações são suficientemente detalhadas os modelos podem ser formulados em termos matemáticos e podem ser estabelecidas conseqüências lógicas das hipóteses estabelecidas”.

A partir do diagrama de causas pode ser construído o modelo matemático, composto basicamente de um sistema de equações diferenciais, que representam os fluxos e um conjunto de equações algébricas que calculam os coeficientes das equações diferenciais. Estas equações são integradas numericamente para obter-se o valor dos compartimentos em cada instante no tempo.

Surgiram nos últimos anos diversos programas para o desenvolvimento e utilização de modelos, como o *Vensim* e o *Stella*. Estes programas possuem uma interface gráfica que permite o desenho do modelo e a introdução das equações necessárias. Do pesquisador é exigido somente um conhecimento básico de matemática, não sendo necessário nenhum conhecimento de programação. A figura 3 apresenta o modelo de crescimento logístico (Figura 2B) no *Vensim*, assim como os resultados gráficos da simulação.

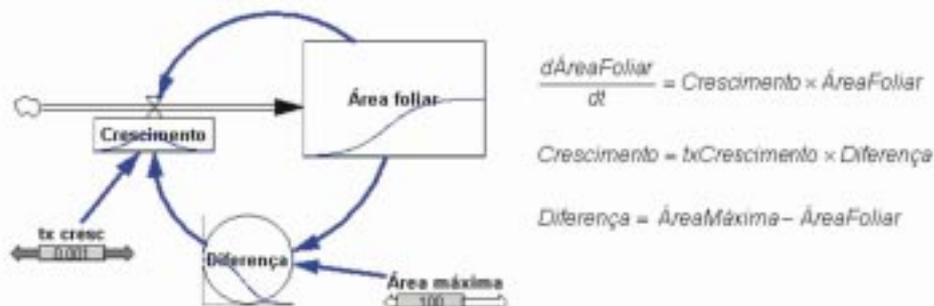


Figura 3 - Modelo do crescimento logístico da Fig. 2B representado no sistema Vensim.

### APLICAÇÕES DE MODELOS DE SIMULAÇÃO

As aplicações de modelos de simulação podem ser agregadas em:

- ✓ *Entendimento do sistema.* Modelos podem ser desenvolvidos para aumentar a compreensão sobre o sistema em estudo. Podem auxiliar consideravelmente na organização das informações disponíveis e no planejamento experimental, por meio da identificação das variáveis mais importantes para amostragem, frequência de amostragem, precisão necessária, etc.
- ✓ *Projeções.* Um objetivo comum de modelos de simulação é o de realizar projeções, ou seja, avaliar as tendências de variáveis do sistema em diferentes cenários.
- ✓ *Previsões.* As previsões têm como objetivo gerar resultados futuros, como perdas, por exemplo, mais exatos possíveis, em diferentes cenários.
- ✓ *Otimização.* Os modelos podem também ser utilizados para encontrar-se alternativas que maximizem ou minimizem o valor de certas variáveis em determinadas condições.

### MODELOS PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Existem diversos modelos desenvolvidos especialmente para a simulação de sistemas agroflorestais, sendo alguns deles apresentados a seguir.

a. Modelo de Trenbath (1989) para interações árvores/solo/cultivo, com pousio

Este é um modelo simples que tem como objetivo estabelecer o número ideal de ciclos do cultivo anual em um sistema agroflorestal como função da fertilidade do solo, conforme o digrama de causas da figura 4.



Figura 4 - Diagrama de causas simplificado do modelo de Trenbath.

As hipóteses do modelo são simples e claras: quando o número de ciclos do cultivo é aumentado o período de repouso diminui, o que tende a fazer com que a fertilidade do solo diminua (ou tenha muito lenta recuperação), diminuindo então a produtividade. Por outro lado, o aumento no número de ciclos do cultivo pressiona para aumentar a produtividade. Assim, a alteração no número de ciclos provoca efeitos contrários na produtividade.

Para exemplificar o uso do modelo é interessante citar van Noordwijk (1999) que introduziu algumas alterações no modelo original, concluindo que a produtividade máxima que pode ser obtida, mantendo o sistema sustentável, requer que a fase de repouso seja interrompida, para iniciar um novo ciclo, quando a fertilidade relativa do solo atinge 50%-60% da fertilidade máxima. O modelo também indica que a intensificação (diminuição do período de repouso) pode levar a um aumento de produtividade, até que o nível de 50%-60% seja atingido. Além desse limite qualquer redução adicional no período de repouso leva a uma perda de produtividade por unidade de área como por unidade de trabalho. A maior produtividade pode ser obtida para uma seqüência de quatro cultivos, mas o au-

mento obtido a partir de 3 cultivos pode não compensar o aumento de trabalho requerido; cinco cultivos por ciclo resultam em menos produtividade do que quatro.

#### b. Modelo WaNuLCAS (van Noordwijk, 1999)<sup>1</sup>

O *WaNuLCAS* (Water, Nutrients and Light Capture in Agroforestry Systems) é um modelo eco-fisiológico muito complexo, desenvolvido em *Stella* pelo *World Agroforestry Center* (ICRAF) que exige uma quantidade considerável de parâmetros. Este modelo contempla os processos envolvendo água, nutrientes e luz em sistemas agroflorestais, onde diversas culturas e árvores competem por água e por nutrientes, enquanto parcialmente se complementam no desenvolvimento radicular, na demanda por nutrientes e por água sobre o solo e retornam a matéria orgânica ao solo. O modelo necessita de muito parâmetros que caracterizam a arquitetura das árvores e outros cultivos, tanto das partes subterrâneas como aéreas. É possível realizar simulações de alguns ciclos até períodos de 25 anos.

van Noordwijk et al. (2001) descrevem os resultados obtidos em uma simulação específica, cujo cenário inicia com uma floresta sendo derrubada. Quando os restos secam a um determinado nível de umidade o material é queimado. Os restos que não foram consumidos são agrupados para uma segunda queima. O fogo causa perda de nitrogênio mas também causa alteração na sorção de fósforo da camada superior do solo aumentando, assim, a disponibilidade deste nutriente para as plantas que serão cultivadas. Neste cenário, os fazendeiros vão plantar milho e iniciar o cultivo de dendezeiro no local. Após a colheita do milho será plantado amendoim, sendo este padrão repetido no ano seguinte. O dendê começa a produzir os primeiros frutos no terceiro ano após a plantação.

Os resultados desta simulação indicaram que milho e amendoim praticamente não produzem nada no segundo ano. No entanto, no terceiro ano o amendoim volta a produzir, porém com baixa produtividade. Também, no segundo ano, o dendê apresenta-se com forte estresse hídrico, o que é refletido em baixa produtividade pela redução no número de flores femininas. Embora o modelo *WaNuLCAS* possa detalhar a performance de uma grande variedade de sistemas agroflorestais com diferentes tipos de cultivos, não foram desenvolvidos procedimentos para facilitar o processo de otimização.

#### c. Spatially Explicit Individual-based forest simulator (SEXI-FS)<sup>2</sup>

É um modelo baseado na arquitetura das plantas, de complexidade média e de fácil utilização. O modelo *SEXI-FS* para simulação de florestas tem o foco nas interações planta-planta em um ambiente com mistura de várias espécies. A alta complexidade estrutural deste tradicional sistema agroflorestal desafia o enfoque clássico no que se refere a otimização das práticas de manejo.

O modelo utiliza um enfoque orientado a objetos onde cada árvore é representada por uma instância de uma classe genérica de árvores. As árvores virtuais, simulando as árvores reais, interagem, modificando o ambiente de suas vizinhas. Estas modificações são mediadas através de dois recursos importantes: espaço e luz. Uma representação 3D de uma parcela de um hectare serve como base para representar a simulação desta competição.

O principal objetivo deste modelo é obter uma representação dinâmica coerente de um sistema complexo, onde complexidade neste contexto refere-se ao resultado de interações individuais locais com diferentes propriedades, mais especificamente, ao grau de interconexão entre plantas individuais. O modelo clarifica os processos críticos e os parâmetros repensáveis pela dinâmica do sistema. Ele deve facilitar a exploração de cenários prospectivos de manejo, auxiliar no estabelecimento da relevância das técnicas de manejo utilizadas, etc.

Teste de sensibilidade do modelo confirmaram a importância dos parâmetros relacionados à geometria das árvores. Isto vem do fato da competição ser simulada por meio de interações espaciais assim, qualquer coisa que altere a forma, o tamanho ou a posição relativa das plantas tem impacto direto nos resultados da competição e, portanto, na dinâmica do crescimento. Apesar destas influências serem diretas seus efeitos são difíceis de prever sem a ajuda de simulação porque existem vários processos de retroalimentação e pela natureza não linear do sistema. Como ilustração destes processos pode-se examinar um caso simples. Quando é simulado o crescimento das plantas em um “stand” mono-específico, com espaçamento regular e em densidade média, as árvores do centro vão apresentar maior altura que as das bordas, pois a competição por luz estimula o crescimento em altura. No entanto, se a densidade das plantas é aumentada, as árvores das bordas apresentaram maior altura, pois no centro o nível de competição pela luz é demasiada-

mente elevado, o que prejudica o crescimento das plantas.

Aplicações mais diretas do modelo incluem comparações de cenários alternativos com respeito ao retorno econômico de sistemas rotativos e permanentes, por exemplo.

A figura 5 apresenta algumas telas de configuração e resultados do modelo.

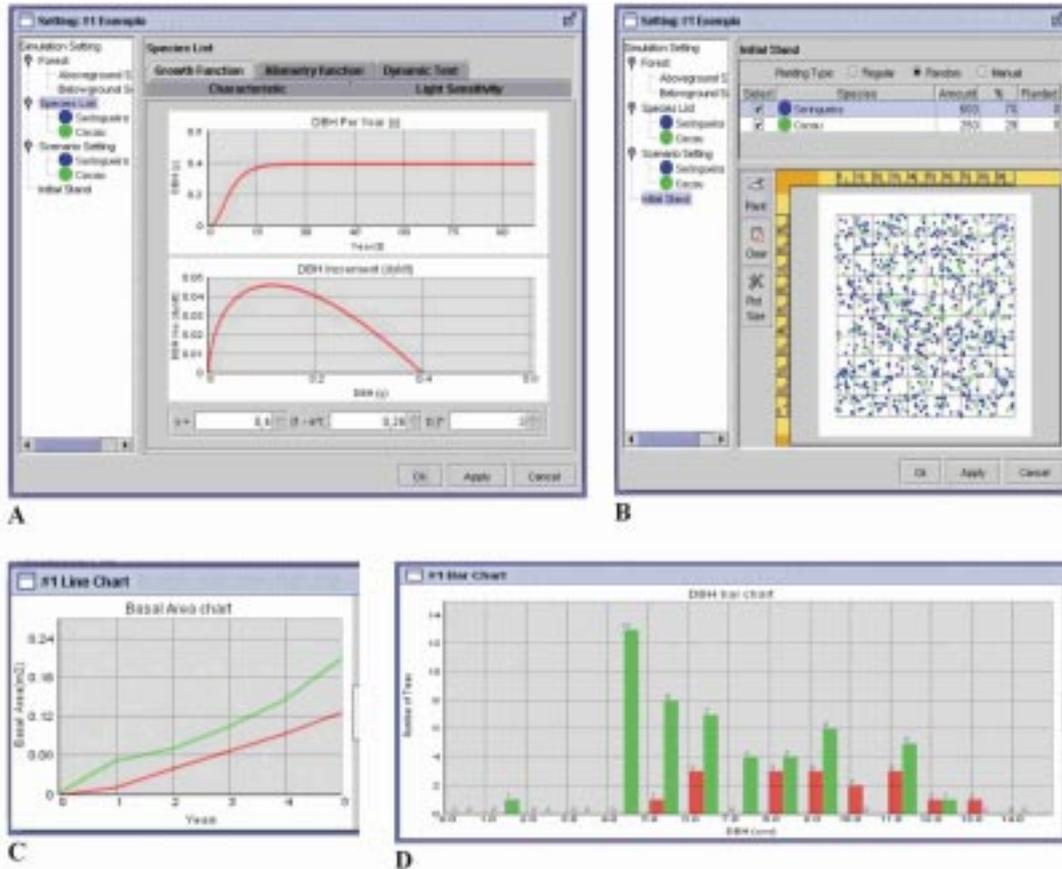


Figura 5 - Telas do modelo *SExi-FS*: A - Configuração do padrão de crescimento das árvores; B - Configuração do desenho de plantio; C - Resultados da simulação do crescimento da área basal; D - Distribuição do número de plantas em cada classe de DBH.

d. BwinPro/TreeGross<sup>3</sup>

*TreeGross* é um modelo estatístico desenvolvido pela Estação de Pesquisas Florestais (Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt) da Baixa Saxônia, Alemanha. Como modelo estatístico de regressões lineares e não lineares os parâmetros devem ser estimados por medidas (altura da planta, diâmetro da copa, etc) tomadas em locais específicos e seus resultados a rigor só poderiam ser aplicados com segurança para os locais de onde foram obtidos os dados.

O modelo é baseado na análise de regressão de quatro variáveis dependentes (diâmetro, altura, base e largura da copa) e quatro variáveis independentes (área da copa, competição da copa, mudança no índice de competição devido ao desbaste e idade da planta). A análise de regressão foi realizada para diversas espécies, separadamente. Para estimativa dos parâmetros utilizaram-se dados de parcelas para as quais havia amostragens por, pelo menos, seis anos.

Também foram incluídos no modelo alguns componentes adicionais, como mortalidade, colheita, etc. As informações geradas pelo modelo auxiliam os produtores no planejamento do manejo das parcelas, especialmente no que se refere ao estabelecimento das épocas de colheita. A figura 6 apresenta resultados de uma simulação realizada.

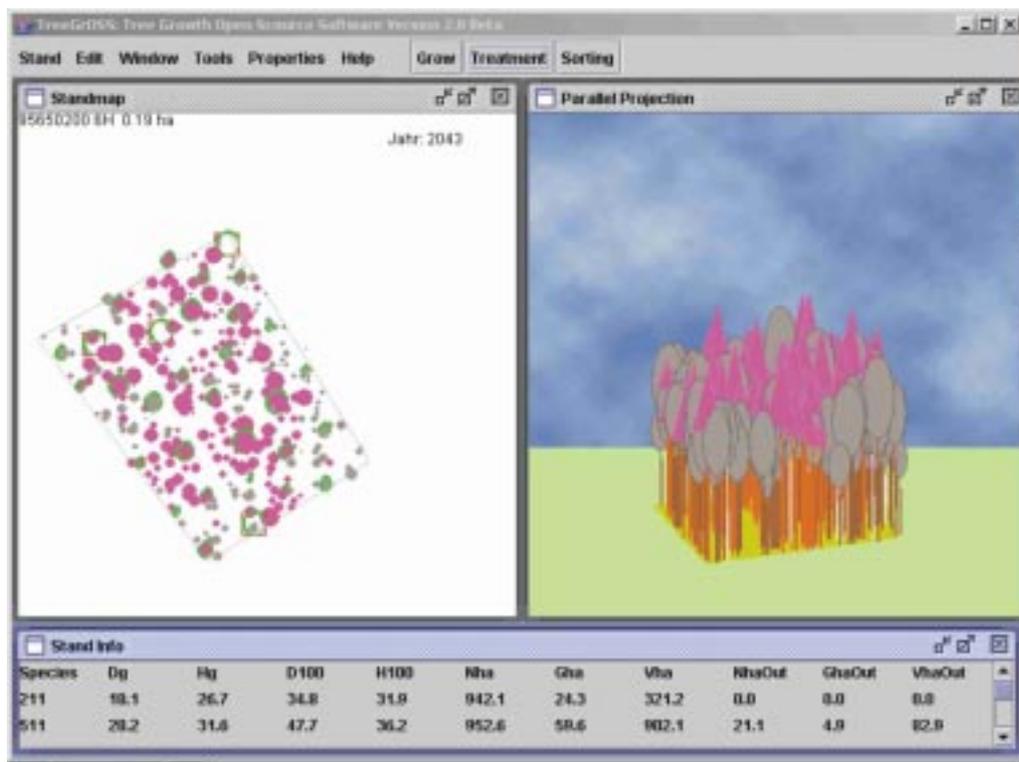


Figura 6 - Resultados de uma simulação realizada com o modelo TreeGross.

e. SAAM - Sistema de apoio ao agronegócio da madeira

Este sistema encontra-se atualmente em desenvolvimento no Centro de Pesquisas do Cacau (CEPLAC/CEPEC), e tem por objetivo auxiliar na seleção de essências florestais e desenhos de plantio em consórcio com cacau.

O sistema possui três módulos principais. Uma base de dados com principais informações sobre árvores, principalmente da Mata Atlântica; um sistema para desenho do plantio em consórcio com cacau; e um modelo para simular o crescimento e produção das plantas. O modelo de simulação, desenvolvido em *Vensim*, adota conceitos e equações semelhantes aos utilizados pelo modelo *SEXI-FS*, considerando a competição entre as essências florestais em diferentes espaçamentos e, ou, combinações de espécies. Na figura 7 são apresentadas algumas telas do sistema.

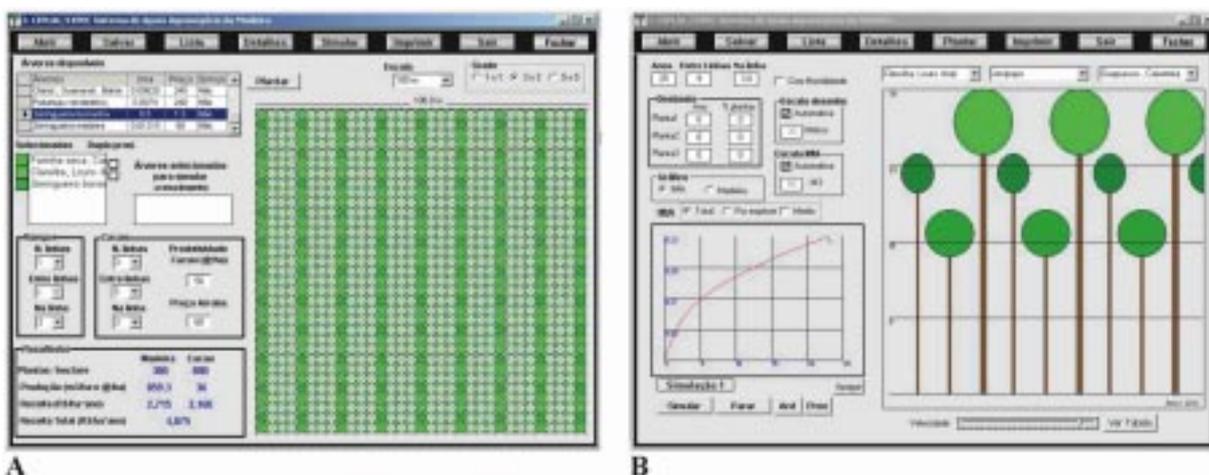


Figura 7 - Telas do sistema SAAM: A - Módulo de plantio; B - Módulo de simulação.

METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE MODELOS

A metodologia para modelos de simulação (Sgrillo & Araújo, 1996), é representada na figura 8.

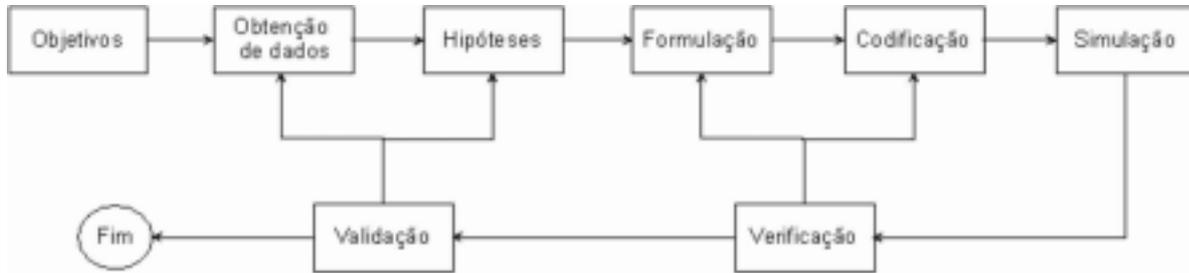


Figura 8 - Metodologia para desenvolvimento de modelos para simulação (Adaptado de Sgrillo & Araújo, 1996).

Os objetivos envolvem uma colocação clara do problema que o modelo deve resolver, e são necessários para determinar os componentes do sistema, determinar os dados, necessários, fornecer critérios para especificar a precisão necessária dos parâmetros e fornecer critérios para a conclusão do modelo.

As hipóteses representam as inter-relações e a estrutura do sistema. Como os modelos são representações simplificadas do sistema, processos e estruturas reais podem ser omitidos do modelo, se não forem relevantes para os objetivos estabelecidos.

A formulação das hipóteses necessárias é função do conhecimento que se tem do sistema. Normalmente, o processo inicia com hipóteses simples, estabelecidas a partir das informações sobre o sistema real e dos dados disponíveis. O estabelecimento das hipóteses pode ser facilitado através da utilização de diagramas de causas e da formulação de perguntas sobre “como” e “por-que” ocorrem os processos/interações do sistema real. As conseqüências lógicas das hipóteses formuladas a partir destas perguntas devem ser deduzidas e avaliadas.

Avaliar hipóteses é mais formal e fácil de ensinar. Por isso é mais enfatizado no ensino formal. Formular hipóteses é mais “artístico” e difícil, mas toda a boa ciência começa com boas hipóteses.

Modelos para simulação representam hipóteses complexas sobre os mecanismos que operam no sistema real. Estas hipóteses, atuando em conjunto, representam uma hipótese única, mais complexa, sujeita a aceitação ou rejeição. Este processo faz avançar o conhecimento científico.

Matematicamente, os modelos são representados por um sistema de equações diferenciais (ou a diferenças finitas - equação 1) e por um conjunto de equações algébricas que calculam os coeficientes das equações diferenciais. A formulação é a expressão das hipóteses em termos matemáticos.

A solução é numérica: a partir dos valores iniciais, no tempo zero, são calculados novos valores para o próximo intervalo de tempo, e assim sucessivamente. O intervalo de tempo de cada integração é pequeno (0.001, por exemplo).

$$X_{(t+\Delta t)} = X_{(t)} + \Delta t(in - out) \quad \dots 1$$

A equação acima está representando que o valor futuro de X no próximo intervalo de tempo será igual ao valor atual somado das diferenças entre os fluxos de entrada (*in*) e saída (*out*) do compartimento. Como a solução de sistemas de equações deste tipo é numérica não há praticamente limite para a sua complexidade e todos os processos não lineares necessários podem ser incorporados. Os coeficientes (*in* e *out*) podem ser variáveis e ser função dos valores do próprio ou de outros compartimentos.

A codificação é a transposição das equações que representam as hipóteses do modelo para um programa de computador. No passado, este processo demandava um tempo considerável do esforço para desenvolvimento do modelo, exigindo, muitas vezes, a participação de colaboradores da área de informática. Em anos mais recentes o processo de codificação foi muito facilitado com o desenvolvimentos de aplicativos para o desenvolvimento de modelos de simulação. Este tópico será abordado mais adiante.

Com a primeira versão do modelo terminada devem ser realizadas simulações para os processos de verificação e validação. O processo de verificação tem por objetivo verificar se as equações matemáticas representam com fidelidade as hipóteses formuladas e se estas equações foram transpostas corretamente para o programa. Este processo é normalmente executado através da comparação dos resultados das simulações com aqueles que o modelo deveria apresentar. Os resultados esperados podem ser provenientes de dados experimentais ou, mais normalmente nesta fase, de deduções lógicas das interações das variáveis.

O processo de validação é implementado para verificar se as hipóteses estabelecidas são corretas e adequadas para se atingir os objetivos propostos. Normalmente, é feito por meio da comparação dos resultados das simulações com dados reais que não tenham sido utilizados para a estimativa dos parâmetros do modelo. Existem diversas metodologias qualitativas e quantitativas para validação de modelos.

Uma vez que o modelo atinja os critérios estabelecidos para sua validação o seu desenvolvimento é dado como concluído. Caso contrario, normalmente são coletados novos dados que permitam a reformulação das hipóteses. Nesta fase, muitas vezes, novos componentes são agregados ao modelo e componentes não significativos podem ser retirados. Este processo cíclico continua até que o modelo seja concluído.

## FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO

Modelos de simulação podem ser (e ainda são) desenvolvidos com as linguagens de programação científica clássica, como FORTRAN, BASIC, C+, etc. No entanto, nos últimos anos, surgiram ferramentas de desenvolvimento que facilitaram o processo de desenvolvimento de modelos, permitindo que o pesquisador mantenha o foco de sua atenção no desenvolvimento do modelo em si, formulando e testando hipóteses.

### a. Vensim<sup>4</sup>

O *Vensim* foi originalmente desenvolvido pela *Ventana Systems*, em meados dos anos 80, para ser utilizado em projetos de consultoria, tendo sido liberada a primeira versão comercial em 1992. É um ambiente integrado de desenvolvimento e análise de modelos de dinâmica de sistemas que permite desenhar os elementos do modelo e suas interações, introduzir as equações correspondentes e realizar as simulações.

Utilizando-se o mouse os elementos podem ser movidos e podem ser feitas anotações e, ou, e adicionadas figuras ao diagrama, o que dá ao modelo uma estrutura clara e auto-explicativa. O programa utiliza a notação da dinâmica de sistemas, que é intuitiva, e facilita a expressão de conceitos sobre fluxos e taxas de mudança. Por analogia com caixas de água e canos, a notação compartimento/fluxo permite a formulação de equações diferenciais complexas que são resolvidas sem necessidade de nenhuma habilidade especial de matemática do pesquisador.

Uma vez que o desenho do modelo é finalizado as hipóteses são codificadas utilizando-se as bibliotecas de funções matemáticas do programa. Uma característica especial deste programa é a habilidade de simular o modelo com a rapidez necessária para apresentar os resultados instantaneamente. Possui também ferramentas integradas para análise de sensibilidade, otimização e calibração dos modelos. Também apresenta graficamente as relações de causa e efeito deduzidas do desenho do modelo, assim como identifica as retroalimentações. A figura 9 apresenta a tela do programa.

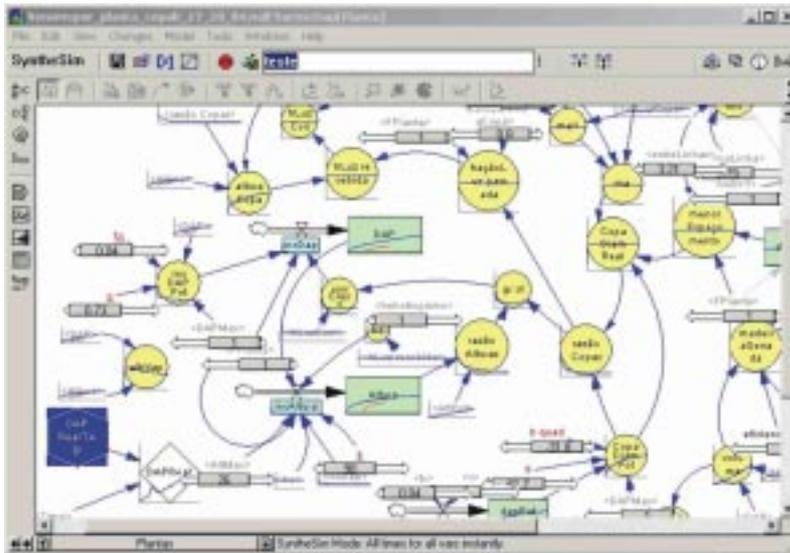


Figura 9 - Tela do Vensim, com representação de um modelo e resultados gráficos da simulação.

b. Simile<sup>5</sup>

*Simile* foi desenvolvido pela *Simulistic Ltda*, companhia de software irlandesa, inicialmente para simulação de sistemas agroflorestais. O *Simile*, como o Vensim, pode ser utilizado para desenvolvimento de qualquer sistema dinâmico descrito por equações diferenciais. No âmbito das ciências agroflorestais podem ser modelados processos como crescimento, competição, colheita e rendimento, dinâmica da água e nutrientes, etc.

Uma característica do *Simile*, com bastante utilidade para desenvolvimento de modelos de sistemas agroflorestais, é ser orientado um objeto, isto é, pode ser desenvolvido um modelo para um único indivíduo da população e criar-se diversas instâncias deste modelo cujos parâmetros necessariamente não são os mesmo. Estas instâncias podem ser localizadas no espaço através de coordenadas x e y.

Para realizar as simulações (integrar numericamente as equações) o *Simile* gera, compila e executa um programa C++.

Os resultados das simulações podem ser visualizados em gráficos, tabelas ou animações. A figura 10 apresenta os resultados de uma simulação do crescimento de plantas, com base em um modelo simplificado de um único indivíduo. Este modelo é replicado, e suas replicas (instâncias) são distribuídas no espaço (no caso a distribuição é ao acaso, em um hectare). Os parâmetros, como a taxa de crescimento de cada réplica, são gerados ao acaso, com base nas variabilidades (média e variância) das estimativas dos parâmetros reais.

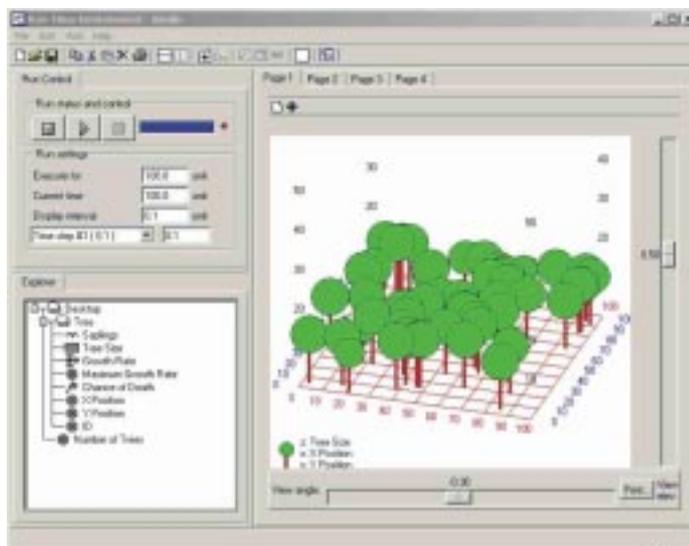


Figura 10 - Tela do *Simile*, apresentado resultados gráficos da simulação de um sistema agroflorestal.

## c. Outras Ferramentas

Outras ferramentas similares incluem o *Stella*<sup>6</sup> (muito semelhante ao *Vensim*), o *PowerSim*<sup>7</sup>, o *Berkeley Madonna*<sup>8</sup>, o *AnyLogic*<sup>9</sup> e o *MyStrategy*<sup>10</sup>

## CONCLUSÕES

No passado, normalmente era gasto mais tempo na implementação do modelo em computador (programação) do que no desenvolvimento do modelo conceitual. O desenvolvimento de modelos para simulação exigia que o pesquisador tivesse um conhecimento considerável de matemática e, principalmente, de programação de computadores. Quando isto não ocorria era necessário agregar à equipe especialistas para suporte ao desenvolvimento do modelo. Nos últimos anos, com o surgimento de ferramentas como o *Vensim*, *Simile* e *Stella*, os processos de desenvolvimento dos modelos conceituais e de sua implementação em computadores ficaram bastante simplificados. Qualquer pesquisador com conhecimento dos conceitos e técnicas da dinâmica de sistemas, de matemática básica (álgebra linear), familiarizado com o uso de computadores e, obviamente, com conhecimento suficiente do sistema que quer modelar, pode desenvolver modelos para simulação de sistemas reais para atingir os objetivos de sua pesquisa, com maior rapidez e facilidade.

A utilização das técnicas de modelagem matemática para sistemas agroflorestais apresenta diversas vantagens. Nas fases iniciais de desenvolvimento do modelo evidenciam-se as variáveis que são mais importantes na determinação da dinâmica do sistema, o que otimiza os processos de planejamento experimental e coleta de dados. A aplicação da análise de sensibilidade nas fases iniciais de construção do modelo permite o estabelecimento dos graus de precisão e da variabilidade que pode ser tolerada na estimativa dos parâmetros. Assim, o número de repetições dos tratamentos experimentais ou de amostras coletadas, pode ser estabelecido com critérios justificados, o que otimiza a experimentação, minimizando seus custos e mantendo a precisão necessária.

Os modelos possibilitam também um aumento considerável no grau de compreensão do funcionamento e estrutura de um sistema real. Os modelos estatísticos, como modelos de regressão por exemplo, embora tenham utilidade, não são modelos “explicativos”, ou seja, não explicam, em termos do sistema real, porque a variável Y depende da variável X. Nos modelos de simulação, por outro lado, as relações entre as variáveis devem corresponder às relações existentes no sistema real. Também, nestes modelos, todas as variáveis e parâmetros utilizados possuem um significado biológico (ou físico, químico, etc) compreensível, o que não ocorre nos modelos estatísticos onde, por exemplo, os valores dos parâmetros  $b_0, b_1, \dots, b_n$  de uma regressão múltipla não contem nenhum significado que os vinculem ao sistema real e não contribuem para a compreensão de estrutura deste sistema.

Nas ciências agroflorestais, onde alguns elementos, como as árvores, por exemplo, apresentam longos períodos de crescimento, o tempo necessário para a obtenção de dados experimentais é, muitas vezes, proibitivo. Dentre as possíveis aplicações de modelos para simulação destaca-se, neste caso, o desenvolvimento de “experimentos” no computador. Uma vez que já esteja desenvolvido e validado um modelo de crescimento de plantas, com o grau de detalhamento considerado suficiente, podem ser realizados “experimentos” com o modelo para, por exemplo, determinar o melhor espaçamento e, ou, combinação de essências florestais em um determinado ecossistema. Também, a aplicação de técnicas como “... e se” (*.. and if*), pode permitir a obtenção de resultados confiáveis, frente a situações reais imprevisíveis, como estiagens prolongadas, por exemplo.

Conclui-se, em resumo, que os modelos para simulação apresentam-se como uma ferramenta de utilidade considerável que pode ser aplicada com relativa facilidade para solução de problemas no âmbito da pesquisa agroflorestal.

## LITERATURA CITADA

- FORRESTER, J.W. Industrial dynamics. Cambridge, The MIT Press, 1v., 1961.
- SGRILLO, R.B. & ARAÚJO, K.R.P. Modelaje y simulación de sistemas epizooticos. In LECUON, R.E., ed. Microorganismos patógenos empleados en el control microbiano de insectos plaga. Buenos Aires, E.R.Lecuona ed., 1996. p.293-311.

STERMAN, J.D. Business dynamics: System thinking and modeling for a complex world. Boston, McGraw Hill Higher Education, 2000. 982p.

TRENBATH BR. The use of mathematical models in the development of shifting cultivation. In: PROCTOR, J. ed. Mineral nutrients in tropical forest and savanna ecosystems. Oxford, Blackwell, 1989. p.353-369.

van NOORDWIJK M. Productivity of intensified crop fallow rotations in the Trenbath model. *Agroforestry Systems*, 47:223-237, 1999.

van NOORDWIJK, M.; VERBIST, B.; VINCENT, G. & TOMICH, T.P. Simulation models that help us to understand local action and its consequences for global concerns in a forest margin landscape. International Centre for Research in Agroforestry, Bogor, Indonesia. ASB Lecture Note 11A, 2001. 31p.

<sup>1</sup> <http://www.worldagroforestry.org/sea/products/afmodels/wanulcas/DOWNLOAD.HTM>

<sup>2</sup> <http://www.worldagroforestry.org/sea/products/afmodels/SExI/index.htm>

<sup>3</sup> <http://www.nfv.gwdg.de/A/BwinPro/bwinpro.php>

<sup>4</sup> <http://www.vensim.com/>

<sup>5</sup> <http://www.simulistics.com/>

<sup>6</sup> <http://www.iseesystems.com/>

<sup>7</sup> <http://www.powersim.com>

<sup>8</sup> <http://www.berkeleymadonna.com/>

<sup>9</sup> <http://www.xjtek.com/>

<sup>10</sup> <http://www.strategydynamics.com/mystrategy/>

## Modeling P Bioavailability and Uptake in Agroforestry Systems

NICK B. COMERFORD, WENDELL CROPPER, PAULINE F. GRIERSON, QUINTINO ARAUJO & JOSE S.

### INTRODUCTION

Agroforestry systems have the potential to efficiently use site resources while effectively delivering a range of ecosystem services, including improved soil stability and marketable products (Nair et al., 2004). Mechanistic and predictive understanding of agroforestry systems should be criteria for system design and management. We can easily observe that above-ground components of agroforestry systems are partitioned into the available space, allowing each species to compete for light and space (Jose et al., 2004). However, it is less obvious how the use of below-ground resources is compartmentalized. Beneath the soil surface each species partitions roots and mycorrhizal hyphae into the available space in order to compete for limited water and nutrients (Jose et al., 2000; Wanvestraut et al., 2004; Allen et al., 2005). Bioavailable phosphorus (P) is an important resource, particularly in highly weathered tropical soils. To understand P uptake by agroforestry systems is to understand plant root dynamics and the organic and inorganic chemistry of soil P. Neither is simple, but often simplifying assumptions allow one to model the performance of these systems in nature.

The goals of this chapter are to present the finite number of soil and plant variables that determine P bioavailability in soil-plant systems and to highlight key topics most relevant to P bioavailability in agroforestry systems. The latter will be accomplished by example through mechanistic modeling of a common agroforestry scenario similar to the approach Grierson et al. (2004) but in a more detailed fashion. The rationale of this approach is based on the reality that mechanistic information on P uptake for agroforestry systems is generally lacking, yet estimates of the soil/plant parameters that define common agroforestry systems can often be deduced for the purpose of evaluating questions about ecosystem function. A modeling approach is burdened with the limitations associated with all models, while being enhanced by the ability to combine complex, interacting processes in multi-dimensional space. The weakness in the modeling of P absorption by agroforestry systems was best expressed by Gregory (1996) and seconded by Akinnifesi et al. (2004): “a major limitation to developing water and nutrient uptake models for trees is the lack of adequate measurements and conceptual models for describing the distribution of roots spatially and temporally” (Gregory, 1996). The lack of adequate measurements of most input parameters to mechanistic models for agroforestry systems is an accurate corollary. Despite these limitations, models that adhere to the accepted processes and mechanisms of nutrient bioavailability can be useful in better understanding how agroforestry ecosystems function.

## SOIL AND PLANT MODELING PARAMETERS THAT AFFECT P BIOAVAILABILITY IN AGROFORESTRY SYSTEMS

The processes that control P absorption by plants, and the parameters that define those processes, are limited in number. While complex, soil P bioavailability in an agroforestry system can be simulated with the aim of bestowing insight into the efficacy of species combinations on particular soils. Models that address below-ground interactions between species have been reviewed by Matthews et al. (2004), while a more general description of models used in absorption of nutrients by plant roots can be found in Tinker & Nye (2000) and Comerford et al. (in press). Therefore, we offer here a short introduction to the key plant and soil parameters used in most models that simulate P absorption and put them in the context of agroforestry systems. This chapter is based on a number of review papers (Comerford, 1998; Grierson et al., 2004; Comerford, 2005) that discuss soil nutrient bioavailability and centered on the modeling of a modal scenario that reflects a common agroforestry system.

Soil nutrient bioavailability is a concept that describes the absorption of a nutrient by a plant as a function of (1) the amount of nutrient in a plant available form on the solid phase, (2) the release from the solid phase to the soil solution, (3) the movement of the nutrient through the soil solution to the plant root/mycorrhizal hyphae, and (4) the uptake at the root/hyphae surface based on root morphology and uptake kinetics (Comerford, 1998; Nye & Tinker 2000; Comerford, 2005). The significance of this approach is that nutrient bioavailability of every soil compartment can be considered, allowing one to evaluate nutrient absorption throughout the soil profile as root distribution, water content and bioavailable amounts of a nutrient change.

### Plant root distribution (root amount and morphology)

The distribution pattern of roots in agroforestry systems has been summarized by Akinnifesi et al. (2004). The one certainty about P uptake by plants in agroforestry systems is that the more roots and mycorrhizal hyphae a plant has, the more P it will absorb. The principal question relevant to P uptake of agroforestry systems becomes: where are the roots/hyphae and what are their surface area densities? The relevant concern about agroforestry systems is: what is the level of competition between roots of each species throughout the soil profile? The below-ground coexistence and efficiency of two or more species depend on their abilities to avoid competition, sometimes referred to as complementarity of root systems (Jose et al., 2006). Competition avoidance is a species' ability to evade another species influence by dominating a portion of the soil profile. In an alley cropping system it may refer to a species dominating the soil volume within its planting rows. In a mixed system it would describe roots surviving in the near-surface horizons with other species, but dominating a portion of the soil profile below the rooting depth of other species. Root morphology, particularly root radius is important because it defines the root surface area per unit root length and the roots sink strength (see below). It is the plant's root/hyphal surface area that most models use as the boundary condition that defines nutrient uptake by the plant.

### Plant root uptake kinetics

There has been insufficient research on the role of root uptake kinetics on inter-species root competition. The modest inquiries that exist suggest that the value of the Michaelis-Menten uptake kinetic parameters;  $I_{\max}$ ,  $K_m$  and  $C_{\min}$ ; have an effect in some circumstances but not all (Smethurst & Comerford, 1993; Raynaud & Leadley, 2005). Models suggest that only under conditions of high nutrient supply do root uptake kinetics shape the competition between roots of different species (Raynaud & Leadley 2005). Since most agroforestry systems are grown on soils with a low diffusive supply of P, concentrating efforts of the kinetic parameters of root characteristics has not appeared justified. This is reinforced by the difficulty in measuring these parameters under field conditions.

### P release from the soil solid phase

One component of P bioavailability in soils is the release of P from organic and inorganic forms to the

soil solution, making it immediately available to plant roots. Bioavailable inorganic P has been categorized into disequilibrium desorbable and ligand desorbable P (Sato et al. in press). Disequilibrium desorbable P is the pool of P that can be released simply by the plant creating disequilibrium between the soil solution's inorganic P and the soil's solid phase P, via P uptake by the root/hyphae complex. Ligand desorbable P describes a bioavailable pool of P that can be accessed by plant roots/hyphae that exude moieties that undertake ligand exchange with P or cause dissolution of the surface thus releasing P. Both can be described by desorption isotherms where the important modeling parameter is the slope of the isotherms, termed the partition coefficient (Comerford, 1998; Barros et al. 2005; Comerford, 2005). The partition coefficient describes the distribution of bioavailable P between the solid and solution phases and is decisive in describing the P diffusion coefficient and the buffering of the P soil solution concentration (van Rees et al., 1990, Tinker & Nye, 2000). Phosphorus sorption onto soils is a well-studied process, while its desorption counterpart has not enjoyed the same attention (Sato & Comerford, 2006). Yet both processes are crucial in defining (1) inorganic P bioavailability and (2) the fate of organic P once mineralized. Seminal and more recent research have provided insights into the relationship between sorption and desorption as well as the methods to describe these processes (Fox & Kamprath, 1970; Hingston et al., 1974; Brewster et al., 1975; Barrow & Shaw, 1975; Barrow, 1979; Madrid & Posner, 1979; Sharpley et al., 1981; Okajima et al., 1983; Bhatti & Comerford, 2002).

In the context of agroforestry, it is clear that the ability to enhance P desorption and dissolution from the solid phase is a characteristic of selected species (Rengel & Marshner, 2005). George et al. (2002b) reported that *Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray and *Tephrosia vogelii* Hook f. (George et al., 2002b) had such a short term affect on P.

Likewise, selected plant species and/or their microbial associations may increase the release of organic and inorganic P from its solid phases. This topic has been reviewed by Rengel & Marshner (2005) where they noted the ability of roots and microbes to solubilize solid phase P through exudation of low molecular weight organic acids and change of rhizosphere pH. In modeling, this effect can be mimicked by changing the partition coefficients of nutrient desorption while maintaining or increasing the soil solution concentration. Nye & Kirk (1987) have also had success in predicting P solubilization of solid P phases, such as rock phosphate. The net effect of increasing the partition coefficient is an increase in P bioavailability to plant roots and enhanced P uptake. The amount of P that can be solubilized under field conditions, hence the degree that the partition coefficient should be changed, is a topic on which more research is required.

Mineralization of organic P is a major input of bioavailable inorganic P into the soil solution and onto the solid phase. There is mounting evidence that some agroforestry species access different sources of organic P, either through producing large amounts of phosphatase relative to other species or due to the nature of their phosphatases (George et al., 2002c; George et al., 2006). This has been well illustrated where *T. diversifolia*, obtained organic P that was unavailable to *Zea mays* (maize; George et al., 2002a,b) and *T. vogelii* (George et al., 2002b). Mineralization based on root presence and amount can be incorporated into nutrient uptake models. However, an accurate simulation of P absorption by agroforestry systems requires that species which have this capability be identified. Comprehensive work on phosphatase identity, amount produced and activity on soil organic P is indicated.

#### Movement of P in the soil solution to roots and mycorrhizal hyphae

Movement of inorganic or organic P to the surface of roots and mycorrhizal hyphae occurs by mass flow and/or diffusion. Mass flow is an important mechanism for mobile nutrients with high soil solution concentrations. The engine of mass flow is the water influx rate of roots, mediated by water's ability to move through the soil. However, mass flow rarely plays a significant role in P flux to roots unless fertilizer temporarily provides artificially high concentrations of soil solution P. Diffusion is the prime delivery mechanism under the majority of soil conditions, particularly indicative of agroforestry systems. The effective diffusion coefficient ( $D_e$ ) is the central parameter to understanding diffusion. Inherent in its definition are virtually all soil components that control inorganic P delivery to the root/hyphal system.

$$D_e = [D_s + f(\theta) \cdot \theta] / [\theta + pK_d]$$

$D_1$  is the diffusion coefficient of phosphate in water;  $f(\theta)$  is the impedance factor as a function of the soil's water content ( $\theta$ ) and describes the inverse of the path length that phosphate must travel relative to a straight line distance;  $\bar{n}$  is the soil bulk density; and  $K_d$  is the partition coefficient.

One important attribute of diffusion is the depletion zone that forms around the root/hyphae with time (Nye & Tinker 1977). The depletion zone's importance goes to competition, as inter-root competition commences when two roots' depletion zones overlap (Nye & Tinker 1977). The sway that agroforestry systems have on this equation is with  $\theta$  and  $K_d$ . The species' effect on transpiration controls the  $\theta$  pattern within the soil profile over time, influencing both the cross sectional area and the path length for phosphorus diffusion. The species' influence on  $K_d$  was alluded to above. If a species can affect desorption of P from the solid phase, then it can reduce the  $K_d$  with an attendant influence on the P in solution and the rate of diffusion.

These plant and soil variables have been combined together into a variety of mechanistic models that simulate nutrient bioavailability (Comerford et al. in press). The application of such models to agroforestry systems requires an understanding of the dynamics of the most important inputs for the species and soils to which they are applied. Unfortunately, data of this nature are not readily available as their importance has only recently been recognized by researchers of agroforestry systems. However, it is possible to define relevant soil/plant scenarios and use existing models to ask: what are the most efficient strategies for P absorption by agroforestry systems?

### P BIOAVAILABILITY IN AGROFORESTRY SYSTEMS

A variety of factors influence P uptake by multiple species in agroforestry systems. These factors include root absorption coefficients (as defined by the Michaelis-Menten equation), differential P mineralization associated with root presence, horizontal and vertical root distribution of each species, mycorrhizal presence and amount on roots of each species, soil P sorption and desorption capacity of soils, water regime and P fertilization. The potential combinations of soil and plant parameters in agroforestry systems are overwhelming and consideration of all combinations is not possible in a short communication such as this. Instead we use an alley cropping agroforestry system (tree crop and row crop) and a process oriented nutrient uptake model to illustrate the influence of soil and plant factors on P absorption by the system and its components. The simulation of P uptake was accomplished with Soil Supply and Nutrient Demand (SSAND), a mechanistic model that can simulate the factors mentioned above for any two-species system (Comerford et al. in press). The important model parameters and their input values for the agroforestry scenario are provided in Appendix 1.

**Table 1** - Simulated P uptake for the base scenario for an alley cropping agroforestry system using a tree crop and row crop. The values represent the P absorbed by the crop in each of three zones for a typical ha of the agroforestry system. Soil and plant conditions can be found in Appendix 1

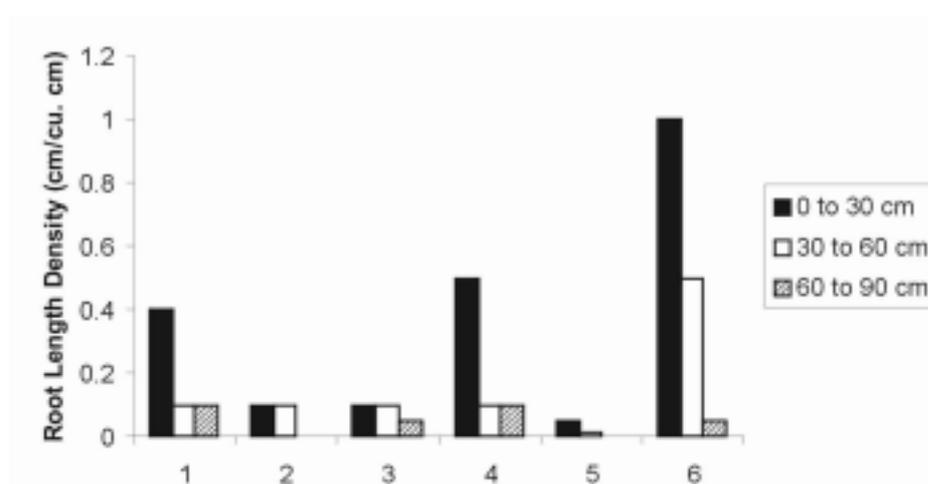
Soil Depth	Tree Row		Between		Crop Row		Total uptake by soil depth
	Tree	Row crop	Tree	Row crop	Tree	Row crop	
cm	kg P absorbed by crop per zone for a typical ha						
0 - 30	0.480	0.067	0.338	0.472	0.124	1.376	2.857
30 - 60	0.127	0.035	0.095	0.053	0.016	0.439	0.765
60 - 90	0.013	0	0.010	0.012	0	0.009	0.042
<b>Total</b>	<b>0.620</b>	<b>0.102</b>	<b>0.443</b>	<b>0.535</b>	<b>0.140</b>	<b>1.824</b>	<b>3.664</b>
<b>Grand Totals</b>	<b>0.722</b>		<b>0.978</b>		<b>1.964</b>		

The base scenario is a soil of moderate P bioavailability at field capacity with a low P sorption capacity. The tree crop has a larger root diameter than the row crop (0.04 cm for trees and 0.006 cm

for the row crop). A typical hectare is split into three zones: that dominated by the tree crop (20% of the area), that dominated by the row crop (50% of the area) and an in-between zone where maximum competition occurs (30% of the area). Table 1 illustrates the P uptake by depth and zone for the basic soil-plant condition.

Distribution of roots, inter-root competition and influence of mycorrhizal hyphae on P uptake

Phosphorus uptake is well-correlated with a plant's root length density. Since agroforestry systems have roots of more than one species, comparative root distribution is a concern. Root distribution must be considered in both horizontal and vertical dimensions. In the horizontal dimension, roots of one crop encroaching into the soil compartments of adjacent crops cause interspecies root competition. The vertical dimension determines which soil depths are most exploited by a species. The root distribution for these simulations was designed with tree roots dominating in the TREE ROW zone and row crop roots dominating in the CROP ROW and BETWEEN zones (Figure 1).



**Figure 1.** Fine root length density distribution by soil depth and by zone in a basic alley cropping agroforestry scenario.

The P uptake by the vertical distribution of roots illustrates several facts that must be considered when designing agroforestry systems. First, if there is no bioavailable P in the subsoil then there will be no uptake of P by subsoil roots (Figures 2 and 3; 60 to 90 cm). Second, root density just about universally decreases logarithmically with depth meaning that roots in subsoils have low root length densities. Third, because of the low root densities, inter-root competition in subsoils is low to non-existent. Fourth, the greatest amount of P uptake of all agroforestry components will be in the surface soil (Figures 2 and 3) so plants have to deal with some level of inter-root competition in order to get adequate P.

The influence of mycorrhizae is felt in three ways. First, ectomycorrhizal roots will have larger diameters giving them greater sink strengths (see below). Second, mycorrhizal roots may have higher phosphatase activity, which helps explain the observed phenomenon of increased P mineralization rates with some species (George et al., 2002a,b). Lastly, the extramatrical hyphae adds significant absorbing surface area that can access soil volumes unavailable to roots, particularly in high P sorbing soils. The first two can have some effect, but the principal effect on P uptake is provided by the extramatrical hyphae. Figures 2b and 3b exemplify hyphal influence on P uptake in both low and high P sorbing soils. In the former, hyphae increased uptake by nearly 70%, and by over 340% in the latter.

The ability of external hyphae to contribute to P bioavailability is due to the slow development of a depletion zone around a root. The size of the depletion zone ( $x$ ) is a function of the diffusion coefficient of the soil and time ( $t$ ):

$$x = 2\sqrt{(D_e * t)} \tag{equation 2}$$

As the P sorbing capacity of the soil increases (increasing  $K_d$  of sorption), the development of the depletion zone will be slower, the soil volume from which a root can access for P will be smaller and the contribution of mycorrhizae as extramatrical hyphae extend beyond the depletion zone to absorb P will be greater.

The effect of the Michaelis-Menten uptake coefficients,  $I_{MAX}$ ,  $K_M$  and  $C_{MIN}$  on P uptake

In single species systems, P uptake sensitivity to the value of Michaelis-Menten coefficients is evident primarily in high fertility conditions where mass flow is a significant component of the supply process and P concentrations at the root surface remain high. In soils with high  $K_d$ , the role of  $I_{MAX}$  and  $K_M$  is limited. However, under competitive conditions inter-root competition has been defined as a function of the roots' sink strengths,  $\alpha\bar{a}$  (Nye & Tinker, 1977), where  $\alpha$  is the absorption coefficient (equation 2) and  $\bar{a}$  is the average root radius.

$$\alpha = [I_{MAX}/(K_M + C_{la}-C_{min})] \tag{equation 3}$$

Where  $I_{MAX}$  is the maximum influx rate of P into the root,  $K_M$  is the P concentration at the root surface ( $C_{la}$ ) where  $I_{MAX}$  is equal to  $I_{MAX}/2$ , and  $C_{min}$  is the minimum value of  $C_{la}$  where net uptake is positive.

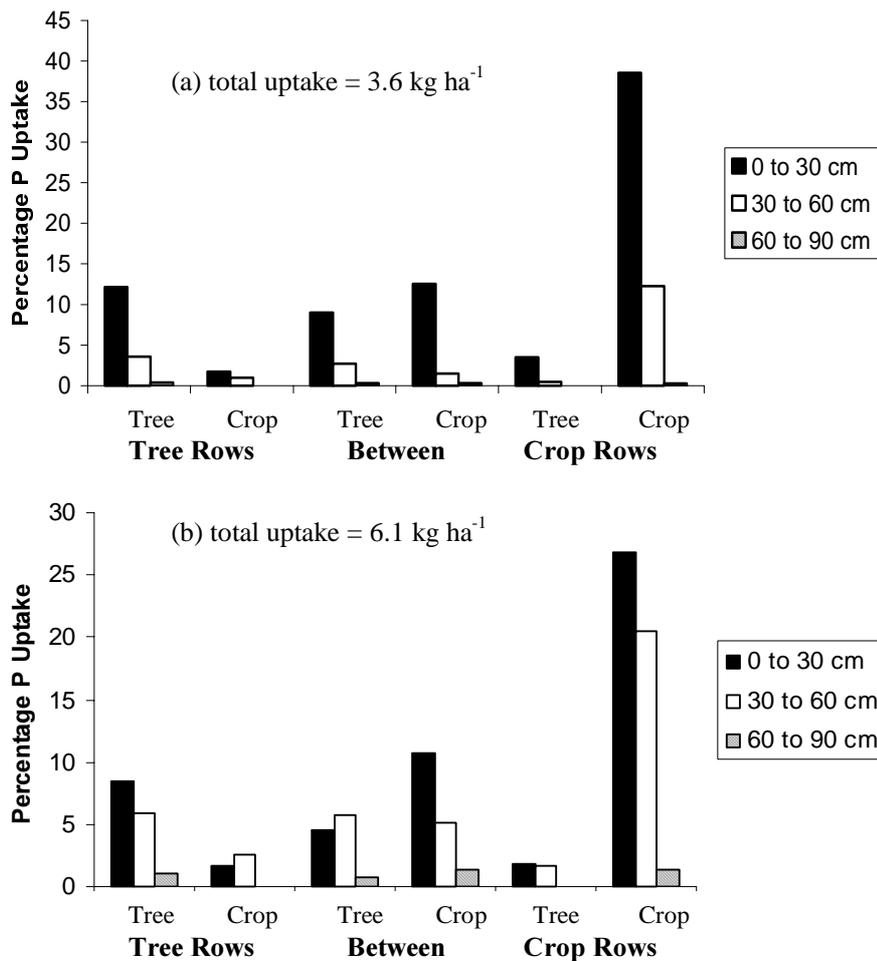


Figure 2 - Percentage of total P uptake for the basic scenario ( $K_d = 10$ ) for each species from each zone. (a) Percentage of total P uptake considering just roots; (b) Percentage of total P uptake considering just roots and mycorrhizal hyphae together. Numbers at the top of each graph are the total P uptake ha<sup>-1</sup>.

One should expect soil conditions where  $I_{max}$  and  $K_m$  have a key role to play in P uptake in agroforestry systems, but they are not important under all conditions. The examples provided in Figures 4a and b show little influence of  $I_{max}$  and  $K_m$  on P uptake. By doubling  $I_{max}$ , uptake increased by only 3%. However, the influence of  $I_{max}$  on uptake when the fine-diameter mycorrhizal hyphae is considered, is greater. Increasing  $I_{max}$  increased total P uptake by hyphae by 12%. This is still not a sensitive change in light of a two-fold increase in  $I_{max}$ , but it does show the potential power of these coefficients to play some role. Selection for species based on  $I_{max}$  and  $K_m$  appears to be a poor strategy for trying to maximize the use of P in infertile soils. Increasing root length density and better understanding mycorrhizae in soils holds more promise for defining the optimum conditions under which agroforestry systems make maximum use of soil P.

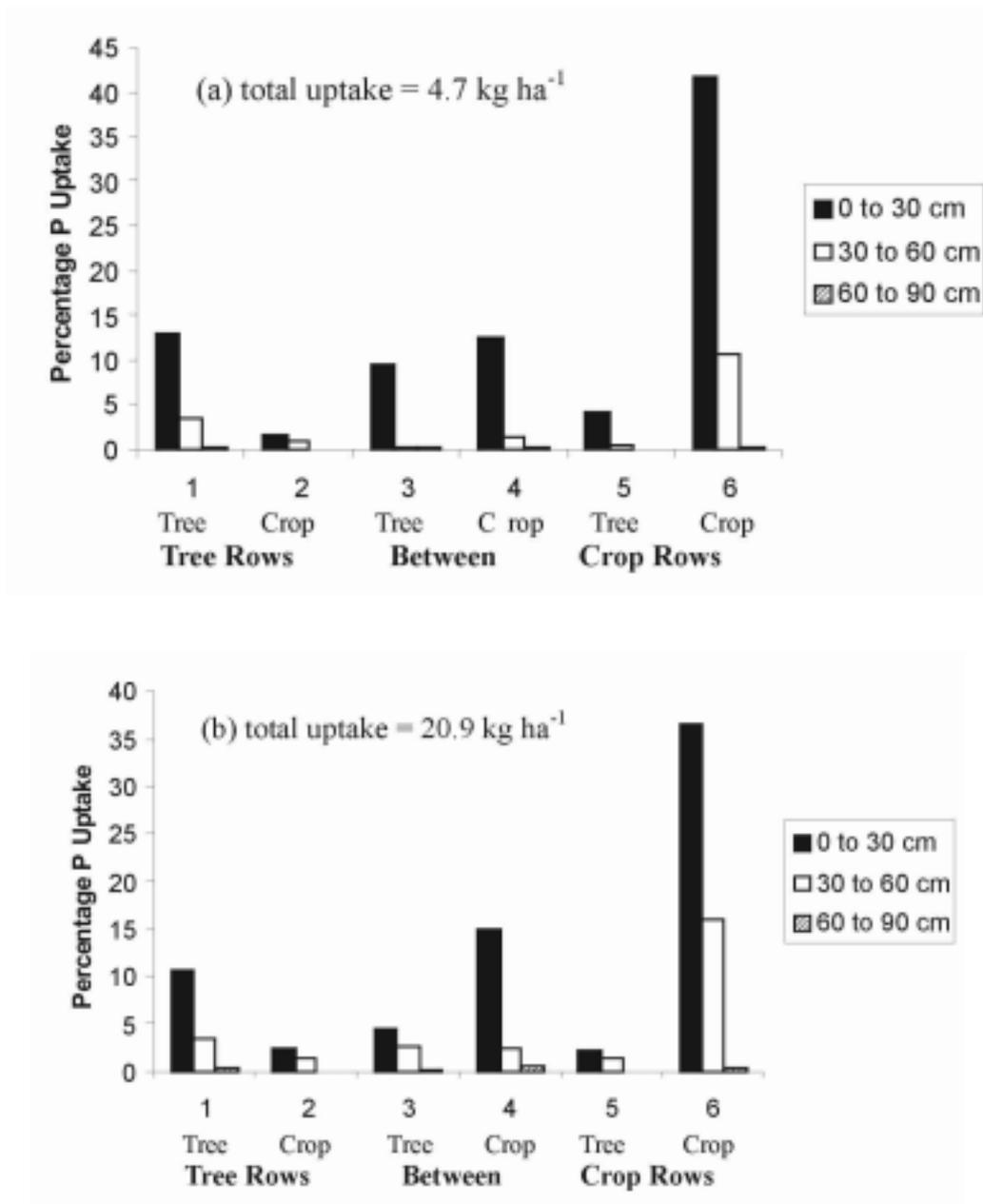


Figure 3 - Percentage of total P uptake by each species from each agroforestry system zone when the soil sorption capacity is high ( $K_d = 300$ ). (a) Percentage of total P uptake for the basic scenario; (b) Percentage of total P uptake for the soil with a higher P sorbing power. The numbers at the top of each graph are the total P uptake ha<sup>-1</sup>.

An intriguing situation is the potential of  $C_{min}$  to play a crucial role in P uptake by agroforestry systems, particularly in high P sorbing soils.  $C_{min}$ 's interaction with mycorrhizae also deserves attention. Figure 5 illustrates that P uptake can be extremely sensitive to the value of  $C_{min}$ . The more a root scavenges P at its surface, the more P it will absorb. Raising  $C_{min}$  from 0 to  $5 \cdot 10^{-5} \text{ ug mL}^{-1}$  effectively prohibits P uptake (Figure 5a). Yet, if mycorrhizae have a better ability than roots to absorb P at low concentrations, uptake continues; but exclusively via hyphae (Figure 5b).

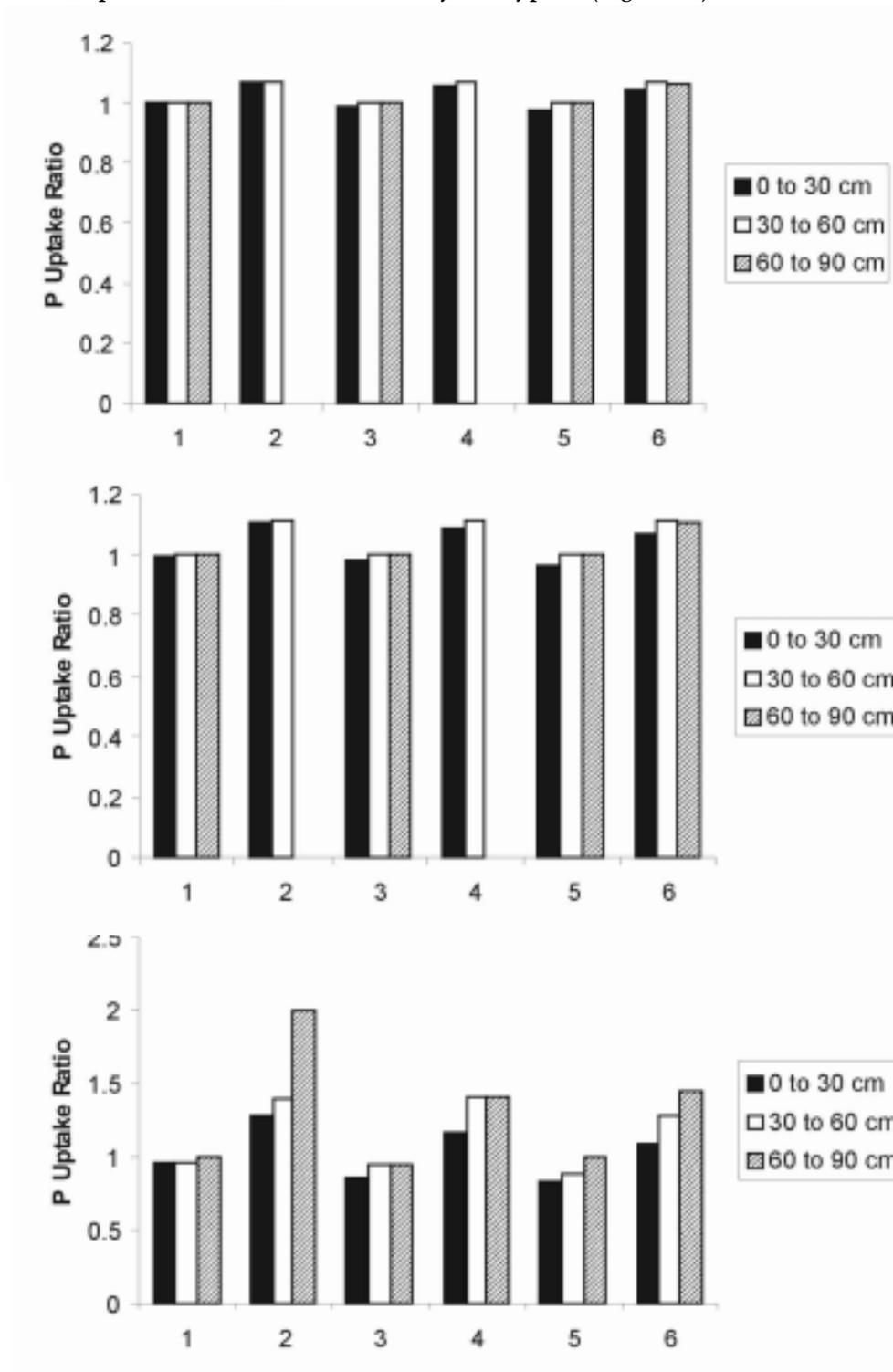


Figure 4 - Influence of  $I_{max}$  and  $K_m$  on P uptake from the low P sorbing scenario. (a) Ratio of P uptake between roots with 2 times  $I_{max}$  compared to the base level of  $I_{max}$ ; (b) Ratio of P uptake

between the conditions in (a) but where  $K_m$  was also reduced over the basic scenario; (c) Ratio of P uptake between roots + mycorrhizae that with 2 times the base value of  $I_{max}$  and roots + mycorrhizae with the base level of  $I_{max}$ .

P mineralization enhanced by the root environment of selected species

The concept that tree mycorrhizal roots differentially enhance/inhibit mineralization dates back to the “Gadgil Effect” as described by Gadgil & Gadgil (1971, 1975). It has more recently been raised as an issue in agroforestry systems by George et al. (2002c, 2006). The question is whether enhanced P mineralization associated with the roots of the tree species in an agroforestry system influences the P absorption of other plants in that system. The potential is real and, if P mineralization associated with tree roots is increased by a factor of 2 and made proportional to the tree root density, figure 6 indicates that P uptake by crops increases by only a couple percentage points. However, if the P mineralization rate was greater and/or more tree roots were present, then potential effect on P uptake could be more significant. The work of George et al. (2003c, 2006) should be extended to species in other agroforestry/soil systems before one can understand the potential influence this process has on organic P mineralization and P bioavailability.

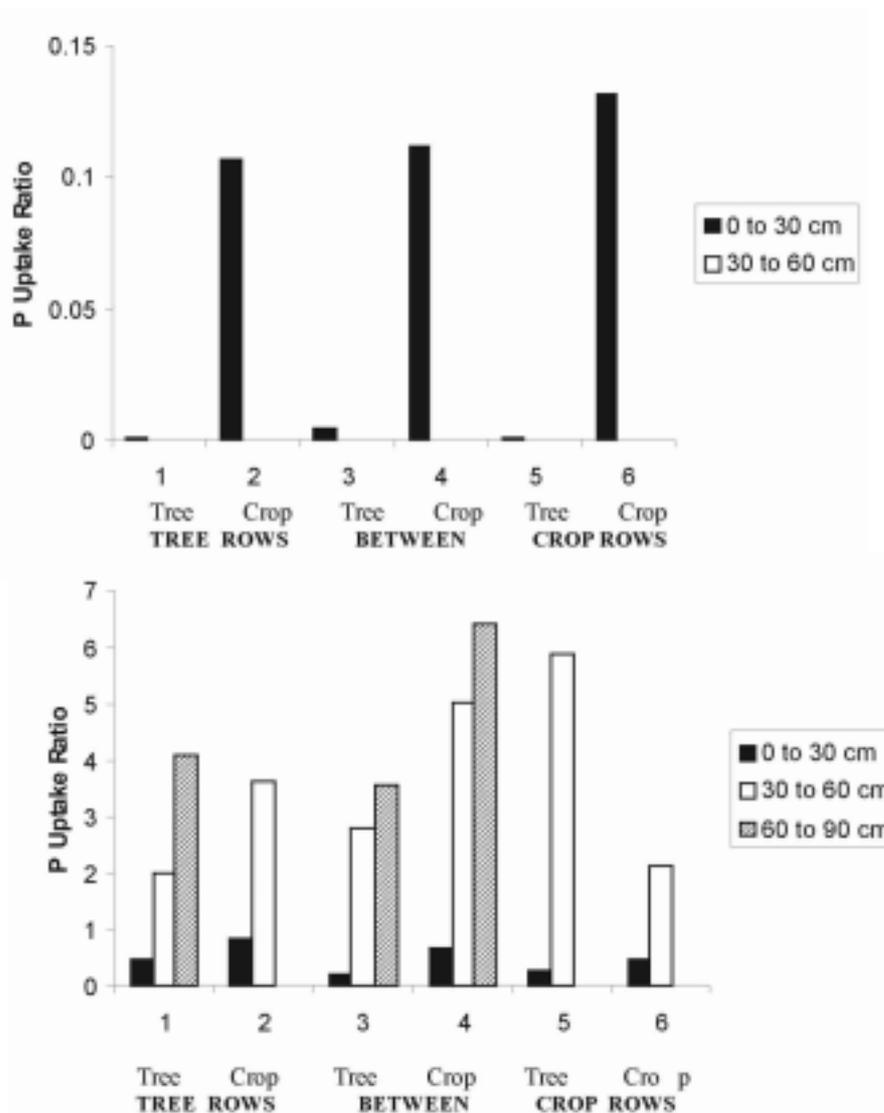


Figure 5 - (a) Ratio of P uptake for a root only scenario with a  $C_{min}$  of roots is  $0.003 \text{ ug mL}^{-1}$  compared to uptake when  $C_{min}$  was 0; (b) Ratio of P uptake for a root + mycorrhizae scenario with  $C_{min}$  in the roots =  $0.003$  and  $C_{min}$  in hyphae of 0 compared to roots and hyphae having  $C_{min} = 0.003$ .

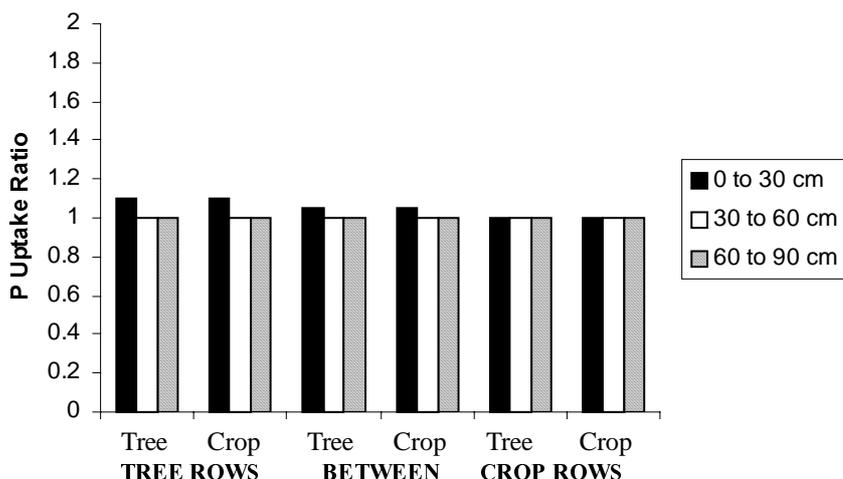


Figure 6. The ratio of P uptake between a situation where organic P mineralization is a density of tree roots and the condition where mineralization is independent of root length density.

Water regime and its influence on P uptake

Phosphorus moves principally by diffusion, and the effective diffusion coefficient depends on the soil water content. Water content is found in the denominator of the diffusion coefficient. In the numerator it is a controlling variable in the calculation of soil impedance and used to define the cross-sectional area available for diffusion (equation 1). Therefore, soil water content is essential to defining the bioavailability of soil P in agroforestry systems. This has been noted and reviewed by countless authors that it is now considered common knowledge. Here we illustrate this effect by showing that as water content decreases; P uptake decreases (Figure 7). The influence of decreasing water content could be even greater than that seen in figure 7, because reduced water content also reduces the number of absorbing fine roots; which is not accounted for in the simulation.

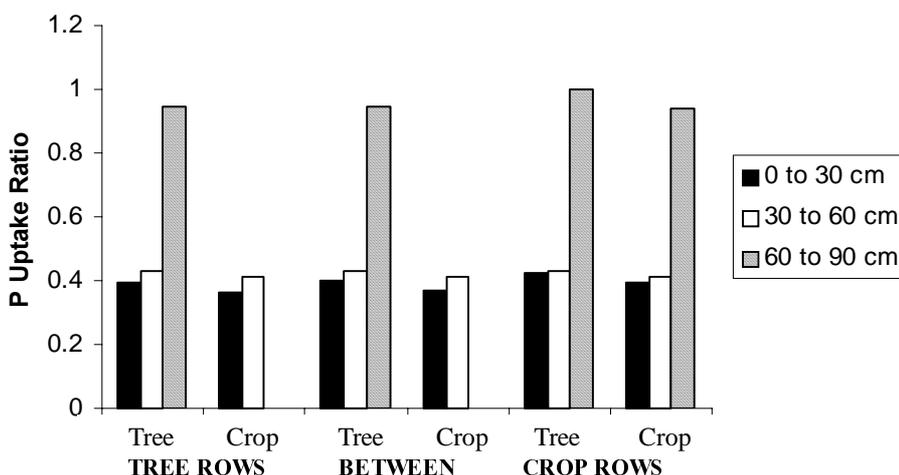


Figure 7. The P uptake ratio between simulated P uptake of a dry soil and a soil a field capacity.

CONCLUSIONS

The potential variability of agroforestry systems is impressive, ranging from silvopasture, to inclusion of row crops, to cabruca for cacao production. The possible combinations of soils, species and management options are too numerous to rigorously evaluate for P uptake capacity under field

conditions. For that reason, mechanistic modeling can provide insight into the potential functioning of various agroforestry systems on soils of known soil P bioavailability characteristics.

A number of useful conclusions can be made from modeling this basic scenario and its variants.

The more obvious ones already supported by considerable literature are:

1. Species combinations that have root systems designed to utilize different soil depths provide no advantage for P uptake if there is not bioavailable P in the subsoil. Under those circumstances, which are more likely than not, inter-species root competition in surface soils will be the situation with which managers must cope. Conversely, subsoil supplies of P could enhance the P entering the agroforestry ecosystem.
2. Soil water content is critical to the supply of P to agroforestry systems, particularly in the surface soil horizons. For numerous reasons soil P uptake is intimately linked to the soil water regime.
3. Mycorrhizal hyphae, particularly in high P fixing soils, considerably enhances P uptake. However, the function and contribution of mycorrhizal hyphae in agroforestry systems continues to be one of the more poorly documented areas of practical soil microbiology.
4. Roots and associated microorganisms, if they can influence the partition coefficient, have the potential for a significant increase in bioavailable P. Again, this is one of those topics where the potential is recognized but the detailed documentation of effect under real field conditions is limited.

Conclusions that are less obvious are:

5. Michaelis-Menten uptake parameters;  $I_{\max}$ ,  $K_m$  and  $C_{\min}$ ; have the potential to influence the inter-species competition in agroforestry systems. The degree of influence will be species, soil and system specific. Unfortunately, there is little information on root P uptake kinetics for agroforestry species. Research on these parameters and how they change with plant nutrition should not be dismissed as unimportant. Of particular interest is the value of  $C_{\min}$  for roots and mycorrhizal hyphae when grown on high P fixing soils. A root/hyphae system that can continue to extract P at low solution P concentration scavenges P and continues P uptake where species with higher  $C_{\min}$  values would be P deficient.
6. Enhanced P mineralization associated with roots of specific species may be a useful mechanism for increasing P uptake in zones where those roots are present. Little is known about the wide variety of species used in agroforestry systems, or about the increases in P mineralization that are possible. Screening species for this ability is a useful endeavor.

A modeling exercise, such as this, highlights the problem in understanding the function of agroforestry systems: a paucity of information on important soil and plant characteristics that define the bioavailability and uptake of P. Agroforestry species are numerous and little is known about their root/hyphae distributions and root/hyphae growth rates under competitive and adverse environmental conditions. The uptake kinetics of roots are unknown and their value is underappreciated, particularly the role of  $C_{\min}$ . Quantification of extramatrical mycorrhizal hyphae is scarce. Phosphorus sorptive properties of soils tend to be defined, yet desorption characteristics, which control P bioavailability are also poorly documented and often ignored.

Modeling exercises, while fraught with assumptions and limited input data, are useful for exploring scenarios with minimal input of time and expense. One of the most useful outcomes of modeling is the focus it can put on the relevance of agroforestry processes and the potential utility of specific management options. There is still a substantial amount of mechanistic research to perform on the dynamics of P absorption that would support the design of efficient and sustainable agroforestry systems.

#### LITERATURE CITED

AKINNIFESI, F.K.; ROWE, E.C.; LIVESLY, S.J.; KWEGSIGA; F.R., VANLAUWE, B. & J.C. ALEGRE. Tree

- root architecture. In: van NORODWIJK, M.; CADISCH, G. & ONG, C.K. eds. *Below-ground interactions in tropical agroecosystems: Concepts and models with multiple plant components*. Wallingford, CABI, 2004. p.61-82.
- ALLEN, S.; JOSE, S.; NAIR, P.K.R. & BRECKE, B.J. Competition for <sup>15</sup>N labeled nitrogen in a pecan-cotton alley cropping system in the southern United States. *Plant Soil*, 263:151-164, 2004.
- BARROS FILHO, N.F.; COMERFORD, N.B. & BARROS, N.F. Phosphorus sorption, desorption and re-sorption in Soils of the Brazilian Cerrado supporting eucalypt. *J. Biomass Bioenergy*, 28:229-236, 2005.
- BARROW, N.J. The desorption of phosphate from soil. *J. Soil Sci.*, 30:259-270, 1979.
- BARROW, N.J. & SHAW, T.C. The slow reactions between soil and anions. 5. Effects of period of prior contact on the desorption of phosphate from soils. *Soil Sci.*, 119:311-320, 1975.
- BHATTI, J.S. & COMERFORD, N.B. Measurement of phosphorus desorption from a spodic horizon using two different desorption methods and pH control. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 33:845-853, 2002.
- BREWSTER, J.L.; GANCHEVA, A.N. & NYE, P.H. The determination of desorption isotherms for soil phosphate using low volumes of solution and an anion exchange resin. *J. Soil Sci.*, 26:364-377, 1975.
- COMERFORD, N.B. Soil P bioavailability. In: LYNCH, J.P. & DEIKMAN, J. eds. *Phosphorus in plant biology: Regulatory roles in molecular, cellular, organismic, and ecosystem processes*. Rockville, American Society of Plant Physiologists, 1998. p.136-147.
- COMERFORD, N.B. Soil factors influencing soil nutrient availability and uptake by plant roots: Soil nutrient bioavailability. In: BASSIRIRAD, H. ed. *Ecological Studies - Nutrient acquisition by plants: An ecological perspective*. Springer-Verlag, 2005. p.1-14.
- COMERFORD, N.B.; CROPPER JR., W.P.; LI, H.; SMETHURST, P.J.; van REES, K.C.J.; JOKELA, E.J.; ADÉGBIDI, H. & BARROS, N.F. Soil supply and nutrient demand (SSAND): A general nutrient uptake model and an example of its application to forest management. *Can. J. Soil Sci.*, in press.
- FOX, R.L. & KAMPRATH, E.J. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 34:902-907. 1970.
- GADGIL, R.L. & GADGIL, P.D. Mycorrhiza and litter decomposition. *Nature*, 233:133, 1971.
- GADGIL, R.L. & GADGIL, P.D. Suppression of litter decomposition by mycorrhizal roots of *Pinus radiata*. *New Zealand J. For. Sci.*, 5:33-41, 1975.
- GEORGE, T.S., GREGORY, P.J., ROBINSON, J.S., BURESH, R.J. & JAMA, B. Utilisation of soil organic P by agroforestry and crop species in the field, western Kenya. *Plant Soil*, 246: 53-63, 2002a.
- GEORGE, T.S., GREGORY, P.J., ROBINSON, J.S. & BURESH, R.J. Changes in phosphorus concentrations and pH in the rhizosphere of some agroforestry and crop species. *Plant Soil*, 246:65-73, 2002b.
- GEORGE, T.S., GREGORY, P.J., WOOD, M., READ, D. & BURESH R.J. Phosphatase activity and organic acids in the rhizosphere of potential agroforestry species and maize. *Soil Biol. Biochem*, 34:1487-1494, 2002c.
- GREGORY, P.J. Approaches to modeling root growth and the uptake of water and nutrients in agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 34:51-65, 1996.
- GRIERSON, P.F.; SMITHSON, P.; NZIGULHEBA, G.; RADERSMAN, S. & COMERFORD, N.B. Phosphorus dynamics and mobilization by plants. In: van NORODWIJK, M.; CADISCH, G. & ONG, C.K. eds. *Below-ground interactions in tropical agroecosystems: Concepts and models with multiple plant components*. Wallingford, CABI, 2004. p.127-142.
- HINGSTON, F.J.; POSNER, A.M. & QUIRK, J.P. Anion adsorption by goethite and gibbsite. II. Desorption of anions from hydrous oxide surfaces. *J. Soil Sci.*, 25:16-26, 1974.
- JOSE, S. Belowground ecological interactions in mixed-species forest plantations. *For. Ecol. Manage.*, 2006 (in press).

- JOSE, S.; GILLESPIE, A.R. & PALLARDY S.G. Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agroforestry Systems*, 61:237-255, 2004.
- JOSE, S.; GILLESPIE, A.R.; SEIFERT J.R. & BIEHLE, D.J. Defining competition vectors in a temperate alleycropping system in the midwestern USA: II. Competition for water. *Agroforestry Systems*, 48:41-59, 2000.
- MADRID, L. & POSNER, A. M. Desorption of phosphate from goethite. *J. Soil Sci.*, 30:697-707, 1979.
- MATTHEWS, R.; van NOORDWIJK, M.; GIJSMAN, A.J. & CADISCH, G. Models of below-ground interactions: Their validity, applicability and beneficiaries. In: van NORODWIJK, M.; CADISCH, G. & ONG, C.K. eds. *Below-ground interactions in tropical agroecosystems: Concepts and models with multiple plant components.*, Wallingford, CABI, 2004. p.40-62.
- NAIR, P.K.R.; RAO, M.R. & BUCK, L.E. *New vistas in agroforestry.* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2004.
- NYE, P.H. & KIRK, G.J.D. The mechanism of rock phosphate solubilization in the rhizosphere. *Plant Soil*, 100:127-134, 1987.
- OKAJIMA, H.; KUBOTA, H. & SAKUMA, T. Hysteresis in the phosphorus sorption and desorption process of soils. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 29:271-283, 1983.
- RAYNAUD, X. & LEADLEY, P.W. Symmetry of belowground competition in a spatially explicit model of nutrient competition. *Ecol. Model.*, 189:447-453, 2005.
- RENGEL, Z. & MARSCHNER, P. Nutrient availability and management in the rhizosphere: exploiting genetic differences. *New Phytol.*, 168:305-312, 2005.
- SATO, S. & COMERFORD, N.B. Assessing method for developing phosphorus desorption isotherms using anion exchange membranes. *Plant Soil*, 279:107-117, 2006.
- SATO, S. & COMERFORD, N.B. Organic anions and phosphorus desorption and bioavailability in a humid Brazilian Ultisol. *Soil Sci.* In press.
- SHARPLEY, A. N.; AHUJA, L. R.; YAMAMOTO, M. & MENZEL, R.G. The kinetics of phosphorus desorption from soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45:493-496, 1981.
- TINKER, P.B. & NYE P.H. *Solute movement in the rhizosphere.* Oxford, Oxford University Press, 2000.
- van REES, K.C.J.; COMERFORD, N.B. & RAO, P.S.C. Defining soil buffer power: implications for ion diffusion and nutrient uptake modeling. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 54:1505-1507, 1990.
- WANVESTRAUT, R.; JOSE, S.; NAIR, P.K.R. & BRECKE, B.J. Competition for water in a pecan-cotton alley cropping system in the southern United States. *Agroforestry Systems*, 60:167-179, 2004.

## APPENDIX 1

Parameter values for inputs to the Soil Supply and Nutrient Demand (SSAND) model used for simulating (1) the base scenario of an alley cropping system and (2) variation of the base scenario in order to test the importance of specific ecosystem process on P absorption by an agroforestry system. Water Flux,  $I_{MAX}$ ,  $K_M$  and  $C_{MIN}$  were the same values for both roots and hyphae.

**BASE SCENARIO****Important Parameters****Value**

Duration of Simulation

155d

Soil Volume for each 30 cm deep horizon (dm<sup>3</sup>)

TREE ROW

6\*10<sup>6</sup>

BETWEEN

9\*10<sup>6</sup>

CROP ROW

15\*10<sup>6</sup>Initial Soil Solution Concentration (µg mL<sup>-1</sup>)

0 to 30 cm

0.01

30 to 60 cm

0.005

60 to 90 cm

0.001

Volumetric Soil Water Content (θ, cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>)

0 to 30 cm

0.21

30 to 60 cm

0.21

60 to 90 cm

0.21

Bulk Density (g cm<sup>-3</sup>)

0 to 30 cm

1.30

30 to 60 cm

1.57

60 to 90 cm

1.66

Impedance (f=a\*θ<sup>b</sup>); for all horizons

a

1

b

0.5

Partition Coefficient (K<sub>d</sub>)

Adsorption

0 to 30 cm

10

30 to 60 cm

75

60 to 90 cm

125

Desorption

0 to 30 cm

10

30 to 60 cm

25

60 to 90 cm

27

Water Flux into Root/Hyphae (cm<sup>3</sup> cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)2\*10<sup>-6</sup>**Important Parameters****Value****Average Root Radius (cm)**

Tree

0.04

Row crop

0.003

**Average Hyphal Radius (cm)**

Same for tree and row crop

1.5\*10<sup>-4</sup>

**Root Length Density (cm cm<sup>-3</sup>)**

TREE ROW	
Tree	
0 to 30 cm	0.4
30 to 60 cm	0.2
60 to 90 cm	0.1
Row Crop	
0 to 30 cm	0.1
30 to 60 cm	0.1
60 to 90 cm	0.0001
BETWEEN	
Tree	
0 to 30 cm	0.2
30 to 60 cm	0.1
60 to 90 cm	0.05
Row Crop	
0 to 30 cm	0.5
30 to 60 cm	0.1
60 to 90 cm	0.1
CROP ROW	
Tree	
0 to 30 cm	0.05
30 to 60 cm	0.01
60 to 90 cm	0.0001
Row Crop	
0 to 30 cm	1.0
30 to 60 cm	0.5
60 to 90 cm	0.05

**Hyphal Length Density (cm cm<sup>-3</sup>)**

Made proportion to root length with maximum root length density of 1 cm root cm<sup>-3</sup> of soil having a mycorrhizal hyphal length density of 40 cm hyphae cm<sup>-3</sup> soil

<b>I<sub>max</sub></b> (imole cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	1.00*10 <sup>-6</sup>
<b>K<sub>m</sub></b> (imole cm <sup>-3</sup> )	3.00*10 <sup>-3</sup>
<b>C<sub>min</sub></b> (imole cm <sup>-3</sup> )	0

**Change in Parameters to Mimic Important Processes**

**Volumetric Soil Water Content (è, cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) for dry site**

0 to 30 cm	0.08
30 to 60 cm	0.10
60 to 90 cm	0.20

**Partition Coefficient (K<sub>d</sub>) for high K<sub>d</sub> site**

Adsorption	
0 to 30 cm	300
30 to 60 cm	300
60 to 90 cm	300
Desorption	
0 to 30 cm	100
30 to 60 cm	100
60 to 90 cm	100

<b>I<sub>max</sub></b> (imole cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	2.00*10 <sup>-6</sup>
<b>K<sub>m</sub></b> (imole cm <sup>-3</sup> )	0.00545
<b>C<sub>min</sub></b> (imole cm <sup>-3</sup> )	5.0*10 <sup>-5</sup>



# Parte VI

Ensino, Extensão e Difusão de Tecnologia



## **A Embrapa Contribuindo em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em Sistemas Agroflorestais para o Desenvolvimento Sustentável do Brasil**

TATIANA DEANE DE ABREU SÁ

### **INTRODUÇÃO**

A contribuição que a Embrapa vem prestando à construção e consolidação da agricultura tropical não poderia deixar de contemplar os sistemas agroflorestais, freqüentemente considerados como opções sustentáveis, em especial da perspectiva ecológica, para diversas realidades, por viabilizarem melhor aproveitamento dos recursos naturais disponíveis, potencializando a ocorrência de sinergia na contribuição de fatores bióticos e abióticos, com reflexos positivos nos níveis e na estabilidade da produção, o que os caracteriza como relevantes componentes do ciclo atual da revolução da agricultura tropical, que contempla preocupações com impactos de ordem econômica, social e ambiental.

Para melhor evidenciar a natureza da contribuição da Embrapa na pesquisa, desenvolvimento e inovação em sistemas agroflorestais adaptados às múltiplas situações que o território nacional oferece, é feita uma análise da evolução desta temática ao longo das três décadas de existência da empresa, identificando a sua concentração quanto a unidades de pesquisa e regiões geográficas, expressa na carteira de projetos e na apresentação de artigos sobre o tema nos cinco Congressos Brasileiros de Sistemas Agroflorestais já realizados.

São também analisados aspectos relevantes da atuação da Embrapa em parceria com outras instituições nacionais e internacionais, na formação de recursos humanos especializados, no treinamento e capacitação de diversos grupos de interesse, bem como sobre estratégias que vem sendo adotadas na disseminação de resultados em sistemas agroflorestais. Dada a relevância dos sistemas agroflorestais no contexto da Agroecologia, é também comentado de como o Programa Institucional em Agroecologia que a Embrapa vem consolidando tem o potencial de fortalecer a temática de sistemas agroflorestais na empresa.

Considerando um conjunto de fortes desafios que a Embrapa vem assumindo em caráter nacional e internacional, como é o caso da Agroenergia, de ações voltadas à recuperação de áreas em processo de degradação nos diferentes biomas, e da criação do Escritório Regional da Embrapa na África-Embrapa África, é analisada a repercussão desta realidade em termos de PD&I em sistemas agroflorestais.

Finalizando, são destacados tópicos que merecem maior atenção da Embrapa e de parceiros, no âmbito de PD&I, para viabilizar o melhor aproveitamento da vasta gama de informações já disponíveis na maioria dos biomas brasileiros sobre sistemas agroflorestais, em suporte a políticas que fomen-

tem a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, bem como temas relevantes que tenham aderência a sistemas agroflorestais, que devem ser estrategicamente contemplados na agenda de pesquisa da instituição, como forma ampliar a bases científicas para o desenvolvimento sustentável da agricultura no Brasil.

## A TEMÁTICA DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA EMBRAPA

### Cronologia da Evolução Temática

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, criada em abril de 1973 como uma empresa pública de direito privado no âmbito do atual Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA vem, ao longo de sua história, contribuindo de modo relevante, sob vários ângulos, à formulação, validação e difusão de sistemas agroflorestais (SAF's) compatíveis às múltiplas realidades biofísicas e socioeconômicas que o Brasil abriga, bem como à compreensão da contribuição desses sistemas ao alcance da sustentabilidade.

Datam principalmente do final da década de setenta ou início da década de oitenta do século passado, as implantações de ações de pesquisa enfocando SAF's em diversas ecorregiões, iniciativas que cresceram acompanhando os movimentos internacionais de conscientização sobre a necessidade de implantar um novo ciclo da agricultura, que contemplasse, além da preocupação sobre o aumento da produtividade, o da sustentabilidade, particularmente a referente à questão ambiental, como foi o caso do famoso Relatório de Bruntland "Nosso Futuro Comum", ao final da década de 80 e da realização da Conferência Rio 92.

A cronologia da criação e transformação de centros de pesquisa da Embrapa exhibe sinais claros da reação da empresa, incorporando gradativamente no seu conjunto de unidades, centros com mandatos capazes de garantir as bases científicas para o alcance dos novos desafios impostos pelo novo paradigma da agricultura, no caso do Brasil, evidenciado pelo 2º Ciclo da Revolução da Agricultura Tropical (Figura 1), onde a consideração de aspectos de natureza social, econômica e ambiental é evidente.



Figura 1 - Aspectos associados ao 2º Ciclo de Revolução da Agricultura Tropical.

Assim, nos anos 80 do século passado foram criadas as atuais unidades temáticas da Embrapa Meio Ambiente e da Embrapa Agrobiologia, com grande potencial de contribuição ao avanço científico em sistemas agroflorestais. Nos anos 80/90 foram criados ou transformados alguns dos relevantes centros ecorregionais (Embrapa Clima temperado, Embrapa Agropecuária este, Embrapa Pantanal, Embrapa

Cerrados, Embrapa Semi-Árido, Embrapa Tabuleiros Costeiros e Embrapa Meio Norte), muitos dos quais com atuação em sistemas agroflorestais .

Um marco que sem dúvida foi relevante para firmar a temática de sistemas agroflorestais na Embrapa foi a decisão tomada no início da década de 90, de transformar todas as seis unidades de pesquisa localizadas na Amazônia em Centros de Pesquisa Agroflorestal, e que correspondem às atuais Embrapa Acre, Embrapa Amapá, Embrapa Amazônia Ocidental, Embrapa Amazônia Oriental, Embrapa Rondônia e Embrapa Roraima. Pela natureza do ambiente amazônico e as oportunidades que vêm sendo oferecidas por programas nacionais e internacionais, essas unidades têm abrigado importantes ações de PD&I em sistemas agroflorestais.

A figura 2 mostra a configuração atual do Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária, constituída pelas unidades descentralizadas de pesquisa da Embrapa e pelas organizações estaduais de pesquisa agropecuária. No momento, a Embrapa possui nove centros nacionais de pesquisa de temas básicos (acrescidos recentemente da Embrapa Agroenergia, em fase de estruturação); treze centros nacionais de produtos (*commodities*); quinze centros ecorregionais de pesquisa agrícola ou agroflorestal, e três serviços especiais. Para garantir maior dinamismo à cooperação internacional com países desenvolvidos, a Embrapa dispõe de laboratórios virtuais remotos nos Estados Unidos e Europa, e para melhor exercer cooperação no sentido Sul-Sul, acaba de criar um escritório regional em Gana - Embrapa África.



Figura 2 - Distribuição dos centros de pesquisa em temas básicos, centros nacionais de produtos, centros ecorregionais de pesquisa e serviços especiais da Embrapa que, complementados pelas organizações estaduais de pesquisa agrícola constituem o Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária. Os Laboratórios Remotos Labex (Estados Unidos e Europa) e a Embrapa África são figuras de atuação em cooperação internacional.

Considerando a complexidade e a diversidade características da temática de sistemas agroflorestais, a configuração atual das unidades da Embrapa oferece ampla oportunidade de realização de ações em

PD&I envolvendo parcerias entre suas unidades, complementadas por parcerias com outras instituições, conforme vem gradativamente ocorrendo.

Um esforço considerável nesta linha vem ocorrendo no âmbito da região amazônica, no sentido de incentivar redes de pesquisa regional, contando com a participação dos centros ecorregionais da Embrapa nela localizados, complementados pela participação de unidades de pesquisa da Embrapa localizadas em outras regiões, no que vem sendo chamado de Agenda de Integração da Embrapa na Amazônia.

Como exemplos de projetos que abordam sistemas agroflorestais e que bem expressam esta estratégia, podem ser citados: i) *Rede Tipitamba: Tecnologias para melhoria de sistemas de produção da agricultura familiar com base no manejo da capoeira na Amazônia, com ênfase em alternativas ao uso de fogo*, que aborda uma modalidade de sistema agroflorestal seqüencial (Kato et al., 2004), com envolvimento das seis centros ecorregionais localizados na Amazônia, acrescidos da Embrapa Meio Norte (cobrindo a pré-Amazônia Maranhense) e da Embrapa Meio Ambiente; e ii) *Rede Proambiente: Avaliação, Reconhecimento e Validação Científica de Iniciativas Inovadoras de Produção e de Indicadores de Serviços Ambientais nos Pólos do Proambiente*, que envolve várias experiências com sistemas agroflorestais com ênfase na validação dos serviços ambientais, e que inclui os seis centros ecorregionais da Embrapa localizados na Amazônia, além da Embrapa Agrobiologia, Embrapa Florestas, Embrapa Meio Ambiente, Embrapa Monitoramento por Satélite e Embrapa Solos, e que representa um esforço da Embrapa em prover bases científicas a esta relevante iniciativa, que teve início a partir da representação de agricultores familiares do estado do Pará e que a partir de 2003 foi transformada em programa do Governo Federal, no âmbito do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL 2005). Os dois projetos contam com significativa parceria com outras instituições de pesquisa e universidades públicas, instituições do terceiro setor e de representações de grupos de interesse.

#### Projetos Envolvendo Sistemas Agroflorestais Constantes da Carteira de Projetos da Embrapa

A despeito de sua relevância, os sistemas agroflorestais ainda não estão fortemente inseridos na carteira de projetos da Embrapa em nível de abordagem em caráter de sistema, ainda que muitas ações de pesquisa voltadas a componentes atuais e potenciais de sistemas agroflorestais estejam em andamento. Assim, selecionando da lista de cerca de 1.000 projetos de pesquisa registrados ou apropriados pela Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa- SPD, apenas trinta e três abordam sistemas agroflorestais, sob diversos ângulos.

A maioria desses projetos (23, correspondendo a cerca de 70%) é liderada por unidades localizadas na região Norte (Tabela 1), seguido com apenas quatro projetos (correspondendo a cerca de 12%) pela região Centro Oeste.

**Tabela 1 - Distribuição regional dos projetos de pesquisa que abordam sistemas agroflorestais, constantes do cadastro de projetos da Embrapa**

Região	Número e percentagem de projetos
Norte	23 (69,7%)
Nordeste	1 (3,0%)
Sul	3 (9,1%)
Sudeste	2 (6,1%)
Centro Oeste	4 (12,1%)

Analisando a concentração desses projetos por centro de pesquisa da Embrapa (Tabela 2), fica evidente que a maioria dos projetos cadastrados que tratam de sistemas agroflorestais é liderada pela Embrapa Amazônia Oriental (12 projetos, correspondendo a 36,4%), seguido da Embrapa Roraima e Embrapa Agropecuária Oeste com três projetos; Embrapa Acre, Embrapa Agrobiologia, Embrapa Floresta, Embrapa Gado de Corte e Embrapa Meio Ambiente com 2 projetos, e Embrapa Amapá, Embrapa Amazônia Ocidental, Embrapa Cerrado, Embrapa Pecuária Sul e Embrapa Semi-Árido, liderando apenas um projeto.

A visível concentração de ações de pesquisa em sistemas agroflorestais no âmbito da Amazônia

resulta de uma conjugação de fatores, que não inclui apenas a vocação da região para sistemas agroflorestais, mas também o esforço de integração entre unidades da Embrapa, a maior oferta de oportunidades de financiamento de pesquisa nesta linha e a existência de cursos de pós-graduação com áreas de concentração que englobam sistemas agroflorestais, muitos dos quais contando com a parceria de unidades da Embrapa.

**Tabela 2** - Unidades de pesquisa da Embrapa que lideram projetos de pesquisas que envolvem a temática de sistemas agroflorestais com respectivas quantidades de projetos e percentual relativo

Centro	Número e percentagem de Projetos
Acre	2 (6,1%)
Agrobiologia	2 (6,1%)
Agropecuária Oeste	3 (9,1%)
Amapá	1 (3,0%)
Amazônia Ocidental	1 (3,0%)
Amazônia Oriental	12 (36,4%)
Cerrado	1 (3,0%)
Floresta	2 (6,1%)
Gado de Corte	2 (6,1%)
Meio Ambiente	2 (6,1%)
Pecuária Sul	1 (3,0%)
Roraima	3 (9,1%)
Semi Árido	1 (3,0%)

#### Participação da Embrapa nos Congressos Brasileiros de Sistemas Agroflorestais

A Embrapa tem, desde o primeiro Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, realizado em Porto Velho, Rondônia, em 1994, participado ativamente de todos os cinco congressos que antecederam o realizado no ano em curso (VI CBSAF – 2006), envolvendo sempre um numeroso contingente de pesquisadores, de diversos centros, que sempre contribuem com expressivo número de trabalhos publicados nos anais, conforme pode ser verificado na tabela 3.

**Tabela 3** - Participação da Embrapa nos cinco Congressos Brasileiros de Sistemas Agroflorestais anteriores ao VI CBSAF, expressa pelo número de pesquisadores que atuaram como primeiros autores e como co-autores, e o número de centros de pesquisa representados nos trabalhos publicados nos anais

CBSAF	1º Autor	Co-autor	Centros
I	36	76	11
II	47	59	13
III	60	128	12
IV	74	170	17
V	39	149	15

Analisando a participação dos centros de pesquisa da Embrapa nos cinco congressos anteriores, expressa pela publicação de trabalhos nos respectivos volumes de anais é possível verificar, conforme apresentado na tabela 4, que as unidades do Acre, Amazônia Ocidental, Amazônia Oriental, Florestas, Rondônia e Semi-Árido, estiveram representadas em todos os congressos, enquanto que as do Amapá, Meio Norte e Roraima participaram de todos a partir do segundo congresso, e as unidades do Cerrado e Gado de Leite participaram também de quatro congressos, mas de modo não seqüencial, e as demais unidades participaram em menor intensidade dos congressos. Essas cifras ratificam a evidência de concentração mais expressiva de ações de pesquisa envolvendo sistemas agroflorestais em

unidades da Amazônia. Considerando que centros temáticos e de produtos localizados fora daquela região também atuam e em alguns casos até lideram ações de pesquisa desenvolvidas na Amazônia, a concentração de ações de pesquisa em sistemas agroflorestais naquela região poderá ser ainda mais expressiva.

**Tabela 4** - Participação de centros da Embrapa nos cinco Congressos Brasileiros de Sistemas Agroflorestais anteriores ao VI CBSAF, expressa pela geração de trabalhos publicados nos anais dos eventos

Centro da Embrapa	CBSAF				
	I	II	III	IV	V
Acre	X	X	X	X	X
Agrobiologia	X			X	X
Amapá		X	X	X	X
Amazônia Ocidental	X	X	X	X	X
Amazônia Oriental	X	X	X	X	X
Caprinos		X			
Cerrado	X		X	X	X
Floresta	X	X	X	X	X
Gado de Leite	X	X		X	X
Hortaliças				X	
Informática na Agricultura		X			
Meio Ambiente				X	X
Meio Norte		X	X	X	X
Milho e Sorgo			X	X	X
Monitoramento por Satélite		X			
Pantanal	X				
Rondônia	X	X	X	X	X
Roraima		X	X	X	X
Semi-Árido	X	X	X	X	X
Solos	X			X	
Tabuleiros Costeiros			X	X	X

#### Atuação da Embrapa na Formação de Pessoal em Sistemas Agroflorestais

Diversos centros de pesquisa da Embrapa participam ativamente de cursos oferecidos em universidades públicas, em especial em nível de pós-graduação, cuja área de concentração envolve a temática de sistemas agroflorestais, dentre os quais há cursos oferecidos em parceria entre universidades, institutos de pesquisa do MCT e centros da Embrapa.

Miranda et al. (2004) divulgaram a oferta de cursos de graduação e de pós-graduação e de disciplinas enfocando sistemas agroflorestais vigentes em 2004 no ensino universitário do Brasil, que incluía como exemplos de participação da Embrapa os seguintes cursos:

- Mestrados em Engenharia Florestal e Agronomia e Doutorado em Ciências Agrárias com área de Concentração em Sistemas Agroflorestais\*, na então Faculdade de Ciências Agrárias do Pará- FCAP, atual Universidade Federal Rural da Amazônia- UFRA;
- Mestrado em Agriculturas Familiares e Desenvolvimento Sustentável na Universidade Federal do Pará\*;
- Mestrado em Ciência Florestal do Instituto de Pesquisas da Amazônia- INPA (MCT)\* e
- Mestrado em Ciências Agrárias (com área de concentração e Agrosilvicultura) na Fundação Universidade do Amazonas \*\*.

Nos anos subseqüentes a participação da Embrapa em cursos de pós-graduação que abrangem a temática de sistemas agroflorestais foi ampliada em vários estados, como é o caso dos do Amapá, Roraima, Pernambuco, Amazonas, Acre, Pará, Rio de Janeiro, São Paulo, Brasília, Paraná e Maranhão, em especial via a participação de pesquisadores da Embrapa ministrando disciplinas ou segmentos de disciplinas e orientando teses .

Alguns centros, como é o caso da Embrapa Amazônia Oriental, também vêm contribuindo ministrando temas que incluem sistemas agroflorestais, em programas de capacitação no âmbito do Programa Nacional de Educação na Reforma Agrária- Pronera, desenvolvido pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário- MDA e pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária- Incra, em níveis até de ensino médio e superior, utilizando metodologias de ensino específicas para a realidade sociocultural do campo.

A Embrapa também tem participado fortemente na formação de pessoal em sistemas agroflorestais, através de iniciativas conjuntas com outras instituições governamentais e não governamentais brasileiras e via programas de cooperação com instituições internacionais.

Destacam-se, nesse sentido, as ações conjuntas realizadas ao longo de 2004 e de 2005 pela Embrapa Amazônia Oriental, Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira- Ceplac, e Emater Pará, que resultaram no treinamento da maioria dos extensionistas da Ceplac e da Emater Pará e de técnicos da Embrapa, atuantes no estado do Pará.

Em termos de cooperação internacional, destacam-se as ações integradas a centros componentes do Grupo Consultivo de Pesquisa Agrícola Internacional (Consultive Group on International Agricultural Research- CGIAR) [<http://www.cgiar.org>], particularmente, as associadas aos: Centro Agroflorestal Mundial (World Agroforestry Centre- ICRAF) [<http://worldagroforestry.org>]; Programa Alternativas a derruba-e-queima (Alternatives to Slash-and-Burn Programme- ASB) [[www.asb.cgiar.org](http://www.asb.cgiar.org)]; e Consórcio da Iniciativa Amazônica (Amazon Initiative Consortium), constituído por quatro centros componentes do CGIAR e as instituições nacionais de pesquisa agrícola de países da Pan Amazônia e a e que em sua fase inicial, que se estende até outubro de 2007 está sediado no Brasil, abrigado na Embrapa Amazônia Oriental.

Neste contexto, foi particularmente relevante a participação de pesquisadores da Embrapa como instrutores no treinamento em sistemas agroflorestais oferecido em janeiro de 2005, em Belém, Pará, para pesquisadores brasileiros e de demais países da Pan Amazônia, através do *Workshop Internacional Iniciativas Promissoras e Fatores Limitantes para o Desenvolvimento de Sistemas Agroflorestais como Alternativa à Degradação Ambiental na Amazônia*, ao longo de duas semanas, segmentos teórico e prático, este realizado no município de Tomé-Açu, que abriga uma das mais expressivas concentrações de experiências em sistemas agroflorestais tropicais do mundo.

Também merece citar a participação de pesquisadores da Embrapa em ações de treinamento e capacitação em temas associados a sistemas agroflorestais no âmbito do Programa Cooperativo de Pesquisa e Transferência de Tecnologia para os Trópicos Sul Americanos (Programa Cooperativo de Investigación y Transferência de Tecnologia para los Trópicos Sudamericanos- Procitropicos) [<http://www.procitropicos.org.br>], associado ao Instituto Interamericano para Cooperação em Agricultura (Inter American Institute for Cooperation on Agriculture- IICA) [[www.iica.int](http://www.iica.int)], que inclui cursos e treinamentos em diversos aspectos associados a recursos genéticos realizados em vários países da América Latina, no âmbito da Rede Amazônica de Recursos Fitogenéticos- PROPIGEN, uma das redes componentes do Procitropicos.

#### ESTRATÉGIAS VOLTADAS À DIFUSÃO DE INFORMAÇÕES SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS

As informações geradas sobre sistemas agroflorestais nos centros da Embrapa vêm sendo difundidas de formas variadas, para os diversos grupos de interesse, incluindo técnicas como as de dias de campo, unidades demonstrativas, participação em exposições, feiras e em eventos diversos.

Em especial nos três últimos anos, alguns projetos que tratam de sistemas agroflorestais têm usufruído dois veículos relevantes que a Embrapa Informação Tecnológica coordena visando difundir ao grande público, particularmente do meio rural, as tecnologias geradas nos centros da empresa, que

são: o programa semanal de televisão Dia de Campo na TV, que estreou em 1998 e é veiculado todas a sextas-feiras e o programa radiofônico semanal, com duração de quinze minutos Prosa Rural, que está em seu terceiro ano de transmissão, com o patrocínio do Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome- MDS, e que tem programas direcionados para três regiões: semi-árido, norte e centro-oeste.

### PROGRAMA INSTITUCIONAL EM AGROECOLOGIA NA EMBRAPA - CONTRIBUIÇÃO POTENCIAL AO AVANÇO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS

A Embrapa, a partir do segundo semestre de 2005 vem organizando o seu Programa Institucional em Agroecologia que, gradativamente, vem envolvendo a totalidade dos seus centros de pesquisa, a partir de uma reunião de trabalho realizada em outubro de 2005 com representantes de 32 dos 37 centros de pesquisa da empresa, representantes de instituições governamentais, do terceiro setor e representações de movimentos sociais associados à temática, onde foram divulgadas as ações que a Embrapa vinha realizando em Agroecologia e levantado o que as outras instituições esperavam da Embrapa naquele tema. A iniciativa que, num processo contínuo vem tratando do tema junto às diversas esferas gerenciais da Embrapa, incluindo unidades centrais e a totalidade dos chefes gerais dos centros de pesquisa, gerou um Marco Referencial em Agroecologia, que vem sendo aprimorado via processo participativo.

A implantação do Programa Institucional em Agroecologia na Embrapa certamente beneficiará ações que envolvam sistemas agroflorestais já que vários sistemas agroflorestais podem ser encarados como instrumentos para a implantação de processos de transição agroecológica junto a vários segmentos do setor agrícola, em especial da agricultura familiar, mas também junto a segmentos que atuam em escala empresarial, por exemplo, via sistemas de integração lavoura/ pecuária/ silvicultura (que na realidade são modalidades de sistemas agrossilvipastoris), que são passíveis de incorporar alguns passos da transição agroecológica, como os de redução e racionalização do uso de insumos químicos, substituição de insumos, manejo da biodiversidade e redesenho de sistemas produtivos.

### PD&I FUTUROS

Temas a serem Incluídos ou Fortalecidos para Ampliar o Potencial de Adoção e a Efetividade de Sistemas Agroflorestais

Considerando o papel que os sistemas agroflorestais podem representar para diferentes escalas de produção agrícola nos diversos biomas do Brasil, é oportuno elencar e buscar meios para viabilizar prioridades em PD&I no âmbito da missão da Embrapa. Assim, serão apresentadas em blocos coerentes, algumas prioridades em PD&I para atuação da Embrapa:

#### 1) Zoneamento e monitoramento de atividades agroflorestais

- Transposição de escala (*up scaling*) de experiências em sistemas agroflorestais visando definição de faixas de aptidão à sua adoção;
- Adaptação de sistemas desenvolvidos para zoneamentos de monocultivos para adoção em grupos de sistemas agroflorestais de relevância a diferentes regiões do país;
- Aperfeiçoamento de técnicas de geoprocessamento para monitoramento de sistemas agroflorestais.

#### 2) Suporte a tomadas de decisão em sistemas agroflorestais

- Compreensão de processos associados à produção e à sustentabilidade em sistemas agroflorestais;
- Modelagem e simulação aplicadas a sistemas agroflorestais;
- Desenvolvimento ou adaptação de ferramentas computadorizadas para suporte a tomadas de decisão em agrossilvicultura.

#### 3) Contribuição à manutenção e manejo da biodiversidade

- Domesticação de espécies nativas com potencial de uso como componentes em sistemas agroflorestais (incluindo abordagem participativa);

- Monitoramento e manejo da diversidade biológica e genética em sistemas agroflorestais;
- Aplicação da abordagem de agrobiodiversidade a sistemas agroflorestais;
- Interação com povos indígenas e populações tradicionais.

#### 4) Melhoria na cadeia de produtos oriundos de sistemas agroflorestais

- Adaptação de critérios de boas práticas à cadeia de produtos oriundos de sistemas agroflorestais;
- Agregação de valor a produtos gerados em sistemas agroflorestais.

#### 5) Subsídios à formulação de políticas que viabilizem ampliar a adoção de sistemas agroflorestais

- Síntese e análise dos principais resultados sobre sistemas agroflorestais;
- Quantificação e valoração de serviços ambientais em diferentes escalas;
- Coeficientes técnicos para financiamento de projetos agropecuários voltados a sistemas agroflorestais.

#### 6) Diversificação de produtos em sistemas agroflorestais

- Espécies com potencial de uso medicinal, aromático, nutracêutico, inseticida;
- Espécies com potencial agroenergético;
- Espécies associadas à segurança alimentar;
- Espécies com potencial madeireiro;

#### 7) Estratégias em relação a mudanças climáticas

- Efetividade da adoção de sistemas agroflorestais para reduzir riscos de contribuir para mudanças climáticas (associada à prestação de serviços ambientais);
- Desenho de sistemas agroflorestais para conviver com mudanças climáticas;
- Modelagem e simulação para avaliar sistemas agroflorestais em cenários de mudanças climáticas.

### Implicações de Novos Desafios da Embrapa sobre PD&I em Sistemas Agroflorestais

A Embrapa recentemente se dispôs a enfrentar três grandes desafios de diferentes ordens cuja repercussão em termos de ações que envolvam sistemas agroflorestais merece ser analisada, são eles: i) agroenergia; ii) escritório regional na África; e iii) projeto integrado voltado à recuperação de áreas degradadas nas diferentes regiões do país.

- Agroenergia*: demanda uma avaliação da viabilidade de adoção de sistemas agroflorestais para a produção de agroenergia, considerando demandas diferenciadas, em termos das variações regionais, do objetivo da produção de agroenergia e da natureza das espécies envolvidas. Há um considerável potencial de utilização de uma gama de palmeiras nativas da Amazônia e de regiões de transição, por exemplo, para abastecer populações isoladas, e que poderiam ser manejadas ou cultivadas em sistemas agroflorestais. Há também uma ampla possibilidade de produção de carvão e lenha via componentes de sistemas agroflorestais diversos (multiestratos, sistemas agrossilvipastoris, por exemplo).
- Escritório regional da Embrapa na África*: a presença da Embrapa no continente africano certamente trará vários desafios envolvendo a possibilidade de utilização de sistemas agroflorestais, o que exigirá uma participação efetiva das equipes que vêm atuando neste tema nas diversas ecorregiões brasileiras, para definir estratégia para os ambientes africanos, a depender da natureza da demanda. Também é relevante analisar o desafio que se fará presente nesta relação com outras instituições que atuam em PD&I sobre sistemas agroflorestais naquele continente, como é o caso, por exemplo, do ICRAF e do CGIAR.
- Projeto integrado voltado à recuperação de áreas degradadas nas diferentes regiões do país*: é uma ação que deverá ser realizada associada ao processo de revitalização das Organizações Estaduais de Pesquisa Agrícola, contando com a participação da Rede de Inovação e Prospecção para o Agronegócio

– RIPA, e que será um campo amplo para ações de PD&I envolvendo sistemas agroflorestais, e que exigirá a intensificação da agenda de integração entre centros ecorregionais, temáticos e de produtos, no foco e dimensão exigidos pela diversidade de demandas resultantes das diferenças regionais e da natureza dos processos de degradação presentes. Este segmento se reveste de particular importância para a Amazônia Legal, onde no momento em que estão sendo disponibilizados zoneamentos ecológicos econômicos dos estados que a compõem, há uma grande demanda pela oferta de sistemas agrossilvipastoris (integração lavoura/ pecuária/ silvicultura) para adoção em áreas já desmatadas e ocupadas inicialmente por pecuária ou por plantios de cultivos anuais (como milho, soja, arroz e feijão caupi), muitas das quais já em processo de degradação. Os recentes avanços alcançados na política florestal brasileira, que incluem a criação de Distritos Florestais Sustentáveis, também abrem uma ampla demanda pela oferta de sistemas agroflorestais compatíveis com a realidade das áreas já desmatadas que se encontram nos limites desses distritos.

### CONCLUSÕES

À Embrapa cabe ser um dos principais contribuintes à realização do grande desafio de viabilizar bases científicas à implantação e manejo de sistemas agroflorestais, de modo que sua adoção em grande escala permita que o país usufrua os benefícios sociais, econômicos e ecológicos que essa prática tem o potencial de oferecer e o conjunto de centros de pesquisa e de serviços que a Embrapa possui, e que abrigam equipes de alto nível e de considerável infra-estrutura de pesquisa são, sem dúvida, um grande trunfo a ser utilizado para dinamizar ações voltadas a disponibilizar sistemas agroflorestais compatíveis às múltiplas realidades que o país encerra.

O momento é particularmente propício a que esta linha de pesquisa mereça um espaço compatível à sua magnitude, na agenda de pesquisa da empresa, em função das demandas externas e de políticas nacionais, como ocorre quanto à destinação de áreas já desmatadas da Amazônia.

Faz-se necessária a identificação e a viabilização de arranjos institucionais que permitam que a Embrapa possa atuar de forma fluente, contando com o aporte de conjuntos de centros relacionados às diferentes situações, e em parceria com outras instituições públicas, privadas e do terceiro setor, na implantação de sistemas agroflorestais que poderão representar um grande avanço, rumo ao marco desejável do desenvolvimento sustentável.

### LITERATURA CITADA

- BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Certificação de serviços ambientais do Proambiente, Ministério do Meio Ambiente, Programa de Desenvolvimento Socioambiental da Produção Familiar Rural- Proambiente. III, Brasília, 2005. 26p.
- KATO, O.R.; KATO, M. do S.A.; SÁ, T.D. de A. & FIGUEIREDO, R.O. Plantio direto na capoeira. *Ciência & Ambiente*, 29:99-111, 2004.
- MIRANDA, I. S.; SÁ, T. D. DE A. & MENEZES, M. Situação atual e perspectivas do ensino, capacitação e pesquisa agroflorestal no Brasil: uma abordagem com ênfase na região Amazônica. In: MÜLLER, M. W.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BRANDÃO, I.C.F.L. & SERÓDIO, M.H.C.F. *Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos: Sustento da vida e sustento de vida*. Ilhéus, SBSAF/CEPLAC/UENF, 2004. p.243- 255.

\* Em parceria com a Embrapa Amazônia Oriental

\*\* Em parceria com a Embrapa Amazônia Ocidental

## **Sistemas Agroflorestas: Interface Ensino - Extensão**

RENATO LUIZ GRISI MACEDO & NELSON VENTURIN

### **INTRODUÇÃO**

O desenvolvimento, a consolidação e a difusão do potencial de utilização de sistemas agroflorestais no Brasil dependem da existência e atuação de profissionais qualificados em agrosilvicultura, da constante geração de conhecimentos e de novas tecnologias agroflorestais direcionadas e aplicadas às realidades nacionais e regionais. E, de uma efetiva e atuante extensão agroflorestal.

A análise das abrangências e qualidade das temáticas e dos trabalhos retratados nos cinco Congressos Brasileiros de Sistemas Agroflorestais (1994, 1997, 2000, 2002 e 2004) evidencia a importância, o crescimento, a participação efetiva e o reconhecimento da ciência agroflorestal brasileira, como alternativa ao desenvolvimento sustentável.

Miranda et al. (2004) constataram que a distribuição na oferta de cursos de graduação e pós-graduação que abordavam sistemas agroflorestais associada às instituições de pesquisa que atuavam nesta vertente já era suficiente, na época, para a geração de massa crítica para consolidar grupos de pesquisa e de difusão de sistemas agroflorestais no Brasil.

Porém, para a continuidade, expansão e plena aplicabilidade no campo da ciência agroflorestal é imprescindível a formação de profissionais capacitados e qualificados com experiências, principalmente, para decodificarem e conciliarem os conhecimentos científicos agroflorestais aos conhecimentos tradicionais de manejo de agroecossistemas, e difundi-los de maneira participativa coerente com as demandas da sociedade contemporânea.

Assim, os objetivos deste trabalho são:

- a) Destacar a importância do ensino e da extensão universitária como pré-requisitos básicos, essenciais para a formação prática agroflorestal dos futuros profissionais brasileiros; e
- b) Realçar a importância da extensão agroflorestal como pré-requisito essencial para a difusão, consolidação e expansão dos sistemas agroflorestais no Brasil.

### **ENSINO AGROFLORESTAL**

As ações concretas para se promover um uso mais sustentável dos recursos naturais renováveis e a difusão dos sistemas agroflorestais com protótipos alternativos de sustentabilidade passam indubitavelmente pela formação dos profissionais que serão os futuros formadores de opinião e potenciais motivadores dessas ações. Porém, de um modo geral, o que se observa na formação dos profissionais de ciências agrárias é somente o repasse de conhecimentos embasados na reprodução de paradigmas ultrapassados.

Segundo Peneireiro (2004) as metodologias didáticas utilizadas na maioria dos cursos estimulam simplesmente a reprodução de modelos de uso de receitas; e não o raciocínio, a visão crítica e a criatividade do aluno. Ou seja, a passividade é estimulada em detrimento do questionamento.

A consequência dessa metodologia de ensino é a desmotivação dos estudantes e o estabelecimento de uma relação desagradável com as instituições de ensino estabelecidas. O resultado dessa abordagem unilateral do ensino raras vezes leva a formação de profissionais criativos, capazes de tomar decisões e serem inovadores. De um modo geral, a grande maioria dos profissionais formados nestes sistemas detêm um diploma, porém, falta-lhes a coragem, ousadia, confiança, segurança, determinação, envolvimento e conscientização para acalentar sonhos de transformações sociais e serem vetores, idealizadores, difusores e construtores dos objetivos mais nobres de melhorias de qualidade de vida para as populações rurais brasileiras.

Os procedimentos envolvidos no manejo sustentável dos SAF's demandam gerenciamento de fatores interdisciplinares, o que exige dos profissionais aptidões para trabalho integrado com uma diversidade de setores da sociedade.

Esta percepção deve ser abordada pelas instituições que buscam incorporar novas disciplinas no currículo de formação para capacitar profissionais com um maior horizonte crítico e habilidade para desenvolver trabalhos em grupos diversificados.

Para a formação do profissional cidadão é imprescindível sua efetiva interação com a sociedade, seja para se situar historicamente, para se identificar culturalmente e, ou, para referenciar sua formação técnica com os problemas que um dia terá de enfrentar.

O perfil do profissional cidadão deve estar imbuído por princípios de ética ambiental, estar envolto em espírito de amorosidade e estar disposto a doar a sua contrapartida a sociedade, dispensando atenção especial ao atendimento às populações menos favorecidas, exercer a sua cota de cidadania com consciência social e responsabilidade profissional. Ter humildade e sabedoria suficientes para compartilhar os etnoconhecimentos tradicionais, compaixão e respeito aos direitos humanos, alegria e gratidão pela oportunidade de vivenciar a experiência única de fazer parte desta maravilhosa biodiversidade e, coragem suficiente para estimular e promover a conservação sustentável dos recursos naturais, essenciais a sobrevivência e melhoria da qualidade de vida das populações rurais brasileiras.

Para realizar a tarefa de incorporar essa nova cultura agroflorestal nas comunidades, o papel do profissional, em especial o Engenheiro Florestal, ganha importância elevada, consoante com a responsabilidade e amplitude da tarefa a ser realizada. O profissional deve estar apropriadamente preparado para conciliar os conhecimentos científicos e os saberes das comunidades tradicionais.

Para realizar esta missão, os cursos de engenharia florestal deverão preparar os futuros profissionais, oferecendo um conhecimento científico multidisciplinar embasado em sólidos referenciais de agroecologia, agrossilvicultura, ecofisiologia, solos / nutrição / fertilidade, conservação de recursos naturais renováveis, controle de plantas invasoras, entomologia, fitopatologia, legislação ambiental, sociologia, extensão florestal, informática e comunicações e, sobre desenvolvimento sustentável, além da formação básica profissional da engenharia florestal. E, ainda, estimular vivências práticas, promovidas por atividades de extensão universitária e, ou, estágios extracurriculares, suficientes para transformar estes conhecimentos em práticas sustentáveis de manejo racional dos recursos naturais renováveis, coerente com a capacidade de suporte do local.

#### IMPORTANCIA DA EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA PARA A FORMAÇÃO AGROFLORESTAL

O artigo 207 da Constituição Brasileira dispõe que “As universidades gozam de autonomia didático-científica, administrativa e de gestão financeira e patrimonial e obedecerão ao princípio da indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão”. Ensino, pesquisa e extensão constituem as três funções básicas da Universidade, as quais devem ser equivalentes e merecer igualdade em tratamento por parte das instituições de ensino superior, pois, ao contrário estarão violando esse preceito constitucional (Silva, 1997).

A universidade interfere na sociedade, na perspectiva de sua transformação, em sua função de

produção de conhecimento e qualificação de recursos humanos, por meio de suas ações de ensino, pesquisa e extensão. O Fórum Nacional de Pró-Reitores de Extensão das Universidades (2000), considera o trabalho acadêmico como um processo orgânico e contínuo que se estende desde a produção até a sistematização do conhecimento e a transmissão dos resultados. Nessa perspectiva, a extensão é concebida como “um processo educativo, cultural e científico que articula o ensino e a pesquisa de forma indissociável e viabiliza a relação transformadora entre universidade e sociedade”.

A indissociabilidade entre as atividades de extensão, ensino e pesquisa é fundamental no fazer acadêmico. A relação entre o ensino e a extensão supõe transformações no *processo pedagógico*, pois professores e alunos constituem-se como sujeitos do ato de ensinar e aprender, levando à socialização do saber acadêmico. A relação entre extensão e pesquisa ocorre no momento em que a produção do conhecimento é capaz de contribuir para a melhoria das condições de vida da população. A extensão, como ação que viabiliza a interação entre a universidade e a sociedade, constitui elemento capaz de operacionalizar a relação teoria-prática, promovendo a troca entre os saberes acadêmico e popular.

A Extensão é o princípio pedagógico que se fundamenta no respeito à autonomia, à igualdade de direitos e às diferenças. Baseia-se na necessidade de formar profissionais preparados para enfrentar os desafios colocados pela realidade social do país e de criar metodologias inovadoras que colaborem com o processo de inclusão social e com a superação da condição de exclusão em que vive grande parte da população brasileira. O espaço da Extensão permite à Universidade aproximar-se do conhecimento das classes populares e ter contato com a forma de pensar das comunidades. Isto possibilita mais do que uma simples troca entre o saber popular e o acadêmico, uma elaboração conjunta, onde cada um colabora, com sua lógica, de forma ativa para a construção de um conhecimento transformador (Unisantos, 2004).

A extensão universitária, segundo Freire (1989) pode ser considerada como um processo acadêmico definido e efetivado em função das exigências da realidade, indispensável na formação do aluno, na qualificação do professor e no intercâmbio com a sociedade. A atividade acadêmica é capaz de imprimir um novo rumo à universidade brasileira e de contribuir significativamente para a mudança da sociedade.

A universidade transmite o conhecimento por meio do ensino, aos educandos. Por meio da pesquisa aprimora os conhecimentos existentes e produz novos conhecimentos. Por meio da extensão, pode proceder a difusão, socialização e democratização do conhecimento existente, bem como das novas descobertas. A Extensão também propicia a complementação da formação dos universitários, dada nas atividades de ensino, com a aplicação prática. Assim, forma-se um ciclo onde a pesquisa aprimora e produz novos conhecimentos, os quais são difundidos pelo ensino e pela extensão, de maneira que as três atividades tornam-se complementares e dependentes, atuando de forma sistêmica.

A extensão universitária é a forma de a universidade socializar e democratizar o conhecimento, levando-o aos não universitários. Assim, o conhecimento não se traduz em privilégio apenas da minoria que é aprovada no vestibular, mas também difundido à comunidade, consoante os próprios interesses dessa mesma comunidade.

As atividades de extensão bem planejadas, bem estruturadas e bem executadas permitem à universidade preparar seus profissionais, não somente com a estratégia do ensino-transmissão, mas complementando a formação com a estratégia do ensino-aplicação. É na extensão que os universitários vão entender e fundamentar os conceitos e teorias aprendidas nas atividades de ensino, consolidando e complementando o aprendizado com a sua aplicação. Daí um dos grandes méritos da extensão é permitir a efetivação do aprendizado pela aplicação.

Um velho provérbio chinês datado de quatro mil anos a.C. já expressava: “Se decoro, esqueço; se vejo, lembro-me; se faço, aprendo”.

A experiência tem demonstrado a atualidade desse provérbio e que o verdadeiro aprendizado acontece realmente com o relacionamento da teoria com a prática; ou seja, aprende-se fazendo. (Silva, 1997).

Segundo o Fórum de Pró-Reitores de Extensão das Universidades Públicas Brasileiras (2001), quando se considera a relação ensino-extensão, discute-se e aprofunda-se um novo conceito de sala de aula, que não se limita ao espaço físico da dimensão tradicional, mas compreende todos os espaços, dentro e fora da universidade, em que se realiza o processo histórico-social com suas múltiplas determinações, passando a expressar um conteúdo multi, inter e transdisciplinar, como exigência decor-

rente da própria prática. E, o estágio curricular é considerado como um dos instrumentos que viabilizam a extensão enquanto momento da prática profissional, da consciência social e do compromisso político, devendo ser obrigatório para todos os cursos, desde o primeiro semestre, se possível, e estar integrado a projetos dos departamentos e à temática curricular, sendo computado para a integralização do currículo de docentes e discentes.

Ensino-extensão representa o ensino alicerçado no concreto, situado e datado, passa, então, a fazer da sala de aula o lugar de “acontecimentos do mundo”. É a oportunidade na qual a teoria e a prática se fundem e perdem as fronteiras, sem tornarem-se excludentes. Pesquisa-extensão, por sua vez, representa a pesquisa produzida a partir de um diagnóstico da realidade, como fonte de definições de intervenções sobre os problemas sociais, como forma de pensar os problemas e identificar soluções. Além de instrumentalizadora deste processo dialético de teoria-prática, a extensão é um trabalho interdisciplinar que favorece a visão integrada do social (Botomé, 1996).

É neste sentido que a extensão ocupa lugar privilegiado na academia porque é capaz de transformar o saber acadêmico em um bem público, de transformar conhecimento em sabedoria e de ser uma espécie de tempero ético que dá sabor de vida ao Ensino e à Pesquisa (Freire, 2001).

Pode-se afirmar que as expectativas de interdependência – inter-relações almeçadas na comunhão entre ensino–pesquisa–extensão se concretizam plenamente através do movimento de mutirão agroflorestal, considerado como rede de integração e troca de experiências para a consolidação dos conhecimentos e difusão de agroflorestas.

Segundo Garrote et al (2002), a atuação do grupo Mutirão Agroflorestal se estende a partir de 1996 e, foi formado por profissionais e estudantes das áreas de ciências agrárias, biológicas e humanas e de agricultores de diversas regiões do Brasil. A sua principal característica é a integração de pessoas em torno da aprendizagem, das experiências, das vivências e práticas, com enfoques interdisciplinares e holísticos, que as abordagens de agroflorestas e educação ambiental requerem e possibilitam.

Os principais objetivos do grupo Mutirão Agroflorestal são: a) construção coletiva do conhecimento em agrofloresta a partir do trabalho prático participativo; b) capacitação de técnicos, estudantes e agricultores em técnicas de manejo e estratégias de desenvolvimento rural sustentável, baseado em agrofloresta; c) desenvolvimento de metodologias educativas com vivência na implantação, manejo e avaliação de agroflorestas e; d) difusão dos princípios e técnicas de manejo agroflorestal a partir de vivências práticas. Garrote et al (2002) relatam que já ocorreram 36 mutirões com uma participação média de 30 pessoas por encontro.

As áreas implantadas com agroflorestas nas diversas regiões constituem os núcleos onde se realizam os mutirões agroflorestais e, são as unidades experimentais e demonstrativas que aglutinam instituições e pessoas, transformando-se em pólos de irradiação e difusão da proposta.

Os encontros (Mutirões) ocorrem normalmente a cada dois meses e promovem a construção do conhecimento integrado entre os participantes. Tais encontros geram e sistematizam informações sobre agroflorestas e processos educacionais, por meio de: a) diagnósticos, planejamento, implantação e manejo de áreas experimentais demonstrativas em diversos contextos sócio-ambientais; b) troca de experiências; c) dinâmicas e vivências para estimular a percepção e compreensão dos ecossistemas e, d) atividades lúdicas como processo didático e expressão dos aprendizados.

A importância deste trabalho é enorme por se tratar de uma atividade educativa, com amplo potencial de disseminação pelos participantes e significativas contribuições para a geração de conhecimentos sobre agroflorestas, a partir de uma metodologia participativa, embasada em aprendizado prático e vivências que estimulam a sinergia, a integração e a cooperação entre pessoas e instituições, capazes de criarem vínculos vitalícios de participação conjunta por meio da Rede Agroflorestal. As redes entre organizações e pessoas desempenham função de grande importância para as sociedades sustentáveis, pois, ao conectarem informações e atividades criam as bases para se atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável (Garrote et al, 2002).

O ensino precisa da pesquisa para oxigená-lo, aprimorá-lo e inová-lo, pois, ao contrário, corre o risco da estagnação. O ensino necessita da extensão para levar seus conhecimentos à comunidade e complementá-los com aplicações práticas. A extensão precisa dos conteúdos, educandos e professores do ensino para ser efetivada. A extensão necessita da pesquisa para diagnosticar e oferecer soluções para problemas diversos com os quais irá deparar-se, bem como, para que esteja constantemente atualizando-se. Por sua vez, a pesquisa prescinde dos conhecimentos detidos pelo ensino, como base

de partida para novas descobertas. Além disso, a pesquisa depende do ensino e da extensão para difundir e aplicar sua produção, e assim, indicar-lhe os novos rumos a seguir.

A qualidade e o sucesso dos profissionais formados pelas universidades dependem, diretamente, do nível de desenvolvimento, equilíbrio e harmonia entre essas três áreas da Universidade. É difícil conceber universitários bem formados sem a influência dessa formação sistêmica interdependente e complementar que deve ser propiciada pelo ensino, pesquisa e extensão.

### EXTENSÃO AGROFLORESTAL

De acordo com a Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (MDA - SAF, 2004) as atividades de Assistência Técnica e Extensão Rural – ATER, passaram a ser coordenadas pela Secretaria da Agricultura Familiar – SAF, do Ministério do Desenvolvimento Agrário – MDA, como estabelece o Decreto nº 4.739, de 13 de junho de 2003. Neste contexto, se insere também à extensão agroflorestal.

A extensão agroflorestal pode ser definida como o “processo de intervenção de caráter educativo e transformador, baseado em metodologias de investigação e ação participante que permitam o desenvolvimento de uma prática social, mediante a qual os sujeitos do processo buscam a construção e sistematização de conhecimentos que os leve a agir conscientemente sobre a realidade”. Visa promover um desenvolvimento socialmente equitativo e ambientalmente sustentável, adotando os princípios teóricos da Agroecologia como critério para a geração e seleção das soluções mais adequadas e compatíveis com as especificidades de cada agroecossistema e do sistema cultural das pessoas envolvidas no seu manejo (adaptada de Caporal, 1998).

A *Extensão Agroflorestal* se caracteriza como uma forma de intervenção planejada para o estabelecimento de estratégias de desenvolvimento rural sustentável, com ênfase na participação popular, na agricultura familiar e nos princípios da Agroecologia. O seu sucesso dependerá do que se denomina de um “novo profissionalismo”, capaz de compreender que os agricultores tradicionais, no processo de inserção em sua matriz social, estão submetidos a um contexto ecológico específico e sua socialização ocorre mediante um processo de aprendizagem, experimentação e erro, mediado pelo conhecimento de processos biológicos e sociais já presentes no seu entorno sócio-cultural.

A missão da extensão agroflorestal é participar, promover e animar os processos capazes de contribuir para a construção e execução de estratégias de desenvolvimento agroflorestal sustentável, centrado na expansão e fortalecimento da agricultura familiar e da sua organização, por meio de metodologias educativas e participativa, integradas às dinâmicas locais, buscando viabilizar as condições para o exercício da cidadania e a melhoria da qualidade de vida da sociedade.

O fortalecimento da agricultura familiar, a melhoria da qualidade de vida das populações rurais e a difusão dos princípios de agroecologia são os eixos orientadores das ações da extensão agroflorestal. E dentre os pilares fundamentais que sustentam a mesma, destaca-se o respeito à pluralidade e às diversidades sociais, econômicas, étnicas, culturais e ambientais do país, o que implica na necessidade de incluir enfoques de gênero, de geração, de raça e de etnia nas orientações de projetos e programas.

Sobretudo, cabe enfatizar que a busca da inclusão social da população rural brasileira mais pobre deve ser elemento central de todas as ações orientadas pela extensão agroflorestal.

Frente aos desafios impostos pela necessidade de implementar estratégias de produção agroflorestal, que sejam compatíveis com os ideais do desenvolvimento sustentável, a extensão agroflorestal deverá romper com o modelo extensionista baseado na Teoria da Difusão de Inovações e nos tradicionais pacotes da “Revolução Verde”, substituindo-os por novos enfoques metodológicos participativos e, outro paradigma tecnológico, relacionado aos fundamentos científicos da agroecologia, que viabilizem sua atuação.

A transição agroecológica que já vem ocorrendo em várias regiões, indica a necessidade de resgate e construção de conhecimentos sobre distintos agroecossistemas, variedades de sistemas culturais e condições socioeconômicas (Altieri, 2002).

Para dar conta destes desafios, os serviços públicos da extensão agroflorestal devem ser executados mediante o uso de metodologias participativas, devendo seus agentes desempenhar um papel educativo, atuando como animadores e facilitadores de processos de desenvolvimento rural sustentável. Ao mesmo tempo devem privilegiar o potencial endógeno das comunidades e territórios, resgatar e

interagir com os conhecimentos dos agricultores familiares e demais povos que vivem e trabalham no campo em regime de economia familiar, e estimular o uso sustentável dos recursos locais. Ao contrário da prática extensionista convencional, estruturada para transferir pacotes tecnológicos, a extensão agroflorestal deve atuar partindo do conhecimento e análise dos agroecossistemas, adotando um enfoque holístico e integrador de estratégias de desenvolvimento, além de uma abordagem sistêmica capaz de privilegiar a busca de equidade e inclusão social, bem como a adoção de bases tecnológicas que aproximem os processos produtivos das dinâmicas ecológicas.

Isto exige uma postura institucional comprometida com a realidade local e um novo profissionalismo, que esteja centrado em uma práxis que respeite os diferentes sistemas culturais, contribua para melhorar os patamares de sustentabilidade ambiental dos agroecossistemas, a conservação e a recuperação dos recursos naturais e, ao mesmo tempo, assegure a produção agroflorestal, com melhor qualidade biológica, e acessíveis ao conjunto da população. Para isto é fundamental que os extensionistas possuam os conhecimentos e habilidades agroflorestais requeridas para a execução desta missão.

E, que reconheçam a pluralidade, as diferenças regionais, à diversidade socioeconômica e ambiental existente no meio rural e nos diferentes territórios, abrindo espaço para experiências de caráter bastante variado, porém, guiadas por metodologias participativas que conciliem o saber local com os princípios científicos da ciência agroflorestal.

Os princípios norteadores da extensão agroflorestal, apresentados a seguir foram adaptados das recomendações gerais da Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (MDA - SAF, 2004):

- 1) Assegurar, com exclusividade aos agricultores familiares assentados por programas de reforma agrária, extrativistas, ribeirinhos, indígenas, quilombolas, pescadores artesanais, povos da floresta, seringueiros e outros públicos definidos como beneficiários dos programas do MDA/SAF, o acesso a serviço de assistência técnica e extensão agroflorestal pública, gratuita, de qualidade e em quantidade suficiente, visando o fortalecimento da agricultura familiar;
- 2) Contribuir para a promoção do desenvolvimento rural sustentável, com ênfase em processos de desenvolvimento endógeno, apoiando os agricultores familiares e demais públicos descritos anteriormente, na potencialização do uso sustentável dos recursos naturais;
- 3) Adotar uma abordagem multidisciplinar e interdisciplinar, estimulando a adoção de novos enfoques metodológicos participativos e de um paradigma tecnológico baseado nos princípios da Agroecologia;
- 4) Estabelecer um modo de gestão capaz de democratizar as decisões, contribuir para a construção da cidadania e facilitar o processo de controle social no planejamento, monitoramento e avaliação das atividades, de maneira a permitir a análise e melhoria no andamento das ações;
- 5) Desenvolver processos educativos permanentes e continuados, a partir de um enfoque dialético, humanista e construtivista, visando a formação de competências, mudanças de atitudes e procedimentos dos atores sociais que potencializem os objetivos de melhoria da qualidade de vida e de promoção do desenvolvimento rural sustentável;
- 6) Apoiar ações específicas voltadas à construção da equidade social e valorização da cidadania, visando à superação da discriminação, da opressão e da exclusão de categorias sociais, tais como as mulheres, trabalhadoras rurais, os quilombolas e os indígenas;
- 7) Contribuir para a melhoria da renda, da segurança alimentar e da diversificação da produção agroflorestal, para a manutenção e geração de novos postos de trabalho em condições compatíveis com o equilíbrio ambiental e com os valores sócio-culturais dos grupos envolvidos;
- 8) Potencializar processos de inclusão social e de fortalecimento da cidadania, por meio de ações integradas, que tenham em conta as dimensões: ética, social, política, cultural, econômica e ambiental da sustentabilidade;
- 9) Desenvolver ações que levem à conservação, recuperação e proteção dos ecossistemas e da biodiversidade e, ao manejo sustentável de agroecossistemas, visando assegurar que os processos produtivos agroflorestais evitem danos ao meio ambiente e riscos à saúde humana e animal;
- 10) Incentivar a construção e consolidação de formas associativas que, além de criar melhores formas de competitividade sejam geradoras de laços de solidariedade e fortaleçam a capacidade de intervenção coletiva dos atores sociais como protagonistas dos processos de desenvolvimento agroflorestal sustentável;

- 11) Promover a valorização do conhecimento e do saber local e apoiar os agricultores familiares e demais públicos da extensão agroflorestal, no resgate de saberes capazes de servir de referência para ações transformadoras da realidade;
- 12) Orientar a construção de sistemas produtivos e estratégias de desenvolvimento agroflorestal sustentável norteados pelos princípios da agroecologia, considerando a amplitude conceitual deste novo enfoque científico;
- 13) Adotar o planejamento das ações com base no território rural, sempre considerando as dimensões econômicas, ambientais, sociais, culturais e políticas do desenvolvimento sustentável num contexto de relações de trabalho e de vida;
- 14) Considerar a complexidade e o dinamismo dos sistemas e das cadeias de produção, assim como os limites econômicos e sócio-ambientais em que se desenvolvem, de modo a contribuir para o redimensionamento, redesenho e uso adequado dos meios de produção disponíveis e ao alcance dos agricultores familiares e demais públicos da extensão agroflorestais;
- 15) Considerar as especificidades relativas à etnias, raças, gênero, geração e diferentes condições socioeconômicas e culturais das populações rurais em todos os programas, projetos de extensão agroflorestal e atividades de capacitação;
- 16) Apoiar o estabelecimento de redes solidárias de cooperação que ajudem a potencializar e articular o conhecimento necessário para estabelecer processos sustentáveis de desenvolvimento local e territorial;
- 17) Estimular a democratização dos processos de tomada de decisão, assim como a participação de todos os membros da família na gestão da unidade familiar e nas estratégias de desenvolvimento das comunidades e territórios;
- 18) Contribuir na orientação dos processos organizativos e de capacitação de jovens e de mulheres trabalhadoras rurais, considerando suas especificidades sócio-culturais;
- 19) Fortalecer iniciativas educacionais apropriadas para agricultura familiar, tendo como referência a pedagogia da prática, assim como outras experiências educacionais construídas a partir da realidade dos agricultores familiares;
- 20) Desenvolver ações que possibilitem e garantam o resgate de sementes e de raças tradicionais de animais, contribuindo diretamente para evitar a erosão genética e para assegurar a conservação da biodiversidade;
- 21) Promover abordagens metodológicas que sejam participativas e utilizem técnicas vivenciais, estabelecendo estreita relação entre teoria e prática, propiciando a construção coletiva de saberes, o intercâmbio de conhecimentos e o protagonismo dos atores na tomada de decisões.

As orientações metodológicas para as ações da Extensão Agroflorestal devem ter um caráter educativo, com ênfase na pedagogia da prática, promovendo a geração e apropriação coletiva de conhecimentos e a adaptação e adoção de tecnologias agroflorestais para se atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável das comunidades rurais.

Deste modo, a intervenção dos agentes da extensão agroflorestal deve ocorrer de forma democrática, adotando metodologias participativas e uma pedagogia construtivista e humanista, tendo sempre como referência a realidade e o conhecimento local. Isso se traduz, na prática, pela animação e facilitação de processos coletivos capazes de resgatar a história, identificar problemas, estabelecer prioridades e planejar ações para alcançar soluções compatíveis com os interesses, necessidades e possibilidades dos protagonistas envolvidos. Esta metodologia deve permitir, também, a avaliação participativa dos resultados e do potencial de multiplicação das soluções encontradas, para situações semelhantes em diferentes ambientes.

No processo de desenvolvimento rural sustentável atualmente desejado o papel das instituições, bem como dos agentes extensionistas, do ensino e da pesquisa, deverá ser exercido mediante uma relação dialética e dialógica com os agricultores e demais públicos da extensão, a partir da problemática sobre os fatos concretos da realidade.

Dessa forma, é necessário adotar-se um enfoque metodológico que gere relações de co-responsabilidade entre os participantes, suas organizações e as instituições apoiadoras ou prestadoras de serviços, tanto na fase de planejamento como na de execução, de monitoramento e de avaliação das ações. Logo, a obtenção de resultados esperados estará subordinada ao efetivo comprometimento dos assessores técnicos com as dinâmicas sociais locais, e dos diversos públicos da extensão e de suas organizações, com os objetivos individuais e coletivos que venham a ser estabelecidos.

Para que isto venha a ocorrer, os serviços da extensão agroflorestal devem incorporar, em sua forma de ação e intervenção, uma abordagem holística e um enfoque sistêmico, articulando o local, a comunidade e, ou, território às estratégias que levem a enfoques de desenvolvimento rural sustentável e, também, à transição a estilos sustentáveis de produção agroflorestal.

A partir destas premissas, deverão ser privilegiadas atividades de pesquisa-ação participativas, investigação-ação-participante e outras metodologias e técnicas que contemplem o protagonismo dos beneficiários e o papel de agricultores-experimentadores, bem como novas estratégias de geração e socialização de conhecimentos e de mobilização comunitária que possibilitem a participação de agricultores e demais públicos da extensão como agentes do desenvolvimento rural sustentável.

Do ponto de vista metodológico, as atividades de formação deverão privilegiar metodologias participativas baseadas na pedagogia da prática. As ações de capacitação devem abranger além dos técnicos, os agricultores e outros agentes envolvidos nos processos de desenvolvimento rural, considerando sempre as demandas e realidades locais, regionais ou territoriais.

Na velha lógica cartesiana, o bom profissional da extensão rural era aquele capaz de acumular conhecimentos sobre poucas especialidades, e que estivesse apto a transferir tecnologias aos agricultores, de modo a fazê-los adotar orientações tidas como superiores, por sua natureza e validação “científica”. O conhecimento dos agricultores era visto como algo obsoleto e estes como atrasados e responsáveis pelo atraso da sociedade. Em geral, eram simplesmente rotulados em categorias de “adotadores” de inovações (Rogers, 1962).

É preciso reconhecer que os agricultores e suas famílias detêm um saber que é tão importante quanto os conhecimentos científicos. Portanto, a extensão agroflorestal deve ser capaz de integrar estes diferentes saberes, buscando a construção social de conhecimentos que promovam a gestão dos agroecossistemas numa perspectiva de desenvolvimento sustentável das comunidades. A participação popular emerge como um direito e exige uma nova prática extensionista, que só é possível quando se adota uma postura democrática e se realizam tarefas com base em metodologias e princípios pedagógicos libertadores (Caporal & Costa Beber, 2000).

Inserido neste contexto, o extensionista agroflorestal deve ter a sensibilidade para compreender os aspectos relacionados às relações sociais, assim como aspectos da história dos diferentes atores, como condição para o entendimento das reais necessidades, valores e aspirações que orientam sua busca permanente por melhores condições de vida.

O saber dos camponeses se desenvolve na sua heterogênea ligação ao grupo doméstico e ao grupo de trabalho e, portanto, a “conduta reprodutiva rural” é o resultado de uma acumulação de conhecimentos que não vem de livros e textos, mas sim da relação entre as pessoas, seu ambiente e as interações resultantes destas relações (Iturra, 1993).

Nesta perspectiva, a busca do desenvolvimento rural sustentável implica reconhecer a existência deste saber construído mediante uma lógica que vai sendo estabelecida na história dos grupos sociais, conforme se vive à realidade rural. Ou seja, é uma construção social que, além de ser ambientalmente determinada, está subordinada a determinados condicionantes sócio-culturais, entre os quais se destaca o conhecimento ou o saber local.

Deste modo, a ação extensionista orientada ao desenvolvimento sustentável deverá ser desviada de sua histórica concepção difusionista (baseada no “ensino”) para dar lugar a uma prática social baseada na “aprendizagem”, que preze a fusão do saber popular ao conhecimento científico como referencial mestre para o desenvolvimento de tecnologias alternativas, coerentes com a capacidade suporte local.

Ou seja, mais do que dispor de um preciso conceito de desenvolvimento sustentável necessita-se trabalhar na identificação e construção de saberes ecológicos, agroflorestais, econômicos e sociais que permitam, de forma participativa, desenvolver processos toleráveis de exploração da natureza compatíveis com as exigências de reprodução social da agricultura familiar em seus diferentes extratos ou segmentos. Sendo assim, é necessário estar sempre atento às noções de *sustentabilidade, produtividade, estabilidade, equidade e qualidade de vida*. Pois, o desenvolvimento deverá ser implantado principalmente para se galgar melhores condições de vida para as populações mais carentes, porém, o mesmo não deve, em momento algum, comprometer as possibilidades e o direito das gerações futuras de também usufruírem de boa qualidade de vida.

A carência de formação profissional dos extensionistas sobre sistemas agroflorestais, a inadequação na seleção e utilização de metodologias de extensão agroflorestal e a deficiência no processo de comu-

nicação; ou seja, na tradução clara e acessível das informações técnicas, de modo a atingir, sensibilizar, conscientizar, motivar e conduzir o produtor à adoção de práticas agroflorestais, normalmente, resultam em resistência dos produtores rurais às tecnologias agroflorestais.

Segundo Montoya (2002), na constatação da ineficiência dos modelos de extensão paternalistas, foram concebidos modelos participativos para os quais é primordial a participação dos produtores como principais agentes do processo, que conscientes dos seus problemas, podem buscar, de forma participativa com os técnicos, soluções adequadas as suas realidades. Assim, na busca de uma maneira mais prática e distinta dos métodos tradicionais, tem-se desenvolvidos metodologias de diagnósticos como o Diagnóstico Rural Rápido (DRR), o Diagnóstico Rural Participativo (DRP) e o Diagnóstico e Desenho (D&D), que reconhecem a importância do conhecimento do produtor como fonte básica de informação para subsidiar as ações da extensão agroflorestal. Pois, as sementes da organização rural estão nas próprias comunidades e, somente a partir delas se pode acelerar seu desenvolvimento, respeitando-se sua cultura e suas tradições. A organização de grupos facilita o trabalho da pesquisa e da extensão agroflorestal, reduzindo seus custos operacionais.

Segundo Rodrigues et al (2002), o serviço de assistência técnica necessita assumir uma nova postura em relação à natureza, conhecer novas tecnologias e se imbuir de conteúdo técnico que se reflita em propostas de uso mais sustentável dos recursos naturais renováveis. Esse conhecimento técnico, com fortes alicerces na agroecologia, deve estar associado a metodologias de extensão que priorizem métodos participativos e construtivistas.

Neste contexto, o Projeto Arboredo – Parque Zoobotânico (PZ) da Universidade Federal do Acre (UFAC), através do Programa Educação Agroflorestal, vem desenvolvendo trabalhos de extensão agroflorestal junto a agricultores (seringueiros, colonos, índios), técnicos extensionistas, estudantes de curso técnico profissionalizante, universitários da UFAC e alunos do ensino fundamental, integrados por metodologias participativas. É inspirado nos fundamentos educacionais de Paulo Freire e embasado no construtivismo (processo pelo qual o conhecimento é construído a partir de conhecimentos prévios). Essa construção se dá por meio do diálogo, da troca de experiência, valorizando o conhecimento já adquirido na trajetória de vida de cada um, adaptado à realidade e às necessidades concretas. O processo pedagógico é dinâmico, interativo, interessante e agradável, utiliza ferramentas didáticas adaptadas ao universo do educando (gravuras, maquetes, flanelógrafo, vídeos, músicas, narração de histórias), sempre buscando aliar a teoria para a prática. Para facilitar a compreensão de conceitos ou fenômenos utiliza-se de práticas de estimulação dedutiva, teatro, dinâmicas interativas, dentre outras atividades. Segundo Freire (1989), a práxis é fundamental na construção do conhecimento e, a troca de experiências é essencial para consolidar o aprendizado, ao mesmo tempo em que valoriza o trabalho e o conhecimento adquirido por cada um.

A utilização desta metodologia participativa tem formado educadores agroflorestais, principalmente no estado do Acre, que estão atuando como disseminadores, multiplicadores e difusores de tecnologias agroflorestais coerentes com as suas realidades locais. Segundo Peneireiro (2002), neste processo de extensão, é fundamental a visão sistêmica e integrada, considerando a relação ser humano-natureza, os princípios agroecológicos, a realidade ambiental e sócio-econômica-cultural. Parte-se da premissa que a educação se dá em dupla via (constante troca de conhecimentos entre educando – educador), o que gera co-responsabilidade no processo de criação e utilização de tecnologias e novas formas de uso da terra e dos recursos.

Vivan (2002), ao tecer considerações sobre a extensão em sistemas agroflorestais, considera imprescindível que a ação extensionista seja socialmente justa e economicamente sustentável, porém, com a inclusão da conservação da base de recursos culturais, paisagísticos, biodiversidade, solos, florestas e águas. E, para efetivar as atuações de extensão agroflorestal é necessário potencializar o trabalho das equipes, buscar o sinergismo institucional e a ação em rede, incluindo neste contexto os próprios agricultores como agentes e gestores, e não apenas como sujeitos do processo. Ou seja, numa abordagem que incorpore o diálogo com o saber local, a sistematização de saberes existentes, e uma conexão constante com a pesquisa e o ensino, na busca de respostas e na formação de novos saberes. Pois, de todas as intervenções humanas nos sistemas naturais, os sistemas agroflorestais são um exemplo de grande demanda de contextualização e necessidade de incorporação do saber local em sua concepção, implantação e manejo.

Para que os objetivos da extensão agroflorestal, relacionados com a apropriação e utilização de

conhecimentos, técnicas, métodos e procedimentos agroflorestais se consolidem como eficientes e eficazes e, se efetive a almejada e necessária integração entre a pesquisa e o ensino, é necessário que os fundamentos agroecológicos sejam considerados nos processos decisórios e, que os princípios de participação, diálogo, justiça, equidade e descentralização sejam ponderados nas definições dos objetivos, estratégias e ações. E, que a gestão participativa, a recuperação ambiental, econômica e social sejam os alicerces para se atingir os objetivos da sustentabilidade local.

Neste contexto, Vivan (2002) relata que a EMATER-RS, para gerar alternativas sustentáveis aos sistemas de uso da terra vigentes no Estado, a partir do processo de diagnóstico e planejamento participativo em determinadas regiões (como é o caso do Polígono da Mata Atlântica – Litoral Norte do RS), elegeu os sistemas agroflorestais como uma das prioridades de ação da extensão rural.

Neste sentido, a EMATER-RS investiu na capacitação de seu pessoal em metodologias participativas de diagnósticos e planejamento rural e, em técnicas de diagnósticos e desenho de sistemas agroflorestais. E, a formação dos extensionistas e agricultores se dá paralelamente a ação, ou seja, os treinamentos são acompanhados de atividades práticas em comunidades rurais, realizados em módulos e, incluem a presença de parcerias, como agentes de desenvolvimento comunitários e de desenvolvimento das prefeituras e órgãos afins.

Na medida em que os agentes comunitários se apropriam dos métodos participativos, cada comunidade cria sua dinâmica própria, estabelecendo suas prioridades de ação, gerando planos municipais de desenvolvimento. Freire (1983) considera que a apropriação do conhecimento gerado por processos participativos e a sua utilização prática são os pré-requisitos para a autonomia e a liberdade das comunidades rurais.

Vivan (2002) destaca que na atualidade, as ações de extensão, reflexão e sistematização de práticas agroflorestais, podem ser concretizadas dentro de uma realidade de recursos exíguos, que exigem criatividade, participação, atuação em rede e administração precisa e descentralizada.

As experiências de extensão agroflorestal participativas conduzidas pela Rede do Café Agroflorestal do Estado do Acre demonstram que o caráter integrador destas atividades possibilitou uma enriquecedora troca de experiências entre técnicos e agricultores, favorecendo o diálogo horizontal e a construção coletiva do conhecimento e, estímulos para ampliar os métodos de produção de café em sistemas agroflorestais (Rosário et al., 2004).

Um dos elementos fundamentais e necessários para o sucesso do desenvolvimento da ciência agroflorestal é, sem dúvida, a correta transferência das tecnologias geradas. O conhecimento científico agroflorestal gerado pela pesquisa evolui continuamente e, os assuntos revisados e atualizados são veiculados principalmente em revistas científicas.

Determinados assuntos são tão instáveis e mudam com tanta frequência que publicados em livros se tornam obsoletos rapidamente. Nesse sentido, a informação mais atualizada está, evidentemente, registrada em periódicos.

Cabe a extensão agroflorestal ter acesso às informações mais atualizadas do setor, entendê-las, interpretá-las, decodificá-las e tentar adequar às demandas regionais. ENCINAS (2004), ciente desta necessidade, apresenta uma listagem que contém 67 periódicos florestais, que provavelmente contemplam as temáticas agroflorestais, que poderiam subsidiar e referenciar as atuações da extensão agroflorestal brasileira.

O ensino e a extensão agroflorestal são concepções novas dentro do universo das ciências florestais. Para sua implantação e aceitação pela comunidade em geral é necessário um esforço concentrado dos setores de ensino, de extensão e da pesquisa. Numa ação consorciada e co-responsável a pesquisa terá a missão de gerar novas tecnologias e, o ensino e a extensão de divulgá-las.

## CONCLUSÕES

A consolidação efetiva do ensino e da extensão universitária agroflorestais, da extensão de campo e das pesquisas agroflorestais, e das atuações conjuntas destes setores são imprescindíveis para o desenvolvimento das ciências agroflorestais no Brasil. Porém, as suas concepções, abordagens e estratégias de ação, de um modo geral, são novas, recentes e buscam confirmação no universo emergente das ciências agroflorestais.

Assim, às universidades brasileiras cabem a nobre função de formar profissionais com capacitação

técnica-científica referenciada, principalmente por princípios agroecológicos para implantar e manejar de forma sustentável sistemas agroflorestais e, ainda, moldar um perfil profissional comprometido com valores éticos, para promover a conservação dos recursos naturais e o desenvolvimento sustentável das populações rurais brasileiras. Para tanto, as atividades de extensão universitária direcionadas para práticas agroflorestais comunitárias são essenciais para viabilizar e consolidar os conhecimentos acadêmicos básicos sobre sistemas agroflorestais e democratizá-los e socializá-los para a sociedade.

Para o pleno estabelecimento e consolidação da extensão agroflorestal, comprometida com a aplicação dos princípios da agroecologia, é essencial que urgentemente se implemente aos extensionistas e assessores técnicos um abrangente programa de capacitação técnica e de reciclagem de conhecimentos de agroecologia e agrossilvicultura, visando garantir a qualidade profissional dos serviços da extensão agroflorestal e, difundí-los adequadamente à sociedade, para viabilizar o desenvolvimento rural sustentável brasileiro.

### LITERATURA CITADA

- ALTIERI, M.A. Agroecologia: Bases científicas para uma agricultura sustentável. Guaíba, Agropecuária, 2002. 592p.
- BOTOMÉ, S.P. Pesquisa alienada e ensino alienante; o equívoco da extensão universitária. Rio de Janeiro, Vozes, 1996. 79p.
- CAPORAL, F.R. La extensión agraria del sector público ante los desafíos del desarrollo sostenible: El caso de Rio Grande do Sul, Brasil. Córdoba, Universidad de Córdoba, 1998. 517p. (Tese de Doutorado)
- CAPORAL, F.R. & COSTA BEBER, J.A. Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável: Perspectivas para uma nova extensão rural. Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável, 1:16-37, 2000.
- ENCINAS, J.I. Veículos de comunicação e a transferência tecnológica no setor florestal. Brasília, Universidade de Brasília, 2004. 106p. (Comunicações Técnicas Florestais, v. 6, n. 1)
- FREIRE, P. Extensão ou comunicação? Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1989. 93p.
- FREIRE, P. Educação como prática de liberdade. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 2001. 58p.
- Fórum Nacional de Pró-Reitores de Extensão das Universidades. Avaliação nacional da extensão universitária. Brasília, SESU/MEC, 2000. 51p.
- Fórum de Pró-Reitores de Extensão das Universidades Públicas Brasileiras. Plano nacional de extensão universitária. Brasília, SESU/MEC, 2001. 16p.
- GARROTE, V.; AMADOR, D.B.; PINHO, R.Z.; PENEIREIRO, F.M. & MARCON, M. Movimento mutirão agroflorestal: rede de integração e troca de experiência para a consolidação dos conhecimentos e difusão da agrofloresta. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 4, Ilhéus, 2002. Anais... Ilhéus, CEPLAC/UESC, 2002. 3p. (CD-ROM)
- ITURRA, R. Letrados y campesinos: el método experimental en la antropología económica. In: SEVILLA GUZMÁN, E. & GONZÁLEZ DE MOLINA, M. eds. Ecología, campesinado e historia. Madrid, La Piqueta, 1993. p.131-152.
- Ministério do Desenvolvimento Agrário, Secretaria da Agricultura Familiar. Política Nacional de Assistência Técnica E Extensão Rural. Brasília, Ministério do Desenvolvimento Agrário Secretaria da Agricultura Familiar, 2004. 62p.
- MIRANDA, I. S.; SÁ, T.D.A. & MENEZES, M. Situação atual e perspectivas do ensino, capacitação e pesquisa agroflorestal no Brasil: Uma abordagem com ênfase na região amazônica. In: MÜLLER, M.W; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BRANDÃO, I.C.F.L. & SERÔDIO, M.H.C.F. Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos: Sustento da vida e sustento de vida. Ilhéus, SBSAF/CEPLAC/UENF, 2004. p.243-255.
- MONTOYA, L. Aspectos de P&D, socioeconômicos e de transferência de tecnologia de sistemas agroflorestais. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 4, Ilhéus, 2002. Anais... Ilhéus, CEPLAC/UESC, 2002. 14p. (CD-ROM)

- PENEIREIRO, F.M. Sistemas agroflorestais em assentamentos – a experiência com agrofloresta no PAD Humaitá – Porto Acre – Acre. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 4, Ilhéus, 2002. Anais... Ilhéus, CEPLAC/UESC, 2002, 4p. (CD-ROM)
- PENEIREIRO, M.F. Educação agroflorestal – construindo junto o conhecimento. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 5, Curitiba, 2004. Anais... Curitiba, Embrapa Florestas, 2004. 5p. (CD-ROM)
- RODRIGUES, F.Q.; PENEIREIRO, F.M.; LUDEWIGS, T.; MENESES-FILHO, C.L. & ALMEIDA, D.A. Formação de educadores agroflorestais no estado do Acre. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 4, Ilhéus, 2002. Anais... Ilhéus, Ceplac/UESC, 2002. 4p. (CD-ROM)
- ROGERS, E.M. Diffusion of innovations. New York, Free Press, 1962. 301p.
- ROSÁRIO, A.A.S.; RODRIGUES, F.Q.; QUEIROZ, J.B.N.; BRILHANTE, M.O.; OLIVEIRA, W.S.A.; MENEZES, M.A.O.; SOUZA, K.B. & MARQUES NETO, J. Ações da rede do café agroflorestal do Estado do Acre. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 5, Curitiba, 2004. Anais... Curitiba, Embrapa Florestas, 2004, 3p. (CD-ROM)
- SILVA, O.D. O que é extensão universitária. Revista Integração Ensino - Pesquisa – Extensão, 3:148-149, 1997.
- UNISANTOS. O que é extensão universitária. Santos, Universidade Católica de Santos, 2004. 2p. (Noticias on line).
- VIVAN, J.L. Extensao rural em sistemas agroflorestais In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 4, Ilhéus, 2002. Anais... Ilhéus, Ceplac/UESC, 2002. 6p. (CD-ROM)

## **Capital Social na Concepção de Políticas Públicas: A Importância Socioeconômica e Ecológica dos Sistemas Agroflorestais Frente aos Mecanismos de Desenvolvimento**

LUCIANO MATTOS

### **INTRODUÇÃO**

A concepção de políticas públicas exige cada vez mais abordagens que questionem os métodos convencionais de uso de indicadores de crescimento econômico como variáveis únicas de desenvolvimento. Já o alcance do desenvolvimento rural sustentável demanda abordagens interdisciplinares que contemplem conceitos de desenvolvimento territorial, multifuncionalidade rural, controle social de políticas públicas, posse e uso da terra e dos recursos naturais, serviços ambientais e formação de redes e laços de confiança. E, de maneira geral, as análises de políticas públicas de desenvolvimento rural sustentável não podem prescindir de abordagens que concatenam economia e ecologia.

Para Mattos et al. (2001) um dos principais desacordos entre a ecologia e a economia deriva do fato de que a natureza é cíclica, enquanto que os sistemas produtivos econômicos são lineares. Os padrões sustentáveis de produção e consumo precisam ser cíclicos, imitando os processos da natureza. Mas Martinez-Alier et al. (1998) alertam que a economia, sob o ponto de vista ecológico, não tem um padrão de medida comum, assim, os economistas ficam sem teoria para valorarem externalidades e conceberem políticas ambientais. Já as políticas ambientais não podem se basear unicamente em uma racionalidade ecológica, já que a ecologia, como ciência, não explica a distribuição territorial humana e as desigualdades sociais, espaciais e temporais no uso dos recursos.

Já a incorporação do termo *capital social* nos debates sobre desenvolvimento pode ser considerada como uma contraposição ao Consenso de Washington, sendo tratado nas ciências sociais como um conjunto de características; entre elas, confiança, normas e sistemas que contribuem para aumentar a eficiência da sociedade e balizar os processos de desenvolvimento (Repetto et al., 1989; May, 1998; Abramovay, 2001).

Berkes & Folke (1994) usam o termo *capital social* para se referirem às características das organizações sociais, enquanto Ostrom (2000) opta pelo uso do termo *capital institucional* para se referir ao suprimento de estrutura e habilidade organizacional que a sociedade tem a sua disposição, classificando-o como subgrupo do *capital social*.

Neste contexto, o papel dos sistemas agroflorestais torna-se relevante por ser o modelo de produção vegetal mais adequado em possibilitar a integração do capital social, das políticas públicas e da viabilidade econômica, de maneira a promover o desenvolvimento rural sustentável.

### CAPITAL SOCIAL, POLÍTICAS PÚBLICAS E DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL

Uma conceitualização da interdependência da economia e do meio ambiente exige atenção dos sistemas sociais, culturais, políticos e institucionais. Nessa linha, Martinez-Alier et al. (1998) levantam que cenários, dentro dos preceitos da economia ecológica, sugerem a introdução de novas instituições.

Para North (2000), indivíduos com diferentes experiências têm distintas explicações do mundo e tomam decisões distintas para resolverem problemas idênticos, logo, os processos de desenvolvimento sustentável exigem que a sociedade desenvolva instituições que permitam intercâmbios pessoais no tempo e no espaço. A chave do desempenho da sociedade é o tipo de aprendizagem que se adquire e se emprega para resolver problemas, e a forma como evoluem as instituições é um reflexo do sistema de confiança entre seus membros.

Nos argumentos de Hobbes, citados por Granovetter (1985), transações sociais e econômicas dependem de confiança. Instituições são afetadas pelas relações sociais, configurando-se como uma questão clássica da teoria social. A eliminação das relações sociais nas análises de desenvolvimento remove o problema à restrita esfera econômica. Portanto, a análise de relações sociais é fundamental para a boa interpretação dos processos de desenvolvimento rural, evitando suceder nos erros apontados por Martins (2000), quando expõe que, por muito tempo, a sociologia rural foi mais uma ciência que abordou os problemas sociais da expansão agropecuária como efeitos da modernidade do que, propriamente, uma ciência aberta à compreensão dos efeitos destrutivos e perversos que não raro a modernização postiga do agronegócio acarreta.

Outro passo importante para entender o desenvolvimento rural é considerar que a produção familiar rural não se organiza sobre a base da extração e apropriação do trabalho alheio; ao contrário, tem na família a fonte do trabalho que aciona o capital envolvido no processo de produção (Wanderley, 1998), assim como a estrutura agrária não é apenas um elemento do sistema de produção, mas também dado básico de toda a organização social (Furtado, 1969).

Conforme salienta Mattei et al. (2005), no contexto atual, não pode ser atribuído à produção familiar rural somente o papel produtivo, sendo importante compreender e valorizar sua multifuncionalidade; cumprindo atribuições de reprodução socioeconômica das famílias rurais, promoção da segurança alimentar da sociedade, manutenção do tecido social e cultural e conservação do meio ambiente, dos recursos naturais e da paisagem rural.

Territórios não são definidos como conjuntos neutros de fatores naturais e de dotações humanas, mas, antes de tudo, pela maneira como organizam grupos sociais, laços formais e informais de confiança e modalidades não mercantis de interação ao longo do tempo (Abramovay, 2003; Beduschi Filho & Abramovay, 2004). Para Maillot (1996) apud Abramovay (2000), o passado dos territórios, sua organização e seus comportamentos coletivos são componentes que não podem ficar ausentes na montagem de políticas públicas de desenvolvimento rural sustentável, pois os comportamentos inovadores não são nacionais, mas dependem de variáveis definidas no plano local e, ou, regional.

Algumas políticas públicas territoriais desenvolvidas pelo mundo podem servir ao nosso país, não simplesmente como exemplo a ser imitado, mas como uma referência para se compreender a multiplicidade de fatores envolvidos no processo de desenvolvimento rural. O Programa LEADER (Ligações Entre Ações de Desenvolvimento da Economia Rural), implantado no início da década de 90 pela União Européia, e o Programa EZ/EC (*Empowerment Zones and Enterprise Communities*), desenvolvido nos Estados Unidos desde 1993, são dois bons exemplos a serem usados como referência.

Outra boa referência de política pública integrada de desenvolvimento rural é o *Le Contrat Territorial D'Exploitation* (CTE), programa desenvolvido pelo governo francês na década passada, que estimulava a produção econômica sustentável, dentro de uma estratégia integrada de desenvolvimento territorial que assegure a geração de emprego e renda, a segurança alimentar, a conservação do meio ambiente e a beleza em escala de paisagem rural. Recentemente, o CTE sofreu modificações do governo francês, sendo agora denominado *Contrat de Agriculture Durable* (CAD), com redução da abordagem territorial.

No Brasil, o debate sobre desenvolvimento territorial começa a ganhar força, mas ainda carece de maior coordenação governamental, pois hoje temos uma profusão de programas em diversos ministérios, ainda muito pautados em arranjos produtivos locais (APLs). Para Martin & Sunley (2001), o uso

do conceito de APL como padrão de política pública traz consigo o risco de se promover o uso não sustentável dos recursos naturais e a concentração de renda.

Sen (2000) classifica o desenvolvimento como a liberdade de escolha e a expansão da capacidade das pessoas levarem o tipo de vida que valorizam, sendo que essas capacidades podem ser aumentadas pelas políticas públicas, da mesma forma que a direção das políticas públicas pode ser influenciada pelas capacidades participativas do povo. Para Bobbio et al. (2004), o conceito de política está estreitamente ligado ao poder, mas não apresenta relação somente com as entidades e processos que se orientam pelo Estado. A idéia da política como algo que extravasa o Estado é crucial justamente por permitir apreciar as dificuldades que surgem com respeito à acomodação dos conflitos e à busca de objetivos comuns, o que supõe a construção de uma aparelhagem institucional para equilibrar o exercício do poder de uns cidadãos sobre outros.

A profusão de conselhos gestores se constitui como uma importante inovação institucional das políticas públicas no Brasil democrático. Do ponto de vista da democracia participativa, os conselhos trazem uma complementação necessária a outras formas de representação política. Entretanto, são raros os estudos sobre o tema que não enfatize a precariedade da participação social destes conselhos e sua tão freqüente submissão a poderes locais dominantes. Por outro lado, é praticamente unânime o reconhecimento do potencial de transformação política que os conselhos representam, constituindo espaços públicos de composição plural e de negociação de conflitos em torno de iniciativas que expressem interesses políticos diversos (Junqueira, 2004).

Para Sachs (1976) e Romeiro (1998), as relações comunitárias cumprem papel decisivo na concepção de políticas públicas de desenvolvimento rural, ao eliminar contradições entre critérios microeconômicos de escolha tecnológica pertinentes a cada unidade produtiva e critérios macroeconômicos e sociais definidos pelo conjunto da comunidade agrícola.

Mas para North (1991), o maior desafio na construção dos conselhos não está na capacidade de reunir um grupo composto por representantes dos poderes públicos e da sociedade civil organizada, e sim na capacidade de representar uma mudança real no ambiente institucional.

Abramovay (2002) observa que os Sindicatos de Trabalhadores Rurais (STRs) e o sistema de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) são as redes mais capilares do Brasil rural, ambas tendo como missão o fortalecimento da agricultura familiar, categoria que se configura como a base social do processo de reconstrução institucional da vida política no interior do país.

Já Mattos et al. (2001), Monteiro (2004) e Hébette & Moreira (2004a) traçam uma interessante evolução dos movimentos sociais rurais amazônicos. Na década de 70, a principal marca era a oposição ao regime militar, tendo como bandeira o embate ideológico. Com a Nova República, os movimentos passaram anos para redirecionar suas reivindicações, e no início dos anos 90, a maior parte das organizações havia se recomposto, voltando-se para a (i) unificação das reivindicações de interesse geral (ex: Grito da Terra, Grito da Amazônia); (ii) criação de novas formas de organização para atender a diversidade de problemas das populações rurais (ex: Conselho Nacional dos Seringueiros – CNS, Grupo de Trabalho Amazônico – GTA, Movimentos dos Atingidos por Barragens – MAB); (iii) negociação de políticas públicas de financiamento rural (ex: Fundo Constitucional de Financiamento do Norte – FNO, Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar – PRONAF); e (iv) elaboração de projetos de desenvolvimento regional sustentável, que passaram a servir de base para a negociação de novos modelos de políticas públicas (ex: Programa de Proteção às Florestas Tropicais – PPG7; Programa de Desenvolvimento Socioambiental da Produção Familiar Rural – Proambiente). Apesar das dificuldades inerentes, os esforços dessa geração de movimentos sintetizam seu caráter propositivo e a busca da emancipação social, econômica e política dos povos amazônicos.

Para Hébette & Moreira (2004b), o movimento gerado pela convergência das lutas sociais amadureceu as organizações camponesas, que passaram a dar maior atenção ao “econômico”, em contraste com o “político”. Recentemente, a pauta sustentabilidade fez emergir a dimensão ecológica nesses movimentos.

A existência de instrumentos e mecanismos econômicos que cubram os custos de oportunidade de mudanças qualitativas de uso da terra e, ou, a criação de estratégias que gerem demanda por produtos sustentáveis são pontos fundamentais para o sucesso de uma política de desenvolvimento rural. Em estudo sobre venda de serviços ambientais, Pagiola et al. (2003) avaliam o comportamento de camponeses que enfrentam a decisão de fazer ou não o corte raso na floresta natural para aproveitamento da

terra com fins agrícolas. Ao tomar a decisão, certamente consideram os custos e benefícios envolvidos. Posto que os benefícios do corte raso valoram-se completamente (valor real), enquanto o mesmo pode não ocorrer ao manterem as áreas florestais (valor potencial), é mais provável que derrubem mais florestas do que o nível ótimo. Enquanto o controverso termo “poluidor-pagador” estabelece a regra do “quem contamina paga” e oferece o “direito de poluir”, as políticas de serviços ambientais se baseiam no menos conhecido princípio “o que conserva recebe um pagamento”, e aqueles que provem estes serviços, principalmente os rurais, são mais pobres que os beneficiários dos serviços ambientais.

Mas a discussão de políticas de serviços ambientais não pode ficar somente baseada em instrumentos e mecanismos econômicos, sendo tão importante as relações de confiança e reciprocidade estabelecidas no território, pois a prestação de serviços ambientais exige um trabalho coletivo em escala de paisagem rural que vai além dos interesses estabelecidos nas propriedades individuais.

Para Hardin (1968), dentro de sua clássica teoria da *Tragédia dos Comuns*, os indivíduos tendem a aumentar seu comportamento egoísta quando enfrentam situações de escassez na exploração de qualquer recurso natural ou bem comum, de tal maneira que se envolvem em circunstâncias não cooperativas, e que por si mesmo aceleram a degradação do bem que se encontra em risco.

Contudo, Ostrom (2000), em outra obra clássica, *El Gobierno de Los Bienes Comunes*, sugere que esta idéia não é toda certa, já que as restrições que se consideram imutáveis nem sempre as são, propondo um jogo onde é possível estabelecer vínculos entre todos os jogadores, que lhes obrigam a cumprir os acordos, submetidos a estratégias de cooperação formadas por eles mesmos.

Também para Beduschi Filho (2003), em situações de risco de uso dos recursos naturais, a cooperação entre indivíduos e diversos tipos de ação coletiva pode acontecer, produzindo bens coletivos em níveis ótimos.

E de acordo com Folke et al. (1994), para obter a sustentabilidade, a comunidade global precisa lidar com novos tipos de problemas ameaçadores do bem-estar futuro e da existência humana. Somente vivenciando situações de escassez na exploração de recursos naturais é que as sociedades passam por processos de aprendizagem e estabelecem acordos coletivos.

Mas como um grupo de causadores de degradação dos recursos naturais, que se encontra em uma situação de interdependência, pode se organizar e governar a si mesmo para obter benefícios conjuntos ininterruptos, apesar da interferência dos não cumpridores? Para Ostrom (2000), a resposta está condicionada aos seguintes elementos: (i) consideração dos custos e benefícios das ações dos indivíduos e sua vinculação com os resultados esperados; (ii) redução da incerteza causada pela falta de conhecimento sobre o sistema de recursos exportáveis (por meio de um processo de aprendizado de ensaio e erro); e (iii) provisão e apropriação dos recursos de uso comum.

Outra pergunta ainda mais desafiadora que surge nesse debate é: Como mudar uma situação em que os apropriadores atuam de maneira independente para outra em que adotam estratégias coordenadas para obter melhores benefícios comuns? A solução não está, necessariamente, na criação de uma organização, partindo-se da premissa que os problemas a resolver demandam métodos de provisão incorporados por um novo conjunto de instituições, estabelecimento de compromissos aplicáveis e supervisão mútua do que se estabelece, sem perder de vista a natureza incremental e auto-transformadora da mudança institucional, a importância da característica dos regimes políticos externos, a necessidade de incluir os custos de informação e transação, assim como ter limites claramente definidos, coerência entre as regras de provisão e apropriação, arranjos de decisão coletiva, supervisão, sanções graduadas, mecanismos de resolução de conflitos e reconhecimento dos direitos da organização e entidades participantes. Outro dado importante é que os custos da transformação institucional são menores quando participam líderes hábeis no processo.

Os diversos exemplos internacionais de acordos coletivos em torno de recursos de uso comum revelam que (i) quando não há uma boa estratégia de comunicação entre os usuários de bens comuns, a tendência é de haver exploração acima da capacidade de renovação dos recursos comuns, num patamar que se aproxima da teoria da *Tragédia dos Comuns* de Hardin (1968); (ii) quando há uma boa estratégia de comunicação entre os usuários de bens comuns, são obtidos benefícios conjuntos substancialmente maiores; (iii) quando os valores de pagamentos de serviços ambientais são relativamente baixos, a comunicação cara a cara permite aos usuários alcançar e manter acordos próximos ao nível ótimo de apropriação de recursos; (iv) quando os valores de pagamentos de serviços ambientais são muito altos, alguns participantes ficam tentados a não cumprir ou burlar os acordos coletivos, logo, os resultados

conjuntos melhorados são mais baixos que nas situações em que os valores de pagamentos de serviços ambientais são relativamente baixos; (v) se é oferecida oportunidade de participar de um monitoramento com alto custo de transação e a efetiva aplicação de sanções, os usuários tornam-se dispostos a pagar para punir os que exploram o recurso comum acima do nível ótimo; (vi) quando os usuários discutem abertamente e acordam seus próprios níveis de uso e seus sistemas de sanções, o não cumprimento dos acordos se mantém a níveis muito baixos e os resultados se aproximam do nível ótimo (Ostrom, 2000).

É salutar também expor que políticas de desenvolvimento rural envolvendo serviços ambientais em escala de paisagem rural e recursos de uso comum exigem formação de redes que estabeleçam relações de confiança, reciprocidade e reputação. Sabourin (2002) trabalha com os conceitos de (i) “redes técnico-econômicas”, isto é, conjuntos ordenados de atores sociais heterogêneos, centros de pesquisa, ensino e extensão, empresas, organismos financiadores, usuários e poderes públicos, que participam coletivamente da concepção e difusão de processos de produção, bens e serviços, e (ii) “redes sócio-técnicas”, ou seja, estruturas desenhadas pelas relações interpessoais múltiplas, que reúnem atores individuais e institucionais de uma região em torno de objetivos técnicos e sociais comuns, sendo que essas últimas redes nem sempre são tão perceptíveis.

Para Junqueira & Abramovay (2005), o principal ensinamento é que as redes sociais, em razão dos compromissos que ligam alguns de seus membros e das informações que nelas circulam, modificam a própria regulação econômica. Nesse contexto, os autores definem redes sociais como grupos de indivíduos entre os quais a frequência de interações econômicas e a densidade de relações sociais permitem reduzir a incerteza ligada ao risco moral, permitindo discernir precisamente os membros comprometidos dos não comprometidos com a ação coletiva. Esse discernimento pode ser a garantia de êxito aos processos de desenvolvimento rural sustentável.

### MOVIMENTOS SOCIAIS DA AMAZÔNIA FRENTE AOS PARADIGMAS ECONÔMICOS

Enquanto todos os países desenvolvidos promoveram políticas públicas massivas de reforma agrária (política agrária) e crédito rural (política agrícola), assentadas na valorização da produção familiar rural (Europa nos séculos XVIII e XIX; Estados Unidos na primeira metade do século XX, antes da Segunda Guerra Mundial; Leste Asiático na segunda metade do século XX, pós Segunda Guerra Mundial) (Veiga, 1991), o modelo de desenvolvimento rural preconizado no Brasil priorizou projetos extensivos, com trajetória marcada pela expansão da fronteira agrícola, desvalorização dos atores sociais locais e redução da importância das características dos diferentes biomas para conceber arranjos produtivos regionalizados. Os objetivos propostos nos processos de ocupação das fronteiras foram garantir a ampliação da margem extensiva do desenvolvimento e o atendimento ao mercado exportador, constituindo-se absorvedores de excedentes populacionais gerados pelas crises dos *plantations*.

Na Amazônia, última grande reserva de floresta tropical do planeta, os processos de ocupação da fronteira agrícola não vêm sendo diferentes. Martins (2000) expõe que estímulos fiscais concebidos a grandes grupos econômicos nacionais e internacionais delinearão a ocupação amazônica com uma concepção de modernização postiza do território, centrada no atendimento de demandas políticas e administrativas federais ao invés de contemplar as demandas econômicas, sociais e ambientais locais. É o clássico confronto estabelecido entre o paradigma do mercado exportador de *commodities* a partir da apropriação (às vezes indébita) da terra e dos recursos naturais por atores sociais estranhos ao território versus o paradigma de dinamização de mercados regionais que valoriza os saberes populares locais e o desenho de sistemas agroecológicos.

Dados do Ministério do Desenvolvimento Agrário (2000) ilustram que os estabelecimentos familiares rurais da Amazônia, apesar de não terem sido alvos prioritários no processo de desenvolvimento local, são responsáveis por 58,3% do Valor Bruto de Produção (VBP) da região Norte, a maior participação familiar regional do Brasil, com 37,5% da área de cultivo e 38,6% dos financiamentos disponibilizados. Outra vantagem comparativa da produção familiar é a sua elevada capacidade de geração de empregos e arrecadação de impostos. Em estudo de caso elaborado no município de Paragominas (PA), Toniolo & Uhl (1996) demonstraram que os sistemas diversificados de agricultura

(característicos da produção familiar) exigem quatro hectares para empregar uma pessoa/ano e geram uma quantidade estimada de impostos em US\$ 14,00/ha/ano, enquanto que sistemas extensivos de pecuária de corte (característicos da produção patronal) exigem 44 hectares para empregar uma pessoa/ano e geram US\$ 3,51/ha/ano de impostos.

A política brasileira de financiamento rural predominante até os fins dos anos 90 estava fortemente vinculada a este modelo de desenvolvimento que tem como um dos seus pressupostos básicos a viabilização de um processo de “modernização” rural, através do controle das condições naturais pela intensificação do uso de insumos químicos, maquinários e implementos agrícolas, previstos no pacote tecnológico da Revolução Verde. Neste contexto, os métodos sustentáveis de produção e a heterogeneidade sócio-ambiental (que caracterizam o setor de produção familiar rural, sobretudo, da Amazônia) são tidos como obstáculos à expansão da produção patronal, cabendo à extensão rural a difusão e transferência de tecnologias “modernas”, tendo como principal instrumento econômico o crédito rural. Assim, um fato de grande repercussão social e política na Amazônia foi o acesso dos produtores familiares ao crédito rural, através do Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO)<sup>1</sup>, promovendo uma democratização nas ações públicas. Pode-se afirmar que este fato constituiu-se num dos principais elementos propulsores de mudanças no cenário rural e de pressão para alterações no modelo de desenvolvimento regional, tendo a frente os movimentos sociais de produtores familiares rurais. Contudo, a instituição do FNO não se traduziu numa proposta de revisão estrutural do modelo de desenvolvimento, configurando-se somente como um exemplo paradigmático dos limites da concepção modernizadora para a promoção do desenvolvimento rural sustentável da Amazônia (Tura & Mattos, 2002).

Solyno Sobrinho (2000), analisando a capacidade de pagamento do FNO, demonstra que, no final de 1998, havia um índice acumulado de 31,65% de inadimplência, na forma de créditos vencidos, atrasados, em liquidação ou compensados, mas apenas 6,87% do total de inadimplência devem-se aos projetos de produção familiar, ficando o montante de 24,67% sob responsabilidade dos produtores patronais e 0,11% a cargo das cooperativas.

Apesar dos inúmeros problemas verificados, Costa (2000) demonstra que o caminho para o sucesso da aplicação do FNO ao setor de produção familiar rural passa pela intensificação do uso da terra. Analisando dados do FNO, o autor expõe que a maior rentabilidade média observada por unidade de área utilizada foi a da agricultura com base em culturas permanentes nos estabelecimentos familiares (R\$ 354,87/ha), seguido à da agricultura com base em lavouras temporárias (R\$ 294,33/ha) também entre produtores familiares. A pecuária da produção familiar apresenta um rendimento por área que é abaixo de 1/7 em relação às suas culturas permanentes, mas mesmo assim, é o dobro do valor obtido pela pecuária nas propriedades patronais (R\$ 23,22/ha) e mais de seis vezes o do valor por hectare verificado para a pecuária nos improdutivos latifúndios empresariais<sup>2</sup> (R\$ 7,04/ha). Assim, as culturas permanentes confirmam-se, em qualquer dos casos, como a melhor forma de intensificação do uso da terra nas propriedades familiares. Contraditoriamente, até 2002, o agente financiador responsável pelo FNO somente concedia financiamentos aos projetos desenhados com sistemas agroecológicos se atrelados aos mesmos houvesse outros “projetos âncoras” de lavouras temporárias em monocultivo e/ou criação de animais de grande porte. Aí estava explícito que as práticas amazônicas de uso diversificado da terra encontravam resistência nos herméticos instrumentos e mecanismos econômicos oficiais de fomento à produção.

A tomada de consciência dos desequilíbrios ambientais causados por projetos extensivos que se traduzem em desequilíbrios socioeconômicos locais apela para a definição de alternativas regionais de desenvolvimento rural. Os sistemas intensivos de uso múltiplo da floresta, como os sistemas agroflorestais, representam uma relevante alternativa para diversificação da produção, dinamização da economia regional e valorização do saber popular local.

Mas muitos setores do movimento ambientalista ainda propalam os sistemas agroflorestais como modelo de produção de uma forma um pouco inocente, que a crítica aristotélica chamaria de “aparência” (ou “opinião”), sendo que a “essência” (ou “conhecimento”) retratada acima evidencia que muitos entraves são encontrados para a conversão de sistemas extensivos aos sustentáveis. Reduzir o debate sobre desenvolvimento rural sustentável somente à introdução de viés tecnológico alternativo é, no mínimo, um sinal de

aceite (ou um fechar dos olhos) aos atuais instrumentos e mecanismos econômicos existentes, que precisam ser renovados para poderem ler a realidade sociocultural e produtiva dos territórios.

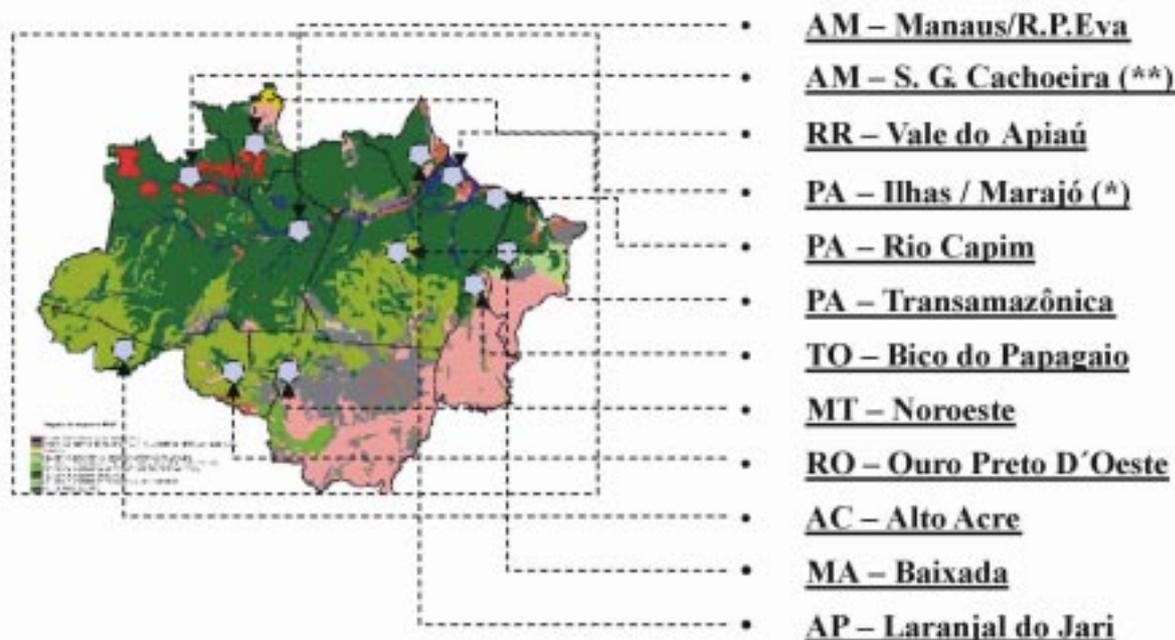
Além dos obstáculos causados pelos instrumentos e mecanismos econômicos, muitas vezes a proposta de desenho de sistemas sustentáveis em escala territorial também enfrenta outras dificuldades, como os altos custos de oportunidade para conversão qualitativa de uso da terra e a exigência de prazos mais largos para retorno econômico. Por outro lado, esses sistemas geram benefícios para a sociedade, como preservação das características ecossistêmicas e conservação dos solos, água e biodiversidade. Esses benefícios já são denominados de *serviços ambientais* na economia internacional, mas ainda não são valorados pelos mercados brasileiros, não sendo possível internalizar os custos de oportunidade para conversão de sistemas no preço do produto. Sendo assim, o atual cenário de desenvolvimento rural da Amazônia expõe a demanda por uma política pública federal que disponibilize mecanismos e instrumentos econômicos que tornem atrativos investimentos em sistemas agroecológicos, considerando os serviços ambientais prestados à sociedade. É a mudança de paradigma em curso, submetendo o “ônus conversão de sistemas” não só ao agricultor, mas para toda sociedade; afinal, ela leva o “bônus serviços ambientais”.

A partir dessa demanda, os movimentos sociais rurais da Amazônia elaboraram o Programa de Desenvolvimento Socioambiental da Produção Familiar Rural (Proambiente). Conforme resalta Little (2005), as diferenças institucionais entre as duas principais protagonistas do processo de construção do Proambiente, Confederação Nacional dos Trabalhadores na Agricultura (CONTAG) e Grupo de Trabalho Amazônico (GTA), condicionaram a concepção plural da proposta. Nos primeiros anos de discussão, por influência da CONTAG (pautada na dimensão sócio-econômica), o crédito rural era seu elemento central, sendo a compensação de serviços ambientais sugerida via desconto de crédito rural. Após o entendimento dos conceitos de crédito rural e serviços ambientais, o primeiro passa a ser opcional e desvinculado do segundo, devido à atuação decisiva do GTA (pautado na dimensão sócio-ambiental).

O Proambiente possui outra relevante particularidade: foi concebido como projeto da sociedade civil organizada da Amazônia Legal (2000-2003) até se tornar uma política pública federal inserida no PPA 2004/2007, sob responsabilidade da Secretaria de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável (SDS) do Ministério do Meio Ambiente (MMA). O processo de construção do Proambiente é um exemplo do fortalecimento da democracia brasileira, envolvendo mais de 20 mil pessoas em diversos eventos ao longo dos anos 2000 a 2003. Sua constituição como política pública, ainda que executada de forma piloto pelo Governo Federal, demonstra a natureza propositiva da sociedade civil organizada da Amazônia. Também podemos considerar que seu surgimento é resultado de uma reação da sociedade à ausência de institucionalidade da União na região amazônica. Idéia análoga exposta por Martin (2001), quando alega que a diminuição do papel regulador do Estado resulta em peso maior às formas de organização da sociedade civil e à gestão comunitária dos recursos naturais.

Mattos & Pereira (2006) destacam a concepção plural do Proambiente, classificando-o como uma das propostas brasileiras mais inovadoras de desenvolvimento rural sustentável, unindo numa só política pública, (i) **controle social** (por meio de um Conselho Gestor Nacional / CONGEN, formado por instâncias do Governo Federal e entidades sindicais de representação nacional, e Conselhos Gestores dos Pólos / CONGEPs, constituídos por órgãos públicos e entidades da sociedade civil de âmbito local; (ii) **desenvolvimento territorial** (por meio da elaboração e execução dos Planos de Desenvolvimento Sustentável dos Pólos – PDs); (iii) **planejamento e manejo integrado das unidades de produção** (por meio da elaboração e execução dos Planos de Utilização das Unidades de Produção – PUs); (iv) **estabelecimentos de redes e relações formais e informais de confiança** (por meio dos Acordos Comunitários de Certificação Participativa de Serviços Ambientais); e (v) **compensação por serviços ambientais** (por meio de transferência de renda do Governo Federal, a partir do cumprimento dos indicadores de sustentabilidade estabelecidos de maneira participativa). O Programa Proambiente é executado em 11 Pólos na Amazônia Legal (Figura 1), cada qual formado por 350 a 500 famílias e com seu próprio CONGEP, além dos serviços de assessoria técnica e extensão rural ser realizada por organizações não governamentais eleitas pelo beneficiários do programa e financiadas pelo Governo Federal.

# PÓLOS PIONEIROS



(\*) Pólo de Pesca Artesanal; (\*\*) Pólo Indígena planejado, mas não constituído

Figura 1 – Localização dos Pólos Pioneiros do Proambiente na Amazônia Legal.

## ESTUDO DE CASO: INSTITUCIONALIDADE LOCAL E RESULTADOS DO PROAMBIENTE

Analisando o Proambiente, é possível perceber que o programa possui características tanto de uma política pública quanto de um projeto da sociedade, como uma execução em *via dupla*, ou seja, parte por órgãos públicos (ex: gestão sob responsabilidade do MMA, submetido aos longos trâmites burocráticos de toda política pública para fechamento de convênios e sujeito aos cortes e contingenciamento do orçamento federal procedidos pelo Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão) e parte por segmentos da sociedade civil organizada (ex: assessoria técnica e extensão rural via organizações não governamentais; fechamento de parcerias locais independentes do MMA).

Logo, para uma avaliação completa dos resultados obtidos pelo Proambiente nos últimos três anos, já na condição de política pública federal, inevitavelmente faz-se necessário analisar essas características *via dupla*, interpretando as ações governamentais e das organizações da sociedade civil executoras do programa.

Como ressalta Veiga (1996), um problema de pesquisa bem formulado é mais importante para o desenvolvimento da ciência do que sua eventual solução. Mesmo que não o solucione por completo, uma investigação pode ter o relevante mérito de abrir um novo caminho para a pesquisa científica e tecnológica. Por conseguinte, o presente artigo não pretende se aprofundar na discussão *via dupla*, e sim apontar alguns problemas da estrutura do Estado, recomendar sugestões ao Governo Federal para operar o Proambiente e, principalmente, relacionar o perfil institucional dos Pólos aos resultados obtidos pelo programa.

Um ponto a se destacar no Proambiente é o “fato inovador” da sociedade sendo operado pelas “velhas estruturas” do Estado. A concepção plural do Proambiente exige uma ação coordenada e integrada na esfera pública, visto que os vários elementos do programa estão submetidos a instâncias

governamentais com diferentes atribuições legais. A gestão territorial proposta pelo programa via PD do Pólo é o ponto mais crítico, haja vista a profusão de programas territoriais governamentais desintegrados entre si; já a implementação do PU necessita do crédito rural, que historicamente esteve condicionado na Amazônia (i) às regras administrativas dos bancos públicos (atrelados ao Ministério da Fazenda), que ainda hoje praticamente só trabalham a planilha de crédito a partir da lógica de produtos, e não no conceito inovador de planejamento e manejo integrado da unidade de produção preconizado pelos sistemas agroecológicos e agroflorestais dos Pólos do Proambiente; (ii) à finalidade da aplicação dos recursos do Fundo Constitucional (submetido a um conselho coordenado pelo Ministério da Integração Nacional) e (iii) à oferta de modalidades de financiamento para diversificação de sistemas de produção pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA); a Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) está sob responsabilidade do MDA, mas os princípios inovadores ATER do Proambiente, que troca o uso do termo assistência por assessoria e estabelece a presença de agentes comunitários (essencialmente produtores com liderança técnica exercendo relevante função na sua comunidade, baseado no exemplo de sucesso das agentes comunitárias de saúde contratadas pelo Ministério da Saúde) esbarram nas regras do Ministério da Previdência Social, pois os trabalhadores rurais que obtiverem rendas extras à atividade agropecuária perdem o direito de aposentadoria rural; a certificação participativa de serviços ambientais, e sobretudo, a compensação de serviços ambientais, bandeiras principais do Proambiente, encontram entraves para serem colocados em prática, pois não há uma base legal que defina o significado de “serviços ambientais”, conseqüentemente, o MMA ainda não pode operar nenhum instrumento ou mecanismo econômico (mas apenas alternativas temporárias) para proceder a remuneração de serviços ambientais. E de modo geral, a obrigação legal dos convênios entre Governo Federal e entidades da sociedade civil serem abertos e fechados no mesmo ano fiscal é algo completamente incompatível ao calendário agrícola. Essa gama complexa de fatores administrativos e divisão de atribuições entre diversos órgãos públicos geram uma série de entraves à boa execução do Proambiente, principalmente, a descontinuidade de repasse de recursos de fontes diferentes para atividades complementares, o que resulta em “vazios” (muitas vezes de meses) nas atividades do programa. Sem considerar que nos contratos temporários entre organizações da sociedade civil prestadoras de ATER e pessoas físicas (muitas vezes assim estabelecidos, pois os recursos federais não podem ser usados para pagamento de salário de contratados permanentes), o mesmo contratado só pode voltar a prestar serviço à contratante três meses após o encerramento do antigo contrato, causando alta rotatividade nas equipes de ATER, perda de memória institucional, perda de processos coletivos de capacitação técnica e enfraquecimento das relações de confiança (necessária para um programa de serviços ambientais). Sendo assim, o Proambiente vive o dilema de ser um programa sistêmico dentro de uma lógica setorial do Estado.

A breve contextualização acima sobre as inúmeras dificuldades para operar o programa de maneira sistêmica devido aos obstáculos administrativos, políticos e legais encontrados no Estado é fundamental para não reduzir a discussão a seguir, sobre a relação entre a institucionalidade local (VARIÁVEL 1) e os resultados dos Pólos do Proambiente (VARIÁVEL 2), somente a essas duas próprias variáveis. É notório que todos os Pólos Pioneiros do Proambiente vem enfrentando dificuldades para se consolidarem devido à falta de ação mais ativa do Governo Federal, no entanto, os primeiros resultados do Proambiente também demonstram que os diferentes perfis institucionais das Entidades Executoras dos Pólos (entidades da sociedade civil organizada eleitas pelo Conselho Gestor do Pólo como prestadoras de assessoria técnica e extensão rural) são fatores capitais para a consolidação do programa.

Na tabela 1 são identificados os 10 Pólos Pioneiros do Proambiente (pólos de agricultura familiar e agroextrativismo; o décimo primeiro pólo de pesca artesanal identificado na figura 1 não será analisado nesse artigo; e o décimo segundo pólo indígena acabou não se estabelecendo) e suas respectivas Entidades Executoras dos Pólos. As Entidades Executoras dos Pólos do Proambiente são classificadas em três categorias: CATEGORIA “A”: instituições de ação local originadas de produtores familiares rurais locais; CATEGORIA “B”: instituições de ação local originadas de técnicos ligados aos movimentos sociais rurais locais; CATEGORIA “C”: instituições de ação estadual originadas de representantes de produtores familiares rurais (Tabela 2). A relação da institucionalidade local com os resultados do Proambiente é mostrada na tabela 3. A interpretação dos resultados da tabela 3 traz respostas a uma pergunta relevante do presente artigo:

*O Proambiente é simplesmente um programa de remuneração de serviços ambientais ou é um programa de desenvolvimento territorial atrelado a uma estratégia de redesenho de sistemas produtivos para manejo integrado das unidades de produção e prestação de serviços ambientais em escala de paisagem rural, tendo a remuneração de serviços ambientais como um reconhecimento ao movimento organizado para a mudança?*

A metodologia do Proambiente prevê as seguintes etapas para consolidação de um Pólo: ETAPA 1 – elaboração do Plano de Desenvolvimento Sustentável do Pólo (PD); ETAPA 2 – elaboração dos Diagnósticos de Unidades de Produção (DIAG PU); ETAPA 3 – elaboração dos Planos de Utilização das Unidades de Produção (PU) e Acordos Comunitários de Certificação Participativa de Serviços Ambientais (AC); ETAPA 4 – Assessoria Técnica e Extensão Rural (ATER); ETAPA 5 – Compensação de Serviços Ambientais (CSA).

Conforme apresentado na tabela 3, nove Pólos Pioneiros desenvolveram a ETAPA 1 (PD), ainda com o Proambiente na condição de projeto da sociedade civil organizada (2002/2003), sob apoio financeiro do Subprograma de Políticas de Recursos Naturais (SPRN) do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Durante esses dois anos, o Proambiente também contou com uma Secretaria-Executiva dentro do Subprograma Projetos Demonstrativos (PDA) do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Em 2003, primeiro ano do Governo Lula, o Proambiente é incluído no Plano PluriAnual (PPA) 2004/2007, constituindo-se, a partir do ano seguinte (2004) em política pública federal, tendo como unidade gestora a Secretaria de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável (SDS) do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Por conseguinte, a Secretaria-Executiva do Proambiente, alocada no PDA/MMA, foi extinta no final de 2003, passando a execução da nova política pública federal para a Gerência do Proambiente (SDS/MMA), a partir de janeiro de 2004. Em 2003, o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA) captou recursos financeiros da Embaixada dos Países Baixos, e por meio do Projeto de Cooperação Técnica Brasil Holanda (PCT BH), foram lançados dois Termos de Referência, PCT BH 1 e PCT BH 2, respectivamente, para a execução da ETAPA 2 (DIAG PU) em 2004 e ETAPA 3 (PU + AC) em 2005. Em 2004, um novo Pólo é aberto (Pólo Baixada – no estado do Maranhão), partindo oito Pólos para a ETAPA 2 (DIAG PU), o novo Pólo Baixada (MA) para a ETAPA 1 (PD) e o Pólo Laranjal do Jarí (AP) repetindo a ETAPA 1 (PD), pois não teve seu produto PD aprovado pelo Conselho Gestor Nacional do Proambiente (CONGEN) enquanto executado como projeto da sociedade civil (2002/2003). É importante frisar que este último Pólo tinha como Entidade Executora do Pólo (EEP) o Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Laranjal do Jarí (SINTRULAJA), que com características institucionais da CATEGORIA C, foi substituído, de 2003 para 2004 (ETAPA 1 para 2), pelo Instituto de Estudos Socioambientais (IESA) (CATEGORIA B). Da mesma forma, o Pólo Alto Acre (AC), com problemas na qualidade do produto da ETAPA 1 (PD), substituiu a Federação dos Trabalhadores e Trabalhadoras na Agricultura (FETACRE), também com características institucionais da CATEGORIA C, pelo Grupo de Pesquisa e Extensão em Sistemas Agroflorestais do Acre (PESACRE) (CATEGORIA B), e só não teve seu produto reprovado pelo Conselho Gestor Nacional do Proambiente (CONGEN), pois um arranjo interinstitucional local, fortemente apoiado pelo Governo Estadual do Acre, foi constituído para revisar e ajustar o produto elaborado durante a ETAPA 1 (PD).

O fechamento da ETAPA 1 começava a demonstrar os primeiros sinais entre o perfil institucional local e os respectivos resultados dos Pólos do Proambiente. Enquanto os Pólos categorizados como A e B constituíram Conselhos Gestores dos Pólos (CONGEPs) relativamente organizados e ativos (tendo a maioria articulado apoio financeiro e logístico de governos estaduais ou municipais), e elegeram Entidades Executoras dos Pólos (EEPs) dentro de uma relação de confiança mútua e boa divisão de atribuições entre deliberação política e execução técnica, os Pólos categorizados como C misturaram essas atribuições, não avançaram na relação de confiança entre CONGEP e EEP e se retraíram na articulação local com órgãos públicos e entidades do terceiro setor.

Essa determinante institucional nos resultados do programa fica mais clara no final da ETAPA 2 (2004). Na tabela 3, os quatro Pólos da CATEGORIA A, e dois entre quatro Pólos da CATEGORIA B, concluem o produto (DIAG PU), sendo que o Pólo Baixada (MA), também da CATEGORIA B, iniciado mais tarde, de igual forma atinge o produto (PD) por ele estipula-

do (fechando a sua ETAPA 1). Portanto, somente o Pólo Laranjal do Jarí, entre os Pólos classificados nas CATEGORIAS A e B, apesar da mudança de CATEGORIA C para B (SINTRULAJA para IESA), não consegue fechar a FASE 1 (pela segunda vez) no prazo planejado, entregando seu produto (PD) com meio ano de atraso, momento em que os Pólos A e B já se estavam em plena execução da ETAPA 3 (PU + AC).

Já os Pólos Vale do Apiaú (RR) e Manaus – RP Eva (AM), com EEPs classificadas na CATEGORIA 3, iniciaram 2004 a frente do Pólo Laranjal do Jarí (AP) (na ETAPA 1), executando a ETAPA 2. No entanto, a exemplo do último, esses Pólos também atrasaram a entrega dos produtos (DIAG PU), apresentando-os somente no meio de 2005, sem a qualidade esperada, muito mais atendendo as demandas administrativas da Gerência do Proambiente (SDS/MMA) do que propriamente estabelecendo um processo de construção coletiva para diagnosticar as características socioeconômicas e demandas das famílias envolvidas com as unidade de produção cadastradas no Proambiente.

Em 2005, os quatro Pólos da CATEGORIA A e dois Pólos da CATEGORIA B finalizam com sucesso a ETAPA 3, entregando os correspondentes produtos PU + AC no prazo previsto e com a qualidade esperada. Já o Pólo Baixada (MA), na CATEGORIA 2, apesar de seu início mais tardio, demonstra uma grande capacidade institucional, e dentro de somente um ano, avança na finalização dos produtos DIAG PU (da ETAPA 2) e PU (metade da ETAPA 3). Nesse último caso, é necessário considerar que a Gerência do Proambiente (SDS/MMA), facilitadora da construção coletiva da metodologia do programa, já possuía mais experiência para gerenciar a execução dos produtos, sendo um fator importante para o avanço rápido do Pólo Baixada (MA), contudo, o perfil institucional da EEP PLANEJA parece mais determinante na boa execução dos produtos.

Novamente, os Pólos Laranjal do Jarí (AP) (único da CATEGORIA B), Vale do Apiaú (RR) e Manaus RP Eva (AM) (CATEGORIA C) davam sinais de fragilidade, não tendo seus produtos aprovados, em 2004, nas ETAPAS 1 (Pólo Laranjal do Jarí – AP) e 2 (Pólos Vale do Apiaú – RR e Manaus RP Eva – AM), ficando inelegíveis, a partir de 2005, para captarem os recursos financeiros do PCT BH 2 e iniciarem, respectivamente, as ETAPAS 2 e 3.

Um Pólo pode ser considerado implantado a partir da finalização da ETAPA 3, entrando num processo de consolidação a partir da ETAPA 4, sendo consolidado após o início da compensação de serviços ambientais, prevista na ETAPA 5. Ressalta-se que durante as ETAPAS de 1 a 3, as equipes técnicas das EEPs trabalharam o processo de implantação dos Pólos, e somente a partir da ETAPA 4, seus trabalhos ganham características efetivas de Assessoria Técnica e Extensão Rural (ATER), visando a consolidação dos Pólos, por meio de operacionalização dos PDs, PUs e ACs.

Durante todas as ETAPAS de 1 a 5 (2002 a 2005) de consolidação dos Pólos do Proambiente, o PRONAF Capacitação, modalidade de fomento para capacitação técnica do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), apoiou a Gerência do Proambiente (SDS/MMA) na capacitação das equipes técnicas das EEPs. As capacitações das ETAPAS 1, 2 e 3 tiveram mais características de construção coletiva da metodologia do Proambiente, e as ETAPAS 4 e 5 com perfil mais técnico e tecnológico para propiciar o exercício de ATER, por meio de cursos teóricos e trocas de experiências de campo entre os Pólos.

A tabela 3 mostra que os Pólos Transamazônica (PA), Ouro Preto d'Oeste (RO), Rio Capim (PA) e Noroeste (MT) (CATEGORIA A), Bico do Papagaio (TO) e Alto Acre (AC) (CATEGORIA B) fecham a ETAPA 3 em 2005, abrindo o ano de 2006 com a ETAPA 4, podendo ser considerados implantados, logo, recebendo apoio do MDA para constituição de equipes efetivas de ATER. Já o Pólo Baixada (MA) (CATEGORIA B) também entra em 2006 recebendo apoio do MDA para constituir equipes de ATER, embora tenha pendente o fechamento de parte do produto da ETAPA 3 (AC), mas como foi demonstrado anteriormente, a EEP deste Pólo demonstrou perfil institucional para fechamento do produto, simultaneamente, a execução das ETAPAS subseqüentes. Todavia, contraditoriamente aos pressupostos estabelecidos na metodologia do Proambiente construída coletivamente, a EEP do Pólo Laranjal do Jarí (AP) (CATEGORIA B) também acessou os recursos financeiros de ATER do MDA, embora não

tenha concluído as ETAPAS anteriores. De igual forma, a oportunidade para acessar esses recursos também foi aberta aos Pólos Vale do Apiaú (RR) e Manaus RP Eva (CATEGORIA C), contudo, esses Pólos mais uma vez evidenciaram sua fragilidade institucional e não apresentaram projeto. Talvez fosse mais estratégico pensar em alternativas para esses Pólos se fortalecerem a queimar ETAPAS.

A situação acima e os dados da tabela 3 mostram não só falta de ação governamental integrada na transferência de responsabilidades das ETAPAS 1 a 3 (implantação dos Pólos) sob gestão do Ministério do Meio Ambiente (MMA) à ETAPA 4 (processo de consolidação dos Pólos) sob gestão do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), mas também novamente ratificam a relação entre o avanço da implantação e consolidação dos Pólos frente ao perfil institucional das EEPs categorizadas em A, B e C. A constatação é de que a apresentação de produtos mais obedecem demandas administrativas governamentais do que, objetivamente, o atendimento de demandas sociais e, sobretudo, o cumprimento de critérios para a execução das ETAPAS e consolidação dos Pólos. Não se trata de fazer uma crítica ao Governo Federal, pelo contrário, a presente análise objetiva colaborar para o aprimoramento do Proambiente como política pública federal ao longo dos anos, buscando a criação de critérios efetivos para a consolidação dos Pólos. Também não se pretende fazer uma crítica as EEPs da CATEGORIA C, mas demonstrar que os resultados do Proambiente expõem para a necessidade de criação de estratégias diferenciadas para cada perfil institucional local. Nos casos das EEPs categorizados em A e B (exceto Pólo Laranjal do Jarí – AP), o Proambiente tem potencial de avançar, e esse avanço depende mais da ação governamental integrada e prioritária em relação ao Proambiente do que propriamente das entidades da sociedade civil organizada executoras desses Pólos, pois as mesmas já demonstraram grande capacidade institucional e vontade coletiva de consolidar o programa. Já no caso das EEPs categorizados como C, além da EEP do Pólo Laranjal do Jarí (AP) categorizada como B, a estratégia sugerida ao Governo Federal é de frear a tentativa ineficiente de avançar a consolidação desses Pólos e partir para um amplo processo de formação e fortalecimento do capital social e institucional local. Ao que parece, na falta dessa estratégia, o Governo Federal optou em não assumir um passivo político de encerrar esses Pólos e vai disponibilizando oportunidades que não geram resultados reais.

A última interpretação dos resultados apresentados na tabela 3 refere-se à ETAPA 5, de compensação de serviços ambientais (e consolidação dos Pólos). Na falta de uma base legal de serviços ambientais, e conseqüentemente, de instrumentos e mecanismos econômicos para executar a remuneração de serviços ambientais, o Ministério do Meio Ambiente (MMA), com muita habilidade, captou recursos financeiros do Ministério do Desenvolvimento Social (MDS), alocando-os no Subprograma Agroextrativismo (SDS/MMA), além de dispor recursos financeiros do Subprograma Projetos Demonstrativos (PDA/MMA), criando a opção de apoio à projetos para a “implementação de PUs”. Os Pólos Transamazônica (PA), Ouro Preto d’Oeste (RO) e Noroeste (MT) (CATEGORIA A), Bico do Papagaio (TO) e Alto Acre (AC) (CATEGORIA B) foram contemplados com recursos financeiros, via projetos apresentados aos Subprogramas Agroextrativismo ou PDA (SDS/MMA), que estão sendo usados para contemplar a compensação de serviços ambientais (CSA) às famílias cadastradas, na ordem de um terço (1/3) do salário mínimo de referência do ano de 2005, isto é, R\$ 100,00 (cem reais) ao mês, durante o primeiro semestre de 2006.

Entretanto, chama a atenção o fato do Pólo Rio Capim (PA) (CATEGORIA A), apesar de ter cumprido as ETAPAS 1 a 3, e ser contemplado com recursos do MDA para ATER na ETAPA 4, não ser beneficiado com a compensação de serviços ambientais (CSA) estipulados pela ETAPA 5. Apesar dos esforços do Ministério do Meio Ambiente (MMA) para captar recursos financeiros adicionais, visando dar continuidade, no segundo semestre de 2006, à remuneração de serviços ambientais nos Pólos em vigência, assim como contemplar os Pólos Rio Capim (PA) (CATEGORIA A) e Baixada (MA) (CATEGORIA B), fica evidente a fragilidade da estratégia governamental decorrente da falta da base legal de serviços ambientais. Ademais, vê-se que os compromissos políticos e as demandas administrativas, novamente, sobrepõem-se à obediência aos critérios sociais e técnicos construídos de forma participativa pelos beneficiários do Proambiente. A contemplação de determinados Pólos com remuneração de serviços ambientais,

frente à não contemplação de outros com igual capacidade de cumprimento das ETAPAS estipuladas, abre um precedente indesejado para consolidação do programa como política pública federal que busca superar a dicotomia entre produção rural e meio ambiente.

Outro ponto importante a se observar é a falta de vínculo entre os Acordos Comunitários de Certificação Participativa de Serviços Ambientais (ACs), estabelecidos por vários grupos comunitários dentro de cada Pólo, e a remuneração de serviços ambientais. A iniciativa de se considerar o cumprimento dos ACs para efetivar a remuneração de serviços ambientais está restrita à atitude voluntária dos grupos comunitários de cada Pólo, e não ao acompanhamento da Gerência do Proambiente (SDS/MMA), que visivelmente não contém capilaridade e capacidade operacional para ir a campo facilitar e monitorar o estabelecimento dos laços de confiança desejados para o cumprimento de serviços ambientais em escala de paisagem rural.

Assim sendo, a interpretação dos resultados da tabela 3 leva às seguintes respostas à pergunta exposta acima:

Os Pólos classificados na CATEGORIA A e B (exceto Pólo Laranjal do Jarí – AP), apresentam processos históricos de construção social visando encontrar soluções tecnológicas alternativas para a viabilização econômica e ecológica das unidades de produção, tais como a eliminação ou uso controlado do fogo nos sistemas de produção, o enriquecimento de capoeiras com espécies de valor econômico e alimentar, a diversificação de sistemas produtivos por meio da implementação de sistemas agroflorestais (simulando na produção econômica a sucessão ecológica de espécies, ou seja, concatenando a economia com a ecologia, a partir de desenho e redesenho de sistemas produtivos cíclicos, que imitam os processos da natureza, ao invés de conceber processos produtivos lineares estabelecidos pela lógica econômica) e outras várias soluções inovadoras e criativas. Esse perfil social induziu a formação de instituições de atuação local (FVPP, APA, FANEP, AJOPAM, APATO, PESACRE e PLANEJA), sendo que os pressupostos do Proambiente e a prestação de serviços ambientais em escala de paisagem rural foram colocados em práticas antes mesmo da concepção do programa e do uso do termo “serviços ambientais”, logo:

*Para as realidades dos Pólos na CATEGORIA A e B, o Proambiente se constitui como um programa de desenvolvimento territorial atrelado a uma estratégia de redesenho de sistemas produtivos para manejo integrado das unidades de produção e prestação de serviços ambientais em escala de paisagem rural, tendo a remuneração de serviços ambientais como um reconhecimento ao movimento organizado para a mudança.*

Já os Pólos classificados na CATEGORIA C possuem EEPs com origens institucionais distintas, isto é, entidade sindical de representação política de abrangência estadual (FETAG-RR) ou organização não governamental criada para abrir espaços para esse tipo de ação estratégica (JANDAÍRA), que cumprem papel extremamente relevante na sociedade, mas que pelo seu perfil de atuação profissional, não está organicamente presente nas discussões locais sobre alternativas tecnológicas para a sustentabilidade do uso da terra e dos recursos naturais. Além disso, estão em regiões geográficas com fragilidades institucionais e que não aderiram ao Proambiente a partir de uma movimentação social local com histórico em ensaios de práticas sustentáveis, mas por oferta do CONGEP e da EEP às famílias dos Pólos. Nesses casos, o debate sobre remuneração de serviços ambientais é ponto de partida, e não resultado final, do processo de construção social dos Pólos, o que resulta num olhar ao Proambiente mais como chance de obtenção de renda do que compensação dos custos de oportunidade para conversão qualitativa de uso da terra e dos recursos naturais, logo:

*Para as realidades dos Pólos na CATEGORIA C, o Proambiente se constitui simplesmente em um programa de remuneração de serviços ambientais.*

Por fim, o Pólo Laranjal do Jarí (CATEGORIA B) tem característica mista, localizado numa região que ainda não conseguiu consolidar capital social suficiente para enfrentar os desafios do Proambiente, mas que tem uma EEP com origem e perfil institucional similar aos Pólos que avançam nos pressupostos do programa.

Tabela 1 – Identificação dos Pólos Pioneiros e respectivas Entidades Executoras dos Pólos

UF	PÓLOS	ENTIDADE EXECUTORA DO PÓLO (EEP)
PA	TRANSAMAZÔNICA	FUNDAÇÃO VIVER PRODUZIR E PRESERVAR (FVPP)
RO	OURO PRETO D'OESTE	ASSOCIAÇÃO DE PRODUTORES ALTERNATIVOS (APA)
PA	RIO CAPIM	FUNDAÇÃO SOCIO AMBIENTAL DO NORDESTE PARAENSE (FANEP)
MT	NOROESTE	ASSOCIAÇÃO RURAL JUINENSE ORGANIZADA PARA AJUDA MÚTUA (AJOPAM)
TO	BICO DO PAPAGAIO	ALTERNATIVAS PARA A PEQUENA AGRICULTURA NO TOCANTINS (APATO)
AC	ALTO ACRE	GRUPO DE PESQUISA E EXTENSÃO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS DO ACRE (PESACRE)
MA	BAIXADA	ASSESSORIA, CONSULTORIA E CAPACITAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (PLANEJA)
AP	LARANJAL DO JARÍ	INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS (IESA)
RR	VALE DO APIAÚ	FEDERAÇÃO DOS TRABALHADORES E TRABALHADORAS NA AGRICULTURA DE RORAIMA (FETAG-RR)
AM	MANAUS/ RP EVA	INSTITUTO JANDAÍRA (JANDAÍRA)

Tabela 2 – Características Institucionais das Entidades Executoras dos Pólos do Proambiente

UF	PÓLOS	EEP	CATEGORIA	CARACTERÍSTICAS INSTITUCIONAIS
PA	TRANSAMAZÔNICA	FVPP	A	INSTITUIÇÕES DE AÇÃO LOCAL ORIGINADAS DE PRODUTORES FAMILIARES RURAIS LOCAIS
RO	OURO PRETO D'OESTE	APA		
PA	RIO CAPIM	FANEP		
MT	NOROESTE	AJOPAM		
TO	BICO DO PAPAGAIO	APATO		
AC	ALTO ACRE	PESACRE	B	INSTITUIÇÕES DE AÇÃO LOCAL ORIGINADAS DE TÉCNICOS LIGADOS AOS MOVIMENTOS SOCIAIS RURAIS LOCAIS
MA	BAIXADA	PLANEJA		
AP	LARANJAL DO JARÍ	IESA	C	INSTITUIÇÕES DE AÇÃO ESTADUAL ORIGINADAS DE REPRESENTANTES DE PRODUTORES FAMILIARES RURAIS
RR	VALE DO APIAÚ	FETAG-RR		
AM	MANAUS/ RP EVA	JANDAÍRA		

Tabela 3 – Relação da Institucionalidade Local com os Resultados do Proambiente

FINANCIADOR				SPRN/MMA	PCT BH 01	PCT BH 02	MDA	MMA
FINALIDADE DO FINANCIAMENTO				PD	DIAG PU	PU + AC	ATER	CSA
APOIO PARA CAPACITAÇÃO DAS EQUIPES DAS EEPs						PRONAF CAPACITAÇÃO / MDA		
ETAPA				1	2	3	4	5
CONDIÇÃO DE EXECUÇÃO DO PROAMBIENTE				Projeto Sociedade		Política Pública Federal		
COORDENAÇÃO EXECUTIVA				Secretaria-Executiva		Gerência do Proambiente / SDS / MMA		
UF	POLOS	CAT	EEP	2002 / 2003	2004	2005	2006	
PA	Transamazônica	A	FVPP	PD	DIAG PU	PU+ AC	ATER	CSA
RO	Ouro Preto D'Oeste	A	APA	PD	DIAG PU	PU+ AC	ATER	CSA
PA	Rio Capim	A	FANEP	PD	DIAG PU	PU+ AC	ATER	-
MT	Noroeste	A	AJOPA	PD	DIAG PU	PU+ AC	ATER	CSA
TO	Bico do Papagaio	B	APATO	PD	DIAG PU	PU+ AC	ATER	CSA
AC	Alto Acre	B	PESAC	PD	DIAG PU	PU+ AC	ATER	CSA
MA	Baixada	B	Planeja	-	PD	DIAG PU+PU	AC+ATER	-
AP	Laranjal do Jarí	B	IESA	PD	PD	-	ATER	-
RR	Vale do Apiaú	C	FETAG-RR	PD	DIAG PU	-	-	-
AM	Manaus / RP Eva	C	JANDAÍRA	PD	DIAG PU	-	-	-

## LEGENDA DOS FINANCIADORES:

SPRN: Subprograma de Políticas de Recursos Naturais;

PCT BH 01: Projeto de Cooperação Técnica Brasil / Holanda – Termo de Referência 01/2003 (executado em 2004);

PCT BH 02: Projeto de Cooperação Técnica Brasil / Holanda – Termo de Referência 01/2004 (executado em 2005);

MDA: Ministério do Desenvolvimento Agrário;

MMA: Ministério do Meio Ambiente.

## LEGENDA DA FINALIDADE DO FINANCIAMENTO:

PD: Plano de Desenvolvimento Sustentável do Pólo (ETAPA 1);

DIAG PU: Diagnóstico de Unidade de Produção (ETAPA 2);

PU + AC: Plano de Utilização de Unidade de Produção + Acordos Comunitários (ETAPA 3);

ATER: Assessoria Técnica e Extensão Rural (ETAPA 4);

CSA: Compensação de Serviços Ambientais (ETAPA 5).

## LEGENDA DO APOIO PARA CAPACITAÇÃO DAS EQUIPES DAS EEPs:

PRONAF CAPACITAÇÃO: Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar / modalidade de fomento para capacitação técnica.

### OUTROS ENTRAVES AOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS: BREVE CONTEXTO DO MDL

A primeira parte do presente artigo trouxe a discussão sobre a importância do capital social e institucional na concepção e execução de políticas públicas de desenvolvimento rural sustentável, ilustrando que as relações sociais são indissociáveis dos processos políticos e econômicos do desenvolvimento, que a ligação entre ecologia e economia passa pela consideração dos processos sociais e especificidades locais, e que o estabelecimento de redes e laços formais e informais de confiança são fundamentais para a superação da dicotomia entre produção rural e meio ambiente.

A segunda parte demonstra a capacidade propositiva dos movimentos sociais rurais amazônicos para fazerem valer, em políticas públicas de desenvolvimento rural sustentável, a sua realidade

sociocultural e territoriais. A adaptação dos instrumentos e mecanismos econômicos governamentais às especificidades sociais, culturais, ecológicas e políticas locais passa a ser condição para a boa operacionalização de políticas públicas de fomento aos sistemas produtivos locais caracteristicamente diversificados.

A terceira parte liga a primeira e a segunda, quando relaciona o perfil institucional local aos resultados do estudo de caso do Proambiente, uma política pública federal com fortes conceitos de desenvolvimento rural sustentável proposta pelos movimentos sociais rurais da Amazônia Legal.

Seguindo esse raciocínio, o uso de sistemas diversificados (sobretudo os sistemas agroflorestais) cumpre relevante papel ecológico de prestação de serviços ambientais em escala de paisagem rural, desde que os arranjos institucionais locais demonstrem capacidade de estabelecer redes e laços de confiança. Os sistemas agroflorestais também apresentam importância socioeconômica quando dados demonstram sua maior capacidade de geração de emprego e renda, além de estarem dentro da realidade cultural local.

Portanto, para que os sistemas agroflorestais possam avançar como paradigma de produção rural sustentável, dentro de um bojo mais amplo de desenvolvimento rural sustentável, fica evidente a necessidade de adaptações políticas e administrativas que venham transformar a lógica setorial do Estado à uma lógica sistêmica, assim como a criação de instrumentos e mecanismos econômicos na esfera pública federal capazes de reconhecer os custos de oportunidade para conversão qualitativa de uso da terra e dos recursos naturais na forma de remuneração de serviços ambientais. E de maneira geral, todas essas estratégias devem considerar a necessidade de formação e fortalecimento do capital social e institucional local para potencializar os resultados das políticas públicas.

Enquanto acima foram apresentados resultados e críticas construtivas que podem balizar o aperfeiçoamento dos instrumentos e dos mecanismos de desenvolvimento, hoje presentes no Estado brasileiro, visando um futuro mais sustentável, essa parte final resgata e vai além da discussão apresentada no artigo “*O Repensar da Lógica Econômica na Produção Amazônica: A Importância dos Sistemas Agroflorestais em Escala de Paisagem Rural na Construção Social da Verificação Participativa de Serviços Ambientais do Proambiente*”, capítulo do livro “*Sistemas Agroflorestais, Desenvolvimento com Proteção Ambiental: Análises e Tendências*”, lançado no ano de 2006 pela Embrapa Florestas, a partir das palestras apresentadas no V Congresso de Sistemas Agroflorestais (realizado em Curitiba, em 2004), apontando de forma crítica os entraves promovidos pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) (estabelecido pelas Conferências das Partes sobre Mudanças Climáticas) para contemplar projetos florestais de pequena escala baseados em sistemas agroflorestais.

Mattos (2006) simulou dois cenários para uma mesma unidade de produção familiar rural de 100 hectares; Cenário 1 – Unidade de Produção sem Proambiente (tempo = zero): 33 hectares de pasto extensivo (20 cabeças de gado); 2 hectares de roça tradicional (com uso do fogo) de arroz, feijão, mandioca e milho; 20 hectares de capoeira (sistema de rotação da roça); 15 hectares de floresta secundária (sistema roça + pasto abandonado); 30 ha de mata explorada, criação extensiva de pequenos animais; Cenário 2 – Unidade de Produção com Proambiente (tempo = 10 anos): 20 hectares de pasto (30 cabeças de gado); 4 hectares de sistemas agroflorestais, 1 hectare de roça semi-intensiva (sem uso de fogo) de arroz, feijão, mandioca e milho; 10 hectares de capoeira (sistema de rotação da roça); 35 hectares de floresta secundária manejada; 30 hectares de mata explorada; criação de 100 galinhas, 15 porcos e 15 caixas de abelhas. Em ambos cenários, foram analisados (i) o percentual de cobertura vegetal por tipo de uso da terra ao longo de 10 anos (Figuras 2 e 3) e (ii) o estoque de carbono ao longo de 10 anos (Figuras 4 e 5).

De acordo com Mattos (2006), os resultados ilustrados nas Figuras 2 a 5, se não analisados com cuidado, podem levar à incorreta conclusão de que o sistema agroflorestal colabora pouco com a cobertura florestal (Figura 2 versus Figura 3) e com o estoque de carbono (Figura 4 versus Figura 5) da unidade de produção; no entanto, dentro de uma proposta de manejo integrado dos sistemas de produção, somente a partir da introdução dos sistemas agroflorestais é possível estabilizar o desmatamento das unidades de produção e reverter a tendência negativa (Cenário 1) para positiva (Cenário 2) da cobertura florestal e estoque de carbono.

Ainda Mattos (2006), esse exercício é interessante para provocar o debate e negar os atuais

conceitos de adicionalidade de sistemas agroflorestais e elegibilidade de projetos florestais de pequena escala do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). As regras do MDL estabelecem que, para ser elegível, um projeto tem que ser adicional em assimilação de carbono em comparação a uma situação sem projeto. Considerando que a floresta primária tem 160 t/ha de C, e que sistemas agroflorestais assimilam 80 t/ha de C ao longo de vários anos até sua estabilização (ambos valores médios para a realidade da Amazônia Legal), então projetos florestais de pequena escala, baseados em sistemas agroflorestais, para as regras do MDL, não são elegíveis se aplicados na Amazônia Legal. No entanto, além de não haver garantias que a floresta primária permaneça em pé (que traz a necessidade do MDL assumir a modalidade “desmatamento evitado”, além do “seqüestro de carbono”, principalmente para o caso do Brasil, que tem dois terços de sua emissão do desmatamento da Amazônia Legal), as regras do MDL ignoram a lógica de manejo integrado das unidades de produção do Proambiente (focando na consideração de um subsistema ou produto específico dentro da propriedade), que não só são adicionais em estoque de carbono (basta comparar as Figuras 4 e 5), mas substancialmente, estimulam a ação coletiva e os laços de confiança comunitários a partir da verificação participativa de serviços ambientais.

Por fim, na tabela 4 é apresentada uma simulação de seis cenários para projetos agroflorestais de pequena escala. Esses resultados são fruto de um diagnóstico preliminar de viabilidade econômica de projetos comunitários para a venda de créditos de carbono, conforme os pressupostos do MDL, que o Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) vem desenvolvendo no Pólo Transamazônica (PA), em parceria com a Fundação Viver Produzir e Preservar (FVPP), *The Nature Conservancy* (TNC) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Os seis cenários foram construídos baseados no cruzamento de duas variáveis: (i) taxa de acúmulo de carbono (simulando duas médias: 1,5 e 2,5 t/ha/ano de C) e (ii) preço da tonelada de carbono (simulando três valores: US\$ 3,00, US\$ 5,00 e US\$ 7,00 t CO<sub>2</sub>).

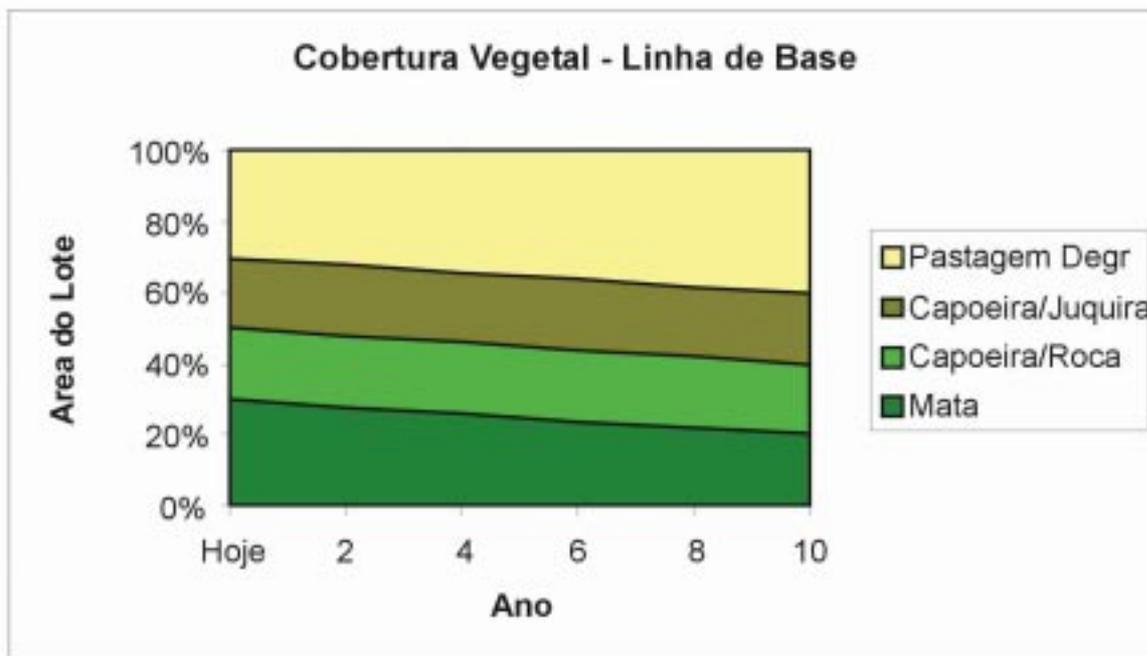
A partir da suposição de dois hectares de sistemas agroflorestais por família (considerando as 405 famílias cadastradas no Pólo), chegou-se à área de 810 hectares de sistemas agroflorestais, que foi multiplicada pelo tempo estimado em um hipotético projeto (de 20 anos), pelas duas variáveis acima e pelo fator (3,66) de conversão de C para CO<sub>2</sub>, atingindo-se a renda gerada (em 20 anos, anual e mensal) desde o cenário 1 (mais pessimista) até o cenário 6 (mais otimista). Na última coluna, a renda familiar mensal foi dividida pelo fator 4 (considerou-se o valor de R\$ 10,00 da diária de trabalho local e o câmbio de US\$ 1,00 = R\$ 2,50, o que resulta em US\$ 4,00 a diária local) para se obter o valor aproximado da suposta venda de carbono em diária de trabalho local (linguagem apropriada para debate com os produtores). O cenário 1 aponta a renda com venda de créditos de carbono de sistemas agroflorestais num valor equivalente a irrisórios sessenta e nove centésimos de uma diária de trabalho local, enquanto o cenário 6 aproxima-se do valor (ainda nada otimista) de 2,67 diárias de trabalho local. Propositalmente, a coluna de custo de oportunidade de implementação de sistemas agroflorestais foi preenchida com um sinal de interrogação, sugerindo esse cálculo para futuros trabalhos, no sentido de avaliar a viabilidade econômica do MDL para projetos agroflorestais de pequena escala. Entretanto, já se pode prever a evidente conclusão sobre a inviabilidade das atuais regras do MDL para a sustentabilidade econômica de projetos agroflorestais de pequena escala, pois não se aventa a hipótese mais otimista do custo de oportunidade de implantação desses sistemas ser inferior a 2,67 diárias de trabalho por mês.

## CONCLUSÃO

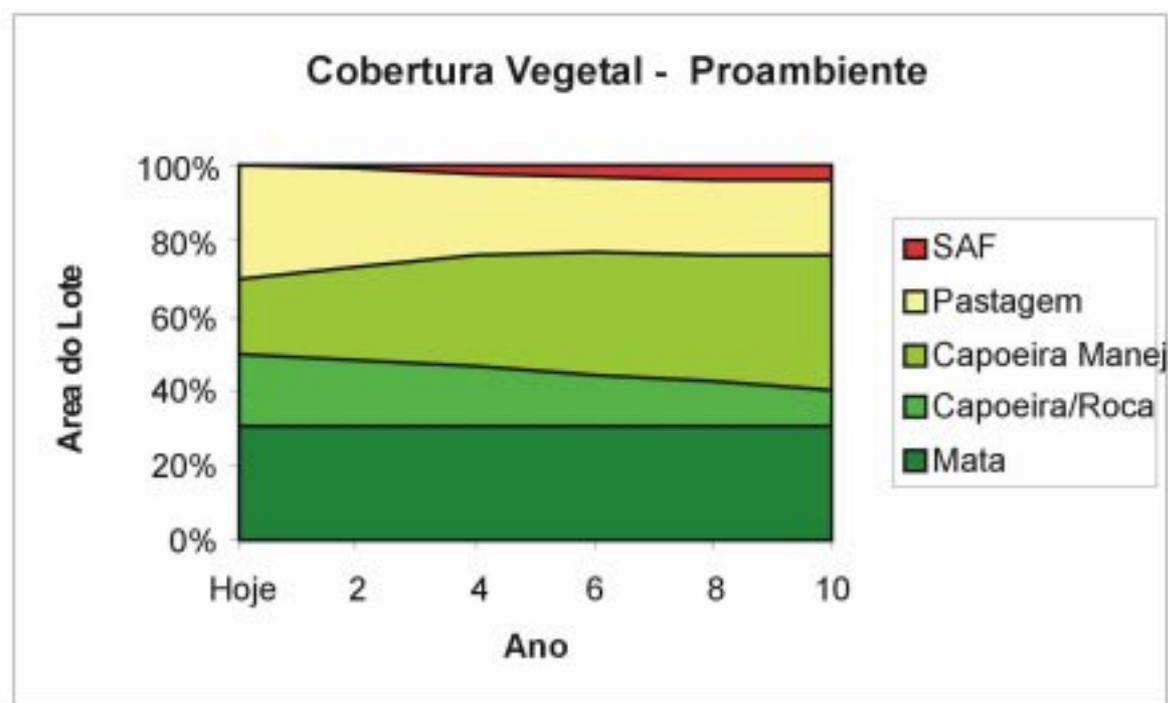
Não só os instrumentos e mecanismos econômicos do Estado brasileiro precisam ser repensados para contemplar novos princípios de produção, mas também as regras do MDL precisam ser rediscutidas, atribuindo valor ao carbono dentro do contexto territorial local (ao invés de estipular valores fixos e incentivar modelos homogêneos). Na forma atual, o MDL mais reproduz a lógica econômica predominante “maqueada” de verde, ao invés de promover a mitigação de mudanças climáticas dentro de verdadeiros princípios de desenvolvimento rural sustentável. Logo, há de se afinar o verde ao social para a distribuição do capital.

**Percentual de Cobertura Vegetal por Tipo de Uso da Terra (10 anos)**

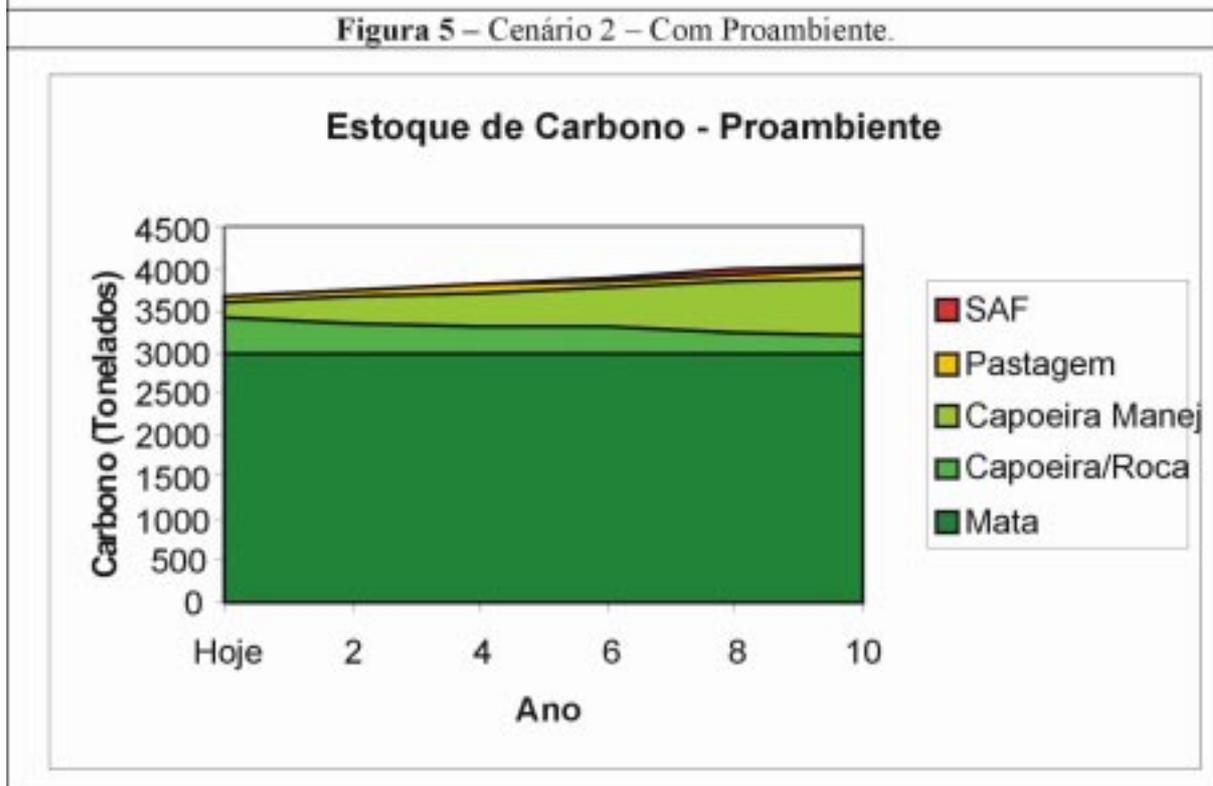
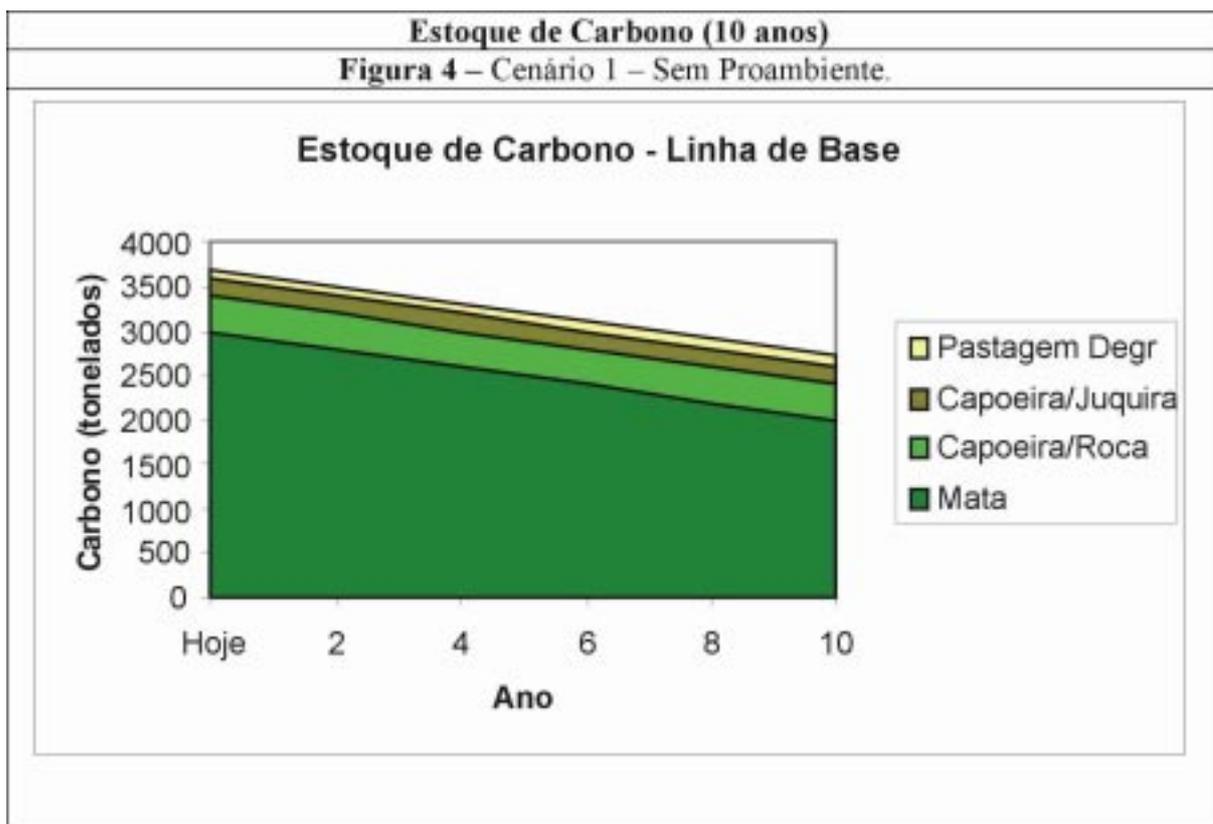
**Figura 2 – Cenário 1 – Sem Proambiente.**



**Figura 3 – Cenário 2 – Com Proambiente.**



Fonte: Mattos (2006)



Fonte: Mattos (2006).

Tabela 4 – Simulação de cenários para projetos agroflorestais de pequena escala

Uso da Terra	Número de Famílias	Área Elegível (ha)	Tempo de Projeto	Taxa de Acumulado (t/ha/ano)	Preço t CO <sub>2</sub> (US\$)	Total 20 anos (CO <sub>2</sub> equ.)	Renda 20 anos (US\$)	Custo de Oportunidade	Renda família/ano (US\$)	Rer família (US\$)
SAF	405	810	20	1,5	3	88.938,00	266.814,00	?	32,94	2,1
						<b>Cenário 1</b>				
SAF	405	810	20	2,5	3	148.230,00	444.690,00	?	54,90	4,1
						<b>Cenário 2</b>				
SAF	405	810	20	1,5	5	88.938,00	444.690,00	?	54,90	4,1
						<b>Cenário 3</b>				
SAF	405	810	20	2,5	5	148.230,00	741.150,00	?	91,50	7,1
						<b>Cenário 4</b>				
SAF	405	810	20	1,5	7	88.938,00	622.566,00	?	76,86	6,1
						<b>Cenário 5</b>				
SAF	405	810	20	2,5	7	148.230,00	1.037.610,00	?	128,10	10,1
						<b>Cenário 6</b>				

Fonte: Dados cedidos pelo Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM).

LEGENDA: SAF – Sistemas Agroflorestais

**AGRADECIMENTO:** Agradeço ao Paulo Moutinho, pesquisador e coordenador de pesquisa do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), por ceder a tabela acima sobre simulação de cenários para projetos agroflorestais de pequena escala; esta comporá uma publicação conjunta (a ser lançada em setembro de 2006) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) e do International Institute for Sustainable Development (IISD – organização não governamental canadense) sobre estudo de caso de potencial de projetos florestais de pequena escala na Amazônia serem contemplados no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

## LITERATURA CITADA

- ABRAMOVAY, R. O capital social dos territórios: Repensando o desenvolvimento rural. *Economia Aplicada*, 4(2), 2000.
- ABRAMOVAY, R. O capital social dos territórios: Repensando o desenvolvimento rural. In: IV Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Política. Porto Alegre, 2001.
- ABRAMOVAY, R. Desenvolvimento rural territorial e capital social. In: SABOURIN, E. & TEIXEIRA, O.A. eds. Planejamento e desenvolvimento dos territórios rurais: Conceitos, controvérsias e experiências. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2002. p.113-128.
- ABRAMOVAY, R. O futuro das regiões rurais. Porto Alegre, UFRGS Editora, 2003.
- BANCO da AMAZÔNIA. Programa de aplicação de recursos 2000 a 2003. Belém, BASA, 2000.
- BEDUSCHI FILHO, L.C. Assentamentos rurais e conservação da natureza: Do estranhamento à ação coletiva. São Paulo, IGLU Editora / FAPESP, 2003.
- BEDUSCHI FILHO, L.C. & ABRAMOVAY, R. Desafios para o desenvolvimento das regiões rurais. *Nova Economia*, 14:35-70, 2004.
- BERKES, F. & FOLKE, C. Investing in cultural capital for sustainable use of natural capital. In: Investing in natural capital, 1994. p.128-149.
- BOBBIO, N.; MATTEUCCI, N. & PASQUINO, G. Dicionário de Política. Brasília, Editora Universidade de Brasília, 12ª ed., 2004.
- COSTA, F.A. Contexto, impactos e efeitos econômicos do FNO-Especial no estado do Pará. In: TURA, L.R. & COSTA, F. de A. eds. Campesinato e estado na Amazônia: Impactos do FNO no Pará. Brasília, Brasília Jurídica-FASE, 2000. p.225-269.
- FOLKE, C.; HAMMER, M.; COSTANZA, R. & JANSSON, A.M. Investing in natural capital – Why, what, and how? In: Investing in natural capital. 1994. p.1-20.
- FURTADO, C. Formação econômica da América Latina. Rio de Janeiro, Lia Editor S.A., 1969.
- GRANOVETTER, M. Economic action and social structure: The problem of embeddness. *American Journal of Sociology*, 91:481-510, 1985.
- HARDIN, G. The tragedy of the commons. *Science*, 162:1243-1248, 1968.
- HÉBETTE, J. & MOREIRA, E. S. Situação social das áreas rurais amazônicas. In: HÉBETTE, J. ed. Cruzando fronteira: 30 anos de estudo do campesinato na Amazônia. Belém, Editoria Universitária UFPA, 2004a, p.43-61.
- HÉBETTE, J. & MOREIRA, E. S. A marcha do trabalhador do campo rumo à cidadania: Domínio da terra e estrutura social no Pará. In: HÉBETTE, J. ed. Cruzando fronteira: 30 anos de estudo do campesinato na Amazônia. Belém, Editoria Universitária UFPA, 2004b, p.25-41.
- JUNQUEIRA, R.G.P. Estudo sobre gestão e controle social do Proambiente. Consultoria à Secretaria de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável (SDS) do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Brasília: MMA, 2004.
- JUNQUEIRA, R.G.P. & ABRAMOVAY, R. A sustentabilidade das microfinanças solidárias. *Revista de Administração USP*, 40:19-33, 2005.
- LITTLE, P. Projetos Demonstrativos – PDA: sua influência na construção do Proambiente. *Séries Estudos 2*. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2005.
- MARTIN, L. Reordenamiento agropecuario y estructura social. In: FUNES, F.; GARCIA, L.; BOURQUE, M.; PEREZ, N. & ROSSET, P. Transformando el campo cubano: avances de la agricultura sostenible. Havana, ACTAF, 2001. p.57-69.
- MARTIN, R. & SUNLEY, P. Deconstructing clusters: Chaotic concept or policy panacea. Revised version of a paper presented at the Regional Studies Association Conference on Regionalizing the Knowledge Economy. London, 2001.
- MARTÍNEZ-ALIER, J. Da Economia ecológica ao ecologismo popular. Blumenau, FURB, 1998.
- MARTINEZ-ALIER, J.; MUNDA, G. & O'NEILL, J. Weak comparability of values as a foundation for ecological economics. *Ecological Economics*, 26:277-286, 1998.

- MARTINS, J.S. O futuro da sociologia rural e sua contribuição para a qualidade de vida rural. Palestra proferida no X Congresso Mundial de Sociologia Rural. Rio de Janeiro, 2000.
- MATTEI, L.; FAVARETTO, A.; CONTERATO, M. & KATO, K. Relatório Síntese dos Painéis e Debates – Seminário Nacional de Desenvolvimento Rural Sustentável. Brasília, 2005.
- MATTOS, L. Environmental credit proposal for familiar agriculture in Amazon. In: III Katoomba Group ([www.forest-trends.org.br](http://www.forest-trends.org.br)). Teresópolis/RJ, 2001.
- MATTOS, L.; FALEIRO, A. & PEREIRA, C. PROAMBIENTE: Uma proposta dos produtores familiares rurais para criação de um programa de crédito ambiental na Amazônia. In: IV Encontro Nacional da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica (ECOECO). Belém, EcoEco, 2001.
- MATTOS, L. & PEREIRA, C. Construindo uma política de serviços ambientais na Amazônia. Cadernos de Ciência & Tecnologia (CC&T). Brasília, Embrapa, 2006 (no prelo).
- MATTOS, L. O Repensar da lógica econômica na produção Amazônica: A Importância dos sistemas agroflorestais em escala de paisagem rural na construção social da verificação participativa de serviços ambientais do Proambiente. In: Sistemas agroflorestais, desenvolvimento com proteção ambiental: Análises e tendências. Curitiba, Embrapa Florestas, 2006 (no prelo).
- MAY, P. Economia ecológica e o desenvolvimento equitativo do Brasil. In: CAVALCANTI, C. ed. Desenvolvimento e natureza: Estudos para uma sociedade sustentável. Recife, Fundação Joaquim Nabuco, Editora Cortez, 1998. p.235-255.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. Novo retrato da agricultura familiar: o Brasil redescoberto. Vol. 8. Brasília, INCRA, 2000.
- MONTEIRO, R. Movimentos sociais rurais na Amazônia: Desafios atuais. Palestra proferida no Seminário da Rede Cerrado. Brasília, 2004.
- NORTH, D. Institutions. *Journal of Economic Perspectives*. 5:97-112, 1991.
- NORTH, D. La evolución histórica de las formas de gobierno. *Revista de Economía Institucional*, N° 2, primeiro semestre, 2000.
- OSTROM, E. El gobierno de los bienes comunes: La evolución de las instituciones de acción colectiva. UNAM-CRIM-Fondo de Cultura Económica. Ciudad de México, 2000. 395p.
- PAGIOLA, S.; LANDELL-MILLS, N. & BISHOP, J. Mecanismos basados en el mercado para la conservación y el desarrollo. In: PAGIOLA, S.; BISHOP, J. & LANDELL-MILLS, N. eds. La venta de servicios ambientales forestales. Ciudad de México, INE, 2003.
- REPETTO, R.; MAGRATH, W; WELLS, M.; BEER, L. & ROSSINI, F. Wasting assets: Natural resources in the national income accounts. Washington, World Resources Institute, 1989.
- ROMEIRO, A.R. Meio ambiente e dinâmica de inovações na agricultura. São Paulo, Annablume / FAPESP, 1998.
- SACHS, I. Economie et ecologie. In: L'homme et son environnement. Paris, CPEL, 1976.
- SABOURIN, E. Desenvolvimento rural e abordagem territorial. In: SABOURIN, E. & TEIXEIRA, O.A. ed. Planejamento e desenvolvimento dos territórios rurais: Conceitos, controvérsias e experiências. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2002. p.21-37.
- SEN, A.K. Desenvolvimento como liberdade. São Paulo, Companhia das Letras, 2000.
- SOLYNO SOBRINHO, A. Capacidade de pagamento e viabilidade técnica do FNO-Especial para o desenvolvimento da produção familiar rural no estado do Pará. In: TURA, L.R. & COSTA, F.A. eds. Campesinato e estado na Amazônia: Impactos do FNO no Pará. Brasília, Brasília Jurídica-FASE, 2000. p.177-224.
- TONIOLO, A. & UHL, C. Perspectivas econômicas e ecológicas da agricultura na Amazônia Oriental. In: ALMEIDA, O.T. ed.. A evolução da fronteira amazônica: oportunidades para um desenvolvimento sustentável. Belém, IMAZON, 1996. p.67-99.
- TURA, L. & MATTOS, L. Financiamento da transição para a agroecologia: A proposta do PROAMBIENTE. In: Encontro Nacional de Agroecologia (ENA). Rio de Janeiro, 2002.
- VEIGA, J.E. O Desenvolvimento agrícola – uma visão histórica. São Paulo, HUCITEC, 1991.

VEIGA, J.E. Como elaborar seu projeto de pesquisa. PROCAM, 1996.

WANDERLEY, M.N.B. Em busca da modernidade social: uma homenagem a Alexander Chayanov. In: FERREIRA, Â.D.D. & BRANDENBURG, A. Para pensar outra agricultura. Curitiba, Editora da UFPR, 1998. p.9-49.

1 Os Fundos Constitucionais foram criados pela Constituição Federal do Brasil de 1988, que estabeleceu a obrigação da União destinar 3% da arrecadação do IR (Imposto de Renda) e IPI (Imposto sobre Produto Industrializado) para serem aplicados em programas de financiamento aos setores produtivos das regiões Norte 1 (0,6%), Centro-Oeste (0,6%) e Nordeste (1,8%). Para a região Norte, regulamentado pela Lei nº 7.827/89 e Lei Complementar nº 9.126/95, foi criado o Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO), com programas de financiamento de setores produtivos privados rurais e industriais. Os recursos do FNO são administrados pelo Banco da Amazônia (BASA), Instituição Financeira Pública vinculada ao Ministério da Fazenda (Banco da Amazônia, 2000; Mattos et al., 2001).

2 O autor considera "latifúndios empresariais" as propriedades com mais de 5.000 hectares.

