

**ALTERAÇÕES NA MATÉRIA  
ORGÂNICA E NA FERTILIDADE DE  
SOLOS SUBMETIDOS A DIFERENTES  
USOS DA TERRA: UMA REGIÃO DE  
MATA ATLÂNTICA NO NORTE  
FLUMINENSE**

**ALEX PURY MAZUREC**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE  
DARCY RIBEIRO

**ALTERAÇÕES NA MATÉRIA ORGÂNICA E NA FERTILIDADE DE SOLOS  
SUBMETIDOS A DIFERENTES USOS DA TERRA: UMA REGIÃO DE MATA  
ATLÂNTICA NO NORTE FLUMINENSE**

**ALEX PURY MAZUREC**

Tese apresentada ao Centro de  
Biociências e Biotecnologia, da  
Universidade Estadual do Norte  
Fluminense Darcy Ribeiro, como parte  
das exigências para obtenção do título de  
Doutor em Biociências e Biotecnologia

Orientador: Prof. Carlos Eduardo Rezende

Campos dos Goytacazes - RJ

07 de Julho de 2003



*Dedicado a*

*A inspiração de Johann,  
A dedicação de Lucimere,  
A Odivia, Aline e Arlei  
E a memória de Max e Maria*

## AGRADECIMENTOS

- Ao Laboratório de Ciências Ambientais (CBB - UENF)
- Ao amigo Prof. Carlos Eduardo Rezende pela orientação em especial pela contribuição na construção da própria UENF.
- Aos demais professores do LCA, pelo fértil e sempre pronto auxílio.
- Aos trabalho técnico de Arizoli Antônio Rosa Gobo, Cristina, Mauricio Pacheco do LCA e a Maria Antônia Zambeta Peres do CENA pela dedicação
- Ao companheiro Jorge Assumpção, pela amizade ímpar
- Aos demais companheiro de pós-graduação
- As alunas de Iniciação Científica Sabrina de Araújo e Roberta Miranda pela ajuda ao longo das análises.
- Enfim, a instituição humana do Laboratório de Ciências Ambientais, que me abrigou durante a realização desta Tese
- Ao Laboratório Ecologia Isotópica (CENA - USP), em especial ao Prof. Plínio B. Camargo do pela disponibilização do CENA - USP e pelas análises isotópicas.
- E a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro pela bolsa-salário concedida.

## SUMÁRIO

I.	LISTA DE FIGURAS	VIII
II.	LISTA DE TABELAS	IX
III.	LISTA DE APÊNDICES	X
IV.	LISTA DE ABREVIATURAS	XI
V.	RESUMO	XII
VI.	ABSTRACT	XIV
<hr/>		
1.	INTRODUÇÃO	1
	<b>1.1. Florestas Tropicais e Mudanças no Uso da Terra</b>	<b>1</b>
	<b>1.2. Composição Isotópica do Carbono</b>	<b>5</b>
	<b>1.3. Composição Isotópica do Nitrogênio</b>	<b>10</b>
2.	OBJETIVOS	13
<hr/>		
3.	ÁREA DE ESTUDO	14
	<b>3.1. Sítios de Estudo</b>	<b>14</b>
<hr/>		
4.	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>18</b>
	<b>4.1. Desenho Amostral</b>	<b>18</b>
	4.1.1. Espécies Vegetais	18
	<u>4.1.2. Desenho Amostral para o Estrato Herbáceo, Camada de Serrapilheira e Solo</u>	19
	4.2. Determinações do Solo	21
	<b>4.3. Determinações no Estrato Herbáceo e na Camada de Serrapilheira</b>	<b>22</b>
	<b>4.4. Composição Elementar e Isotópica do C e do N</b>	<b>22</b>
	<u>4.5. Apresentação e Análises dos Dados</u>	23
<hr/>		
5.	<b>RESULTADOS</b>	<b>25</b>
	5.1. Composição do C e do N na Vegetação	
	5.1.1. Composição Elementar	
	5.1.2. Composição Isotópica	
	5.2. Caracterização do Estrato Herbáceo - Biomassa, Nutrientes, Composição Elementar e Isotópica	9
	5.2.1. Biomassa e Conteúdo de Nutrientes	
	5.2.2. Composição Elementar e Isotópica do C e do N	
	5.3. Caracterização da Camada de Serrapilheira - Biomassa, Nutrientes, Composição Elementar e Isotópica	3
	5.3.1. Biomassa e Conteúdo de Nutrientes	
	5.3.2. Composição Elementar e Isotópica do C e do N	
	5.4. Caracterização do Solo	7
	5.5. Composição Elementar e Isotópica no Solo	0
		<b>46</b>
<hr/>		

6.	<b>DISCUSSÃO:</b>	49
	<b>6.1. As Fontes de Matéria Orgânica</b>	49
	<u>6.1.1. Carbono nas Folhas das Espécies Analisadas</u>	49
	<u>6.1.2. O Estrato Herbáceo e a Camada de Serrapilheira</u>	51
	<u>6.1.2.1. Biomassa</u>	51
	<u>6.1.2.2. Carbono e Nitrogênio</u>	53
	<u>6.1.2.3. Demais Nutrientes</u>	55
	<b>6.2. Composição Isotópica do Carbono nas Fontes de Matéria</b>	57
	<b>6.3. A Matéria Orgânica do Solo</b>	64
	<u>6.3.1. A Substituição da Vegetação Nativa Altera a Quantidade de Matéria Orgânica Estocada ao Longo do Perfil do Solo?</u>	64
	6.3.2. Adição de Biomassa C4 nas Áreas Degradadas	72
	<b>6.4. Nitrogênio Total e Isotópico</b>	77
	<u>6.4.1. Fontes de Matéria Orgânica</u>	77
	<u>6.4.2. Composição Isotópica do Nitrogênio no Solo</u>	80
	<b>6.5. As Diferenças na Matéria Orgânica Alteram a Fertilidade do</b>	84
	<b>6.5.1. Análise de Correspondência das Variáveis do Solo</b>	96
	CONCLUSÕES	100
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
	APÊNDICES	108

## I. LISTA DE FIGURAS

Figuras	Páginas
Figura 1: Serra do Desengano. Em destaque as áreas de estudo na Serra do Imbé: Ponto Imbé referem-se a mata e a pastagem e Ponto Rio Preto a plantação de cana-de-açúcar.	15
Figura 2: Precipitação pluviométrica (mm mês <sup>-1</sup> ) em Conceição de Macabu, RJ (70 km da área de estudo). Média dos anos anteriores a 1994 (Pró-Natura / UFRRJ, 1994).	16
Figura 3: $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) foliar das principais espécies de uma Mata Atlântica na Região do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da terra, classificadas quanto $\delta^{13}\text{C}$ . Os dados representam valores individuais das espécies. (* refere-se a espécies da Família Leguminosae).	28
Figura 4: Participação percentual das frações do estrato herbáceo (gramíneas e não-gramíneas) em áreas de Mata Atlântica de encosta na Região do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da terra.	30
Figura 5: Participação percentual das frações da camada de serrapilheira (gramíneas + não-gramíneas) em área de Mata Atlântica de encosta na Região do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da terra.	34
Figura 6: Área superficial (A.S. - m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> , a), Umidade (%), b) e pH (c) ao longo do perfil do solo (0 – 1,60m) em área de Mata Atlântica de encosta na Região do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da terra. Barra horizontal para Erro Padrão.	41
Figura 7: Concentração de nutrientes (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) ao longo do perfil do solo (0 – 1,60m) em área de Mata Atlântica de encosta na Região do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da terra. Barra horizontal para Erro Padrão.	44
Figura 8: Acidez Trocável ([Al <sup>3+</sup> ] + [H <sup>+</sup> ]) e C.T.C. (Capacidade de Troca Catiônica - mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) ao longo do perfil do solo (0 – 1,60m) em área de Mata Atlântica de encosta na Região do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da terra. Barra horizontal para Erro Padrão.	45
Figura 9: P-trocável(mg dm <sup>-3</sup> ) ao longo do perfil do solo (0 – 1,60m) em área de Mata Atlântica de encosta na Região do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da terra. Barra horizontal para Erro Padrão.	46
Figura 10: Composição elementar do C e do N (mg g <sup>-1</sup> ) ao longo do perfil do solo (0 – 1,60m) em área de Mata Atlântica de encosta na Região do Imbé submetida a diferentes usos da terra. As barras horizontais correspondem ao erro-padrão.	48
Figura 11: Composição isotópica do C e do N (‰) ao longo do perfil do solo (0 – 1,60m) em área de Mata Atlântica de encosta na Região do Imbé submetida a diferentes usos da terra. As barras horizontais correspondem ao erro-padrão.	48
Figura 12: Razão C:N elementar e $\delta^{13}\text{C}$ (‰, barra de erro padrão) da vegetação, estrato herbáceo, serrapilheira e perfil de solo (media entre 0 e 0,20m e entre 0,50 e 1,60m) em uma Mata Atlântica na Região do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da terra.	62

Figura 13: Regressão entre o teor de C ( $\text{mg g}^{-1}$ ) e a Área superficial (AS -  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ ) no solo superficial (0 a 0,05m e de 0,05 a 0,10m) em uma Mata Atlântica na Serra do Imbé, RJ, submetida de diferentes usos da Terra. Valores correspondem: aos valores individuais (a,  $p < 0,05$  para plantação de cana-de-açúcar) e a média entre as parcelas (b,  $p < 0,05$  para as três áreas). 70

Figura 14: Média (barra de erro padrão) da composição isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) no estrato herbáceo, na camada de serrapilheira e no nos intervalos superficiais do solo (0 a 0,05m, 0,05 a 0,10m e 0,10 a 0,20m). 74

Figura 15: Diferença Isotópica (% , barra de erro padrão) ou % de biomassa C4 ao longo o perfil de solo. 76

Figura 16: Relação entre o  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) e a razão N:C entre 37 espécies, na Serra do Imbé, RJ, sendo 24 arbóreas ou herbáceas da mata, 3 ciperáceas e 11 gramíneas. Nomes completos e famílias vide Tabela 1. A reta representa a correlação ( $R^2=0,379$ ,  $p < 0,05$ ) para as espécies da mata. 79

Figura 17:  $\delta^{13}\text{C}$  vs.  $\delta^{15}\text{N}$  na vegetação, estrato herbáceo, serrapilheira e no solo (0 a 20 e de 20 a 160 m) em uma Mata Atlântica na Serra do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da Terra. 82

Figura 18: Regressão entre o conteúdo de C ( $\text{mg g}^{-1}$ ) e o pH ( $p < 0,01$  – linha contínua para pastagem e interrompida para plantação de cana-de-açúcar) do solo ao longo do perfil (0 a 1,60m) em uma Mata Atlântica na Serra do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da Terra. 86

Figura 19: Regressão entre o conteúdo de C ( $\text{mg g}^{-1}$ ) e a CTC ( $\text{cmol}_c \text{dc}^{-3}$ ,  $p < 0,01$  – linha contínua para mata e interrompida para plantação de cana-de-açúcar) ao longo do perfil de solo (0 a 1,60m) em uma Mata Atlântica na Serra do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da Terra. 91

Figura 20: Regressão entre a concentração de  $\text{P-PO}_4^{3-}$  ( $\text{mg dc}^{-3}$ ) e (a) C ( $\text{mg g}^{-1}$ ,  $p < 0,01$  – linha contínua para mata e interrompida para pastagem) e (b) pH ( $p < 0,01$  – linha contínua para plantação) ao longo do perfil (0 a 1,60m) em uma Mata Atlântica na Serra do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da terra. 94

Figura 21: Representação quadrática da Detrended Correspondence Analysis para as propriedades do solo (0 a 1,60m). Letras a) e b) para projeções normal e ampliada, respectivamente. AS = Área superficial, N = [N], N15 =  $\delta^{15}\text{N}$ , CTC = Capacidade de troca catiônica, DI = Diferença Isotópica, 1, 2, 3, 4, 5, 6, e 7 representam as profundidades do solo (0 - 0,05, 0,05 - 0,10, 0,10 - 0,20, 0,20 - 0,50, 0,50 - 1,00, 1,00 - 1,50 e 1,50 - 1,60m respectivamente). 98

## II. LISTA DE TABELAS

Tabelas	Páginas
Tabela 1: Comparação da composição foliar, elementar e isotópica do C e do N em folhas de uma Mata na Região do Imbé, RJ. Índice <i>a</i> para diferença significativa.	19
Tabela 2: Composição elementar da matéria orgânica foliar ( $\text{mg g}^{-1}$ por peso seco) do C e do N das espécies de uma Mata Atlântica de encosta na Região do Imbé, RJ, classificadas quanto ao índice do valor de cobertura (IVC). Os dados representam valores individuais das espécies.	26
Tabela 3: Composição elementar da matéria orgânica foliar ( $\text{mg g}^{-1}$ por peso seco) do C e do N em espécies de uma Mata Atlântica de encosta submetida a diferentes usos da terra. Os dados representam valores individuais das espécies.	27
Tabela 4: Biomassa ( $\text{t ha}^{-1}$ ) e conteúdo de nutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) no estrato herbáceo de uma Mata Atlântica submetida a diferentes usos da terra. Os valores indicam para a massa, a média (erro padrão abaixo) entre 16 quadrados ( $0,25 \text{ m}^2$ ) e para os elementos, a média (erro padrão abaixo) entre 4 amostras composta, distribuídos em 4 parcelas em cada área. Índices diferentes indicam valores significativamente diferentes entre as áreas ( $p < 0,05$ )	31
Tabela 5: Composição elementar e isotópica do C e do N do estrato herbáceo de uma Mata Atlântica de encosta submetida a diferentes usos da terra. Os valores indicam a média (erro padrão abaixo) entre 16 quadrados ( $0,25 \text{ m}^2$ ) distribuídos em quatro parcelas a cada área. Índices diferentes indicam valores significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre as áreas.	32
Tabela 6: Biomassa ( $\text{t ha}^{-1}$ ) e conteúdo de nutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) na camada de serrapilheira de uma Mata Atlântica de encosta submetida a diferentes usos da terra. Os valores indicam a média (erro padrão abaixo) entre 16 quadrados ( $0,25 \text{ m}^2$ ) distribuídos em quatro parcelas a cada área. Índices diferentes indicam valores significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre as áreas.	35 - 36
Tabela 7: Composição elementar e isotópica do C e do N da camada de serrapilheira de uma Mata Atlântica de encosta submetida a diferentes usos da terra. Os valores indicam a média entre 16 quadrados ( $0,25 \text{ m}^2$ ) distribuídos em quatro parcelas a cada área. Índices diferentes indicam valores significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre as áreas.	38 - 39
Tabela 8: Área superficial (A.S. - $\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$ ), Umidade (%) e pH no solo superficial (média de 0-0,10m) em área de Mata Atlântica de encosta na Região do Imbé, RJ, submetida a	40

diferentes usos da terra. Os valores correspondem a 16 amostras, nas demais variáveis, divididas em quatro parcelas a cada área. Índices diferentes indicam valores significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre as áreas.

Tabela 9: Concentração de Nutrientes no solo superficial (média de 0 -0,10m) em área de Mata Atlântica de encosta na Região do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da terra. Os valores correspondem a 16 amostras divididas em quatro parcelas a cada área. Índices diferentes indicam valores significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre as áreas. 43

Tabela 10: Composição elementar ( $\text{mg g}^{-1}$ ) e isotópica (‰) do C e do N do solo superficial (média de 0-0,10m) em área de Mata Atlântica de encosta submetida a diferentes usos da terra. Os valores correspondem à média de oito amostras divididas em duas parcelas a cada área. Índices diferentes indicam valores significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre as áreas. 47

Tabela 11: Composição isotópica do C e do N na vegetação neste e em outros estudos em regiões tropicais. 58

Tabela 12: Características do Solo e da Matéria Orgânica do Solo em outros estudos em regiões tropicais. 67-68

Tabela 13: Características do solo superficial: pH, concentração de cátions, Acidez Trocável (Ac. P.) e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) ( $\text{cmol}_C \text{dc}^{-1}$ ) em outras áreas de Mata Atlântica. 87

---

## III. LISTAS DE APÊNDICES

Apêndices	Páginas
Apêndice 1: Controle Analítico: Comparação entre as réplicas para as análises da composição elementar e isotópica das folhas da vegetação, estrato herbáceo, camada de serrapilheira e solo. Os valores da diferença entre as réplicas correspondem à média (mínimo – máximo) da percentagem da diferença e os valores dos brancos correspondem à média (mínimo – máximo).	109
Apêndice 2: Concentração de nutrientes no estrato herbáceo. Os valores indicam a média (erro padrão abaixo) entre 16 quadrados (0,25 m <sup>2</sup> ) distribuídos em quatro parcelas em cada área. Índices diferentes indicam a diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as áreas.	110
Apêndice 3: Concentração de nutrientes (mg g <sup>-1</sup> ) na serrapilheira. Os valores indicam a média (erro padrão abaixo) entre 16 quadrados (0,25 m <sup>2</sup> ) distribuídos em quatro parcelas em cada área. Índices diferentes indicam a diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as áreas.	111
Apêndice 4: Umidade (%), área superficial (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ) e pH do solo ao longo do perfil (0 -160 cm) (N=4 por parcela) em área de mata atlântica de encosta submetida a diferentes usos da terra. Índices diferentes indicam a diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as áreas.	112
Apêndice 5: Concentração de Nutrientes no solo no solo ao longo do perfil (0 -160 cm) (N=4 por parcela) em área de mata atlântica de encosta submetida a diferentes usos da terra. Índices diferentes indicam a diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as áreas.	113
Apêndice 6: Carbono e Nitrogênio (mg g <sup>-1</sup> ), C:N, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) e E.I. (%) no solo ao longo do perfil (0 -160 cm) em área de mata atlântica de encosta submetida a diferentes usos da terra. Os valores correspondem a 56 amostras divididas em quatro parcelas a cada área. Índices diferentes indicam a diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as áreas.	114
Apêndice 7: Comparações entre componentes vegetais. *Teste Análise de Variância Simples (One-Way, ANOVA - StatSoft Inc., 1998) e **Análise de Variância (ANOVA) com agrupamento ( <i>nested</i> ).	115
Apêndice 8: Correlação ( $p$ abaixo) para composição elementar e isotópica para as espécies estudadas na mata e para as gramíneas. Valores sublinhados para correlação significativa ( $p < 0,05$ ).	116
Apêndice 9: Correlação para as variáveis do solo. Valores extraídos das médias das parcelas em cada horizonte de 0 a 160 cm. Valores sublinhados para significância ( $p < 0,05$ , N=82).	116

## IV. LISTA DE ABREVIATURAS

---

<b>Abreviatura</b>	<b>Significado</b>
A.S.	Área Superficial da fração mineral do solo
A.T.	Acidez Total ( $[H^+] + [Al^{3+}]$ )
C <sub>C3</sub>	Carbono com origem na biomassa C3
C <sub>C4</sub>	Carbono com origem na biomassa C4
CTC	Capacidade de Troca Catiônica ( $[K^+] + [Na^+] + [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [H^+] + [Al^{3+}]$ )
E.I.	Enriquecimento Isotópico (% de carbono com origem na biomassa C4)
MO	Matéria orgânica
MOS	Matéria orgânica do solo

---

## V. RESUMO

O objetivo desse trabalho foi estudar o efeito da substituição de uma Mata Atlântica nativa na Serra do Imbé, Norte Fluminense por uma pastagem e uma plantação de cana-de-açúcar, desmatadas a 30 e 60 anos, respectivamente. Apresenta-se para tanto, a composição elementar e isotópica do C e do N para as folhas 21 espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas da mata e para dez espécies graminóides das áreas alteradas. O estrato herbáceo e a camada de serrapilheira foram amostrados em 4 pontos ( $0,5 \text{ m}^2$ ) em cada uma das 4 parcelas ( $30 \times 40 \text{ m}$ ) e medidos quanto à massa total macronutrientes, P e para C e N elementar e isotópico. O solo foi amostrado em 7 intervalos até a profundidade de 1,60 m a partir de 4 pontos a cada parcela e estudado quanto à composição elementar e isotópica do C e do N na matéria orgânica e quanto as principais características associadas à fertilidade: área superficial, umidade, pH, CTC e fosfato trocável.

As espécies analisadas na mata, se mostraram exclusivamente com metabolismo C3 e apresentaram uma média para o  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-31,8\%$ . As gramíneas encontradas na pastagem e na plantação apresentaram com metabolismo C4 e tiveram um  $\delta^{13}\text{C}$  médio de  $-12,1\%$ . As plantas da família Cyperaceae dessas áreas apresentaram a média para o  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-25,0\%$ . A biomassa total de gramíneas no estrato herbáceo representou para a mata, pastagem e a plantação 0, 92 e 71% em relação à biomassa total que tiveram 0, 1,68 e  $0,40 \text{ t ha}^{-1}$ . O estrato rasteiro não-graminóide foi maior na mata que na pastagem e na plantação ( $0,48, 0,16$  e  $0,16 \text{ t ha}^{-1}$ ). Na camada de serrapilheira, a mata teve maior estoque que a pastagem e a plantação

(7,62, 4,08 e 4,00 t ha<sup>-1</sup>). Destacam-se as diferentes qualidades da biomassa das áreas tanto pela partilha das frações folhas e madeira na mata (50 e 44%), contra a predominância de gramíneas na pastagem e na plantação (94 e 80%), quanto pela elevada razão C:N nas gramíneas em relação à biomassa da mata. O  $\delta^{13}\text{C}$  nas gramíneas da camada de serrapilheira não diferiu entre as áreas onde essa fração ocorreu, com pastagem e plantação tendo -12,6 e -13,0‰. Para as não-gramíneas, a mata, pastagem e a plantação tiveram -29,1, -24,2 e 26,9‰. Para o  $\delta^{15}\text{N}$ , as gramíneas tiveram na pastagem e plantação 0,4 e 2,0‰ e as não-gramíneas na mata, pastagem e plantação 3,2, -0,1 e 0,4‰.

As características do solo fizeram da mata e da pastagem, mais semelhantes entre si e com consideráveis diferenças entre essas e a plantação. A área superficial foi maior na mata e na pastagem (41,2 e 46,1 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) do que na plantação (17, 2 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>). Na mata, pastagem e plantação o pH teve 4,7, 5,3 e 5,9, a acidez potencial 10,6, 12,9 e 1,0 mmol<sub>c</sub> dc<sup>-3</sup>, tendo esses fatores reflexo do tratamento por calagem na plantação. Essas características, em conjunção com a concentração dos nutrientes analisados fazem das áreas, similares em termo de fertilidade, tendo CTC na mata, pastagem e plantio 28, 27 e 22 mmol<sub>c</sub> dc<sup>-3</sup> e o fosfato 4,95, 4,55 e 6,18 mg dc<sup>-3</sup>. Ao longo do perfil, os íons estudados tiveram uma concentração decrescente, acompanhando de maneira geral os valores do conteúdo. Para o solo superficial (0-10 cm) na mata e pastagem do que na plantação a concentração de C foi de 29,5, 21,3 e 14,7 mg g<sup>-1</sup>, sendo que esses valores decrescem com aumento da profundidade, sendo acompanhado também pelo N. Para o  $\delta^{13}\text{C}$ , observa-se uma MO mais leve no solo superficial da mata seguido da pastagem e plantação (-27,5, -19,2 e -17,7‰). Também ao longo do perfil a composição isotópica da mata eleva-se enquanto da pastagem e principalmente no plantio reduzem, indicando para as áreas alteradas, 57 e 65% de participação de biomassa C4 na superfície. O  $\delta^{15}\text{N}$  no solo não apresentou diferença entre a mata, pastagem e plantação com 6,0, 6,4 e 8,1‰. Quando se compara a mata e a pastagem, as diferenças nas condições físicoquímicas do solo como pH, A.T. e na CTC, frente à similaridade dos solos para a área superficial e o conteúdo de MO, indicam alterações na qualidade da nova MO de origem, C4 adicionada ao solo.

## VI. ABSTRACT

The present work aim was study the effect of the substitution of a native Atlantic forest in the "Serra do Imbé", North of Rio de Janeiro State by an adjacent pasture and a sugar-cane crop, deforested at 30 and 60 years, respectively. The elementary and isotopic composition of C and N in 21 leaves of tree, shrub and herbaceous species of the forest was compared with ten grass kind species of the altered areas. The herbaceous stratum and the litterlayer were sampled in four points (0,5 m<sup>2</sup>) in whitin four plot (30 x 40 m) and measured about it's the total mass, macronutrientes, P, Mn and elementary and isotopic C and N. The soil was sampled in seven levels until the depth of 160 cm from four points to each plot and studied as the C and N elementary and isotopic composition in the organic matter and the main characteristics associated to the soil fertility: superficial area, humidity, pH, CEC [H + AL + K + Na + Ca + Mg] and P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>.

The species analyzed in the forest shown exclusively C3 metabolism, and presented an average for the  $\delta^{13}\text{C}$  of -31.8‰. The grass species, analyzed in pasture and suga-cane crop plants presented C4 metabolism and had a mean  $\delta^{13}\text{C}$  = -12.1‰. The species of Cyperaceae family, followed in these areas, presented the average of  $\delta^{13}\text{C}$  of -25.0‰. The total grass biomass of the herbaceous layer represented by the forest, pasture and the suga-cane crop had 0, 92 and 71% of the total biomass that was 0, 1.68 and 0.40 t ha<sup>-1</sup>. The non-grass layer was lower in the forest that pasture and suga-cane crop (0.48, 0.16 and 0.16 t ha<sup>-1</sup>). In this layer, the total elementary C in the forest and suga-cane crop was 187.4 and 60.9 kg ha<sup>-1</sup> and for N 8.9 and 3.4 kg ha<sup>-1</sup>. Forest litterlayer had larger stock thah the pastagem and the crop (7.6, 4.1 and 4.0 t ha<sup>-1</sup>). The  $\delta^{13}\text{C}$  in the grass of the litterlayer didn't differ among the sites where that fraction ocured, were pasture and suga-cane crop had -12.6 and -13‰. For the non-grass, the forest, pastagem and suga-cane crop had  $\delta^{13}\text{C}$  had -29.1‰ -24.2

and 26.9‰. To the  $\delta^{15}\text{N}$ , the grass had in the pasture and suga-cane crop 0.4 and 2.0‰ and the non-grass in the forest, pasture and suga-cane crop had 3.2 and -0.1 and 0.4‰.

The soil characteristics made forest and pasture more similar, with considerable differences between these ones and the sugar-cane crop. The surficial areas shown were finer in the forest and pasture, than the suga-cane crop, with 41.2, 46.1 and 17.2  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ , in the three sites respectively. In the forest, pasture and suga-cane crop the pH was 4.7, 5.3 and 5.9, the potential acidity 10.6, 12.9 and 1.0  $\text{mmol}_c \text{dc}^{-3}$ , trend the last reflexes of the soil acidity correction. Those characteristics, joined to the amounts of the nutrients analyzed, made fertility similar within sites, CEC in the forest, pasture and suga-cane crop was 28, 27 and 22  $\text{mmol}_c \text{dc}^{-3}$  and the phosphate 4.95, 4.55 and 6.18  $\text{mg dc}^{-3}$ . Along the profile, the analysed ions had a decreasing concentration, accompanying in a general way, the values of the C in the soil. The content of carbon in the superficial soil within the forest, pasture and suga-cane crop had 29.5, 21.3 and 14.7  $\text{mg g}^{-1}$ . Along the profile, the C and N concentration decreased with depth increase, range in the forest, pasture and suga-cane crop. For the  $\delta^{13}\text{C}$ , a lighter organic matter is observed in the superficial soil of the forest followed by pasture and suga-cane crop -27.5, -19.2 and -17.7‰. Also along the profile, the isotopic composition of the forest rises while in the pasture and mainly in the suga-cane crop they reduce, indicating that altered areas have a participation of 57 and 65% of C4 biomass in the surface. The  $\delta^{15}\text{N}$  in the OM in the soil didn't differ in forest, pasture and suga-cane crop, with 6.0, 6.4 and 8.1‰. When it is compared the forest and the pasture, the differences in the physicochemistry conditions of soil as pH, total acidity and in CEC, front to the similarity of the soils for the surface area and the content of organic matter, indicates alterations in the quality of the new organic matter origin, that is, the C4 added to the soil.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Florestas Tropicais e Mudanças no Uso da Terra

O relatório da *Global Forest Resources Assessment* (2000) apresenta o estado atual de cobertura por florestas no mundo e as taxas de mudança desse total na última década. As florestas tropicais e subtropicais compreendem atualmente 56% das florestas em torno da terra que corresponde a  $2.167 \times 10^6$  ha. O relatório também revela que a taxa anual estimada para mudança na área coberta por florestas para a década de 1990 foi de -9,4 milhões ha, sendo esse valor resultado da diferença entre taxa anual de desmatamento (14,6 milhões ha) e a taxa anual de aumento das áreas de florestas incluindo plantios (5,2 milhões ha) (*Global Forest Resources Assessment*, 2000). Localizada em grande parte em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, as florestas tropicais vem perdendo rapidamente suas áreas para a expansão das atividades econômicas, sofrendo com alterações que vão desde a super-exploração das áreas manejadas até a eliminação da vegetação nativa em detrimento da agricultura, áreas urbanas e industriais. No Brasil, o uso da madeira como fonte energética e o avanço da agropecuária sobre as florestas tem sido uma das principais causas da redução das áreas florestadas (INPE, 1998).

As mudanças no uso da terra e as substituições das matas nativas por outros sistemas, causam profundas alterações nos processos químicos do solo e nas interações solo-planta-microbiota (Golchin *et al.*, 1995). Essas mudanças levam muitas vezes, à redução da matéria orgânica (MO) estocada no solo. Tiessen *et al.*, (1994) e Camargo (1997) verificaram este padrão em estudos comparando solos de florestas nativas substituídas por pastagens e por plantações. Por outro lado, a reposição do montante de C estocado no solo e perdido durante a retirada da floresta nativa, também tem sido verificado em áreas de pastagem (Cadisch *et al.* 1996; Cerri, 1991). Também são reportadas alterações na estrutura física do solo relacionadas com mudanças no uso da terra com conseqüências, por exemplo, no desenvolvimento vegetal (Funakawa *et al.*, 1997).

Em solos submetidos a práticas agrícolas, a redução da MO pode estar relacionada não só com a implantação de uma vegetação, como também a prática de manejo do sistema como da exportação de parte da produção, queima de

resíduos e a compactação do solo. Com a substituição da vegetação nativa e a implantação de sistemas agrícolas, também observa-se em ambientes tropicais, uma aceleração nas atividades biológicas do solo e uma conseqüente elevação nas taxas de exportação da matéria orgânica do solo (MOS). Num estudo apresentado por Tiessen *et al.*, (1994) realizado em uma floresta tropical na Amazônia venezuelana para um solo até 0,6m de profundidade, mostrou que a renovação de 60% do C, 65% do N e 50% do P para a MO particulada ocorre em menos de 4 anos. Para a MO associada à fração mineral, 27% do C, 29% do N e 33% do P tem renovação em 50 anos sendo que o restante não participa do ciclo de nutrientes. Sob sistema de agricultura, a taxa de renovação de metade da MO cai para 2 anos sendo o restante previsto para 25 anos. Desta forma, a agricultura não é sustentável em mais de 3 anos, o que na prática vem sendo confirmado para a região (Tiessen *et al.*, 1994).

No solo, o montante de C estocado é basicamente dependente do balanço entre a entrada de MO, como a queda de serrapilheira e a velocidade do processo de decomposição, controlada, entre outros fatores, pela qualidade da MO. A perda do carbono estocado no solo pode ser de outra forma, interpretada como uma oscilação do sistema em busca de um equilíbrio inerente a nova vegetação. Enquanto florestas tropicais apresentam uma entrada de MO entre 4 e 6 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e uma taxa de conversão dessa MO de até 50%, sistemas de savanas tropicais apresentam uma taxa de entrada até oito vezes menores e uma taxa de conversão similar resultando em um estoque de C no solo de ¼ do C estocado quando comparado com florestas tropicais (Ross, 1993).

Solos tropicais são geralmente caracterizados, pela baixa concentração de cátions disponíveis para a absorção vegetal e pela alta susceptibilidade a degradação. Segundo as estimativas apresentadas inicialmente por Sanchez (1981), freqüentemente citada (Ross, 1993; Vitousek e Sanford, 1986; Baillie, 1989), os solos classificados como Latossolos e Argissolos (Oxisols e Ultisols segundo o Soil Consyl Taxonomy) ocupam entre 35 e 28% do total de solos tropicais. A fração mineral desses solos apresenta com características de moderada a baixa capacidade de retenção de cátions (Ross, 1993).

As baixas latitudes das regiões tropicais são propícias a elevada precipitação (acima de 1000mm anuais) e altas temperaturas (20 - 26°C em média). A ação desses fatores, estendida por longos períodos, em escala geológica, tem como conseqüência, a formação de solos altamente intemperizados, compostos em sua

fração argila, principalmente por minerais secundários, que desenvolvem baixa capacidade de adsorção de íons. Esses minerais, normalmente “óxidos” de ferro e alumínio, apresentam em sua superfície, pouca ou quase nenhuma carga disponível a ligação com os íons da solução do solo, ainda que tenham uma elevada superfície específica quando comparada a outras partículas maiores (Silva, 1996). A pequena densidade de cargas nos solos intemperizados proporciona aos solos tropicais uma de suas características mais marcantes, a baixa capacidade de reter cátions.

Em solos onde se verifica o baixo conteúdo de cargas disponíveis na fração mineral, a matéria orgânica exerce um importante papel como mantenedora da fertilidade do solo. Esse papel é exercido tanto pela retenção de íons que serão disponibilizados gradativamente durante seu processo de decomposição, quanto pela manutenção das cargas trocáveis em sua superfície em uma faixa de pH mais ampla do que as encontradas para as argilas. Stevenson (1996) apresenta uma estimativa, onde a capacidade de troca catiônica (CTC) de um solo tropical proporcionada pela matéria orgânica pode chegar a 80%. Em adição, a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS), incluindo a própria camada de serrapilheira é tida como fundamental para a manutenção da ciclagem de nutrientes, um dos principais mecanismos para a sustentabilidade das florestas tropicais (Proctor *et al.*, 1983, Jordan, 1989, Vitousek e Sanford, 1986). Com o conteúdo de MO decrescendo no perfil do solo é esperado uma diminuição da densidade de cargas negativas em profundidade. Com a redução gradativa da participação da MO na CTC no solo associada ao aumento da profundidade, aumenta a participação relativa da fração mineral na CTC, ainda que a soma total de cargas disponíveis tendam a diminuir (Canelas *et al.*, 1999).

A MOS representa o maior estoque ( $1,6 \times 10^{18}$  g C) da reserva de C terrestre - em torno de  $2,2 \times 10^{18}$  g. Isto excede grandemente o total de biomassa fixada via fotossíntese que fica em torno de  $600 \times 10^{15}$  (Bouwman, 1990 *apud* Zech *et al.*, 1997). Em florestas tropicais, grande parte da biomassa incorporada ao ecossistema anualmente - até 70% do fluxo total de carbono (Aerts, 1997) - é convertida em serrapilheira. Para solos sob florestas tropicais, a serrapilheira é considerada a principal forma de entrada de C. Uso por herbivoria raramente ultrapassa 10% da produção líquida, sendo o carbono fixado quase que inteiramente incorporado à biomassa vegetal.

Nesses ambientes, as elevadas temperaturas e a umidade constante, fatores fundamentais para a manutenção da atividade biológica, acelera as transferências de C entre os compartimentos, proporcionando uma renovação rápida e anual da camada de serrapilheira (Jordan, 1989). Do total de biomassa incorporado ao sistema anualmente, estima-se que somente 0,7% do total da produção primária terrestre chega a se transformar em substâncias húmicas refratárias incorporadas a estrutura do solo (Schlesinger, 1990). Segundo este autor, o potencial máximo para captação de C nos solos não ultrapassa  $0,4 \times 10^{15} \text{ g C ano}^{-1}$ , o que está bem abaixo do esperado para efeito na redução do aquecimento global (Schlesinger, 1990)

Para o solo, a consequência mais imediata das transformações bioquímicas da MOS durante o processo de decomposição é a lixiviação dos compostos mais solúveis e o metabolismo dos polisacarídeos, proteínas e lipídios. Ao longo do perfil verifica-se a redução do conteúdo de biomassa total, acompanhado de forma geral, por modificações na estrutura da lignina e o enriquecimento relativo de materiais recalcitrantes e estruturas aromáticas (Rovira e Vallejo, 2002). De uma forma geral, durante os processos de decomposição, é verificado a redução da razão entre os materiais de origem vegetal e aqueles de origem fúngicas (Zech *et al.*, 1997).

Nesse processo, a qualidade da serrapilheira influencia determinantemente as transformações e os produtos resultantes (Golchin *et al.*, 1995). A qualidade do recurso – serrapilheira - por exemplo, pode ser alterada pela presença de polifenóis, ligninas e etc, que decompõem mais lentamente e contribuem mais para o acúmulo de material recalcitrante do que proteínas e açúcares (Costa, 2002; Swift e Anderson, 1983). As diferenças na qualidade da serrapilheira residem tanto na distribuição dos tecidos, sendo razão C:nutrientes menor em folhas do que em galhos, quanto na constituição bioquímica destes, já que as razões C:lignina, C:celulose são consideradas fortes participantes na hierarquia controladora da decomposição da matéria orgânica (Aerts, 1997). Costa (2002) enfocando a degradação de frações da MO realizado na Serra do Imbé, RJ, demonstrou que enquanto a liberação de polifenóis foi imediata, a redução dos valores de celulose esteve associada ao período de maior precipitação. A perda da celulose foi maior ainda em ambiente de floresta montana (com maior umidade interna) do que em plantio de *Eucalyptus citrodora*.

Nos distintos horizontes estão guardados progressivos estágios de humificação da matéria orgânica, os quais podem alterar de maneira diferenciada as

propriedades do solo. No solo, a distribuição da MO é dependente da dinâmica entre os estoques lábeis, recentemente incorporados e dos estoques recalcitrantes de C, associados a estrutura do solo e de suas respectivas qualidades. Com aumento da profundidade, a razão fração mineral:fração orgânica, aumenta. Nesse sentido também é evidente o aumento da associação da MO com partículas de argilas (Rovira, *et al.* 2002). Além da maior compactação dos solos em profundidade (Camargo, 1997) e da presença de compostos mais trabalhados pela comunidade decompositora, a associação da MO a com fração argilosa reduz consideravelmente a taxa de degradação (Tiessen *et al.*, 1994), levando a sua preservação em profundidades relativamente pequenas (3m) por até 10.000 anos (Sanaiotti *et al.*, 2002). O estudo das mudanças químicas e estruturais na MO ao longo do perfil do solo em sistemas naturais permite seguir o curso da decomposição em longo prazo, a partir de um conjunto de compostos fixados pelas seguidas mudanças na distribuição das espécies de C com a profundidade (Zech *et al.*, 1997).

Paralelo a acelerada degradação das florestas e a substituição dessas por plantações ou pastagem na Amazônia, verifica-se, através da literatura, um grande esforço de pesquisa, não só nacional, mas sobretudo, internacional. No que se refere a sustentabilidade dos novos sistemas, esse esforço tem se traduzido, entre outros resultados, na percepção do papel da matéria orgânica e suas diversas formas, na manutenção da fertilidade do solo. Para a Amazônia, a compreensão ecológica dos processos envolvendo a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, caminha buscando o desenvolvimento e práticas de manejo agrícola e agro-florestal menos ofensivas, que conduzam a redução das perdas da fertilidade e conseqüentemente da produtividade, freando desta forma o desmatamento continuado. Os dividendos da manutenção dos ecossistemas naturais se resumem na preservação dos estoques de carbono orgânico e da biodiversidade biológica, química e mesmo antropológica.

De outra forma, as áreas originariamente cobertas por Mata Atlântica tem suas matas hoje, quase que totalmente (95%) removidas, num processo que se deu ao longo de todo desenvolvimento do país. Nas áreas de Mata Atlântica está abrigada a maior parte da população brasileira, que as ocupam com cidades, minas, estradas, culturas agrícolas, florestais etc. Em extensas áreas, os impactos do desmatamento já se tornaram irreversíveis em curto prazo, tanto para as características químicas e físico-químicas ligadas à fertilidade, ou mesmo a estrutura do solo quanto para a

biodiversidade, representada para esse bioma com elevado endemismo. Para a Mata Atlântica, as pesquisas de caráter ecológico têm se dado a reboque das pesquisas na Amazônia e os esforços são bem mais modestos e quase que totalmente dependente do interesse nacional, particularmente do processo de formação profissional. Contudo, os dividendos da preservação desse bioma reverter-se-iam amplamente em qualidade de vida da população, tanto da comunidade urbana quanto das comunidades rurais subsistentes.

## 1.2. Composição Isotópica do Carbono

Como técnica para se conhecer a dinâmica da MO, o estudo da composição isotópica do C e do N, tem se mostrado uma importante ferramenta na avaliação do grau de alteração de solos originalmente cobertos por florestas e desmatados para ocupação com pastagem e outras culturas, permitindo o estudo da dinâmica temporal dessas alterações. Com o conhecimento da composição isotópica esperada nos compartimentos subseqüentes da paisagem pode-se traçar as alterações sofridas na MO desde a fonte primária, vegetação, até frações específicas, tanto no solo (Camargo, 1997) como no sedimento (Carvalho, 1998). Como são quantificados os isótopos estáveis, a informação contida na abundância dos mesmos não é perdida ao longo do tempo.

No ambiente geológico os elementos existem como uma mistura de isótopos estáveis: para o carbono:  $^{12}\text{C} + ^{13}\text{C}$  e para o nitrogênio:  $^{14}\text{N} + ^{15}\text{N}$ . Essa mistura é representada pela razão:

$$R = \frac{E_P}{E_L}$$

onde  $E_P$  é o número de átomos do isótopo mais pesado e  $E_L$  é o número de átomos do isótopo mais leve e a razão  $R$ . Devido aos baixos valores normalmente encontrados a razão é notada em 1 para mil (‰) e convencionalmente representada pela letra grega  $\delta$  (Farquhar *et al.*, 1989). Para alguns elementos, entre eles os C, a razão isotópica média da crosta terrestre é representada pelo padrão de rocha calcária da formação paleológica Pee Dee Belemnite (PDB - Arizona, EUA). Nesse padrão a razão para o C é de 98,9% de  $\text{C}^{12}$  para 1,1% de  $\text{C}^{13}$  (Farquhar *et al.*, 1989).

Para a amostra, seja ela vegetal ou atmosférica, a composição isotópica é obtida a partir de uma comparação com o padrão PDB. Essa comparação é obtida através da seguinte equação:

$$\delta^{13}\text{C} = \left( \frac{R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}}{R_{\text{padrão}}} \right) \times 1000$$

onde  $R_{\text{amostra}}$  é a razão isotópica da amostra e  $R_{\text{padrão}}$  é razão isotópica do padrão.

Durante as transformações químicas sofridas na passagem entre os compartimentos biogeoquímicos, notadamente aquelas relacionadas à produção da biomassa, a razão isotópica sofre alterações. Essas alterações, impressas nos estoques do elemento, são decorrentes da seletividade das reações em favor de um dos isótopos. Essa discriminação acaba por prover ao material biológico um  $\delta$  característico, uma assinatura isotópica.

A consequência da comparação com um padrão fóssil é a obtenção de valores normalmente negativos para a atmosfera e os materiais biológicos. No caso do carbono, a razão na atmosfera atual é de  $-8\text{‰}$ . Para os materiais vegetais, os valores de composição isotópica são ainda mais leves, ou seja, com maior razão entre  $^{12}\text{C}$  e  $^{13}\text{C}$  do que os valores encontrados na atmosfera. De maneira geral o  $\delta^{13}\text{C}$  do material vegetal fica entre  $-10\text{‰}$  e  $-36\text{‰}$  (Farquhar *et al.*, 1989).

No material foliar, o fracionamento do C é resultado do conjunto de três momentos tidos como termodinâmicos. São eles: a difusão do  $\text{CO}_2$  através dos estômatos, a diferença de comportamento cinético relacionado à reatividade do  $^{13}\text{C}$  durante a cascata metabólica da fotossíntese que promove uma seleção a favor do  $\text{C}_{12}$  e a discriminação envolvendo a produção de compostos secundários (Farquhar *et al.*, 1989).

Parte do fracionamento isotópico promovido durante a difusão estomatal pode ser visto como uma relação entre demanda e oferta de  $\text{CO}_2$  *versus* a pressão de vapor nas células basais. No processo de produção de biomassa, o vegetal promove a abertura dos estômatos de suas folhas para entrada de  $\text{CO}_2$ . A consequência dessa abertura é a perda de água pela elevação da taxa de evapotranspiração da planta. Na promoção do equilíbrio entre transpiração e absorção de  $\text{CO}_2$ , atuam em conjunto forças tanto genótípicas (ex. diferença entre espécies) quanto fenotípicas (ex. diferença entre folhas de sombra e folhas de sol). A ação dessas forças afeta entre outras funções, a disponibilidade de  $\text{CO}_2$  na matriz celular (Farquhar, 1989). Na prática essa variação é atribuída a “eficiência intrínseca no uso da água” que

corresponde a razão de assimilação de  $\text{CO}_2$  / condutância foliar de vapor d'água (Guehl *et al.*, 1998).

Essa técnica pode ser usada ainda para quantificar certos aspectos funcionais das espécies e da comunidade. Além do momento de difusão estomatal do  $\text{CO}_2$ , vista como eficiência no uso da água, são citadas variações no  $\delta^{13}\text{C}$  das plantas relacionadas a diversos fatores. Loyd *et al.* (1994) e Medina *et al.*, (1991) investigam a resposta da vegetação para variações na concentração de  $\text{CO}_2$  atmosférico; Martinelli *et al.* (1998) abordam a resposta da funcionalidade das espécies pioneiras, tolerantes e tardias; Leffler e Enquist (2002) relacionam a fenologia das decíduas *versus* perenes e Guehl *et al.* (1998) estudam a assinatura isotópica em diferentes compostos bioquímicos e tecidos.

Contudo, mesmo que ocorra variação na razão isotópica entre as espécies e entre indivíduos, essa técnica se mostra realmente útil como traçadora da matéria orgânica quando confrontamos as diferenças entre as vias metabólicas preferenciais. No momento de transformação enzimática do  $\text{CO}_2$ , a fotossíntese separa as plantas terrestres em três grupos que tem essa classificação refletida na assinatura isotópica do carbono. A maioria das plantas terrestres utiliza a fotossíntese com ciclo C3: Nesse ciclo, ciclo de Calvim, o  $\text{CO}_2$  é transformado pela enzima Ribulose 1,5 bifosfato carboxilase (Rubisco). Em relação aos demais ciclos, vistos a seguir, essa enzima tem alta seletividade pelo  $^{12}\text{CO}_2$  em detrimento do  $^{13}\text{CO}_2$  (Farquhar e Richards, 1984 *apud* Farquhar *et al.*, 1989) e conseqüentemente produzem uma biomassa deficiente do isótopo mais pesado.

O segundo grupo, o das plantas do ciclo C4 (Hatch-Slack), que engloba a maioria das gramíneas, fixam o C através da enzima Fosfoenolpiruvato (PEP) carboxilase. Essa enzima apresenta uma seletividade menor pelo  $^{12}\text{CO}_2$  (Farquhar, 1983 *apud* Farquhar *et al.*, 1989). Enquanto plantas de ciclo C3 apresentam  $\delta^{13}\text{C}$  em torno de  $-28\%$ , plantas do ciclo C4 apresentam-se de outra forma, mais pesada, em torno de  $-12\%$ .

A diferença mais marcante entre a composição isotópica do C reside exatamente entre plantas C3 e plantas C4. A substituição da vegetação nativa quando essa envolve o predomínio de um desses grupos são facilmente detectadas na MOS. Entretanto, um terceiro grupo, menos importante em termos de cobertura

vegetal e contribuição de biomassa, os das plantas com metabolismo CAM, também podem ser distintos pela composição isotópica do C. Essas plantas, que englobam algumas espécies das famílias Bromeliaceae e Cactaceae, entre outras, se utilizam em momentos diferentes do dia das enzimas Rubisco (dia) e PEP-carboxilase (noite), apresentando assim, um metabolismo anfíbio entre C3 e C4. Essas plantas apresentam valores intermediários no  $\delta^{13}\text{C}$ , entre -16‰ e -18‰ (Scarano *et al.*, 2001).

Como técnica de avaliação ambiental, a determinação da razão isotópica da MOS é também valiosa pela baixa taxa de alteração dos seus valores durante os processos de decomposição e incorporação da matéria orgânica ao solo (Schweizer, 1999; Cadisch *et al.*, 1996). Para os solos sob uma vegetação composta exclusivamente de plantas C3, o  $\delta^{13}\text{C}$  tem valores em torno de -25‰ enquanto que solos sob plantas C4, entre -14 e -18‰ (Martinelli *et al.*, 1998). Essa elevação da assinatura isotópica da matéria orgânica associada aos solos superficiais pode ser resultado da conjugação de dois fatores: da discriminação microbiana durante a decomposição e da preservação de materiais recalcitrantes com menor razão isotópica e a decomposição mais acelerada de materiais mais lábeis e mais leves. Um terceiro fator, detectado principalmente com o aprofundamento do solo em mais de 1 m é atribuído a recentes alterações atmosféricas na razão isotópica em função da queima de combustíveis fósseis (Powers e Schlesinger, 2002).

O estudo das mudanças químicas e estruturais na MO ao longo do perfil do solo em sistemas naturais permite seguir o curso da decomposição em longo prazo, a partir de um conjunto de características fixadas pelas seguidas mudanças na distribuição das formas de C com a profundidade (Zech *et al.*, 1997). Nos distintos horizontes estão guardados progressivos estágios de humificação da matéria orgânica, os quais podem alterar de maneira diferenciada as propriedades do solo.

### 1.3. Composição Isotópica do Nitrogênio

Embora tido como um elemento limitante da produtividade em muitos sistemas naturais, como savanas e principalmente em sistemas agrícolas, o nitrogênio em florestas tropicais, parece não representar uma barreira para a produção vegetal. A baixa eficiência na ciclagem e as altas taxas de mineralização normalmente verificada em estudos envolvendo esse ecossistema, sugerem uma não-limitação por esse nutriente (Robertson, 1989). A considerável abundância de leguminosas, potenciais espécies fixadoras de N, podem representar a manutenção dos altos níveis de N disponíveis nesses ecossistemas (Vitousek, 1984).

A aquisição de nitrogênio pode, potencialmente, dividir as espécies em dois grupos: espécies fixadoras e não-fixadoras de nitrogênio. As primeiras, que podem ser ainda subdivididas em fixadoras obrigatória e fixadoras facultativas, refletem nos seus tecidos esse processo, em princípio, com uma alta concentração desse nutriente. Embora bastante conhecido e usado na agricultura, a fixação biológica do nitrogênio em espécies de florestas, bem como os processos envolvendo a sua discriminação isotópica dentro de ecossistemas tropicais, não são totalmente claros.

Tal como a discriminação isotópica do carbono, a variação intra-específica e inter-específica do  $\delta^{15}\text{N}$  também pode ser usada para acessar a variabilidade dos processos bioquímicos em diferentes ecossistemas (Compton e Boone, 2002; Guehl *et al.*, 1998). Para o solo, os valores preservados na MO podem ainda ser usados para compor o histórico de processos ocorridos ao longo do tempo (Emmett *et al.*, 1998; Koopmans *et al.*, 1997).

No solo, a composição isotópica do N tem sido reportada em uma larga escala de valores que vai desde -20 a 5‰ dependendo do tipo de ecossistema (Guehl *et al.*, 1998). Em florestas tropicais, esses valores tendem a se apresentarem mais elevados, variando de 0 a 5‰ (Guehl *et al.*, 1998; Kitayama e Iwamoto, 2001). Em florestas temperadas os valores descritos na literatura estão na faixa de -2 a 0‰ (Emmett *et al.* 1998; Koopmans *et al.*, 1997). Também como  $\delta^{13}\text{C}$ , os valores para a composição isotópica do N no solo respondem aos diversos processos que ocorrem entre a fonte e o destino da matéria orgânica. No estudo de Emmett *et al.* (1998) em florestas temperadas, o enriquecimento do N total levou a um aumento significativo do  $\delta^{15}\text{N}$ . Esse aumento foi tido como não diretamente relacionado com a fixação de uma biomassa mais enriquecida em  $^{15}\text{N}$ , mas sim com uma nitrificação seletiva,

levando a perda do  $\text{NO}_3$  pobre em  $^{15}\text{N}$  e absorção pela vegetação do  $\text{NH}_4$  com maior teor de  $^{15}\text{N}$  (Emment *et al.*, 1998). Para estudos realizados em florestas temperadas sujeitas a deposição alóctone de N, a diferença entre o  $\delta^{15}\text{N}$  foliar e no solo esteve positivamente relacionado com o potencial de mineralização e nitrificação do solo (Koopmans *et al.*, 1997).

Na atmosfera a razão o  $\delta^{15}\text{N}$  é igual a 0‰. Esse valor é relativamente fixo e é usado como padrão, como resumido em Guehl *et al.* (1998). Na vegetação, para as espécies arbóreas fixadoras de N, que adquirem esse nutriente da atmosfera, através associação simbiótica, o  $\delta^{15}\text{N}$  pode apresentar uma variação no  $\delta^{15}\text{N}$  entre -2‰ e 2‰. A aquisição de N atmosférico por espécies fixadoras responde em seu  $\delta^{15}\text{N}$ , a um menor número de passos metabólicos associados à discriminação isotópica, do que aquelas que adquirem o N a partir dos estoques decorrentes da mineralização que tendem a apresentar um  $\delta^{15}\text{N}$  maior (Emmett *et al.*, 1998; Kitayama e Iwamoto, 2001). Para um estudo realizado em uma floresta neotropical, indivíduos arbóreos nodulados mostram menor  $\delta^{15}\text{N}$  foliar do que não nodulados, entretanto, este fato ainda não confirma a expectativa de se usar a discriminação isotópica do N como previsor da fixação desse elemento Guehl *et al.* (1998).

Para as espécies sem nodulação simbiótica, o suprimento das necessidades metabólicas vem do estoque de N do solo. Nessas espécies, a assinatura isotópica do N reflete a assinatura do estoque de N no solo, mais especificamente a fração ativa, associada à solução do solo. Na previsão do  $\delta^{15}\text{N}$  dessas espécies, entretanto, devemos considerar um número maior de variáveis. Além dos processos associados à incorporação no sistema e a fixação biológica, deve-se somar variações decorrentes das discriminações durante a mineralização e reabsorção do elemento. Por exemplo, Kitayama e Iwamoto (2001) observaram um enriquecimento da serrapilheira entre 3 e 6‰ em relação ao  $\delta^{15}\text{N}$  foliar. Espécies não-fixadoras de N não apresentam assim, somente um reflexo desse N fixado e acrescido ao solo (Guehl *et al.*, 1998). A média para o  $\delta^{15}\text{N}$  foliar que pode variar -2 a 6‰, é colocado como positivamente correlacionada com a concentração do N total foliar (Guehl *et al.*, 1998; Kitayama e Iwamoto, 2001).

Diferente da assinatura isotópica do carbono que claramente distingue plantas C3, C4 e CAM e que já conta com várias influências identificadas, a discriminação isotópica do N ainda se encontra pouco clara para florestas tropicais. Na aquisição do N, o grau de relação da planta aos estoques do solo, que varia desde a total

dependência para espécies não-fixadoras até a independência para espécies fixadoras é tido como significativamente relacionado ao  $\delta^{15}\text{N}$  foliar (Guehl *et al.*, 1998). Para as espécies dependentes, o N adquirido no solo pode variar na proporção entre os estoques mais ativos no solo ( $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$  – Piccollo, *et al.*, 1999). As participações destas formas são controladas no solo por fatores climáticos como umidade e temperatura (Robertson, 1989); edáficos como a própria concentração de N no solo (Koopmans *et al.*, 1997) ou a textura (Neill *et al.*, 1997); ou ainda florísticos, como a diversidade da cobertura vegetal (Neill *et al.*, 1999). Durante processo de decomposição é citado o enriquecimento do  $^{15}\text{N}$  em solos tropicais (Kitayama e Iwamoto, 2001) e em solos temperados ricos em N total (Emment *et al.*, 1998). A seletividade durante a nitrificação é responsável pelo enriquecimento do montante de N ativo no solo, levando em uma floresta temperada a perda de  $\text{NO}_3$  pobre em  $^{15}\text{N}$  e ao uso preferencial pela vegetação de  $\text{NH}_4$  rico  $^{15}\text{N}$  (Emment *et al.*, 1998). Tal como o  $^{13}\text{C}$ , a discriminação isotópica do  $^{15}\text{N}$  pode estar sujeita a influência de diversos fatores que somam a sua variação toda à complexidade do ciclo do nitrogênio.

O trabalho apresentado aqui não busca relacionar os resultados obtidos aos fatores envolvidos com a discriminação isotópica. Contudo apresenta a composição isotópica para o C e o N de algumas das mais importantes espécies de uma Mata Atlântica segundo o cálculo do IVC (Índice de Valor de Cobertura) obtido por Moreno (1998). A determinação da composição isotópica para a vegetação é importante como indicativo para os valores esperados no solo, incorporados na sua estrutura através da fração orgânica. Além disso, a Mata Atlântica foi ainda pouco enfocada por estudos que abordam esse aspecto.

## 2. OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo geral, verificar as alterações causadas no solo pela substituição da vegetação nativa de Mata Atlântica por uma pastagem e uma plantação de cana-de-açúcar, na Serra do Imbé, Norte Fluminense.

Os objetivos específicos deste estudo foram:

- Determinar a composição isotópica foliar do C e do N das principais espécies ocorrentes em uma Mata Atlântica na Serra do Imbé, RJ e caracterizar o  $\delta^{13}\text{C}$  e o  $\delta^{15}\text{N}$  dessa região;
- Caracterizar as áreas quanto à composição elementar e isotópica do C e do N, bem como o conteúdo dos nutrientes na camada de serrapilheira;
- Caracterizar as áreas quanto à composição elementar e isotópica do C e do N no solo.

Foram testadas as seguintes hipóteses:

Hipótese 1: A substituição da vegetação nativa altera a quantidade e as características da MO ao longo do perfil do solo.

Hipótese 2: A substituição da vegetação nativa altera a fertilidade ao longo do perfil de solo.

### 3. ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado na área do entorno do Parque Estadual do Desengano (PED). O PED está localizado na Região Norte do Estado do Rio de Janeiro e pode ser classificado hoje, como um dos maiores remanescentes de mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro (IEF, 1996), abrangendo uma área de 25.000 ha (Fig. 1). As áreas florestadas da região sofreram intenso uso extrativista até o final dos anos 1980, levando, principalmente nas áreas de baixada, a substituição da vegetação nativa por áreas de pastagem e plantios de cana-de-açúcar, as principais atividades agroeconômicas da região (Fig. 1).

O clima da região possui uma característica estacional, com inverno pouco seco e verão úmido e a vertente atlântica apresenta pouco ou nenhum déficit hídrico. Abaixo de 200 m de altitude, a precipitação média anual fica em torno de 1400 mm e a temperatura média em torno de 19°C (Pró-Natura /UFRRJ, 1994). Os solos da região apresentam-se freqüentemente rasos e irregulares. Segundo o Mapa Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro (1998), esta região apresenta Cambissolo álico variando de argiloso a médio argiloso. As áreas florestadas do PED apresentam uma vegetação originalmente de floresta ombrófila densa (RADAMBRASIL, 1983) com dossel até 25m de altura classificada como Mata Atlântica de encosta (Veloso *et al.*, 1991).

#### 3.1. Sítios de Estudo

Os locais foram selecionados segundo as características de relevo, da vegetação original e pela atual ocupação do solo. Essas áreas encontram-se em baixa altitude, abaixo de 100 m, com solo raso, próximo da base rochosa, em leve declividade e apresentam-se ou apresentavam-se no passado, cobertos por Mata Atlântica de Encosta. Três locais foram selecionados no entorno do PED: (1) mata, (2) pastagem e (3) plantação de cana-de-açúcar.

A mata e a pastagem encontram-se dentro da microbacia do córrego Penação (21°48'43``S, 41°40'78``O), um dos tributários do rio Imbé, o maior rio do PED. Segundo o Mapa Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro (1998) a região é

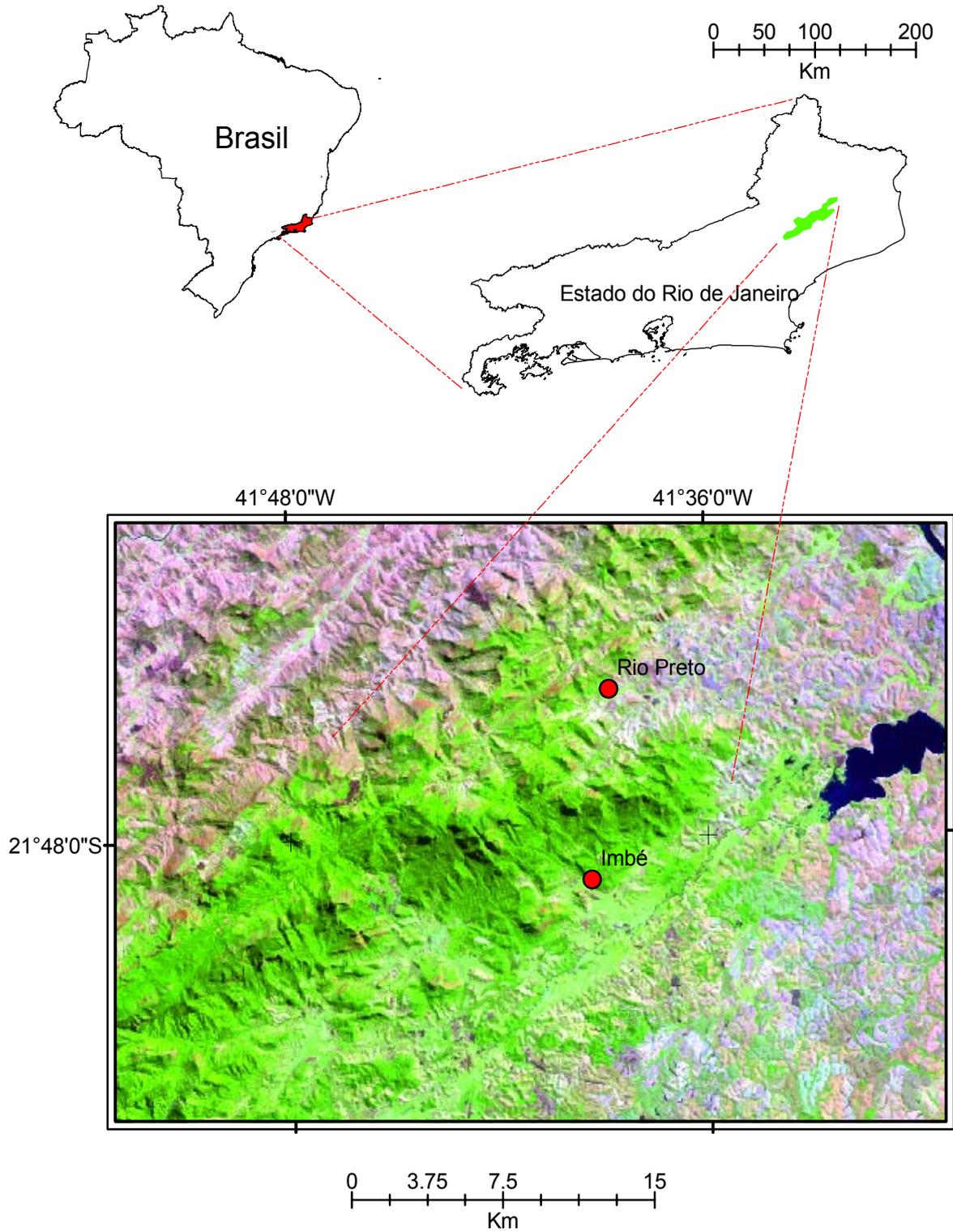


Figura 1: Serra do Desengano. Em destaque as áreas de estudo na Serra do Imbé: Ponto Imbé referem-se a mata e a pastagem e ponto Rio Preto a plantação de cana-de-açúcar.

caracterizada pelas escarpas serranas sustentadas por granitóides, granodioritos, charnockitos e granitos. Predominam afloramentos de rocha e Cambissolos e Latossolos Vermelho Amarelo-álidos. Os solos apresentam alta declividade e alta susceptibilidade a erosão; são pouco espessos, pouco férteis e com baixa capacidade de cargas. A precipitação média anual está entre 1300 e 2900 mm (Pró-Natura / UFRRJ, 1994 , Fig. 2).

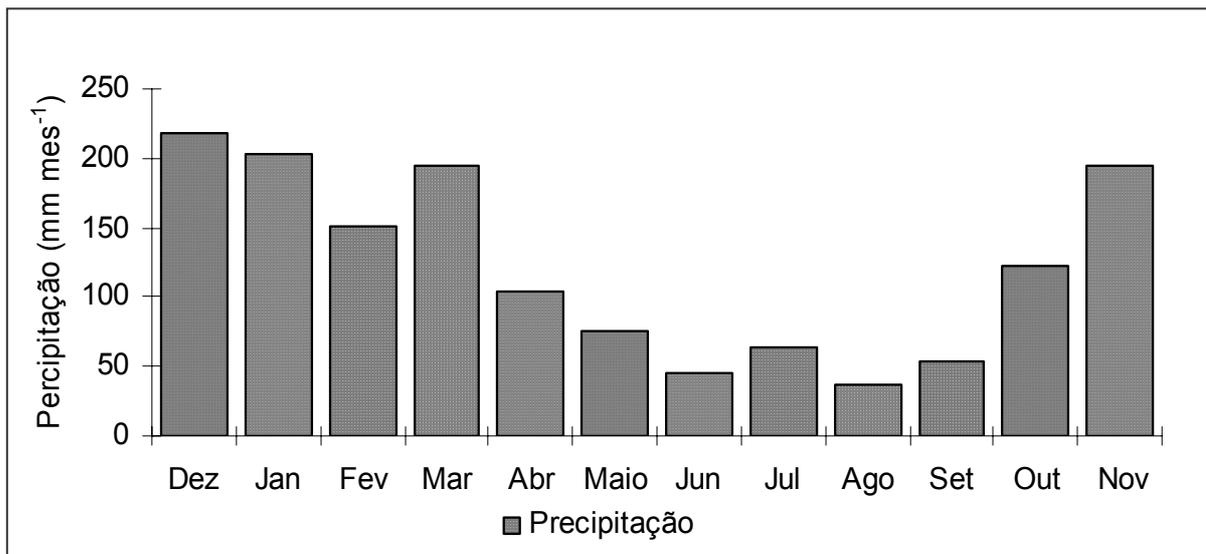


Figura 2: Precipitação pluviométrica (mm mês<sup>-1</sup>) em Conceição de Macabu, RJ (70 km da área de estudo). Média dos anos anteriores a 1994 (Pró-Natura / UFRRJ, 1994).

A área florestada dessa região vêm sendo estudada quanto a diversos aspectos ecológicos pelo Laboratório de Ciências Ambientais (Mazurec, 1998; Moreno, 1998). Na mesma área a densidade arbórea apresentou 767 indivíduos ha<sup>-1</sup> e uma área basal de 41,9 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. As famílias mais comuns na área foram Euphorbiaceae, Leguminosae e Rubiaceae (Moreno, 1998). A mata mostra-se coberta com a vegetação original, sem vestígios de extração recente de madeira.

A pastagem encontra-se adjacente à mata, tendo sido desmatada a cerca de 30 anos e encontra-se hoje, coberta com vegetação destinada ao forragiamento animal. Nesta área foi observada uma forte predominância das espécies *Brachiaria decumbens* e *B. humidicola* (Gramineae) que dominam a cobertura vegetal repelindo a entrada de outras espécies além de promoverem uma cobertura bastante homogênea, principalmente a primeira espécie.

O local onde foi alocada a plantação de cana-de-açúcar encontra-se na bacia do Rio Preto (21°48'42``S, 41°37'02``O). Este local teve a mata retirada a mais de 60 anos e nos últimos 30 anos vem sendo usado para cultivo de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) de baixa extensão, com baixo índice de mecanização. Esta área foi incluída como representante de um dos principais impactos causados pela agricultura na região, a plantação de cana-de-açúcar. O Mapa Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro (1998) apresenta a área com predominância de colinas e morros baixos sustentados por paragnaisses, ortognaisses e granitóides, vertentes convexas e topos arredondados ou alongados. A amplitude topográfica é inferior a 100m. Predomina na região Latossolos e Cambrisolos álicos com moderada sustentabilidade a erosão e alta capacidade de cargas. A vegetação original era composta por floresta subcaducifólia. A precipitação média anual varia hoje entre 900 a 1300 mm. Esta área apresentou, no momento da coleta, restos de carvão e cinza indicando ocorrência de queimada, prática comum na região.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Desenho Amostral

#### 4.1.1. Espécies Vegetais

Para o estudo da composição elementar e isotópica do C e do N na mata foi usado como base, o estudo de Moreno (1998) que apresenta a fitossociologia para região usando inclusive as mesmas parcelas deste estudo. São apresentadas aqui as oito principais espécies arbóreas ou arbustivas de maior importância fitossociológica, classificadas quanto ao IVC (índice de valor de cobertura calculado a partir do diâmetro a altura do peito para plantas > 10 cm): *Hyeronima alchorneoides* (Euphorbiaceae), *Actinostemon verticilatus* (Euphorbiaceae), *Rustia formosa* (Rubiaceae), *Virola oleifera* (Myristicaceae), *Mabea fistulifera* (Euphorbiaceae), *Pseudopiptadenia contorta* (L. Mimosaceae), *Euterpe edulis* (Palmae), *Bathysia mendonçaei* (Rubiaceae) seguida de outras cinco espécies ocorrentes entre as 40 mais importantes, sendo elas *Lecythis lanceolata* (Lecytidaceae), *Ecclinusa ramiflora* (Sapotaceae), *Sorocea guillerminiana* (Moraceae), *Cariniana estrelensis* (Lecytidaceae), *Oxandra nitida* (Annonaceae) e de outras oito espécies também ocorrentes na área: *Xylopia laevigata* (Annonaceae), *Pisonia* sp. (Nyctaginaceae), *Trichilia martiniana* (Meliaceae), *Sclerolobium* sp. (Leg. Caesalpinaceae), *Vochysia oppugnata* (Vochysiaceae). Além dessas são incluídas outras três espécies bastante comuns no estrato herbáceo: *Aspunia* sp. (Cyclantaceae), *Bactris* sp. (Palmae), *Lasiacis* sp. (Gramineae). No caso do estudo fitossociológico (Moreno, 1998), as folhas foram tomadas, para os indivíduos arbóreos ou arbustivos, ao acaso, dos ramos inferiores da copa, entre 1997 e 1998 e secas a partir do dia de coleta, depositadas em herbário e aí permanecendo até 2001. A coleta para coleção botânica pressupõe que os ramos seja vistosos, não predados, maduros, porém não envelhecidos. Para a coleta de folhas do ano de 2002, seguiu-se esse mesmo tratamento, sendo nesse caso as folhas imediatamente secas em estufa.

Foram inicialmente testadas a diferença para C e N totais, C:N e  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  entre espécies arbóreas e arbustivas em relação às herbáceas, não sendo a diferença significativa ( $p > 0,05$ ), portanto, tratadas doravante no conjunto de espécies da mata. Também foi testada a diferença entre espécies tomadas do herbários,

coletadas em 1997/1998 e as espécies coletadas *in situ* em 2002, sendo neste caso a diferença significativa para C total ( $p < 0,01$ ) (Tab. 1).

Para as áreas de pastagem e de plantação foram analisados 10 indivíduos da família Gramineae divididos em sete espécies bastante comuns na cobertura graminóide sendo as da pastagem *Brachiaria humidicola*, *Brachiaria decumbens*, Gram. 2, Gram. 3, *Panicum maximum* e as espécies da plantação *Saccharum officinarum* (cana-de-açúcar de variedade desconhecida) e Gram. 1. Três espécies da família Cyperaceae também ocorrentes na pastagem foram incluídas: *Rhynchospora nervosa*, *Scleria pterota* e Cyperaceae sp.

Tabela 1: Comparação da composição foliar, elementar e isotópica do C e do N em folhas de uma Mata na Região do Imbé, RJ. Índice *a* para diferença significativa.

	C	N	C : N	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
	(mg g <sup>-1</sup> )			(‰)	
	Arbóreas (N=21) x Herbáceas (N=3)				
Arbóreas	422,2	22,4	19,8	-31,7	1,8
Herbáceas	389,6	21,2	18,6	-32,8	1,0
$p^1$	0,34	0,82	0,64	0,20	0,28
Coef. de Variação	12,0	22,4	27,6	4,2	88,4
	Folhas de herbário (1997/1998) x coletas <i>in situ</i> (2002).				
Folhas de 1997/1998	387,2	22,3	18,1	-31,9	2,0
Folhas de 2002	448,2	21,1	22,2	-31,7	1,5
$p^1$	< 0,01 <i>a</i>	0,57	0,06	0,64	0,28
Coef. de Variação	11,6	22,2	26,5	4,3	73,0

<sup>1</sup> Análise de Variância

A fração correspondente a gramíneas no estrato herbáceo da pastagem e da plantação foi representada na composição elementar e isotópica pelas espécies amostradas para essas áreas, citadas anteriormente. As frações de não-gramíneas do estrato herbáceo da pastagem não tiveram determinações para C e N elementar e isotópica devido à ausência de massa, usada, na determinação de nutrientes.

#### 4.1.2. Desenho Amostral para o Estrato Herbáceo, Camada de Serrapilheira e Solo

Em cada área estudada, mata, pastagem e plantação de cana-de-açúcar, foram alocadas quatro parcelas de 30 m x 40 m, separadas entre si em mais de 30

m. O desenho amostral foi composto por quatro pontos distribuídos arbitrariamente em cada parcela. Os pontos de coleta foram distintos em:

- 1) Estrato herbáceo,
- 2) Camada de Serrapilheira e
- 3) Solo.

As amostras referentes ao estrato herbáceo, camada serrapilheira e solo foram coletadas entre os meses de setembro e dezembro de 2000, em dias sem chuva. Para a coleta do estrato herbáceo e da camada serrapilheira foi usado um quadrado de 0,25 m<sup>2</sup>, sendo coletado todo material vegetal acima do solo. Ainda durante a coleta, o material foi distinto em estrato herbáceo (material vivo, < 1cm de diâmetro) e serrapilheira (material morto depositado sobre o solo). O material foi acondicionado separadamente em sacos de papel e levado ao laboratório.

O solo foi amostrado ao longo do perfil até profundidade de 1,60m, sendo este distribuído em sete intervalos:

- a) de 0 a 0,05 m,
- b) de 0,05 a 0,10 m,
- c) de 0,10 a 0,20 m,
- d) de 0,20 a 0,50 m,
- e) de 0,50 a 1,00 m,
- f) de 1,00 a 1,50 m e
- g) de 1,50 a 1,60 m.

Afim de se colher melhor a variação superficial dos solo, os intervalos foram definidos com menores distância na superfície, seguida de um afastamento gradual com o aumento do solo.

Para a coleta das amostras de solo ao longo do perfil foi usado um trado de aço inoxidável de lâminas helicoidais. Os dois intervalos mais profundos estiveram, em alguns perfis, ausentes na amostragem devido à presença do embasamento rochoso ou de seus fragmentos. O total coletado a cada intervalo do solo foi destorroado e homogeneizado no próprio local, sendo uma parte acondicionada em sacos de plásticos bem vedados e transportadas ao laboratório e o volume excedente dispensado.

## 4.2. Determinações do Solo

A umidade no solo foi determinada a partir de alíquotas de cerca de 20 g, pesadas no mesmo dia da coleta e secas a 105°C por 48h. Para as demais determinações, o restante de cada amostra foi mantido em estufa de circulação a 40°C até se apresentarem secos. Foram então manualmente destorroados com auxílio de graal e pistilo de porcelana e peneirados a 2 mm. Durante o processo de peneiramento foram separadas as frações grosseiras de matéria orgânica, como raízes e fragmentos de serrapilheira.

Área superficial (A.S.) da fração mineral do solo foi determinada em alíquotas manualmente quatiadas e mantidas a 480°C por 8h para a remoção da matéria orgânica. Para essa determinação foi usado o método da adsorção de N<sub>2</sub> e isoterma BET com a amostra resfriada com N líquido em analisador de área superficial (Quantachrome, 1999).

O pH foi determinado em alíquotas de 10 g diluídas em 25 ml de água Mille-Q, pH 5,7 (EMBRAPA, 1997).

Acidez Trocável ( $[Al^{3+}] + [H^+]$ ) foi obtida a partir de alíquotas 10 g diluídas em 70 ml de KCl a 1 mol l<sup>-1</sup> e tituladas em Bureta Eletrônica com NaOH 0,02- mol l<sup>-1</sup> (Mata e Pastagem) ou 0,01 mol l<sup>-1</sup> (Plantio) com solução alcoólica de fenolftaleína como indicador (EMBRAPA, 1997).

O extrato para a determinação dos cátions (K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>) e o fosfato trocável foram obtidos a partir de 5 g da amostra em 50 ml da solução extratora (solução Merlich: HCl 0,05 N e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 N), agitado por 5 min e após repouso (16 h) filtrados em filtro Whattman n<sup>o</sup> 44. A determinação dos elementos foi realizada em espectrometria de emissão por plasma induzido (Varian model Liberty Series II). A soma das bases trocáveis foi calculada pela adição das concentrações K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>. Para a Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (CTC) foi calculada pela soma dos cátions mais a Acidez Trocável (EMBRAPA, 1997).

O conteúdo de P trocável no solo foi determinado a partir do extrato obtido na determinação de cátions. A determinação foi feita pelo método do azul de molibdênio com redução por ácido ascórbico após reação durante uma hora. O P trocável foi determinado em espectrofotômetro UV – Vis (Shimadzu) a 885 nm de comprimento de onda (EMBRAPA, 1997).

### 4.3. Determinações no Estrato Herbáceo e na Camada de Serrapilheira

Em laboratório, as amostras referentes ao estrato herbáceo e camada serrapilheira foram secas (80°C por 48h em estufa de circulação), separadas em frações de gramíneas (ausente na mata), folhas, caules (< 2 cm) e outros (material reprodutivo e outros fragmentos). A fração mineral, caules > que 2cm e material < 2mm foram descartados. Foi medido o peso seco (80°C e 24h) separadamente para cada fração. Devido a semelhança das folhas, é possível que tenha ocorrido a inclusão acidental de fragmentos da família Cyperaceae, na fração gramíneas, no entanto esse grupo não apresenta grande participação na cobertura graminóide das áreas de pastagem e plantação de cana-de-açúcar.

A digestão da serrapilheira para a determinação dos nutrientes foi feita a partir de alíquotas de 0,20 g de material vegetal moído, que foram misturadas a 4,4 ml da solução digestora (350 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> volume 100 + 420 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 0,42 g de Se + 14 g Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e mantidos em bloco digestor a 350° C por cerca de 5 h (Allen, 1989). Os extratos foram diluídos com água até 100 mL e filtrados em filtro Watthman nº 42 com auxílio de uma bomba de vácuo. A fim de minimizar a sub-estimativa de nutrientes no material vegetal, foi calculada a percentagem média de umidade nas amostras moídas e armazenadas. Esta apresentou média de 5%, que foi devidamente considerado no cálculo das concentrações dos elementos.

Os íons (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>) foram determinados em espectrometria de emissão atômica com plasma induzido (ICP, Varian model Liberty Series II). A concentração de fósforo obtida na determinação do material vegetal em ICP foi comparada ao método de determinação tradicional (Raij e Quaggio, 1983) para um conjunto de amostras, tendo os valores não apresentado diferença significativa (test:  $p < 0,05$ ) entre os métodos.

O controle analítico foi acompanhado na determinação dos elementos, pela inclusão de brancos e réplicas. Uma a cada 5 determinações no material vegetal e uma a cada sete determinações (1 a cada perfil) para o solo eram réplicas. A média da diferença entre as réplicas pode ser vista no Apêndice 1.

### 4.4. Composição Elementar e Isotópica do C e do N

Para a determinação da composição elementar e isotópica do C e do N, as folhas da vegetação arbórea da mata foram destacadas dos ramos, mantidas em estufa a 60°C por 24h e moídas. Afim de reduzir o número de extrato para leitura, as

amostras do estrato herbáceo e separadamente as da serrapilheira, distintas em frações, foram unidas de forma a compor uma amostra a cada parcela. Esse total foi pulverizado em moinho de faca com peneira de 20 $\mu$ m. As amostras de solo foram pulverizadas em moinho de bola a partir de uma massa inicial de cerca de 30 g. As determinações foram em espectrômetro de massa ThermoQuest Finnigan Delta Plus acoplado a CHN Ceintruments 1110 e foram realizadas no Laboratório de Ecologia Isotópica no CENA-USP. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e do  $\delta^{15}\text{N}$  são expressos em ‰ usando os padrões PDB<sup>1</sup> e o ar atmosférico. Nessas determinações foram incluída uma réplica a cada 5 amostras para o controle analítico.

#### 4.5. Apresentação e Análises dos Dados

Os valores são apresentados, dentro das respectivas unidades, como média  $\pm$  erro padrão.

Os valores do estrato herbáceo e da serrapilheira para a massa e nutrientes são apresentados como estoque total e de nutrientes ( $\text{t ha}^{-1}$ ) e concentração de nutrientes ( $\text{mg g}^{-1}$ ) a cada fração e o total da fração não-gramíneas.

Para otimizar a apresentação dos dados e permitir a comparação com outras áreas, as características dos solos são apresentadas resumidamente para os “solos superficiais” de 0 a 0,10m, que é representado aqui pela média dos intervalos de 0 a 0,05m e de 0,05 a 0,10m.

Afim de reduzir o número de amostras, nas determinações de área superficial e de composição isotópica foram usados somente dois perfis a cada conjunto.

A umidade, calculada a partir do teor de água na amostra, é apresentada como %. A área superficial é apresentada em  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ . A acidez trocável, a concentração de cátions assim como a CTC são apresentados como  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ , unidade padrão recomendada pela Embrapa CNPS – Rio de Janeiro e  $\text{P-PO}_4^{3-}$  é apresentado como  $\text{mg dm}^{-3}$ . (EMBRAPA, 1997).

O carbono e nitrogênio total são apresentados em  $\text{mg g}^{-1}$  e o  $\delta^{13}\text{C}$  e o  $\delta^{15}\text{N}$  em ‰. Para o cálculo da diferença isotópica do  $\delta^{13}\text{C}$  (D.I.) na MOS foi usada a seguinte fórmula:

$$DI (\%) = \left( \frac{\delta^{13}\text{C}_{\text{amostra}} - (\delta^{13}\text{C}_3)}{\delta^{13}\text{C}_4 - (\delta^{13}\text{C}_3)} \right) \times 100$$

sendo o enriquecimento percentual da biomassa C4 representado por *DI*. e o  $\delta^{13}\text{C}_{\text{amostra}}$  composição isotópica para a respectiva profundidade,  $\delta^{13}\text{C}_3$  corresponde

<sup>1</sup> Dr. Camargo, P. B., comunicação pessoal

o a composição isotópica do solo superficial na mata e o  $\delta^{13}\text{C}_4$  a composição isotópica média para plantas C4.

O Teste Análise de Variância Simples (One-Way, ANOVA - StatSoft Inc., 1998) foi usado para confirmar diferenças entre a média para as determinações interespecíficas e para comparação destas entre as áreas. Análise de Variância (ANOVA) com agrupamento (*nested*) de pontos dentro das parcelas (StatSoft Inc., 1998) foi usado para identificar as possíveis diferenças entre as áreas para os valores do estrato rasteiro, camada de serrapilheira e intervalos do solo ou com agrupamento de quadrados dentro das parcelas para comparações da massa e nutrientes entre a fração folhas e fração madeira do estrato herbáceo e da camada de serrapilheira.

## 5. Resultados

### 5.1. Composição do C e do N na Vegetação

#### 5.1.1. Composição Elementar

Os valores da concentração total do C e do N e da razão C:N das espécies estudadas na mata da Serra do Imbé são apresentados na Tabela 2. Os resultados são referentes ao material foliar de 24 plantas divididas em 18 espécies arbóreas ou arbustivas e três espécies herbáceas ocorrentes na mata. As primeiras oito espécies (Tab. 2) correspondem a indivíduos arbóreos ou arbustivos classificados nesta ordem, pelo IVC (Índice do valor de cobertura) do estudo realizado por Moreno (1998). São também somadas outras cinco espécies entre as 40 mais importantes além de outras oito espécies ocorrentes na área. Três espécies herbáceas, bastante comuns na mata, são incluídas e por não terem apresentado diferença para a concentração de C e N total e isotópico em relação às demais ( $p > 0,05$ ) são somadas num mesmo grupo. Por outro lado, os indivíduos coletados 1997 apresentaram na média, concentração de C elementar significativamente maior ( $p > 0,05$  -  $448 \pm 11,4$ , N=11) que os coletados em 2002 ( $387 \pm 9,8$ , N=13).

Para o total de indivíduos da mata (n = 24), a concentração de C e do N apresentou uma média de  $415 \pm 9,7$  mg g<sup>-1</sup> e  $21,8 \pm 1,0$  mg g<sup>-1</sup> respectivamente com a C:N de  $20,0 \pm 1,1$  (Tab. 2). Para o carbono elementar, os extremos da concentração foliar, variando entre 327 mg g<sup>-1</sup> (2002) e 503 mg g<sup>-1</sup> (1997), foi representado por uma única espécie *V. oleifera*. A concentração do N variou entre 13,8 mg g<sup>-1</sup> (*E. ramifolia*) e 34,9 mg g<sup>-1</sup> (*Pysonia sp.*), tendo a razão C:N extremos para essas mesmas espécies (Tab. 2). *P. contorta*, uma das espécies da família Leguminosae reportada neste estudo, apresentou o segundo maior valor na concentração de N total (27,7 mg g<sup>-1</sup> - Tab. 2).

As famílias Gramineae e Cyperaceae, monocotiledôneas, não apresentaram diferença significativa (*One-Way ANOVA*,  $p > 0,05$ ) para os valores de C e N elementar e razão C:N. Assim, para essas espécies a média para o C e o N total foi igual a  $376 \pm 12,3$  mg g<sup>-1</sup> e  $10,1 \pm 0,5$  mg g<sup>-1</sup> e o C:N 38,9 (n= 13 - Tab. 3).

Tabela 2: Composição elementar da matéria orgânica foliar ( $\text{mg g}^{-1}$  por peso seco) do C e do N das espécies de uma Mata Atlântica de encosta na Região do Imbé, RJ, classificadas quanto ao índice do valor de cobertura (IVC). Os dados representam valores individuais das espécies.

Espécies	C		N	C : N
	(mg g <sup>-1</sup> )			
Oito principais espécies				
<i>Hyeronima alchorneoides</i> (Euphorbiaceae)	381		22,9	16,7
* <i>Actinostemon verticilatus</i> (Euphorbiaceae)	396		26,0	15,2
<i>Actinostemon verticilatus</i> (Euphorbiaceae)	376		23,3	16,2
* <i>Rustia formosa</i> (Rubiaceae)	423		20,7	20,4
* <i>Virola oleifera</i> (Myristicaceae)	503		20,0	25,2
<i>Virola oleifera</i> (Myristicaceae)	327		23,5	13,9
* <i>Mabea fistulifera</i> (Euphorbiaceae)	458		24,6	18,7
<i>Mabea fistulifera</i> (Euphorbiaceae)	390		15,9	24,6
<i>Pseudopiptadenia contorta</i> (Leg. Mimosaceae)	467		27,7	16,9
<i>Euterpe edulis</i> (Palmae)	388		17,2	22,6
<i>Bathysia mendonçaei</i> (Rubiaceae)	365		22,9	15,9
Outras espécies				
* <i>Lecythis lanceolata</i> (Lecytidaceae)	490		19,6	25,0
* <i>Ecclinusa ramiflora</i> (Sapotaceae)	492		13,8	35,6
<i>Sorocea guillerminiana</i> (Moraceae)	428		24,5	17,5
* <i>Cariniana estrelensis</i> (Lecytidaceae)	441		17,5	25,2
* <i>Oxandra nitida</i> (Annonaceae)	453		26,1	17,4
<i>Xylopia laevigata</i> (Annonaceae)	444		17,3	25,6
<i>Pisonia</i> sp. (Nyctaginaceae)	356		34,9	10,2
<i>Trichilia martiniana</i> (Meliaceae)	409		24,3	16,9
* <i>Sclerolobium</i> sp. (Leg. Caesalpinaceae)	427		21,9	19,5
* <i>Vochysia oppugnata</i> (Vochysiaceae)	380		14,7	25,8
Espécies Herbáceas				
<i>Aspunia</i> sp. (Cyclantaceae)	347		18,5	18,8
<i>Bactris</i> sp. (Palmae)	372		18,5	20,1
<i>Lasiacis</i> sp. Bambu (Gramineae)	450		26,5	16,9
<b>Média</b>	<b>415</b>		<b>21,8</b>	<b>20,0</b>
<b>Erro Padrão</b>	<b>9,71</b>		<b>0,96</b>	<b>1,07</b>
<b>Coefficiente de Variação</b>	<b>11,5</b>		<b>21,7</b>	<b>26,2</b>

\* Espécies analisadas a partir de folhas retiradas do herbário (1997)

Tabela 3: Composição elementar da matéria orgânica foliar ( $\text{mg g}^{-1}$  por peso seco) do C e do N em espécies de uma Mata Atlântica de encosta submetida a diferentes usos da terra. Os dados representam valores individuais das espécies.

Espécies		C	N	C : N
		(mg g <sup>-1</sup> )		
Cyperaceae	Cyper. 1	366	11,1	33,0
	<i>Rhynchospora nervosa</i>	329	10,3	31,9
	<i>Scleria pterota</i>	312	8,9	34,9
	<b>Média</b>	<b>336</b>	<b>10,1</b>	<b>33,3</b>
	<b>Erro Padrão</b>	<b>13,0</b>	<b>0,52</b>	<b>0,71</b>
	<b>Coefficiente de Variação</b>	<b>6,73</b>	<b>9,00</b>	<b>3,71</b>
Gramineae	<i>Brachiaria decumbens</i>	356	13,6	26,2
	<i>Brachiaria decumbens</i>	366	10,2	35,8
	<i>Brachiaria humidicola</i>	365	10,3	35,3
	Gram. 1	446	10,2	43,7
	Gram. 2	349	10,5	33,4
	<i>Imperata brasiliensis</i>	379	8,9	42,3
	<i>Imperata brasiliensis</i>	368	10,3	35,8
	<i>Panicum maximum</i>	354	11,1	31,9
	<i>Saccharum officinarum</i>	457	6,0	76,5
	<i>Saccharum officinarum</i>	452	10,0	45,0
	<b>Média</b>	<b>389</b>	<b>10,1</b>	<b>40,6</b>
	<b>Erro Padrão</b>	<b>13,2</b>	<b>0,56</b>	<b>4,16</b>
<b>Coefficiente de Variação</b>	<b>10,7</b>	<b>17,5</b>	<b>32,4</b>	
<b>Média para Cyperaceae e Gramineae</b>		<b>377</b>	<b>10,1</b>	<b>38,9</b>
<b>Erro Padrão Para Cyperaceae e Gramineae</b>		<b>12,3</b>	<b>0,45</b>	<b>3,31</b>

### 5.1.2. Composição Isotópica

Os dados individuais para a composição isotópica do carbono e nitrogênio estão apresentados na Figura 3. As espécies estudadas da mata apresentam exclusivamente metabolismo C3 e o material foliar foi coletado a partir dos ramos mais acessíveis da copa, no caso das arbóreas. Para essas espécies, o  $\delta^{13}\text{C}$  variou gradualmente entre  $-34,1\text{‰}$  (*V. oppungnata*) e  $-29,7\text{‰}$  (*V. oleifera*). Independentemente, o  $\delta^{15}\text{N}$  que variou de  $-0,34\text{‰}$  (*Lasiacis. sp*) até  $4,27\text{‰}$  (*O. nitida*) apresentou três grupos de espécies para o  $\delta^{15}\text{N}$ : até  $-1,58\text{‰}$ , de  $1,87\text{‰}$  até  $3,46\text{‰}$  e acima de  $4,12\text{‰}$  (Fig. 3). A média e o coeficiente de variação para as espécies arbóreas foi para o  $\delta^{13}\text{C} = -31,8 \pm 0,27\text{‰}$  e  $4,17$  e para o  $\delta^{15}\text{N} = 1,78 \pm 0,26\text{‰}$  e  $70,6$  (N=24 - Fig. 3).

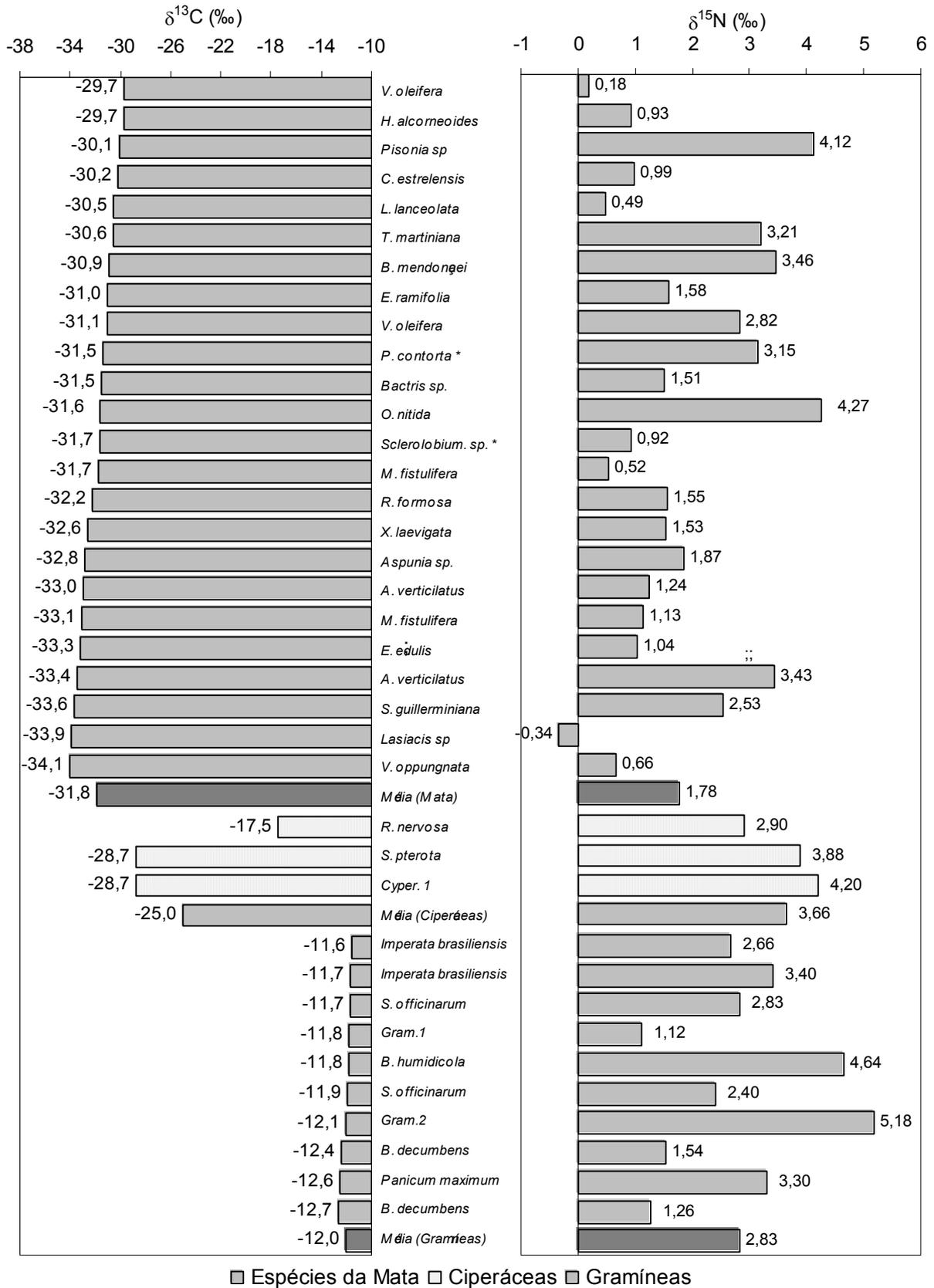


Figura 3:  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) foliar das principais espécies de uma Mata Atlântica na Região do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da terra, classificadas quanto  $\delta^{13}\text{C}$ . Os dados representam valores individuais das espécies. (\* refere-se a espécies da Família Leguminosae).

Na Figura 3 são também apresentados os dados individuais da razão isotópica do carbono e nitrogênio para diversas espécies do estrato herbáceo. Para as ciperáceas o  $\delta^{13}\text{C}$  médio foi de  $-25,0\text{‰}$  e  $3,66\text{‰}$  para o  $\delta^{15}\text{N}$  (Fig. 3). Para essas espécies, o  $\delta^{13}\text{C}$  variou de  $-27,7\text{‰}$  (*R nervosa*) a  $-17,5\text{‰}$  (Cyper. 1), que se destacou das demais espécies. O  $\delta^{15}\text{N}$ , de maneira inversa, variou de  $2,90\text{‰}$  (Cyper. 1) até  $4,20\text{‰}$  (*R nervosa*) (Fig. 3). A média e o coeficiente de variação para as espécies arbóreas foi para o  $\delta^{13}\text{C} = -31,8 \pm 0,27\text{‰}$  e  $21,2$  e para o  $\delta^{15}\text{N} = 1,78 \pm 0,26\text{‰}$  e  $15,1$  (N=3 - Fig. 3).

Para as gramíneas, incluindo plantas da pastagem e da plantação de cana-de-açúcar, a média do  $\delta^{13}\text{C}$  e do  $\delta^{15}\text{N}$  foi de  $-12,0\text{‰}$  e  $2,83\text{‰}$  tendo apresentado em complemento uma pequena amplitude na distribuição dos valores do  $\delta^{13}\text{C}$ , estando entre  $-11,6\text{‰}$  (*B decumbens*) e  $-12,7\text{‰}$  (*I. brasiliensis*). O  $\delta^{15}\text{N}$  variou de  $1,12\text{‰}$  (Gram. 2) e  $5,18\text{‰}$  (Gram.1). O coeficiente de variação para o  $\delta^{13}\text{C}$  foi de  $3,04$  e para o  $\delta^{15}\text{N}$  de  $45,5$  (Fig. 3).

## 5.2. Caracterização do Estrato Herbáceo - Biomassa, Composição Elementar e Isotópica e Nutrientes

### 5.2.1. Biomassa e Conteúdo de Nutrientes

Na mata não houve ocorrência de gramíneas no estrato herbáceo, como era esperado (Tab. 4). Embora tenha apresentado valores distintos entre si, a biomassa dessa fração não apresentou diferença estatística entre a pastagem ( $1,68 \pm 0,53 \text{ t ha}^{-1}$ ) e a plantação ( $0,40 \pm 0,10 \text{ t ha}^{-1}$ ). O estrato rasteiro (não-graminóide) foi significativamente maior ( $p < 0,05$ ) na mata ( $0,48 \pm 0,15 \text{ t ha}^{-1}$ ) que na pastagem ( $0,16 \pm 0,12 \text{ t ha}^{-1}$ ) e na plantação ( $0,16 \pm 0,07 \text{ t ha}^{-1}$  - Tab. 4). Quando se considera a participação das frações separadamente, a diferença entre as áreas para estrato herbáceo e para a serrapilheira é ainda maior. Enquanto no estrato herbáceo da mata há uma participação partilhada entre folhas e madeiras, nas áreas alteradas, essas frações aparecem bastante reduzidas (Fig. 4). Para esse estrato, enquanto folhas participam com  $44\%$  contra  $56\%$  de madeiras na mata, na plantação a fração folhas apresentou maior valor ( $22\%$ ) do que madeiras ( $7\%$ ), não sendo os valores diferentes na pastagem (Fig. 4).

Para os nutrientes estudados, a mata mostrou maior acumulação no estrato rasteiro não-graminóide para K ( $2,79 \pm 1,06 \text{ t ha}^{-1}$ ), Na ( $0,20 \pm 0,12 \text{ t ha}^{-1}$ ), Ca ( $1,57 \pm 0,38 \text{ t ha}^{-1}$ ) e Mg ( $0,72 \pm 0,21 \text{ t ha}^{-1}$ ) que a pastagem (K –  $0,32 \pm 0,28 \text{ t ha}^{-1}$ ; Na –  $0,01 \pm 0,01 \text{ t ha}^{-1}$ ; Ca –  $0,16 \pm 0,14 \text{ t ha}^{-1}$  e Mg -  $0,02 \pm 0,01 \text{ t ha}^{-1}$  - Tab. 4), sendo os valores para a plantação não significativamente diferente. Para a fração folhas do estrato herbáceo, somente Mg apresentou-se maior na mata ( $0,51 \pm 0,23 \text{ t ha}^{-1}$ ) seguido da pastagem ( $0,27 \pm 0,12 \text{ t ha}^{-1}$ ) e a plantação de cana-de-açúcar ( $0,12 \pm 0,02 \text{ t ha}^{-1}$  - Tab. 4). A fração madeira, devido a pequena massa, não foi medida para os nutrientes na pastagem. Embora tenha apresentado tendência a maiores valores na mata, a diferença não foi significativa (Tab. 4).

A concentrações de Ca e Mg na média do estrato herbáceo total foi maior na mata ( $p < 0,05$ ) com respectivamente  $3,73 \pm 0,38$  e  $1,83 \pm 0,34 \text{ mg g}^{-1}$  que na pastagem com  $0,35 \pm 0,08$  e  $0,22 \pm 0,05 \text{ mg g}^{-1}$  para Ca e Mg respectivamente, para o total desse estrato (gramíneas + não-gramíneas) na pastagem. A plantação também apresentou menores valores que a mata para Mg ( $0,42 \pm 0,19 \text{ mg g}^{-1}$ ) (Apênd. 2).

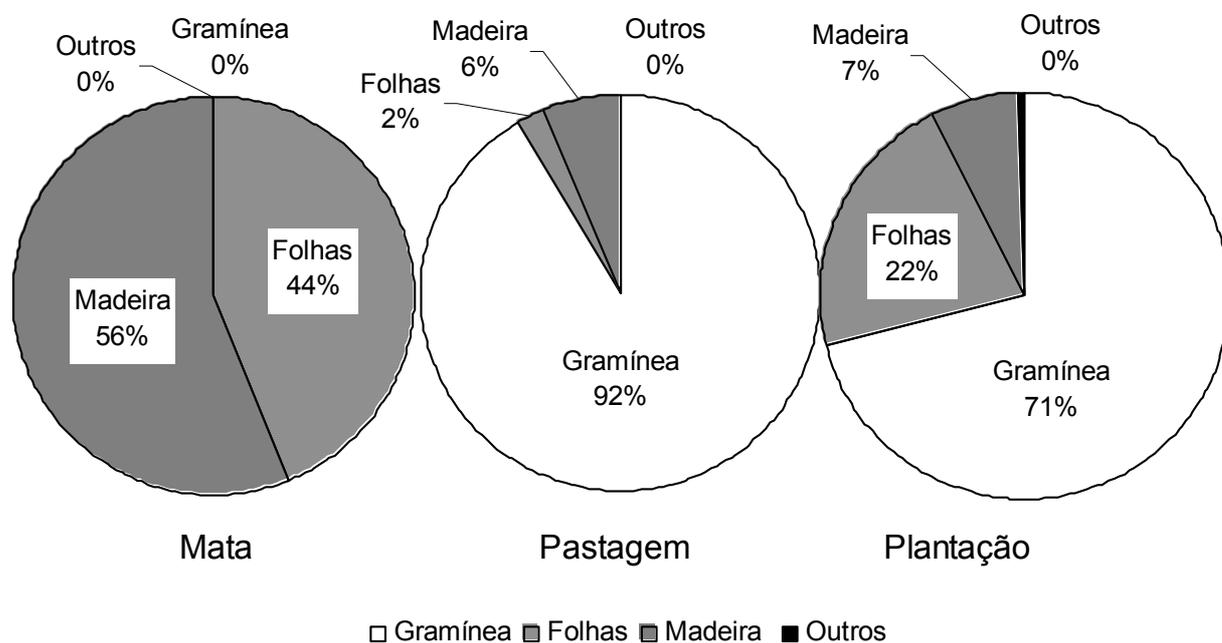


Figura 4: Participação percentual das frações do estrato herbáceo (gramíneas e não-gramíneas) em áreas de Mata Atlântica de encosta na Região do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da terra.

Tabela 4: Biomassa ( $t\ ha^{-1}$ ) e conteúdo de nutrientes ( $kg\ ha^{-1}$ ) no estrato herbáceo de uma Mata Atlântica submetida a diferentes usos da terra. Os valores indicam para a massa, a média (erro padrão abaixo) entre 16 quadrados ( $0,25\ m^2$ ) e para os elementos, a média (erro padrão abaixo) entre 4 amostras composta, distribuídos em 4 parcelas em cada área. Índices diferentes indicam valores significativamente diferentes entre as áreas ( $p < 0,05$ ).

	Frações	Massa ( $t\ ha^{-1}$ )	Potássio	Sódio	Cálcio ( $kg\ ha^{-1}$ )	Magnésio	Fósforo
Mata	Gramínea	Não ocorreu					
	Folhas	0,21	1,49	0,17	0,65	0,51	0,12
		0,11	0,80	0,10	0,24	0,23	0,07
	Madeira	0,27	1,30	0,03	0,92	0,21	0,16
		0,16	0,57	0,02	0,37	0,10	0,09
	Total	0,48	2,79	0,20	1,57 <sup>a</sup>	0,72 <sup>a</sup>	0,28
Pastagem		0,21	1,06	0,13	0,38	0,21	0,12
	Gramínea	1,68	3,36	1,60	0,48	0,27	0,79
		0,53	1,76	0,76	0,22	0,12	0,39
	Folhas	0,04	0,32	0,01	0,16	0,02 <sup>b</sup>	0,12
		0,03	0,28	0,01	0,14	0,01	0,10
	Madeira	0,12	-	-	-	-	-
		0,09					
	Não-Gramíneas	0,16	0,32	0,01	0,16 <sup>b</sup>	0,02 <sup>b</sup>	0,12
		0,12	0,28	0,01	0,14	0,01	0,10
	¥ Total	1,83	3,69	1,82	0,64 <sup>b</sup>	0,29 <sup>b</sup>	0,91
	0,74	1,89	0,96	0,24	0,13	0,39	
Plantação	Gramínea	0,40 <sup>c</sup>	2,87	0,27	0,47	0,12	0,58
		0,10	0,90	0,10	0,14	0,02	0,24
	Folhas	0,12	1,68	0,17	1,14	0,10	0,32
		0,06	1,25	0,13	0,82	0,05	0,22
	Madeira	0,04	0,02	<0,01	0,07	0,01	<0,01
		0,01	0,01	<0,01	0,03	0,01	<0,01
	Não-Gramíneas	0,16	1,69	0,17	1,21	0,11	0,32
		0,07	1,25	0,13	0,86	0,05	0,22
	¥ Total	0,57	4,56	0,51	1,67	0,23	0,90
		0,10	1,39	0,15	0,94	0,06	0,27

£ Não-Gramíneas = Folhas + Madeira, ¥ Total = Gramíneas + Não-Gramíneas

### 5.2.2. Composição Elementar e Isotópica do C e do N

Para as frações não-gramíneas do estrato herbáceo da mata e da plantação (para a pastagem não foi determinada) os valores são apresentados como média ponderada, levando-se em consideração a concentração de C e N nas frações de folhas e madeira e as respectivas massas dessas e da fração outros, esta última, muito reduzida nesse estrato (Tab. 5). Nesse compartimento, o conteúdo médio de C e N foram maiores ( $p < 0,05$ ) na mata ( $187 \pm 60,6 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $8,90 \pm 2,50 \text{ kg ha}^{-1}$ ) do que na plantação ( $60,9 \pm 28,5 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $3,4 \pm 1,8 \text{ kg ha}^{-1}$ ), tendo as frações folhas e madeiras também seguido essa mesma tendência (Tab. 5). Entretanto, a concentração total desses elementos não mostrou diferença na biomassa colhida na mata ( $385 \pm 11,8 \text{ mg g}^{-1}$  e  $21,3 \pm 3,30 \text{ mg g}^{-1}$ ) quando comparada à plantação ( $349 \pm 28,6 \text{ mg g}^{-1}$  e  $17,6 \pm 5,15 \text{ mg g}^{-1}$ ). Assim como a razão C:N que teve na mata 23 e na plantação de cana-de-açúcar (30 - Tab. 5).

Tabela 5: Composição elemental e isotópica do C e do N do estrato herbáceo de uma Mata Atlântica de encosta submetida a diferentes usos da terra. Os valores indicam a média (erro padrão abaixo) entre 16 quadrados ( $0,25 \text{ m}^2$ ) distribuídos em quatro parcelas a cada área. Índices diferentes indicam valores significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre as áreas.

Frações	C	N	C	N	C / N	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
	(kg ha <sup>-1</sup> )		(mg g <sup>-1</sup> )			(‰)	
	Mata						
Folhas	77,0	5,70	367	28,6	12,9	-34,8	1,54
	42,6	2,91	7,49	1,06	0,70	0,34	0,34
Madeira	110	3,20	403 <sup>a</sup>	16,4	27,1	-34,3 <sup>a</sup>	-1,00
	66,7	1,46	11,9	2,27	4,61	0,56	0,77
£ Média	187 <sup>a</sup>	8,90 <sup>a</sup>	385	21,3	22,5	-34,8 <sup>a</sup>	0,29
	60,6	2,50	11,8	3,30	5,43	0,40	0,55
	Pastagem						
¥§ Gramíneas	608	18,0	362	10,7	34,4	-12,0	2,42
	1,16	0,16	3,58	0,50	1,71	0,15	0,32
	Plantação						
¥ Gramíneas	182	3,52	451	8,7	55,0	-12,1	3,79
	0,27	0,11	2,64	1,12	8,76	0,13	0,93
Folhas	43,9	3,13	385	28,3	13,7	-28,4	4,21
	25,4	1,76	3,45	0,73	0,49	0,09	0,85
Madeira	17,1	0,31	437 <sup>c</sup>	8,7	57,0	-28,8 <sup>c</sup>	3,03
	5,66	0,10	2,36	1,45	10,4	0,44	0,64
£ Média	60,9 <sup>c</sup>	3,44 <sup>c</sup>	349	17,6	30,0	-24,9 <sup>c</sup>	3,02
	28,5	1,84	28,6	5,15	8,19	2,20	0,99

£ Média ponderada, ¥ Somente gramíneas foram medidas, § Média extraída das espécies de gramíneas analisadas para as respectivas áreas.

Para o estrato herbáceo da mata, o  $\delta^{13}\text{C}$  foliar foi de  $-34,8 \pm 0,40\text{‰}$ , sendo o  $\delta^{15}\text{N}$   $1,54 \pm 0,34\text{‰}$  – Tab. 5). Como representação da fração gramínea do estrato herbáceo na pastagem e na plantação foram usadas as médias das espécies desse grupo a cada área, citadas anteriormente (Tab. 3). Para a fração não-graminóide para a pastagem e a plantação, a média da biomassa desse estrato na mata apresentou-se mais leve tanto para o  $\delta^{13}\text{C}$  quanto para o  $\delta^{15}\text{N}$ , com respectivamente  $-34,8 \pm 0,40\text{‰}$  e  $0,29 \pm 0,55\text{‰}$  e  $-24,9 \pm 2,20\text{‰}$  e  $3,02 \pm 0,99\text{‰}$  (Tab. 5).

### **5.3. Caracterização da Camada de Serrapilheira - Biomassa, Nutrientes e Composição Elementar e Isotópica**

#### 5.3.1. Biomassa e Conteúdo de Nutrientes

Na camada de serrapilheira, entre as áreas de ocorrências, a serrapilheira graminóide teve maior massa na pastagem ( $p < 0,05$ ,  $3,80 \text{ t ha}^{-1}$ ) que na plantação ( $3,21 \text{ t ha}^{-1}$ ). Contudo, excetuando essa fração, que não ocorreu na mata, todas as demais frações apresentaram maior massa nesta área que nas demais áreas – a exceção da fração madeira, que não apresentou diferença estatística nessa comparação, provavelmente devido a alta variabilidade desse estoque. O maior estoque na mata fica bem evidenciado no total da serrapilheira (gramíneas + não-gramíneas) com  $7,2 \pm 0,1 \text{ t ha}^{-1}$  nessa áreas, que é maior ( $p < 0,05$ ) que  $4,1 \pm 0,6 \text{ t ha}^{-1}$  e  $4,0 \pm 0,7 \text{ t ha}^{-1}$  na pastagem e na plantação respectivamente (Tab. 6). A diferença entre as áreas para o acúmulo de biomassa sobre o solo é ainda mais distinta pela participação das frações no total da serrapilheira. Na mata, folhas participaram com metade da biomassa sobre o solo (51%) enquanto a outra metade foi composta basicamente de madeiras (diam.<2 cm, 44%) e outros (5%) composto de material reprodutivo e fragmentos diversos. Na pastagem e na plantação, a proporção se inverte e as folhas participam com menos de 1% e 8%, contra madeiras com 6% e 11% (Fig. 5).

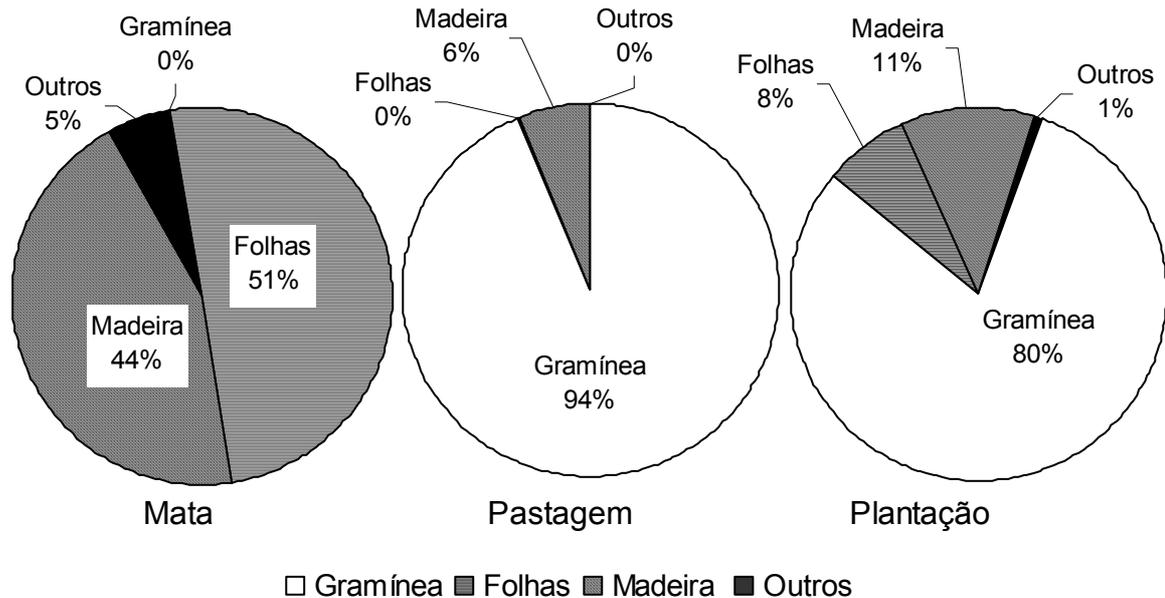


Figura 5: Participação percentual das frações da camada de serrapilheira (gramíneas + não-gramíneas) em área de Mata Atlântica de encosta na Região do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da terra.

Nas áreas onde ocorreu, a biomassa de gramíneas da camada de serrapilheira apresentou um estoque semelhante para os nutrientes estudados (Tab. 6). Potássio e fósforo se mostraram ligeiramente maiores ( $p < 0,05$ ) na pastagem ( $1,50 \pm 0,47 \text{ t ha}^{-1}$  e  $0,60 \pm 0,29 \text{ t ha}^{-1}$ ) do que na plantação de cana-de-açúcar ( $1,12 \pm 0,39 \text{ t ha}^{-1}$  e  $0,29 \pm 0,25 \text{ t ha}^{-1}$  - Tab. 6). Diferente da biomassa viva, o estoque de nutrientes na camada de serrapilheira apresentou-se maior na mata, seguida da pastagem e da plantação de cana-de-açúcar (Tab. 6). A mata apresentou os maiores estoques de nutrientes nas folhas e na soma das frações, esta última com  $6,50 \pm 1,73 \text{ t ha}^{-1}$  para K,  $36,29 \pm 8,59 \text{ t ha}^{-1}$  para Ca,  $2,46 \pm 0,76 \text{ t ha}^{-1}$  para P contra  $0,43 \pm 0,37 \text{ t ha}^{-1}$  e  $0,30 \pm 0,12 \text{ t ha}^{-1}$  para K,  $0,49 \pm 0,40 \text{ t ha}^{-1}$  e  $1,66 \pm 0,68 \text{ t ha}^{-1}$  para Ca e  $0,18 \pm 0,15 \text{ t ha}^{-1}$  e  $0,11 \pm 0,04 \text{ t ha}^{-1}$  para P na pastagem e a plantação de cana-de-açúcar respectivamente (Tab. 6).

Ainda foram verificadas maior concentração de Ca, Mg e P na media do total da serrapilheira da mata com respectivamente  $4,50 \pm 0,82$ ,  $0,32 \pm 0,03$  e  $0,30 \pm 0,06 \text{ mg g}^{-1}$ , valores maiores ( $p < 0,05$ ) que  $0,42 \pm 0,21$ ,  $0,14 \pm 0,12$  e  $0,22 \pm 0,25 \text{ mg g}^{-1}$  para Ca, Mg e P respectivamente, evidenciados para o total da serrapilheira da pastagem (gramíneas + não-gramíneas), a plantação, tendo apresentado valores intermediários, não se mostrou estatisticamente diferente, para esses e os demais nutrientes (Apênd. 3).

Tabela 6: Biomassa (t ha<sup>-1</sup>) e conteúdo de nutrientes (kg ha<sup>-1</sup>) na camada de serrapilheira de uma Mata Atlântica de encosta submetida a diferentes usos da terra. Os valores indicam a média (erro padrão abaixo) entre 16 quadrados (0,25 m<sup>2</sup>) distribuídos em quatro parcelas a cada área. Índices diferentes indicam valores significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre as áreas.

Áreas	Frações	Massa (t ha <sup>-1</sup> )	Potássio	Sódio	Cálcio (kg ha <sup>-1</sup> )	Magnésio	Fósforo
Mata	Gramínea	-	-	-	-	-	-
	Folhas	3,83 <sup>a</sup> 0,51	5,04 <sup>a</sup> 1,50	1,90 <sup>a</sup> 0,38	25,4 <sup>a</sup> 6,17	1,40 <sup>a</sup> 0,09	2,11 <sup>a</sup> 0,72
	Madeira	3,39 0,24	1,26 0,35	0,13 0,07	10,1 3,30	0,84 0,25	0,30 0,12
	Outros	0,40 0,08	0,19 0,06	0,04 0,02	0,75 0,21	0,10 0,03	0,05 0,01
	£¥ Não-Gramíneas (Total)	7,62 <sup>aa</sup> 0,74	6,50 <sup>aa</sup> 1,73	2,07 <sup>aa</sup> 0,40	36,3 <sup>aa</sup> 8,59	2,39 <sup>aa</sup> 0,19	2,46 <sup>aa</sup> 0,76
	Pastagem	Gramínea	3,83 <sup>b</sup> 0,49	1,50 <sup>b</sup> 0,47	0,42 <sup>b</sup> 0,29	1,04 0,33	0,40 0,14
	Folhas	0,01 <sup>b</sup> 0,01	0,01 <sup>b</sup> 0,01	0,01 <sup>b</sup> < 0,01	0,03 <sup>b</sup> 0,02	< 0,01 <sup>b</sup> < 0,01	< 0,01 <sup>b</sup> < 0,01
	Madeira	0,25 0,21	0,42 0,37	0,06 0,05	0,46 0,40	0,12 0,10	0,18 0,15
	Outros	-	-	-	-	-	-
	£ Não-Gramíneas	0,26 <sup>b</sup> 0,21	0,43 <sup>b</sup> 0,37	0,06 <sup>b</sup> 0,05	0,49 <sup>b</sup> 0,40	0,12 <sup>b</sup> 0,10	0,18 <sup>b</sup> 0,15
	¥ Total	4,08 <sup>b</sup> 0,56	1,93 <sup>b</sup> 0,58	0,48 <sup>b</sup> 0,32	1,53 <sup>b</sup> 0,52	0,52 <sup>b</sup> 0,18	0,78 <sup>b</sup> 0,34

Tabela 6: Continuação.

Áreas	Frações	Massa	Potássio	Sódio	Cálcio	Magnésio	Fósforo
		(t ha <sup>-1</sup> )			(kg ha <sup>-1</sup> )		
Plantação	Gramínea	3,21 <sup>c</sup>	1,12 <sup>c</sup>	0,32 <sup>c</sup>	2,10	0,59	0,29
		0,39	0,39	0,22	0,88	0,34	0,25
	Folhas	0,30	0,17 <sup>b</sup>	0,06 <sup>b</sup>	0,75 <sup>b</sup>	0,05 <sup>b</sup>	0,07 <sup>b</sup>
		0,18	0,06	0,04	0,45	0,02	0,03
	Madeira	0,46	0,12	0,02	0,82	0,10	0,04
		0,20	0,05	0,01	0,32	0,04	0,01
	Outros	0,03	0,01	< 0,01	0,08	0,01	0,01
		0,01	0,01	< 0,01	0,04	< 0,01	< 0,01
	‡ Não-Gramíneas	0,79 <sup>b</sup>	0,30 <sup>b</sup>	0,08 <sup>b</sup>	1,66 <sup>b</sup>	0,16 <sup>b</sup>	0,11 <sup>b</sup>
		0,38	0,12	0,05	0,68	0,07	0,04
	¥ Total	4,00 <sup>b</sup>	1,42 <sup>b</sup>	0,40 <sup>b</sup>	3,76 <sup>b</sup>	0,74 <sup>b</sup>	0,40 <sup>b</sup>
		0,65	0,45	0,30	1,65	0,45	0,32

‡ Não-Gramíneas = Folhas + Madeira + Outros, ¥ Total = Gramíneas + Não-Gramíneas

### 5.3.2. Composição Elementar e Isotópica do C e do N

Na Tabela 7 é apresentada a composição elemental e isotópica do carbono e do nitrogênio na camada se serrapilheira. Para a fração gramíneas, o conteúdo de C e N estocado nas áreas alteradas não diferiram entre si, contudo na pastagem apresentaram valores ligeiramente maiores ( $1.536 \pm 180 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $15 \pm 1 \text{ kg ha}^{-1}$ ) que na plantação de cana-de-açúcar ( $1.355 \pm 165 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $12 \pm 1 \text{ kg ha}^{-1}$  - Tab.7). Para a serrapilheira não-graminóide, a mata apresentou um estoque maior de carbono e nitrogênio ( $3.154 \pm 200 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $117 \pm 10 \text{ kg ha}^{-1}$ ) do que a pastagem ( $110 \pm 91 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $2 \pm 1 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e a plantação ( $321 \pm 163 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $9 \pm 4 \text{ kg ha}^{-1}$  - Tab. 7). A concentração total para esses elementos nas gramíneas presentes na pastagem e na plantação não diferiram entre si, tendo essa fração apresentada elevada razão C:N em ambas as áreas (103 e 112 - Tab. 7). Já para a média de não-gramíneas, a mata apresentou C:N significativamente maior ( $p < 0,05$  - 28) que na plantação (22), não tendo a pastagem, contudo, mostrado diferença em relação as demais áreas, embora tenha tido elevado valor para a razão C:N (40 - Tab. 7).

A composição isotópica média para C nas gramíneas não diferiu entre as áreas onde essa fração ocorreu, tendo se mostrado com  $-12,6 \pm 0,4\text{‰}$  na pastagem e com  $-13,5 \pm 0,1\text{‰}$  na plantação (Tab. 7). Entretanto, as gramíneas da pastagem mostraram-se menos enriquecidas para o  $^{15}\text{N}$  ( $0,4 \pm 0,2\text{‰}$ ) que as da plantação ( $2,0 \pm 0,3\text{‰}$  - Tab. 7). Também para as não-gramíneas, a mata mostrou-se significativamente ( $p < 0,05$ ) mais empobrecida em  $^{13}\text{C}$  ( $-29,1 \pm 0,1\text{‰}$ ) do que a plantação ( $-26,9 \pm 0,7\text{‰}$ ) que foi semelhante a pastagem ( $-24,2 \pm 3,0\text{‰}$  - Tab. 7). A contrário, a serrapilheira na mata mostrou-se mais pesada para o  $^{15}\text{N}$  ( $3,2 \pm 0,1\text{‰}$ ) que a plantação ( $0,4 \pm 0,2\text{‰}$ ) e a pastagem ( $-0,1 \pm 0,5\text{‰}$  - Tab. 7).

Para as frações da camada de serrapilheira, o  $\delta^{13}\text{C}$  somente se diferenciou entre as áreas para folhas. Na mata esta fração teve valores significativamente mais negativos ( $p < 0,05$ ,  $-29,7 \pm 0,1\text{‰}$ ) que a plantação de cana-de-açúcar ( $-27,9 \pm 0,4\text{‰}$ ), tendo a pastagem, com baixo número de amostras (N=1), apresentado valores intermediário ( $-29,1$  - Tab. 7). Para o  $\delta^{15}\text{N}$ , a fração madeira da mata esteve mais enriquecida ( $2,7 \pm 0,1\text{‰}$ ) que a plantação ( $0,5 \pm 0,2\text{‰}$ ). A pastagem, com reduzido número de amostras (n=1) não apresentou diferença significativa ( $0,2 \pm 0,1\text{‰}$  - Tab. 7).

Tabela 7: Composição elementar e isotópica do C e do N da camada de serrapilheira de uma Mata Atlântica de encosta submetida a diferentes usos da terra. Os valores indicam a média entre 16 quadrados (0,25 m<sup>2</sup>) distribuídos em quatro parcelas a cada área. Índices diferentes indicam valores significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre as áreas.

Áreas	Frações	C		N		C : N	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
		(kg ha <sup>-1</sup> )		(mg g <sup>-1</sup> )				
Mata	¢Gramíneas	-	-	-	-	-	-	-
	Folhas	1.483 <sup>a</sup>	68,2 <sup>a</sup>	399 <sup>a</sup>	17,8 <sup>a</sup>	22,4 <sup>a</sup>	-29,7 <sup>a</sup>	3,55
		114	8,6	23,3	0,46	1,34	0,09	0,08
	Madeira	1.474 <sup>a</sup>	43,7 <sup>a</sup>	436	13,0 <sup>a</sup>	33,8 <sup>a</sup>	-28,7	2,74 <sup>a</sup>
		88,9	2,7	7,2	0,43	1,23	0,20	0,14
	Outros	198	4,9	488	12,3	40,1	-27,4	3,68
		40,2	1,0	11,9	0,55	2,40	0,23	0,25
	£Não-Gramíneas	3.155 <sup>aa</sup>	116,8 <sup>aa</sup>	419 <sup>aa</sup>	15,4 <sup>a</sup>	28,4 <sup>aa</sup>	-29,1 <sup>aa</sup>	3,19 <sup>a</sup>
	(Total)	201	10,5	14,2	0,29	0,78	0,13	0,12
Pastagem	¢Gramíneas	1.536	15,0	404 <sup>a</sup>	3,98	103	-12,6	0,36
		181	1,4	5,6	0,16	4,26	0,43	0,21
	Folhas	3,28	0,18	446	24,4 <sup>a</sup>	18,3	-29,1	-1,36
		-	-	-	-	-	-	-
	Madeira	106 <sup>b</sup>	1,40 <sup>b</sup>	445	7,77 <sup>a</sup>	70,9	-25,7	0,17
		91,9	1,22	6,6	2,20	16,52	1,37	0,28
	Outros	-	-	-	-	-	-	-
	£Não-Gramíneas	110 <sup>b</sup>	1,58 <sup>b</sup>	401	11,1	55,5	-24,2	-0,13
		91,0	1,17	25,2	5,47	13,2	3,04	0,46
	§Total	1646 <sup>b</sup>	16,6 <sup>b</sup>	406 <sup>b</sup>	4,27	100 <sup>b</sup>	-13,4	0,34 <sup>b</sup>
		212	1,6	12,4	1,56	15,94	1,6	0,49

Tabela 7: Continuação.

Áreas	Frações	(kg ha <sup>-1</sup> )		(mg g <sup>-1</sup> )		C / N	‰	
		C	N	C	N		δ <sup>13</sup> C	δ <sup>15</sup> N
Plantação	¢Gramíneas	1.355	12,0	422	3,83	112	-13,5	1,88
		165	0,84	3,80	0,20	5,78	0,09	0,34
	Folhas	123 c	6,13 c	389 c	18,3 c	21,8 c	-27,9 c	1,25
		74,3	3,61	20,8	1,86	1,35	0,35	0,26
	Madeira	184 b	2,32 b	422	5,63 c	80,7 c	-26,0	0,49 c
		89,1	1,15	2,73	0,85	12,89	0,25	0,19
	Outros	14	0,34	461	10,9	43,4	-21,4	0,61
		6,5	0,15	4,64	0,88	3,55	4,79	0,22
	£Não-Gramíneas	321 b	8,79 b	328 c	8,76 c	43,0 c	-26,9 c	0,41
		163	4,53	74,5	1,96	11,06	0,67	0,23
§Total	1676 b	20,8 b	420 b	5,19	101 b	-16,2 c	1,68 c	
	277	5,5	15,4	1,56	13,24	0,63	0,61	

¢ Provável ocorrência de ciperáceas, £ Não-Gramíneas = Folhas + Madeira + Outros, § Total = Gramíneas + Não-Gramíneas

#### 5.4. Caracterização do Solo

O solo foi caracterizado nas áreas até a profundidade de 1,6 m, sendo que, entretanto alguns pontos chegaram ao encontro do embasamento rochoso ou algum obstáculo, impedindo que se alcançasse a profundidade programada, principalmente na mata. As comparações entre as áreas para solo superficial (até 0,10m) são apresentadas na Tabela 8 e o comportamento desses parâmetros ao longo do perfil do solo pode ser visto na Figura 6.

A diferença entre as localidades fica bem representada aqui, pela área superficial (A.S.), maior ao longo de todo perfil da mata e da pastagem do que na plantação (Fig. 6, a). O solo superficial da mata e da pastagem apresentou uma textura mais fina ( $41,2 \pm 3,6 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  e  $46,1 \pm 2,5 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ) que a plantação ( $17,2 \pm 2,7 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  - Tab. 8). Nas três áreas estudadas, a textura do solo tornou-se mais fina ao longo dos primeiros 0,20m do solo. Entretanto, as curvas para a área superficial ao longo do perfil indicam diferenças na estrutura física do solo associada às diferenças na cobertura vegetal. Somente nas áreas alteradas (pastagem e plantação de cana-de-açúcar) houve um aumento nesse índice até a profundidade 0,20m, com valores de  $72,7 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  na pastagem e  $44,1 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  na plantação contra uma área superficial constante na mata em próximo a  $60 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  a partir de 0,20m. Na mata esse parâmetro esteve fixo em torno de  $58 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  a partir de 0,20m (Fig.6, a e Apênd. 4).

Tabela 8: Área superficial (A.S. -  $\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$ ), Umidade (%) e pH no solo superficial (média de 0-0,10m) em área de Mata Atlântica de encosta na Região do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da terra. Os valores correspondem a 16 amostras, nas demais variáveis, divididas em quatro parcelas a cada área. Índices diferentes indicam valores significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre as áreas.

Área	Umidade (%)	A.S. ( $\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$ )	pH
Mata	17,0 <sup>a</sup>	41,2 <sup>a</sup>	4,7 <sup>a</sup>
	1,1	3,6	0,1
Pastagem	16,4 <sup>a</sup>	46,1 <sup>a</sup>	5,3 <sup>b</sup>
	0,9	2,5	0,1
Plantação	11,8 <sup>b</sup>	17,2 <sup>b</sup>	5,9 <sup>c</sup>
	0,8	2,7	0,1

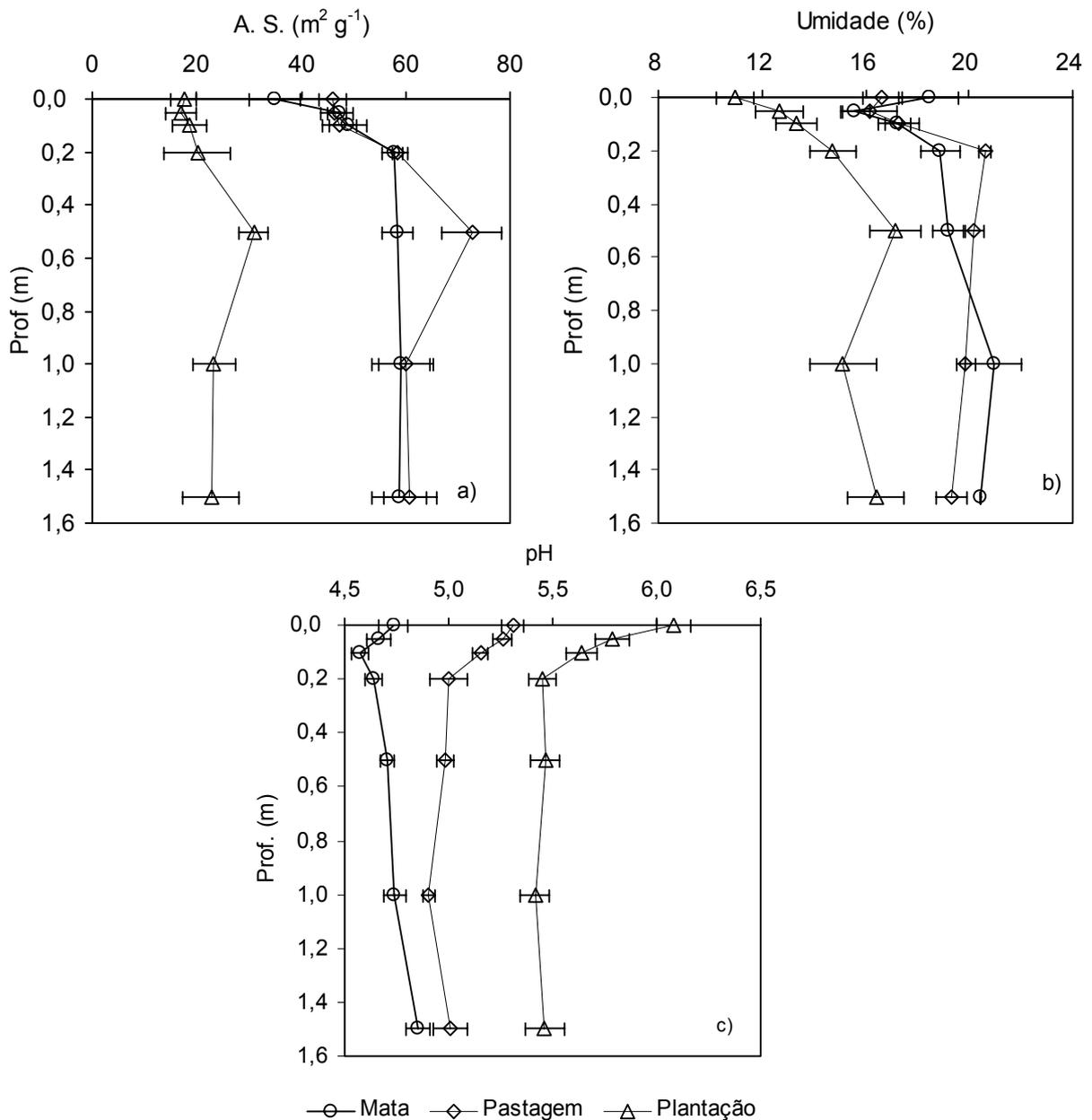


Figura 6: Área superficial (A.S. -  $m^2 g^{-1}$ , a), Umidade (%), b) e pH (c) ao longo do perfil do solo (0 – 1,60m) em área de Mata Atlântica de encosta na Região do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da terra. Barra horizontal para Erro Padrão.

A tendência citada para a área superficial também foi evidenciado na variação da umidade, fator altamente correlacionado ( $r = 0,733$ ,  $p < 0,05$ , Apend. 10) à área superficial do solo (Fig. 6 b). Na superfície, a umidade apresentou-se maior na mata ( $17,0 \pm 1,1\%$ ) e na pastagem ( $16,4 \pm 0,9\%$ ) que na plantação de cana-de-açúcar ( $11,8 \pm 0,8\%$  - Tab. 8). Deve-se ressaltar que o teor de água na superfície do solo é um fator influenciado pelas condições climáticas recentes e a cobertura vegetal. O

pH, ao longo do perfil, segue padrões semelhantes nas três áreas, uma redução nos primeiros 0,20m, (0,10m na mata), com relativamente pouca variação abaixo dessas profundidades. Também ao longo do perfil, mantêm-se a distinção verificada para a superfície, onde foi verificado um pH significativamente menor ( $p < 0,05$ ) na mata (4,7) seguido da pastagem (5,3) e da plantação de cana-de-açúcar (5,9 - Tab. 8, Fig. 6 c, Apênd. 4).

Os fatores relacionados à fertilidade do solo superficial são resumidos na Tabela 9. A acidez trocável, significativamente maior na mata ( $10,6 \pm 1,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e na pastagem ( $12,9 \pm 1,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) do que na plantação ( $1,0 \pm 0,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  - Tab. 9). Comparando as áreas estudadas quanto à concentração dos nutrientes na superfície, não foi observado nenhum padrão claro. Para o  $\text{K}^+$  a mata apresentou maior concentração ( $2,24 \pm 0,31 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) que a pastagem ( $1,56 \pm 0,24 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) com a plantação de cana-de-açúcar apresentando valores intermediários ( $1,97 \pm 0,50 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ). Já para os teores de  $\text{Na}^+$  os maiores valores foram encontrados na pastagem ( $0,31 \pm 0,24 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e na mata ( $0,29 \pm 0,04 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) quando comparado com a plantação ( $0,15 \pm 0,02 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  - Tab. 9). Ao longo do perfil  $\text{K}^+$ ,

Tabela 9: Concentração de Nutrientes no solo superficial (média de 0 -0,10m) em área de Mata Atlântica de encosta na Região do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da terra. Os valores correspondem a 16 amostras divididas em quatro parcelas a cada área. Índices diferentes indicam valores significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre as áreas.

Áreas	Potássio	Sódio	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				C.T.C.	P-Trocavel mg dm <sup>-3</sup>
			Cálcio	Magnésio	A. T.			
Mata	2,24 <sup>a</sup>	0,29 <sup>a</sup>	9,81	4,99	10,6 <sup>a</sup>	28,0	4,95	
	0,31	0,04	2,18	0,86	1,2	2,7	0,78	
Pastagem	1,56 <sup>b</sup>	0,31 <sup>a</sup>	6,84	5,47	13,0 <sup>a</sup>	27,0	4,55	
	0,24	0,04	1,18	0,69	1,5	2,3	0,44	
Plantação	1,97	0,15 <sup>b</sup>	13,3	5,55	1,0 <sup>b</sup>	22,0	6,18	
	0,50	0,02	3,07	1,03	0,3	4,6	0,53	

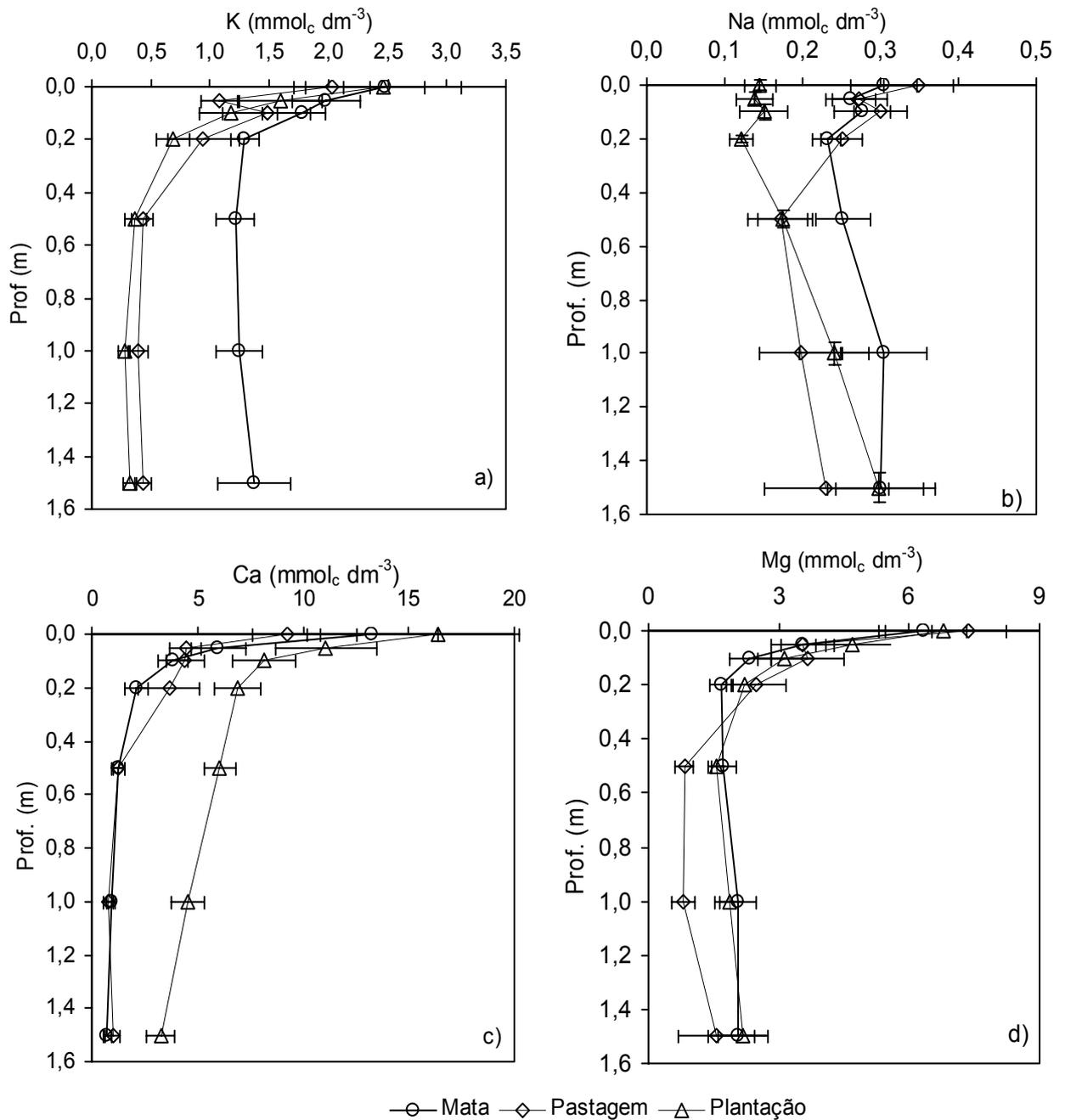
A. T. = Acidez Trocável; C.T.C. = Capacidade de Troca Catiônica.

$\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  apresentaram um padrão similar, com uma queda acentuada de seus valores até a profundidade de 0,20m e depois estabilizando (Fig. 7 a, c e d). Por outro lado, a concentração de  $\text{Na}^+$  ao longo do perfil mostrou-se similar na mata, redução para a pastagem e elevação para a plantação (Fig. 7 b e Apênd. 5).

A mata e a pastagem tiveram para o solo superficial uma acidez mais elevada ( $10,6 \pm 1,2$  e  $12,9 \pm 1,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) que a plantação de cana-de-açúcar, com valores quase nulos ( $1,0 \pm 0,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  – Tab. 9). Ao longo do perfil as áreas se tornam distintas entre si, tendo a pastagem apresentado considerável elevação nos primeiros horizontes chegando a  $25,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (Fig. 8 e Apênd. 5).

A C.T.C. (Capacidade de Troca Catiônica), parâmetro que engloba a concentração de diversos elementos ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+$ ), teve na superfície valores semelhantes na mata ( $28,0 \pm 2,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), na pastagem ( $27,0 \pm 2,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e na plantação ( $22,0 \pm 4,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) (Tab. 9). Contudo com o aumento da profundidade, as áreas diferenciam-se a profundidade, tendo a mata apresentado, abaixo da superfície, valores intermediários, com a pastagem tendo maiores e a plantação menores valores para CTC (Fig. 8 b e Apênd. 5).

Figura 7: Concentração de nutrientes ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) ao longo do perfil do solo (0 –



1,60m) em área de Mata Atlântica de encosta na Região do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da terra. Barra horizontal para Erro Padrão.

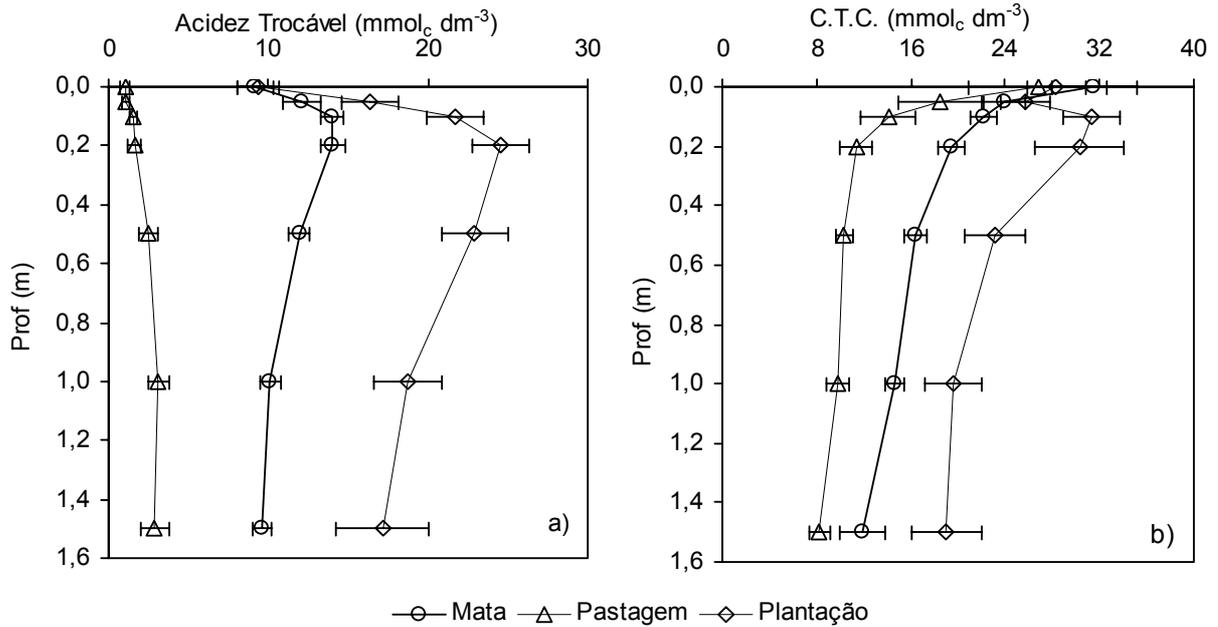


Figura 8: Acidez Trocável ( $[Al^{3+}] + [H^+]$ ) e C.T.C. (Capacidade de Troca Catiônica -  $mmol_c dm^{-3}$ ) ao longo do perfil do solo (0 – 1,60m) em área de Mata Atlântica de encosta na Região do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da terra. Barra horizontal para Erro Padrão.

O P-trocável, que para o solo superficial não mostrou diferença entre as áreas de mata, pastagem, e plantação de cana-de-açúcar, com respectivamente  $4,95 \pm 0,78 mg dm^{-3}$ ,  $4,55 \pm 0,44 mg dm^{-3}$  e  $6,18 \pm 0,53 mg dm^{-3}$  (Tab. 9), mostrou valores decrescentes para a mata e a plantação e uma brusca redução nos horizontes superficiais da pastagem, seguida de um crescimento até a equiparação ao valor da superfície no horizonte mais profundo. Os teores de  $P-PO_4^{-3}$  apresentaram ainda uma alta variação entre os pontos (Fig. 9).

## 5.5. Composição Elementar e Isotópica no Solo

A composição elementar e isotópica do C e do N são apresentadas para o solo superficial na Tabela 10 e ao longo do perfil nas Figuras 10 e 11. O conteúdo de carbono no solo superficial (0 - 0,10m) foi significativamente maior ( $p < 0,05$ ) na mata ( $29,5 \pm 4,2 \text{ mg g}^{-1}$ ) seguido da pastagem ( $21,3 \pm 1,0 \text{ mg g}^{-1}$ ), tendo a plantação apresentado os menores valores ( $14,7 \pm 2,0 \text{ mg g}^{-1}$ , Tab. 10). Ao longo do perfil, o teor de C variou de maneira similar entre as áreas decrescendo abruptamente até a

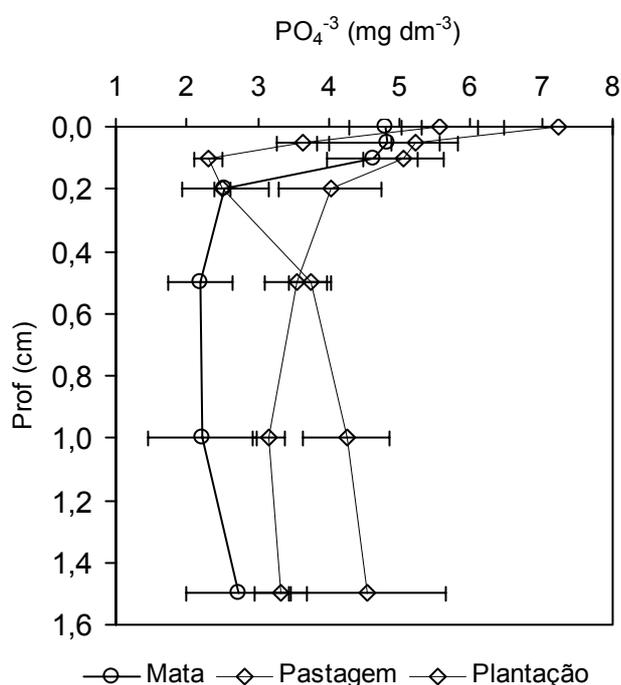


Figura 9: P-trocável( $\text{mg dm}^{-3}$ ) ao longo do perfil do solo (0 – 1,60m) em área de Mata Atlântica de encosta na Região do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da terra. Barra horizontal para Erro Padrão.

profundidade de 0,20m e com uma variação menos acentuada abaixo dessa profundidade, tendo o C variado de 34 a 5  $\text{mg g}^{-1}$  na mata, de 23 a 3  $\text{mg g}^{-1}$  na pastagem e de 15 a 3  $\text{mg g}^{-1}$  na plantação (Fig. 10 a). O N que apresentou um alta correlação com o C (0,981,  $p < 0,05$ , Apênd. 6) variou de 2,8 a 0,4  $\text{mg g}^{-1}$  na mata, de 1,6 a 0,3  $\text{mg g}^{-1}$  na pastagem e de 1,1 a 0,3  $\text{mg g}^{-1}$  na plantação (Fig. 10 b, Apênd. 6). A razão C:N para o solo superficial mostrou valores similares para as três áreas, embora estatisticamente diferentes, tendo a mata a menor C:N (12,  $p > 0,05$ )

que a pastagem (14), tendo a plantação apresentado um valor intermediário (13 - Tab. 10).

Em relação composição isotópica do C, observa-se uma menor participação do  $^{13}\text{C}$  na matéria orgânica do solo superficial da mata (-27,5‰) em comparação aos solos da pastagem (-19,2‰) e da plantação (-17,7‰ - Tab. 10). Também ao longo do perfil a composição isotópica da mata se mostrou mais leve variando de -27,7 a -25,5‰, do que a pastagem (-18,8 a -24,0‰) e a plantação (-17,5 a -22,4‰ - Fig. 11 a). Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  na mata se mostraram crescentes com o aumento da profundidade, ao contrário das curvas da pastagem e na plantação, que se mostraram mais leves dentro da variação de profundidade estudada.

O  $\delta^{15}\text{N}$  na matéria orgânica do solo superficial não apresentou diferença entre as áreas de mata, pastagem e plantação de cana-de-açúcar com 6,0‰, 6,4‰ e 8,1‰ respectivamente (Tab. 10). Com o aprofundamento ao longo do perfil, a composição isotópica do N para as áreas tem valores crescentes até 0,20m, quando as áreas de mata, pastagem e plantação apresentaram maiores valores (7,7‰, 9,0‰ e 10,3‰). Desta profundidade em diante os valores decrescem e se igualam, nas três áreas, a 1,60m, em torno de 7,8‰ (Fig 11 b e Apênd. 6).

Tabela 10: Composição elementar ( $\text{mg g}^{-1}$ ) e isotópica (‰) do C e do N do solo superficial (média de 0-0,10m) em área de Mata Atlântica de encosta submetida a diferentes usos da terra. Os valores correspondem à média de oito amostras divididas em duas parcelas a cada área. Índices diferentes indicam valores significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre as áreas.

Área	C			$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
	(mg g <sup>-1</sup> )				
Mata	27,8 <sup>a</sup>	2,38 <sup>a</sup>	11,5 <sup>a</sup>	-27,5 <sup>a</sup>	6,31
	2,95	0,21		0,12	0,18
Pastagem	21,3 <sup>b</sup>	1,53 <sup>b</sup>	14,0 <sup>b</sup>	-19,2 <sup>b</sup>	6,37
	1,01	0,06		0,49	0,18
Plantação	14,1 <sup>c</sup>	1,07 <sup>b</sup>	13,2 <sup>ab</sup>	-17,7	7,83
	1,67	0,13		0,51	0,52

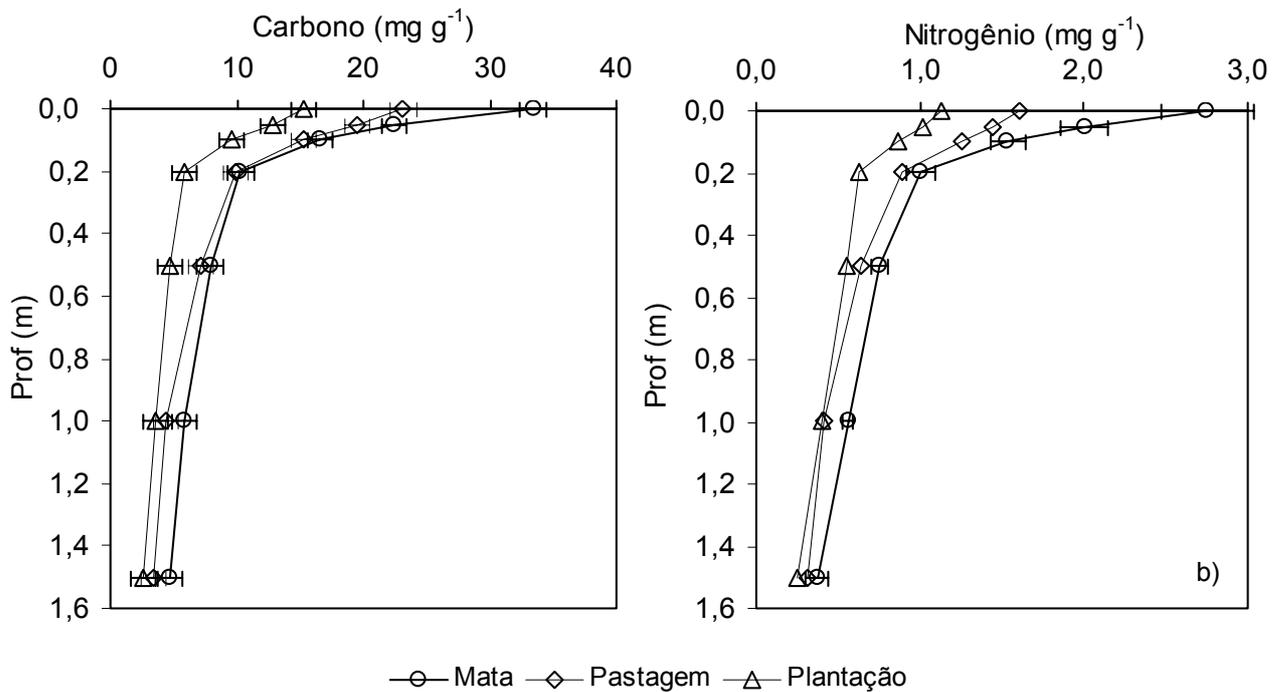


Figura 10: Composição elementar do C e do N (mg g<sup>-1</sup>) ao longo do perfil do solo (0 – 1,60m) em área de Mata Atlântica de encosta na Região do Imbé submetida a diferentes usos da terra. As barras horizontais correspondem ao erro-padrão.

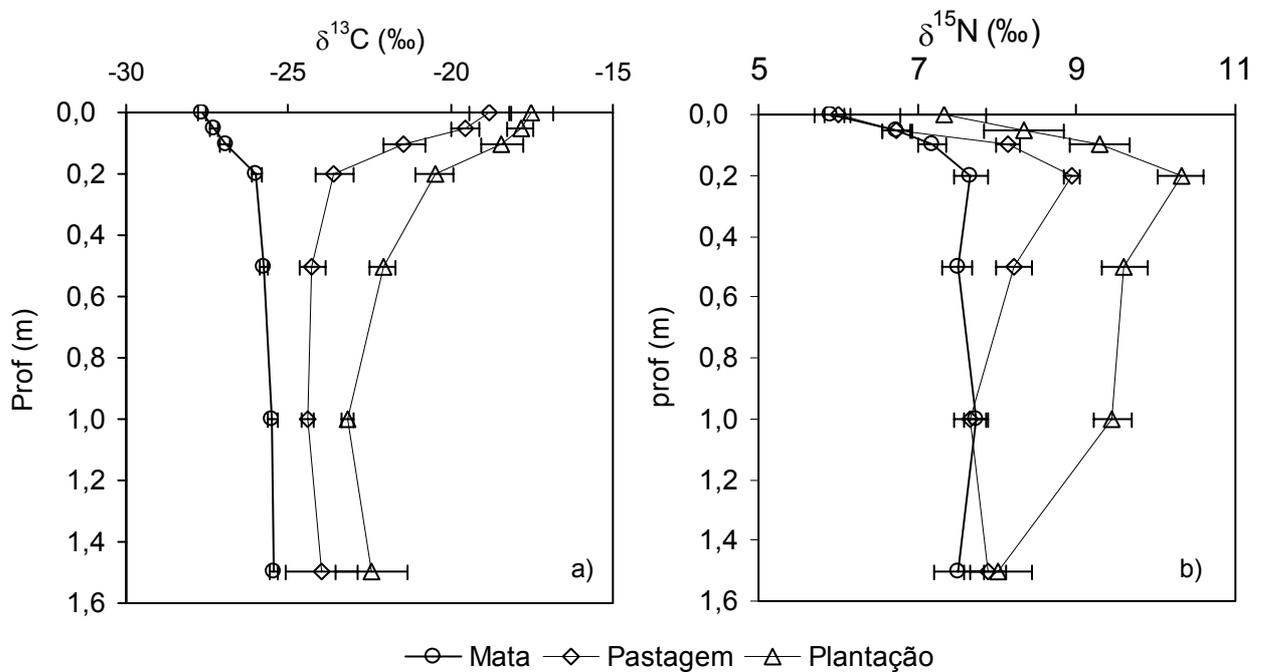


Figura 11: Composição isotópica do C e do N (‰) ao longo do perfil do solo (0 – 1,60m) em área de Mata Atlântica de encosta na Região do Imbé submetida a diferentes usos da terra. As barras horizontais correspondem ao erro-padrão.

## 6. DISCUSSÃO

### 6.1. As Fontes de Matéria Orgânica

#### 6.1.1. Carbono nas Folhas das Espécies Analisadas

A área de mata representa aqui a cobertura vegetal original das áreas estudadas. A Mata Atlântica de Encosta ou Floresta Ombrófila Densa, cobria toda a Serra do Mar (Veloso, 1991) a qual inclui as formações serranas de Campos dos Goytacazes, conhecidas como Serra do Imbé. Esta área, através da sua vegetação, serrapilheira e solo é usada como elemento de comparação para a avaliação dos impactos causados pela substituição do uso da terra.

Para as 24 espécies da mata a concentração de C teve sua maior amplitude ( $177 \text{ mg g}^{-1}$ ) associada a uma única espécie (*V. oleifera*). Entretanto, esse elemento teve uma variação uniforme entre as espécies estudadas variando de 327 a  $503 \text{ mg g}^{-1}$ . A concentração do N teve uma amplitude de  $21 \text{ mg g}^{-1}$  e teve as espécies *E. ramifolia* e *Pysonia sp.* destacando-se em relação às demais, pela menor e maior concentração de N ( $14$  e  $34 \text{ mg g}^{-1}$ ), assim como pela reduzida (10) e elevada (36) razão C:N (Tab. 2).

A média da razão C:N (20) para as espécies estudadas foi inferior a aquela apresentada por Scarano *et al.* (2001) em um estudo de espécies arbóreas da Mata Atlântica do Rio de Janeiro (C:N = 36). Essa diferença pode ser atribuída a diferenças na amostragem, uma vez que no estudo de Scarano *et al.* (2001) também são somadas plantas de ambiente fortemente caracterizado pela escassez de água e pela alta incidência solar, como a mata restinga.

Em outro trabalho realizado na mesma área de mata, Mazurec (1998) estudando a variação anual na queda de folhas da serrapilheira encontrou menor teor de N ( $14,9 \text{ mg g}^{-1}$ ) e maior razão C:N (30). A elevação da razão C:N em folhas da serrapilheira em relação às vivas pode ser explicada pela retranslocação do N das folhas no período pré-senescência (Vitousek e Sanford, 1996). O reaproveitamento de nutrientes de folhas senescentes como forma de aumentar a eficiência no uso desses elementos, muitas vezes escassos, é tido como um possível mecanismo otimizador da ciclagem de nutriente em florestas tropicais (Jordan, 1989; Vitousek e Sanford, 1996).

Esse padrão pôde ser particularmente exemplificado por duas espécies aqui estudadas: *V. oppungnata* e *M. fistulifera*. Essas espécies são comparadas com o estudo de Mazurec (1998), onde foram mensuradas quanto à concentração de nutrientes na queda de folhas da serrapilheira. Na serrapilheira, a primeira teve uma média anual de N de  $8,5 \text{ mg g}^{-1}$  e C:N de 37 e *M. fistulifera* de  $14,4 \text{ mg g}^{-1}$  e a razão C:N de 30. No presente estudo, *V. oppungnata* apresentou um teor de N foliar maior ( $14,7 \text{ mg g}^{-1}$ ) e o C:N menor (26, Tab. 2) do que nas folhas senescentes da serrapilheira. Essa espécie, quando adulta, tem a copa ocupando o dossel, com folhas coriáceas e apresenta deciduidade marcada, como verificado na queda de serrapilheira (Mazurec, 1998) Para a outra espécie, *M. fistulifera*, o menor conteúdo de N nas folhas senescentes da serrapilheira se dá somente para uma das duas medições dessa espécie aqui apresentada (em 1997 com  $24,6 \text{ mg g}^{-1}$  contra  $15,9 \text{ mg g}^{-1}$  em 2002) e de forma contrária o maior C:N (em 1997 com 19 contra 25 em 2002, Tab. 2). Essa espécie, que ocupa normalmente o subosque, tem folhas mais tenras e tende a ser mais perenifólia, quando comparada com a primeira. Ainda que essas espécies apresentem características ecológicas distintas e embora o número amostral seja reduzido para folhas novas, essas espécies apresentaram elevação na razão de N foliar após a senescência foliar.

Na pastagem e na plantação de cana-de-açúcar somente espécies das famílias Cyperaceae e Gramineae foram analisadas distintamente. Para essas espécies o C e o N foliar, bem como a razão C:N não diferiram entre as famílias. Para as espécies das áreas alteradas, o C esteve entre de  $349 \text{ mg g}^{-1}$  (Gram. 2) e  $457 \text{ mg g}^{-1}$  (*S. officinarum*). O N apresentou uma faixa de variação bem mais restrita, indo de  $6,0 \text{ mg g}^{-1}$  a  $13,6 \text{ mg g}^{-1}$  (*B. decumbens*). Desta variação destacamos um indivíduo de cana-de-açúcar (*S. officinarum*) que mostrou uma concentração de N de  $6,0 \text{ mg g}^{-1}$ , distanciados da média que foi de  $10,1 \text{ mg g}^{-1}$  (Tab. 3). Carvalho (1998) também encontrou para uma variedade dessa espécie uma baixa concentração de N ( $8,2 \text{ mg g}^{-1}$ ). As variedades de *S. officinarum* analisadas tanto neste estudo, quanto em Carvalho (1998), são variedades comerciais, selecionadas para obterem melhores rendimentos de produtividade em condições adversas de nutrientes. Este fato, talvez possa também explicar a média da razão C:N para essa espécie (61), que se encontra bem acima das demais espécies das áreas alteradas (41, Tab. 3).

Para as espécies das áreas alteradas, ainda que o C tenha tido uma variação similar ( $145 \text{ mg g}^{-1}$ ) à da mata ( $148 \text{ mg g}^{-1}$ ) o N teve uma faixa de variação bem mais

restrita ( $7,6 \text{ mg g}^{-1}$ ) que a mata com  $21,1 \text{ mg g}^{-1}$ . Para as espécies das áreas alteradas, a concentração de C e N total foram significativamente menores ( $p < 0,02$ ) e da razão C:N ( $39 - p < 0,01$ ) maior que a média para as espécies da mata (20, Tab. 2 e 3). Este resultado reflete, como esperado, os diferentes caracteres ecológicos dos sistemas. Para as áreas alteradas são preferida espécies de crescimento rápido, anual, com baixa lignificação e reduzida produção de compostos secundários. Esses sistemas antropomórficos contrastam com mata nativa, onde predomina a estrutura arbórea, de crescimento lento, decenal, com tecidos altamente esclerenficados. Assim, com base na concentração do C e do N total medido em 37 indivíduos nas áreas de mata, pastagem e plantação de cana-de-açúcar, verifica-se que as áreas apresentam uma cobertura vegetal com distintas qualidades.

### 6.1.2. O Estrato Herbáceo e a Camada de Serrapilheira

#### 6.1.2.1. Biomassa

Enquanto no estrato herbáceo, onde se verificou uma biomassa total similar nas áreas de mata e plantação de cana-de-açúcar, com  $0,48$  e  $0,57 \text{ t ha}^{-1}$ , tendo a pastagem apresentado uma tendência a maior biomassa nesse estoque ( $1,83 \text{ t ha}^{-1}$ , Tab. 4), na camada de serrapilheira foi verificado uma massa total quase duas vezes maior na mata ( $7,62 \text{ t ha}^{-1}$ ) que nas áreas alteradas, com  $4,08$  e  $4,00 \text{ t ha}^{-1}$  na pastagem e plantação de cana-de-açúcar respectivamente (Tab.6). Para a mata, com o sítio de estudo arbitrariamente demarcado a mais de  $100 \text{ m}$  do limite com a pastagem, a ausência de gramíneas C4 no estrato herbáceo e na serrapilheira já era esperada e reforça o estado de preservação da área. A presença desse grupo vegetal, com espécies com grande potencial invasor, é um forte indicativo de degradação em sistemas florestais.

Para a mata, a camada de serrapilheira não-graminóide mostrou-se semelhante ao estudo realizado em 1997 ( $6,13 \text{ t ha}^{-1}$  - Mazurec, 1998) na mesma área. Este resultado foi obtido através de uma média entre duas amostragens realizadas nas estações seca e chuvosa. Em comparação a outras áreas de Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro, a serrapilheira na Serra do Imbé mostra menores valores, como em Mazurec (1998) e Costa (2002) estudando o Parque Estadual do Desengano adjacente a Serra do Imbé. Esses trabalhos reportam uma faixa entre  $7,4$  e  $7,6 \text{ t ha}^{-1}$  para matas de encosta dessa região, numa variação de altitude de  $250 \text{ m}$  e  $900 \text{ m}$  acima do nível do mar. Para outras matas da região Norte

Fluminense foi encontrada uma variação no estoque de serrapilheira sobre o solo entre 8,7 t ha<sup>-1</sup> (Villela *et al.*, 2001) e 10,2 t ha<sup>-1</sup> (Borém, 1998). Para a Floresta da Tijuca foi encontrada uma variação ainda maior, com um acúmulo variando de 9,6 a 25,9 t ha<sup>-1</sup> (Clevelario Jr., 1988; Kindel e Garay, 2002).

Nas áreas de pastagem e na plantação de cana-de-açúcar, o manejo das culturas é um fator crucial na biomassa do estrato herbáceo e no estoque de serrapilheira. No estrato herbáceo e na camada de serrapilheira, a predominância de gramíneas nas áreas de pastagem (92 e 94%) e na plantação de cana-de-açúcar (71 e 80%) respectivamente, contrasta com uma maior diversidade estrutural da área preservada, que tem uma biomassa oriunda em grande parte da vegetação arbórea, sendo o estrato herbáceo e a camada de serrapilheira compostos mais equilibradamente de folhas (51 e 44%) e madeira (44 e 56%, Fig. 4 e 5). Essa composição tende regular a taxa e o grau de decomposição da matéria orgânica, uma vez que, enquanto as folhas tendem a apresentar uma decomposição mais acelerada, em escala de anos, os caules decompõem mais lentamente, em escala de décadas (Jordan, 1989).

Nas áreas degradadas, a fração não-graminóide, se mostrou quase ausente, e na pastagem, não diferiu estatisticamente entre o estrato herbáceo e a camada de serrapilheira (0,16 e 0,26 t ha<sup>-1</sup>). Na plantação de cana-de-açúcar, também com pequena massa, teve o estrato herbáceo maior que a serrapilheira (0,79 t ha<sup>-1</sup> contra 0,26 t ha<sup>-1</sup>,  $p < 0,05$  - Tab. 4 e 6).

A proporção de material lenhoso *versus* material não-lenhoso, que também pode ser considerada influente no processo de incorporação de MO ao solo (Aerts, 1997; Zech *et al.*, 1997), também distingue as áreas estudadas, com a fração madeira com proporção semelhante a fração folhas para o total da serrapilheira na mata. Nas áreas alteradas, estoque de serrapilheira é composto predominantemente de gramíneas, que passa a ser determinante na qualidade biomassa acrescida ao solo. Para a mata, a composição na quase totalidade da biomassa da serrapilheira por folhas (51%) e madeira (44%) foi semelhante ao estudo de Mazurec (1998) com folhas apresentando 38 e 51% e madeira 47 e 40% a 50 m e 250 m de altitude respectivamente. No estudo de Costa (2002) para matas de altitude (600 e 900 m) nessa região, a participação de galhos também foi similar, 34 e 48%, não sendo possível a comparação com folhas devido a diferença nas metodologias usadas.

Para a Serra do Imbé, a queda de serrapilheira na mata, principal fornecedora de biomassa para o solo, se dá ao longo de todo ano, principalmente na estação chuvosa, de novembro a fevereiro (Mazurec, 1998). Em adição, solos de florestas tropicais úmidas, tem como a principal forma de exportação dessa biomassa, a decomposição. As condições microclimáticas geradas pela estrutura da floresta favorecem durante quase todo ano, uma elevada taxa de decomposição ( $K_L$ ) (Vitousek e Sanford, 1986; Lavelle *et al.*, 1993), estimada para a Serra do Imbé em 1,6 (Mazurec, 1998). Contudo, por outro lado, a maior diversidade estrutural e bioquímica na mata, com participação mais distribuídas de folhas, que podem variar desde as mais coriáceas até as mais suculentas, ou das madeiras, que apresentam diferentes graus de dureza, além da presença de outras estruturas vegetais, como frutos, tende a favorecer a decomposição incompleta da serrapilheira, levando a humificação de parte dessa biomassa e sua incorporação a estrutura do solo.

#### 6.1.2.2. Carbono e Nitrogênio

A qualidade da serrapilheira, considerada a principal forma de entrada de MO no solo, influencia determinantemente as transformações da MO e os produtos dela resultantes, afetando ativamente as características físico-químicas do solo (Zech *et al.*, 1997). No entanto, um enriquecimento maior de fenóis, óleos e lignina na biomassa, que decompõem mais lentamente, contribui mais intensamente para o acúmulo de materiais recalcitrantes (Stevenson, 1994). Isso foi verificado por Schweizer *et al.* (1999) que, ao comparar a degradação da biomassa de uma leguminosa (*D. ovalifolium*) com a de uma gramínea (*B. humidicola*), verificou para a primeira, uma perda de 40% da biomassa contra 60% da gramínea em 119 dias. A diferença na velocidade de decomposição foi atribuída a participação da lignina na serrapilheira da leguminosa que foi quase cinco vezes maior do que para a gramínea, ao passo que a celulose mostrou valores semelhantes.

Na hierarquia dos fatores controladores da decomposição (*sensus* Swift e Anderson, 1989), abaixo da temperatura e umidade, a qualidade da serrapilheira é tida como o fator mais importante, sobretudo quando a fração mineral do solo é considerada de baixa capacidade de troca de cátions (Lavelle *et al.*, 1993). Uma abordagem na qualificação da MO é seu conteúdo nutricional. O teor de elementos como N e P são citados por Lavelle *et al.* (1993) como um fator de forte influencia no

processo de decomposição, podendo a deficiência desses elementos em relação ao C, limitar a ação microbiana sobre a serrapilheira.

Para o estrato herbáceo, tanto para o escurecido subosque da mata, quanto o exposto estoque da plantação de cana-de-açúcar, foi observada uma elevada concentração de N total para as folhas (o material não-graminóide da pastagem não foi analisado quanto à composição elementar e isotópica do C e do N). Na mata, observou-se uma concentração de N total ( $28,6 \text{ mg g}^{-1}$ ) superior às folhas da vegetação arbórea ( $21,8 \text{ mg g}^{-1}$ ,  $p < 0,01$ ) e à média do estrato herbáceo ( $21,3 \text{ mg g}^{-1}$ ,  $p < 0,01$ ), diferença que se mostra ainda mais acentuada quando se consideram exclusivamente as folhas da serrapilheira ( $17,8 \text{ mg g}^{-1}$ ,  $p < 0,01$  - Apênd. 7). Este fato reflete o caráter jovem da vegetação desse estrato, em grande parte, composto por indivíduos em crescimento, plântulas da vegetação arbórea. Isto também pode ser afirmado para a plantação que teve o teor de N das folhas do estrato herbáceo ( $28,3 \text{ mg g}^{-1}$ ) semelhante à fração equivalente na mata e também superior a média do total do estrato herbáceo dessa área ( $17,6 \text{ t ha}^{-1}$ ).

No que se refere a razão C:N, tanto em comparação com a média das espécies analisadas na mata (20), quanto em relação à média do estrato herbáceo na mata (22) e na plantação de cana-de-açúcar (14), as folhas desse compartimento apresentaram uma biomassa mais nutritiva. Segundo alguns autores (Aerts, 1997; Lavelle *et al.*, 1993), a razão C:N é um forte indicador do controle da taxa decomposição. Desta forma, a menor razão encontrada na serrapilheira da mata (28) coloca essa biomassa com maior potencial de degradação que a da pastagem e da plantação de cana-de-açúcar com elevada razão C:N (101), mais de três vezes a aquela obtida para a mata. Na mata, a mensuração da razão C:N para a camada de serrapilheira sobre o solo foi semelhante aos estudos realizados na Serra do Desengano (Mazurec, 1998; Costa, 2002), que variaram de 23 a 29. Para a pastagem e a plantação de cana-de-açúcar, a razão C:N reflete os valores observados nas gramíneas, elevados para o estrato herbáceo, 34 e 55 respectivamente e de duas a três vezes maior na serrapilheira (103 e 112).

Quando se compara a massa dos estoques, todos os nutrientes estudados apresentaram na mata, um menor estoque no estrato herbáceo do que na camada de serrapilheira. Tomando o N como exemplo, enquanto o estoque no estrato herbáceo foi de  $8,9 \text{ kg ha}^{-1}$ , na serrapilheira foi de  $117 \text{ kg ha}^{-1}$ . Contudo, não se pode deixar de considerar a diferença na origem desses estoques. Na mata, o estrato

herbáceo contribui com muito pouco para a camada de serrapilheira, que tem sua massa prioritariamente vinda da copa das árvores,  $9,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (Mazurec, 1998). Ao contrário, o estrato herbáceo nas áreas degradadas é o único tributário de biomassa da camada de serrapilheira, devendo estar assim mais relacionados entre si do que na mata. Seguindo o exemplo do N, enquanto no estrato herbáceo da pastagem e na plantação de cana-de-açúcar o estoque foi de  $18,0$  e  $3,4 \text{ kg ha}^{-1}$ , na camada de serrapilheira foi de  $16,6$  e  $20 \text{ kg ha}^{-1}$ .

#### 6.1.2.3. Demais Nutrientes

O fósforo, ao lado do nitrogênio, também é tido como um elemento de considerável influência na velocidade de decomposição da biomassa (Lavelle *et al.*, 1993). Neste estudo, a diferenciação das frações da biomassa com base no conteúdo de P foi evidenciado pela maior concentração desse elemento nas folhas da mata ( $0,50 \text{ mg g}^{-1}$ ), quando comparado com madeira ( $0,08 \text{ mg g}^{-1}$  Apênd. 7,  $p < 0,05$  - Apênd. 7). A diferença na distribuição desse elemento também pode corroborar as diferenças na qualidade da biomassa produzida nos diferentes sistemas, mata *versus* áreas degradadas. Foram verificadas maiores concentrações de P camada de serrapilheira total da mata com ( $0,30 \text{ mg g}^{-1}$ ), seguida da pastagem ( $0,22 \text{ mg g}^{-1}$ ) e tendo a plantação de cana-de-açúcar, a menor concentração ( $0,15 \text{ mg g}^{-1}$ ,  $p < 0,05$  - Apênd. 7). Esta diferença associada distribuição total da serrapilheira, proveu na mata, um maior estoque total desse elemento ( $2,46 \text{ kg ha}^{-1}$ ), do que a pastagem e a plantação de cana-de-açúcar ( $0,78$  e  $0,40 \text{ kg ha}^{-1}$  Tab. 6) Mesmo, dentro de uma mesma área, diferentes grupos vegetais põem exercer uma diferenciação nas características nutricionais da biomassa, nesse caso ao comparar-se a serrapilheira de gramíneas com a de não-gramíneas, verifica-se menores concentrações de P na primeira, com  $0,20$  e  $0,87 \text{ mg g}^{-1}$ , na pastagem e na plantação de cana-de-açúcar, contra  $0,34$  e  $0,83 \text{ mg g}^{-1}$  na fração não-graminóide nas respectivas áreas.

Em relação aos demais nutrientes, a biomassa a mata também tendeu a apresentar diferenças entre as áreas, com maior acúmulo de macronutrientes na mata. Este fato foi evidenciado tanto para o total do estrato herbáceo para K, Na, Ca e Mg, maiores na mata ( $5,7$ ,  $0,5$ ,  $3,7$  e  $1,8 \text{ mg g}^{-1}$ ) que na pastagem ( $2,4$ ,  $0,9$ ,  $0,4$  e  $0,2 \text{ mg g}^{-1}$ ), quanto para o total da serrapilheira, tendo Ca e Mg apresentado maiores valores na mata ( $4,5$  e  $0,3 \text{ mg g}^{-1}$ ) que na pastagem ( $0,4$  e  $0,2 \text{ mg g}^{-1}$ ,  $p <$

0,05 - Apênd. 7), tendo a plantação de cana-de-açúcar valores intermediários. Deve ser ressaltado que o estrato herbáceo da mata, não é o principal fornecedor de biomassa para serrapilheira, com é nas áreas degradadas.

Para a área de mata o estoque total de K ( $6,5 \pm 1,7 \text{ kg ha}^{-1}$ ), Ca ( $36,3 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e Mg ( $2,4 \text{ kg ha}^{-1}$ ) na camada de serrapilheira estiveram abaixo e o de P ( $2,5 \pm 0,8 \text{ kg ha}^{-1}$ ) semelhante aos valores encontrada em outros estudos na Serra do Desengano com uma variação entre 7,4 a  $51,5 \text{ kg ha}^{-1}$  para K, de 45,2 a  $60,0 \text{ kg ha}^{-1}$  para Ca, de 13,4 a  $14,7 \text{ t ha}^{-1}$  para Mg e de 2,35 a  $3,24 \text{ kg ha}^{-1}$  para P, dentro de uma faixa de altitude de 50 a 900 m (Mazurec, 1998; Costa 2002).

Esse estudo, pela natureza dos seus objetivos, não quantifica o estoque de biomassa total e de nutrientes estocados na estrutura arbórea, extremamente significativo na retenção desse elementos e sobretudo de C. Em uma estimativa apresentada para uma floresta úmida baixo montana na Venezuela, Delaney *et al.* (1997) reportam um conteúdo de C estocado em árvores (diam. >10cm, parte aérea + raízes) de  $192 \text{ t ha}^{-1}$ , que é da mesma grandeza que aquele estocado no solo até 1 m de profundidade ( $253 \text{ t ha}^{-1}$ ). Esses valores são consideravelmente maiores que aquele reportado para o estoque de serrapilheira ( $3,1 \text{ t ha}^{-1}$  - Delaney *et al.*, 1997). Este fator, por si, reforça a magnitude do papel das florestas tropicais na retenção de C, frente à acelerada redução da cobertura vegetal por corte e/ou queimada. Para este estudo, o estoque total de C na serrapilheira da mata,  $3,2 \text{ t ha}^{-1}$  é maior do que o C estocado no estrato herbáceo e na serrapilheira da pastagem ( $0,6$  e  $1,6 \text{ t ha}^{-1}$ ) ou da plantação de cana-de-açúcar ( $0,06$  e  $1,7 \text{ t ha}^{-1}$ ).

O maior estoque de nutrientes na serrapilheira da mata, refletiu a maior participação da biomassa nesse estoque e a maior concentração dos nutrientes nessa área, sobretudo das folhas, quando comparados com a pastagem e a plantação de cana-de-açúcar. Na mata, também foi verificada uma serrapilheira mais diversificada em formas e tecidos que as gramíneas, principal fração das áreas alteradas. Essas dissimilaridades caracterizam as potenciais diferenças entre a biomassa fornecida ao sistema de decomposição pela mata e pela pastagem a plantação de cana-de-açúcar e conseqüentemente das características da MO resultante.

## 6.2. Composição Isotópica do Carbono nas Fontes de Matéria Orgânica

Diferentes estudos realizados em florestas tropicais vêm buscando relacionar a concentração do  $^{13}\text{C}$  e do  $^{15}\text{N}$  a fatores ecofisiológicos, como a funcionalidade das espécies (Guehl *et al.*, 1998), fenologia foliar (Bonal *et al.*, 2000) e posição das folhas na copa (Buchmann *et al.*, 1997; Martinelli *et al.*, 1998). Numa tentativa de relacionar a seletividade do  $^{13}\text{C}$  com estratégia ecológica adotada pela espécie (espécies tolerantes a sombra *versus* espécies heliófilas) Guehl *et al.* (1998), encontraram uma variação no  $\delta^{13}\text{C}$  foliar entre  $-31$  e  $-27\text{‰}$ , porém não pode relacionar significativamente esta variação com tolerância das espécies ao Sol. Em outro estudo enfocando os efeitos da fenologia foliar, Bonal *et al.* (2000) também em floresta tropical na Guiana Francesa, obtiveram uma variação no  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-35$  a  $-28\text{‰}$ . esses autores relacionaram ainda essa variação com o diâmetro das árvores e com a fenologia das folhas (Tab. 11). Martinelli *et al.* (1998) estudando uma floresta tropical em Rondônia obtiveram valores para o  $\delta^{13}\text{C}$  foliares, positivamente correlacionados com a altura das árvores, que variou de  $-36$  a  $-28\text{‰}$ , sendo essa diferença atribuída a proximidade da folha com a luz (efeito de copa). Com um número amostral bastante significativo ( $N=208$ ), o estudo Martinelli *et al.* (1998) apresenta uma média de  $-32,1\text{‰}$  para o  $\delta^{13}\text{C}$  foliar (Tab. 11).

Para nosso estudo, as espécies estudadas da mata na Serra do Imbé, variaram para o  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-34,1$  a  $-29,7\text{‰}$  e apresentaram uma média para o  $\delta^{13}\text{C}$  igual a  $-31,8 \pm 0,3\text{‰}$  ( $n=24$ ) (Tab. 11, Fig. 12). A média encontrada para este estudo, quando comparada à outras florestas tropicais, se mostra mais semelhante a florestas da região amazônica ( $-32,1\text{‰}$  - Martinelli *et al.*, 1994;  $-30,8\text{‰}$  - Kapos *et al.*, 1993; e  $-31,6\text{‰}$  - Ducatti *et al.*, 1991) que para outra área de Mata Atlântica Úmida em Itabela, BA ( $-29,4\text{‰}$  - Cadisch *et al.*, 1996; Tab. 11).

Neste estudo, exclusivamente para as espécies do estrato herbáceo, foi encontrada uma média para o  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-32,8 \pm 1,0\text{‰}$  ( $n=3$ ). Este valor ocupa a faixa inferior para o total das espécies aqui estudadas, menor inclusive que a média obtida para espécies tolerantes a sombra ( $-31,4\text{‰}$  - Bonal *et al.*, 2000). No entanto, as espécies do subosque não se diferenciaram significativamente para o  $\delta^{13}\text{C}$  das espécies arbóreas, provavelmente por se tratarem de maneira geral, de folhas coletadas no subosque. A tendência a uma biomassa mais leve para o C também foi seguida pela biomassa do estrato herbáceo da mata. Assim como as espécies exclusivas do subosque, este estrato é intensamente submetido ao sombreamento provocado pela copa das árvores. Em relação à vegetação arbórea, este estrato apresentou um empobrecimento de  $3\text{‰}$  para o  $^{13}\text{C}$  em relação às folhas

Tabela 11: Composição isotópica do C e do N na vegetação neste e em outros estudos em regiões tropicais.

Composição Isotópica do C do N em Florestas Tropicais				
Local	Característica	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	Referências
		(‰)		
Campos (RJ, Brasil)	Mata Atlântica (50 m)	-31,7	1,9	Este Estudo
	Espécies do Subosque	-32,8	1,0	Este Estudo
	Estrato Rasteiro	-34,8	0,3	Este Estudo
Borneo	Floresta Tropical Copa, 700 m de altitude		0,0	Kitayama e Iwamamoto (2001)
Guiana Francesa	Floresta Decídua	-29,7		Bonal, <i>et al.</i> (2000)
	Floresta – Espécies Perenes	-31,0		
	Floresta – Espécies Heliófitas	-30,5		
	Floresta – Espécies Hemitolerantes	-29,3		
	Floresta – Espécies Tolerantes a sombra	-31,4		
Itabela (BA – Brasil)	<i>Desmodium ovoidifolium</i> (C3 - Viva)	-27,3		Schweizer <i>et al.</i> (1999)
	<i>Desmodium ovoidifolium</i> (C3 - Serrapilheira)	-27,7		
	<i>Brachiaria humidicola</i> (C4 – Viva)	-11,4		
	<i>Brachiaria humidicola</i> (C4 – Serrapilheira)	-12,1		
Guiana Francesa	Floresta Tropical Úmida		-3,8	Guehl, <i>et al.</i> (1998)
Rondônia (Brasil)	Floresta Tropical Úmida (Folhas Vivas)	-32,1		Martinelli <i>et al.</i> (1998)
	Floresta Tropical Úmida (Folhas da Serrapilheira)	-28,7		
Itabela (BA)	Mata Atlântica Úmida	-29,4		Cadisich <i>et al.</i> (1996)
	Pastagem	-12,6		
	Pastagem com Leguminosas	-19,5		
Costa Rica	Floresta Tropical (Ramos inferiores)	-29,9		Leffler e Enquist (2002)
Porto Rico	Floresta Subtropical Chuvosa	-30,6		von Fischer e Tieszen (1995)
Trinida	Floresta Decídua - Copa	-28,4		Broadmeadow <i>et al.</i> (1992)
	Floresta Semi-perene	-31,1		
Amazonas (Brasil)	Floresta de Várzea	-32,1		Martinelli <i>et al.</i> (1994)
	Floresta de Terra Firme	-30,8		Kapos <i>et al.</i> (1993)
	Floresta de Terra Firme	-31,6		Ducatti <i>et al.</i> (1991)

da mata, tanto para folhas ( $-34,8 \pm 0,3\text{‰}$ ) quanto para madeira ( $-34,3 \pm 0,6\text{‰}$  - Fig. 12). Broadmeadow *et al.* (1992) também citam uma redução no  $\delta^{13}\text{C}$  (entre 2,8 e 4,6‰) para espécies exclusivamente do subosque, em relação às demais espécies da copa. O autor destaca *Bactris cusea*, como uma das espécies com menor  $\delta^{13}\text{C}$  ( $-31,1\text{‰}$ ). Em nosso estudo uma espécie do mesmo gênero *Bactris*, palmeira de pequeno porte, apresentou-se com valor semelhante,  $-31,5\text{‰}$ .

Embora a família Gramineae esteja presente no interior da Mata Atlântica, aqui representada pela espécie *Lasiacis* sp. (bambuzinho), sua importância como contribuinte de biomassa é reduzida. Essa espécie, diferente das demais gramíneas aqui estudadas, apresenta metabolismo C3, confirmado aqui pelo segundo mais leve  $\delta^{13}\text{C}$  ( $-33,9\text{‰}$ ). Este valor se encontra dentro da variação apresentada para a Sub-Família Bambuscideae (Gramineae) que esteve entre  $-25,7$  e  $-34,4\text{‰}$  ( $n=29$ ), todas com assinatura isotópica típica de ciclo C3 (Medina *et al.*, 1999). Essa espécie, também ocupa o subosque da mata.

Para espécies herbáceas de florestas densas, que ocupam um nicho particularmente diferenciado em  $\text{CO}_2$ , os baixos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  podem ser explicados pelo chamado “efeito de copa”. Este efeito caracteriza-se pelo empobrecimento em  $^{13}\text{C}$  das folhas do estrato herbáceo em relação às folhas de copas. Este efeito vem sendo observado por diversos autores como Broadmeadow *et al.* (1992); Buchamnn *et al.* (1997); Martinelli *et al.* (1994) e Medina *et al.* (1991) e pode ser atribuído principalmente ao gradiente atmosférico na concentração do  $^{13}\text{CO}_2$ , gerado no perfil da floresta pela mistura desse com o  $\text{CO}_2$  atmosférico, propriamente dito. O  $\text{CO}_2$  do chão da floresta mostra-se diminuído em  $^{13}\text{C}$  pela seletividade da decomposição da serrapilheira mais aquela da própria produção de biomassa.

Na heterogeneidade das florestas tropicais, diversas variáveis decorrentes da diversidade de espécies podem ser relacionadas com a variação na composição isotópica. Variações atribuídas a fatores como altura e diâmetro da árvore promovem uma variação no  $\delta^{13}\text{C}$  de entorno de 6‰ (Martinelli *et al.*, 1998) e de 7‰ (Bonal *et al.*, 2000) respectivamente. Essa variação supera em magnitude às diferenças intra-específicas. Como exemplo, *Protium rubustun*, que para dois indivíduos adjacentes foi detectada uma diferença no  $\delta^{13}\text{C}$  de em torno de 3‰ (Martinelli *et al.*, 1998). Para as espécies apresentadas em nosso estudo, folhas de anos diferentes (1996 e 2001) de *A. verticilatus*, *M. fistulifera* e *V. oleífera* apresentaram uma diferença no  $\delta^{13}\text{C}$  de

0,4, 1,3 e 1,4‰, respectivamente. *O. nitida*, outra espécie comum nas matas da região Norte Fluminense, apresentou na mata de encosta (este estudo), em uma mata fluvial a cerca de 50 Km e em uma mata de tabuleiro a cerca de 100 km de distância valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de -31,6, -27,8 e -28,1‰<sup>2</sup>, com uma variação total de 3,8‰. *P. contorta* ocorrendo na mata estudada, numa mata adjacente a 250 m de altitude, na mata pluvial e na mata de tabuleiro, tiveram  $\delta^{13}\text{C}$  de -31,5, -30,4, -30,9 e -30,7‰<sup>a</sup> com uma extensão de 1,1‰. Também as folhas de *S. guillemiana* foram mais leves na Serra do Imbé (-33,6‰), do que em Rondônia (-31,5‰ - Martinelli *et al.*, 1998).

Quanto às espécies da família Gramineae todas as plantas analisadas, exceto uma (*Lasiacis* sp. –citada anteriormente), podem ser classificadas como plantas C4. Isto fica claro pela assinatura isotópica que se manteve na faixa entre -11,6‰ (*B. decumbens*) e -12,7‰ (Gram. 3), apresentando uma variação mais restrita, quando comparada com a faixa de variação das plantas C3 (Fig. 12). As áreas de pastagem e plantação de cana-de-açúcar estiveram no passado recente e estão hoje, sujeitas a uma dinâmica de espécies associadas à produção agrícola. Fruto desse manejo é a alteração na cobertura vegetal dominante, a qual não se conhece. No entanto, no momento da coleta, as parcelas da pastagem eram largamente e com certa homogeneidade, dominadas por duas espécies, que apresentaram a composição isotópica para o C de -11,9‰ (*B. humidicola*) e a média de -11,7‰ (N=2 - *B. decumbens*). Carvalho (1998) estudando uma pastagem na mesma região encontrou um  $\delta^{13}\text{C}$  = -13,0‰ para *Brachiaria* sp. Sanaiotti *et al.* (2002) estudando diversas Savanas naturais na Amazônia encontrou uma média de -13,2‰ para espécie C4 desse bioma e Medina (1999) analisando material do herbário (INPA) encontrou para um considerável número de plantas (n=102) uma média de  $-11,7 \pm 0,9$ ‰. Para as plantas C4 analisadas neste estudo foi observada uma média de  $-12,1 \pm 0,1$ ‰.

A plantação de cana-de-açúcar, que vem sendo utilizada para a produção de baixa intensidade e é manejada com técnicas tradicionais da cultura, sofrendo queimada a cada estação de coleta e passando periodicamente, pelos chamados “descansos” que correspondem a um período de um ou dois anos no qual a área permanece sem lavoura. Nesse período é comum, e esperada, a colonização por espécies ruderais, em grande parte herbáceas não-graminoides. No momento da coleta do material utilizado neste estudo a área iniciava seu período de descanso e a cobertura era bastante esparsa. Desta forma, amostras de cana-de-açúcar foram

<sup>2</sup> Mazurec, dados não publicados obtidos sob as mesmas condições deste estudo, a partir de folhas de herbário.

tomadas de rebrotas dos indivíduos remanescentes. Para os indivíduos dessa espécie analisados nesse estudo somados àqueles reportados por Carvalho (1998) o  $\delta^{13}\text{C}$  esteve entre  $-11,8\text{‰}$  e  $-12,8\text{‰}$ , abaixo dos valores medidos no estado de São Paulo ( $-13,5$  e  $-13,2\text{‰}$ , Martinelli *et al.*, 2002).

Como citado acima, o estrato herbáceo da mata se mostrou mais leve ( $-34,8\text{‰}$ ) que a vegetação arbórea ( $-31,8\text{‰}$ , Fig. 12 -  $p < 0,05$  - Apênd. 7). Na plantação de cana-de-açúcar, o estrato herbáceo não-graminóide apresentou uma relação inversa, mostrando-se mais pesado ( $-28,4\text{‰}$ ) do que a vegetação original da mata (Fig. 12). Para essa área, a média aritmética desse compartimento mostra uma razão isotópica intermediária,  $-16,8\text{‰}$ , correspondendo, desta forma, a mistura entre a vegetação C3 e C4, tal como indicaram os valores da biomassa, com 29% de não-gramíneas contra 71% de gramíneas. Para essas fontes, enquanto não-gramíneas apresentaram um  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-24,9\text{‰}$ , as espécies analisadas de gramíneas, tiveram um  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-12,1\text{‰}$  (Fig. 12).

As três formas de metabolismo estão representadas entre as espécies analisadas para a Serra do Imbé, o que fica evidente através do  $\delta^{13}\text{C}$ . Entre as ciperáceas com média de  $-25,0\text{‰}$ , destaca-se *Cyper. 1*, que teve o  $\delta^{13}\text{C}$  com  $-17,5\text{‰}$ , valor intermediário entre as C3 (espécies da mata) e as C4 (gramíneas da pastagem e da plantação de cana-de-açúcar). Scarano *et al.* (2001) estudando plantas com metabolismo CAM obteve uma faixa entre  $-12,4$  e  $-18,7\text{‰}$  para a composição isotópica do carbono.

A serrapilheira foi comparada quanto ao  $\delta^{13}\text{C}$  à cobertura vegetal da mata. Para as folhas desse compartimento, a biomassa se mostra significativamente ( $p < 0,01$ ) mais pesada ( $2,1\text{‰}$ ) do que as folhas da vegetação arbórea. Para o total da serrapilheira, o enriquecimento de  $^{13}\text{C}$  se mostra ainda maior,  $2,7\text{‰}$  mais pesado que as folhas da vegetação arbórea (Fig. 12). A diferença entre as folhas da vegetação e as da serrapilheira pode ser explicada em parte, pela redução do estoque de carbono mais lábil no período pré-senescente como consequência da desaceleração das taxas fotossintéticas ou do próprio consumo microbiano. Os estoques mais lábeis de C são constituídos por compostos primários e tem origem direta da fotossíntese. Compostos secundários, entre eles os compostos estruturais, apresentam um enriquecimento na composição isotópica (Guehl *et al.*, 1998), diferença essa que pode ser atribuída da seletividade isotópica durante processamento metabólico de diferenciação bioquímica. Martinelli *et al.* (1998) também atribui a respiração o maior teor de  $^{13}\text{C}$  na biomassa da serrapilheira em relação às folhas.

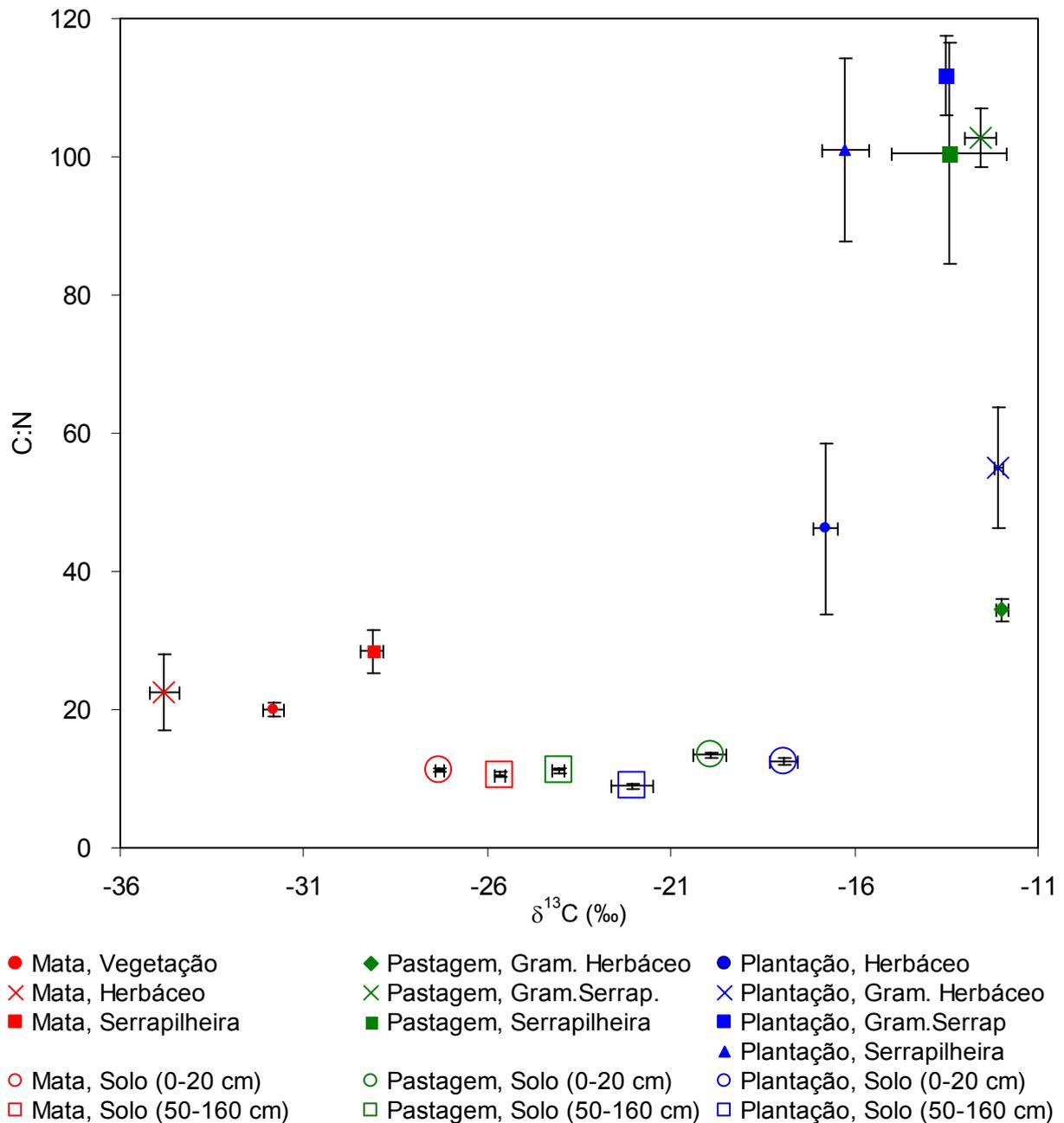


Figura 12: Razão C:N elementar e  $\delta^{13}\text{C}$  (‰, barra de erro padrão) da vegetação, estrato herbáceo, serrapilheira e perfil de solo (media entre 0 e 0,20 m e entre 0,50 e 1,60 m) em uma Mata Atlântica na Região do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da terra.

Diferenças bioquímicas no processo de decaimento da MO são freqüentemente citadas na literatura, e fica mais uma vez evidente no experimento conduzido por Costa (2002) também estudando uma Mata Atlântica na Serra do Desengano. Esse autor reporta o pronto consumo da celulose contra a decomposição mais lenta da

lignina. Em adição, Guehl *et al.* (1998) reporta diferenças isotópicas relacionadas à composição bioquímica, encontrando um enriquecimento de 2 a 3‰ na celulose em relação à média foliar para uma floresta tropical úmida e uma plantação de cana-de-açúcar na Guiana.

A participação maior de  $^{13}\text{C}$  na celulose também pode estar associada ao menor peso para folhas (-28,7 ‰,  $p < 0,05$ ) do que a madeira (-29,7‰) na serrapilheira na Serra do Imbé. No estrato herbáceo da mata e das demais áreas, onde a fração madeira é composta de caules mais ativos fotossinteticamente, essa diferença não pode ser evidenciada. No trabalho de Guehl *et al.* (1998) são apresentadas diferenças de até 4‰ entre folhas e madeira, as quais os autores explicam como sendo efeito das diferenças bioquímicas associadas a diferenças isotópicas dessas frações, mas, também chamam atenção para o maior tempo envolvido na acumulação da biomassa da madeira em relação às folhas. Martinelli *et al.* (1998) encontraram, a composição isotópica do C da madeira 4,2‰ mais pesada do que em folhas. Para o estudo de Schweizer *et al.* (1999) as folhas e a serrapilheira de *Desmodium ovalifolium* tiveram uma lignina com a composição isotópica do C mais leves que o total da biomassa. Se considerado a elevação da participação da lignina na biomassa em 34% ao longo do processo de decomposição (Schweizer *et al.*, 1999), pode se explicar parte das alterações na composição isotópica ao longo do processo de decomposição. Carvalho (1998) estudando algumas manchas de mata no Norte fluminense não encontrou diferença entre folhas e madeira, encontrando uma serrapilheira mais pesada do que a apresentada no presente estudo.

Para a mata, o  $\delta^{13}\text{C}$  na serrapilheira foi 16,1‰ mais leve que a serrapilheira das áreas alteradas. Esta última, com  $\delta^{13}\text{C}$  de 13,0‰, é referente à conjugação da serrapilheira graminóide das áreas alteradas, que não apresentou diferença significativa entre a pastagem e a plantação de cana-de-açúcar.

Para fração gramíneas, a diferença segue um padrão inverso ao observado para a mata, com a parte viva mostrando-se significativamente mais pesada em 1,0‰ ( $p < 0,05$ ) do que a serrapilheira. O enriquecimento isotópico na serrapilheira C4 também foi observado por Schweizer *et al.* (1999) para *B. humidicola* produzida em laboratório. Esses autores atribuem o aumento da composição isotópica da

serrapilheira às diferenças isotópicas entre frações bioquímicas e suas participações percentuais na biomassa total, associada ao processo de decaimento diferenciado dessas frações. Nesse trabalho, enquanto a celulose, que contribua com 36% das folhas vivas, tendo o  $\delta^{13}\text{C}$  igual a  $-11,0\text{‰}$ , passou a 42% na serrapilheira com  $\delta^{13}\text{C}$  igual a  $-11,5\text{‰}$ , a lignina, que nas folhas vivas contribuía com 3% com  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-16,1\text{‰}$  aumentou sua participação na serrapilheira, para 9% com  $-16,2\text{‰}$  (Schweizer *et al.*; 1999). Essa diferença entre a celulose e a lignina na biomassa C3 e a semelhança na biomassa C4 pode ser vista como explicação para o enriquecimento da serrapilheira de ambientes misto (C3 + C4) em relação a fonte.

### 6.3. A Matéria Orgânica do Solo

#### 6.3.1. A Substituição da Vegetação Nativa Altera a Quantidade de Matéria Orgânica Estocada ao Longo do Perfil do Solo?

Verificou-se para a mata e a pastagem, uma redução na participação do C do primeiro para o segundo intervalo (0 a 0,05 m e 0,05 a 0,10 m) em torno de 40% e uma variação menor para a plantação de cana-de-açúcar, indicando maior homogeneidade entre os horizontes. Este valor é o mesmo citado por Feller e Beare (1997) para solos sob cultura supra-anuais, numa compilação de diversos estudos abordando os efeitos do cultivo na MO do solo. A redução da participação total do C no solo da plantação de cana-de-açúcar e a maior similaridade entre os horizontes reflete, em parte, o manejo agrícola, uma vez que esta área está a mais tempo convertida a sistema agrícola.

Diversos autores, entre eles Neill *et al.* (1997) e Van Noordwijk *et al.* (1997) também citam a redução do C em solos cultivados. Essa redução é reportada como resultado de um conjunto de fatores como: aumento da velocidade de mineralização, redução do total de biomassa adicionado e aumento da qualidade dessa biomassa (menor participação da lignina) (Lavelle *et al.*, 1993; Van Noordwijk *et al.*, 1997; Swift e Anderson, 1989). Neste estudo, parte dessas alterações podem ser atribuídas às características da nova serrapilheira adicionada as áreas alteradas. Enquanto a

mata apresentou uma maior biomassa do que na pastagem e na plantação de cana-de-açúcar, essas mostraram uma serrapilheira predominantemente graminóide, mais susceptível a decomposição.

Para a mata, o teor de C no solo  $27,8 \text{ mg g}^{-1}$  se encontra dentro da variação apresentada por Mazurec (1998) para a mesma área que foi de 34 a  $90 \text{ mg g}^{-1}$  e abaixo da variação apresentada por Varjabedian e Pagano (1988, Tab. 12) para Mata Atlântica de encosta em Guarujá, SP. Camargo (1997, Tab. 12) encontrou uma pequena variação na participação do C no solo para um gradiente de degradação desde uma floresta nativa até uma pastagem degradada, na Amazônia, que teve a participação média do C de  $41,5 \text{ mg g}^{-1}$ . Neill *et al.* (1997) reportam um acúmulo de C ainda menor para áreas de floresta em Rondônia ficando entre 11 e  $36 \text{ mg g}^{-1}$ .

Vários trabalhos apresentados para áreas desmatadas na Amazônia tentam relacionar a dinâmica do C estocado no solo em pastagens implantadas em solos de floresta (INPE, 1998). Para a faixa de tempo normalmente abordada que vai de 0 a 25 anos. A resposta a essa alteração não é homogênea, variando desde a redução até a reposição ou mesmo aumento do C estocado no solo superficial, sofrendo influências não só do tempo de alteração, mas também do tipo de solo, da história e das técnicas de cultivo dessas áreas (Neill *et al.*, 1997).

Para área de Mata Atlântica em Conceição da Barra (ES) e em Itabela (BA, Tab. 12), o solo de 0 a 0,05 m em mata secundária são reportados com tendo duas vezes mais C ( $13,3$  e  $11,3 \text{ mg g}^{-1}$ ) do que pastagens adjacentes ( $5,5$  e  $5,3 \text{ mg g}^{-1}$ ) com menos de 5 anos (Campos, 2003). Contudo, segundo Lugo e Brown (1993 *apud* Van Noordwijk *et al.*, 1997), a falta de paridade entre as análises e a apresentação dos dados leva a comparações inválidas. Para esses autores, a falta de padronização na profundidade de amostragem e em combinação com a falta de normalização para densidade do solo, podem estar sendo responsáveis pela superestimação das mudanças reais dos estoques carbono no solo.

A elevação da densidade em solos submetidos a agricultura, freqüentemente reportados por outros estudos, afeta, entre outras propriedades, o montante de C associado ao solo (Camargo, 1997; van Noordwijk *et al.*, 1997, Tab. 12). Esta característica pode ser corroborada pelos dados aqui apresentados. Nas áreas estudadas nas Serra do Imbé, enquanto foi verificado um estoque de carbono similar

entre a mata e a pastagem e menor na plantação de cana-de-açúcar, foi verificado um gradiente na concentração de C no solo superficial (0 a 0,10 m), potencialmente relacionado com o tempo de degradação. Para a mata, vegetação nativa, o C foi de 27,8 mg g<sup>-1</sup>, na pastagem com cerca de 30 anos, o C teve valor intermediário (21,3 mg g<sup>-1</sup>) e em torno da metade do valor da mata na plantação de cana-de-açúcar, com cerca de 60 anos desmatada (14,1 mg g<sup>-1</sup>,  $p < 0,05$  - Tab. 10).

Um segundo fator de forte influência na distribuição do carbono, e decisivo na comparação dos dados, é a profundidade da amostragem (Lugo e Brown; 1993). Também aqui, os dados apresentados vêm reforçar essa afirmação. Com o aumento da profundidade, a concentração de C decresce em todos os perfis, como era esperado. Entretanto, entre o topo (0 a 0,05 m) e o intervalo de 0,20 a 0,50 m o total de carbono no solo cai em mais de 30%, chegando a 40% na pastagem, variando abruptamente dentro desta profundidade (Fig. 10 e Apênd. 6). Abaixo dessa profundidade, a variação, no entanto, se torna bem menos intensa e entre 0,50 e 1,60 m de profundidade, o C total variou menos que 1 mg g<sup>-1</sup>. Esse comportamento é semelhante ao apresentado por Camargo (1997) para uma mata na Amazônia, que encontrou 10 % de C (2,6 kg m<sup>-2</sup>, valor corrigido pela densidade) estocado até 0,10 m para um total de 25,6 kg m<sup>-2</sup> até 8 m de profundidade. Esse autor reporta ainda, para uma pastagem manejada adjacente, com maior estoque que a mata, uma participação de 8% (2,3 kg m<sup>-2</sup>) até 0,10 m contra 28,3 kg m<sup>-2</sup> até 8 m. No estudo aqui apresentado, as áreas tratada para fins agrícolas, a participação de C no solo pode estar sendo influenciada não só pela idade do idade de desmatamento, menor na pastagem, quanto pela maior área superficial da fração mineral desta área quando comparada com a plantação de cana-de-açúcar.

Tabela 12: Características do Solo e da Matéria Orgânica do Solo em outros estudos em regiões tropicais.

Local	Tipo de Floresta	Prof. (m)	pH	C (mg g <sup>-1</sup> )	N	δ <sup>13</sup> C (‰)	δ <sup>15</sup> N	Referências
Sudeste								
(Campos, RJ)	Mata Atlântica	0 – 0,10	5	33,2	2,6	-28,07	5,56	Mazurec <i>et al.</i> (2001)
	Mata Atlântica	0 – 0,10	3,6	67,1	4,7	-27,84	4,21	Mazurec <i>et al.</i> (2001)
	Pasto	0 – 0,10				-22,2 a -26,3		Carvalho (1998)
	Fragmento de Mata	0 – 0,10				-25,4 a -26,8		Carvalho (1998)
	Plantação de Cana	0 – 0,10				-19,1		Carvalho (1998)
(P.N. Tijuca, RJ)	Mata Atlântica de enc. sec.	0 – 0,03	3,6					Silva-Filho <i>et al.</i> (1986)
	Mata Atlântica de enc. sec.	0,03 – 0,15	3,8					Silva-Filho <i>et al.</i> (1986)
	Mata Atlântica de enc. sec.		2,4	92	2			Clevelario Júnior (1996)
(Guaruja, SP)	Mata Atlântica de enc.		3,1	59				Varjabedian e Pagano (1988)
	Mata Atlântica de enc.		3,3	58				Varjabedian e Pagano (1988)
	Mata Atlântica de enc.		3,4	53				Varjabedian e Pagano (1988)
	Mata Atlântica de enc.		3,2	69				Varjabedian e Pagano (1988)
	Mata Atlântica de enc.		3,9	66				Varjabedian e Pagano (1988)
(Ilha do Cardoso, SP)	Mata Atlântica de enc.	0 – 0,15	3,2		3,1			Moraes <i>et al.</i> (1999)
	Mata Atlântica de enc.	15 – 0,30	4,2		3,2			Moraes <i>et al.</i> (1999)
	Mata Atlântica de enc.	0,3 – 0,5	3,6		1,2			Moraes <i>et al.</i> (1999)
(Murtinho Campos, MG)	Frag. Ultifluvent	0 – 0,20	6,5					Oliveira-Filho <i>et al.</i> (2001)
	Frag. Ustropept	0 – 0,20	5,3					Oliveira-Filho <i>et al.</i> (2001)
	Frag. Dystropept	0 – 0,20	5					Oliveira-Filho <i>et al.</i> (2001)
Nordeste								
(Bahia Sul, BA)	Mata Atlântica tabuleiro	0 – 0,05	5,5	19	2			Gama-Rodrigues (1997)
	Mata Atlântica tabuleiro	0,05 – 0,1	5,5	14	1			Gama-Rodrigues (1997)
(Itabela, BA)	Mata Atlântica umida		5,3	44,1	3,1			Cadisch <i>et al.</i> (1996)
	Pastagem		6,2	27,5	1,9			Cadisch <i>et al.</i> (1996)
	Pastagem com Leg		6,1	25,9	1,9			Cadisch <i>et al.</i> (1996)

enc. = encosta; Frag. = Mata fragmentada; P.N. = Parque Nacional; sec. = secundária

Tabela 12. Continuação

Local	Tipo de Floresta	Prof. (m)	pH	C (mg g <sup>-1</sup> )	N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$	Referências
Amazônia								
(Maracá, RR)	Terra firme	0 – 0,10	4,4	18	5			Villela (1998)
	Terra firme	0 – 0,10	4,4	8	3			Villela (1998)
	Terra firme	0 – 0,10	4,9	10	5			Scott <i>et al.</i> (1992)
	Terra firme	0 – 0,10	4,7	30	11			Scott <i>et al.</i> (1994)
(Paragominas, AM)	Floresta	0,10		47		-27,3		Camargo (1997)
	Floresta	0,25				-26,8		Camargo (1997)
	Floresta	0,50				-26,2		Camargo (1997)
	Floresta	1,00				-25,7		Camargo (1997)
	Floresta	1,50				-25,3		Camargo (1997)
	Pastagem	0,10		45		-24,8		Camargo (1997)
	Pastagem	0,25				-25,3		Camargo (1997)
	Pastagem	0,50				-25,4		Camargo (1997)
	Pastagem	1,00				-24,9		Camargo (1997)
	Pastagem	1,50				-24,8		Camargo (1997)
(Belém, PA)	Floresta		3,6	15,4	1,9			Diez <i>et al.</i> (1997)
	Floresta		3,6	8	7			Diez <i>et al.</i> (1997)
	Pastagem (9 anos)		5,3	12,8	8			Diez <i>et al.</i> (1997)
	Pastagem (9 anos)		5	6	6			Diez <i>et al.</i> (1997)

enc. = encosta; Frag. = Mata fragmentada; P.N. = Parque Nacional; sec. = secundária

Em solos florestais ou em sistemas onde os impactos da agricultura tradicional são menos intensos, uma fauna edáfica mais desenvolvida é responsável pela fragmentação da serrapilheira e a deflagração da decomposição. A movimentação dessa fauna pelo solo promove a descompactação das camadas superficiais, o transporte e de fragmentos de biomassa e deposição de resíduos do processo digestivo contribuem para o afundamento do horizonte orgânico (Lavelle *et al.*, 1993). Em resumo, o uso da queima em sistemas agrícolas acaba por reduzir comunidade decompositora do solo e seus benefícios para produtividade. Nesse estudo, os efeitos provocados pelo impacto do manejo da cultura de cana-de-açúcar na comunidade edáfica podem explicar as diferenças na porosidade estimada, maior na mata e na pastagem ( $0,3 \pm 0,1 \text{ cm}^{-3} \text{ cm}^{-3}$ ) que na plantação de cana-de-açúcar ( $0,2 \pm 0,1 \text{ cm}^{-3} \text{ cm}^{-3}$ ).

Outro potencial fator diferenciador no acúmulo de MO é a textura do solo (Feller e Beare, 1997; Hanssink, 1997). Lavelle *et al.* (1993) coloca esse fator no segundo nível de importância na hierarquia de controle da decomposição e incorporação de materiais recalcitrantes no solo e relaciona também que a incorporação de MO ao solo e sua textura como fortemente afetada pelo tempo e forma de cultivo (Feller e Beare, 1997). A importância da mineralogia e da área superficial na estabilização da MO do solo está associada à adsorção de moléculas orgânicas às partículas minerais, principalmente argilas, criando em alguns casos, uma cápsula em torno das partículas orgânicas contra o ataque microbiano (Feller e Beare, 1997). A fração argilosa adiciona ao solo uma área superficial consideravelmente maior que às demais frações (silte e areia). Ainda que os valores de área superficial dependam grandemente do tipo de argila, a participação dessa fração mineral no solo promove o aumento da área superficial. Para diversos solos do Triângulo Mineiro, MG (Fontes e Weed, 1996), com valores exclusivamente para a fração argilosa, a superfície específica para o total de argila variou de 41 a 80  $\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$  e até 110  $\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$  para a fração óxidos de Ferro.

Para solo superficial das áreas estudadas, foi evidenciada na plantação de cana-de-açúcar, área mais impactada pelo cultivo, menor área superficial ( $17,2 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ) do que na mata e na pastagem ( $41,2$  e  $46,1 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , respectivamente). Mazurec (1998) reporta para a mata, uma percentagem de areia, silte e argila de 62, 23 e 15% respectivamente para os 0,10 m superficiais.

Para o solo superficial das áreas estudadas, a associação da MO à fração mineral do solo somente foi evidenciada para o conjunto de pontos estudados na plantação, como apontam a correlação significativamente positiva entre o conteúdo de C no solo e a área superficial (Fig. 13 a). Para a área de pastagem e particularmente a mata, a dispersão dos valores mostra maior variabilidade do conteúdo de C nos primeiros centímetros do solo. Este fato pode ser interpretado como uma relativa independência da MO em relação à fração mineral nos horizontes superficiais do solo. Ao contrário, no solo da plantação de cana-de-açúcar que teve menor conteúdo de C e menor área superficial, a associação entre MO e fração mineral é evidente, sendo a regressão para essa área altamente significativa ( $r^2 = 0,747$ ,  $p < 0,001$ ), mostrando pela inclinação da reta, um rápido aumento no acúmulo de C com aumento da área superficial (Fig. 13 a).

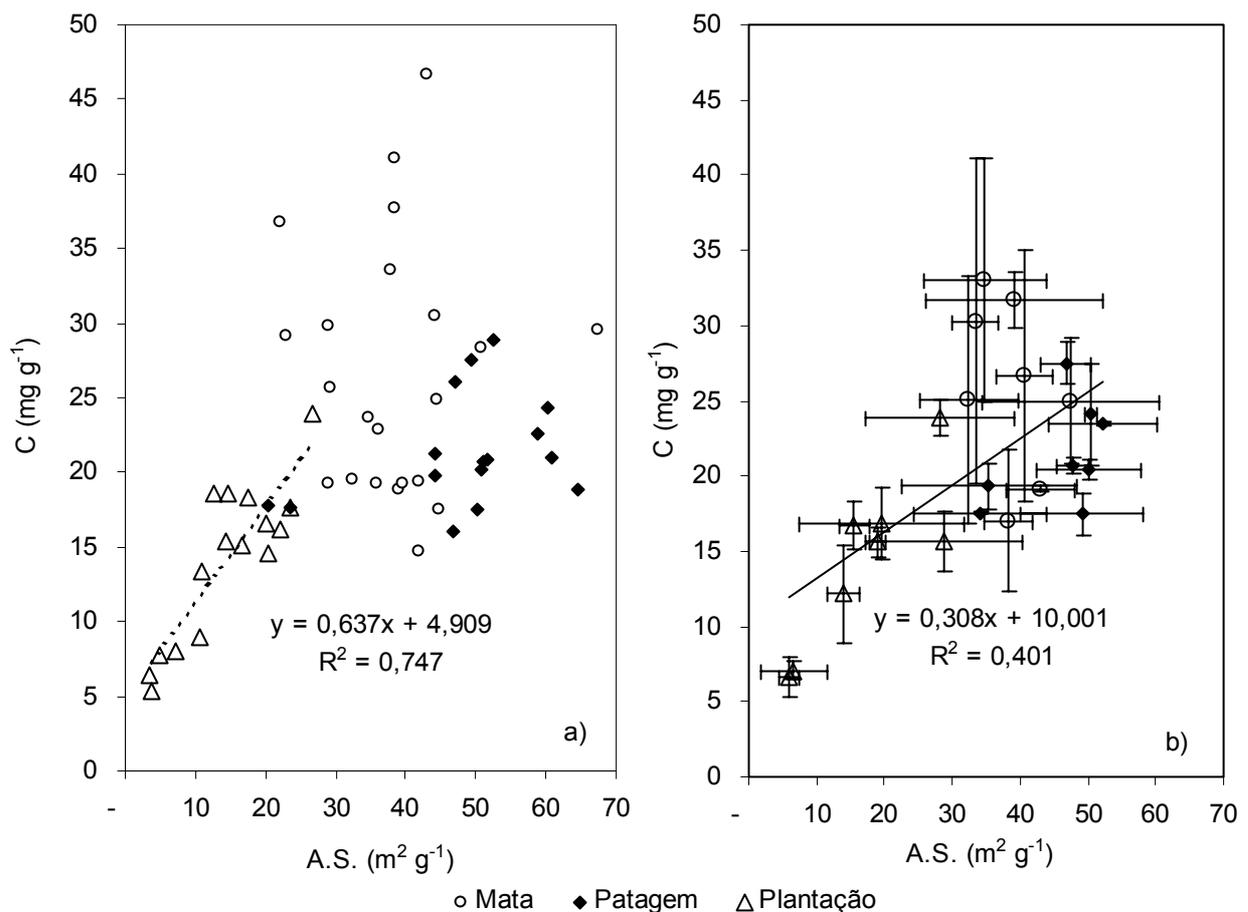


Figura 13: Regressão entre o teor de C ( $\text{mg g}^{-1}$ ) e a Área superficial (AS -  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ ) no solo superficial (0 a 0,05 m e de 0,05 a 0,10 m) em uma Mata Atlântica na Serra do Imbé, RJ, submetida de diferentes usos da Terra. Valores correspondem: aos valores individuais (a,  $p < 0,05$  para plantação de cana-de-açúcar) e a média entre as parcelas (b,  $p < 0,05$  para as três áreas).

Em um extenso conjunto de dados reportados em Feller e Beare (1997), é também apresentada uma correlação positiva entre teor de silte + argila e o de C no solo e atribuem as alterações na inclinação dessa correlação a menor participação do C em solos cultivados quando comparados com não cultivados. Para a Serra do Imbé, observa-se uma maior afinidade na relação para as áreas cultivadas. Enquanto na mata, uma matéria orgânica fragmentada e ainda não totalmente decomposta possa estar fazendo parte da estrutura do solo, na pastagem e sobretudo na plantação de cana-de-açúcar, a relação observada entre o C e a A.S. (Fig. 13) é em parte decorrente da agregação da MO às partículas do solo. A associação da MO com as frações mais finas do solo (silte e argila) ficam também evidentes no estudo de Campos (2003). Nesse estudo, o fracionamento da MO na comparação entre o solo de uma mata secundária e solos de pastagem com menos de 5 anos, mostram a maior parte da MO nas frações finas.

Ao longo do perfil do solo, a mata e a pastagem tiveram a área superficial similar e em torno de duas vezes maior que a plantação de cana-de-açúcar. Contudo, ressalta-se a exceção para o intervalo de 0,50 a 1,00 m. Nessa profundidade verifica-se uma elevação da área superficial nas áreas alteradas, que chegaram a 72,7 e 44,1 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> na pastagem e na plantação respectivamente, contra uma relativa estabilidade na mata a partir de 0,50 m de profundidade em torno de 58 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>. Este fato que pode estar associado à deposição da fração argilosa nesse horizonte. No ambiente não alterado, a mata, a área superficial mantém-se contínua a partir de 20 cm de profundidade (Fig. 6). Essas alterações podem estar relacionadas às mudanças nas características do solo. Mudanças físico-químicas favorecem a eluviação dos complexos de sesquióxidos-matéria orgânica, que após serem formados na superfície depositam-se em horizontes inferiores, fenômeno comum na gênese de solos em zonas úmidas tropicais (da Silva, 1996, Feller e Beare, 1997; dos Anjos *et al.*, 1999).

### 6.3.2. Adição de Biomassa C4 nas Áreas Degradadas

O  $\delta^{13}\text{C}$  do solo superficial (0 a 0,10 m) é comparado a outras regiões e na mata, o valor encontrado ( $-27,5 \pm 0,1\text{‰}$ ). Para outro estudo realizado na mesma mata deste estudo (50 m) e outra na mesma região (250 m de altitude), para solos coletados em 1997 (Mazurec *et al.*, 2001) obtiveram respectivamente  $-28,1\text{‰}$  e  $-27,8\text{‰}$ . A diferença encontrada para a composição isotópica do solo superficial entre o estudo atual e o anterior (mata a 50 m de altitude, Mazurec *et al.*, 2001) foi mensurada em  $0,60\text{‰}$ . A composição isotópica do solo é também semelhante a encontrado Carvalho (1998) para fragmentos de Mata em Campos, RJ ( $-25,4$  a  $-26,8\text{‰}$ ) ou por Camargo (1997) para uma floresta na Amazônia ( $-27,3\text{‰}$ , Tab. 12). Outro estudo, também na Floresta Amazônica, verificou uma variação entre  $-30,0$  e  $-27,0\text{‰}$  (Sanaiotti *et al.*, 2002). Num estudo abordando a alteração da composição isotópica em solos, Powers e Shlesinger (2002) observaram uma variação entre  $-31,4$  e  $-28,8\text{‰}$  em 35 florestas de Porto Rico. Em área de Mata Atlântica secundária em Conceição da Barra (ES) e em Itabela (BA, Tab. 12), os solo de 0 a 0,10 m apresentaram  $-26,8$  e  $-27,3\text{‰}$ , respectivamente.

Entre as áreas degradadas, não houve diferença para os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  do solo superficial na pastagem e na plantação de cana-de-açúcar com  $-19,2 \pm 0,5$  e  $-17,7 \pm 0,5\text{‰}$  respectivamente, sendo a diferença de  $1,5\text{‰}$ . Para a pastagem, o valor encontrado representa um solo mais enriquecido que outras pastagens na mesma região cuja variação ficou entre  $-26,3$  e  $-22,2\text{‰}$  (Carvalho, 1998); ou em pastagens na Amazônia com mais de 25 anos, com variação entre  $-24,8$  e  $-24,0\text{‰}$  (Camargo, 1997, Tab. 12). Da mesma forma, a plantação de cana-de-açúcar teve maiores valores para o  $\delta^{13}\text{C}$  que outra plantação de cana-de-açúcar na mesma região deste estudo ( $-19,1\text{‰}$  Carvalho, 1998) ou no estado de São Paulo com idades entre 12 e 50 anos, que apresentaram respectivamente, uma faixa entre  $-25,1\text{‰}$  a  $-20,2\text{‰}$  (Martinelli *et al.*, 2002). Em pastagem recentemente implantadas, também recobrando áreas originalmente de Mata Atlântica em Itabela (BA), os solo de 0 a 0,05 m apresentaram  $-25,5$  e  $-21,4\text{‰}$ , tendendo a biomassa de origem C4 a desaparecer do perfil do solo abaixo de 0,30 m (Campos, 2003). Em pastagem e plantações de cana-de-açúcar com mais de 20 anos em Conceição da Barra (ES),

os solos de 0 a 0,05 m apresentaram  $-18,0$  e  $-19,3\text{‰}$  respectivamente (Campos, 2003, Tab. 12).

A prática da queimada pode também alterar fortemente a composição isotópica. Turekian *et al.* (1998) *apud* Martinelli *et al.* (2002) encontraram um empobrecimento de  $3,5\text{‰}$  para cinzas de plantas C4, entre elas cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). Semelhante resultado é reportado por Carvalho (1998), que encontrou um empobrecimento para o  $\delta^{13}\text{C}$  de  $2,3\text{‰}$  nas cinzas de uma plantação de cana-de-açúcar. Vale citar que a queima de plantas C3 gerou partículas com  $\delta^{13}\text{C}$  que oscilaram entre  $+0,5\text{‰}$  (Turekian *et al.*, 1998) e  $-0,5\text{‰}$  (Currie *et al.*, 1999, *apud* Martinelli *et al.*, 2002).

Na mata, o solo superficial (0 a 0,10 m) teve pequeno enriquecimento ( $1,7\text{‰}$ ) em relação a serrapilheira, não sendo essa diferença significativa, contudo, a MOS foi significativamente ( $p < 0,01$ ) mais pesada ( $4,2\text{‰}$ ) do que as folhas da vegetação arbórea (Fig. 14). Em um estudo para florestas na Costa Rica é reportado um enriquecimento de  $3,9\text{‰}$  da serrapilheira para o solo (Powers e Schlesinger, 2002). Entre a serrapilheira e o solo, e entre a vegetação e a serrapilheira, como citado acima, o enriquecimento da composição isotópica se deve a conjugação de fatores envolvendo a decomposição da biomassa. A seletividade da microbiota em relação à tecidos e a composição bioquímica durante o decaimento da MO levam a exportação mais intensa do  $^{12}\text{CO}_2$  e a conseqüente preservação de materiais mais enriquecidos de  $^{13}\text{C}$  (Noodwijk *et al.*, 1997).

Certamente, a decomposição seletiva ocorre nos sistemas mistos também, entretanto, as tendências de enriquecimento do  $\delta^{13}\text{C}$  podem ser obscurecidas pela mistura entre as biomassas. Desta forma, tanto para a pastagem quanto para a plantação de cana-de-açúcar, a MO mais leve no solo superficial do que na serrapilheira média ( $-13,4$  e  $16,3\text{‰}$  respectivamente nas áreas citadas) pode ser atribuída a mistura da biomassa recém-decomposta com aquela remanescente do passado florestal (Fig. 14).

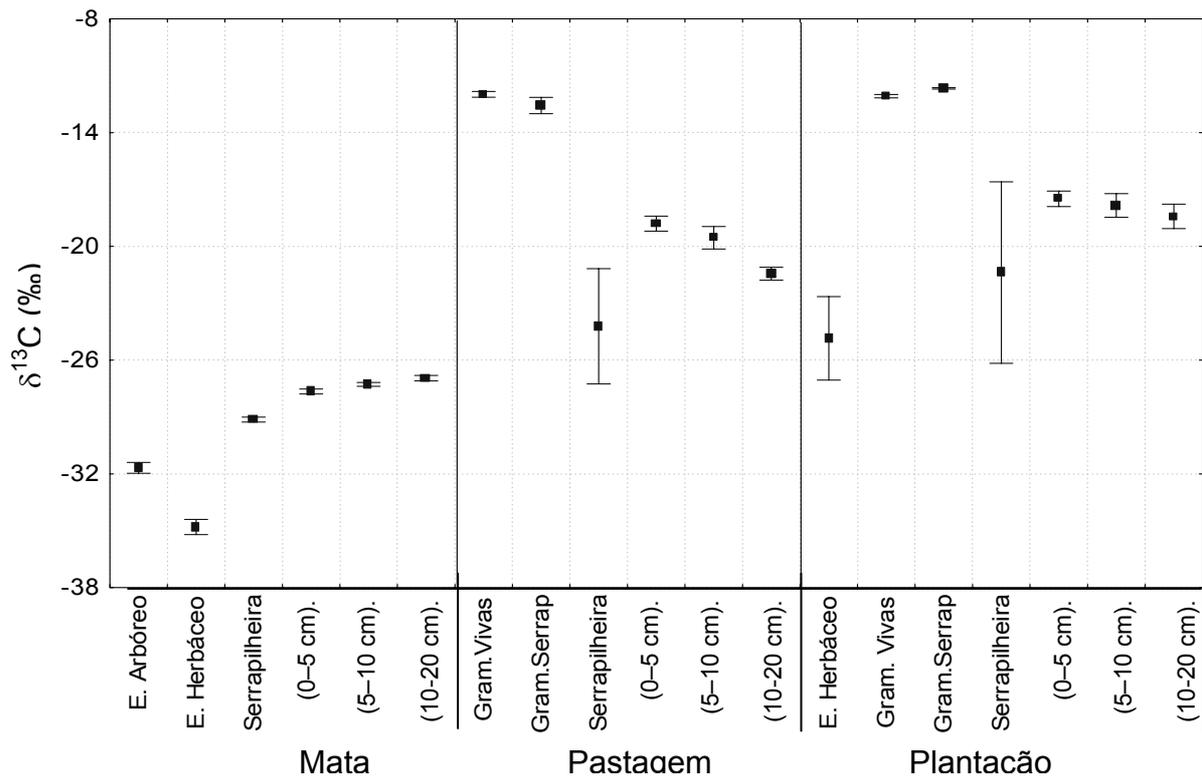


Figura 14: Média (barra de erro padrão) da composição isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) no estrato herbáceo, na camada de serrapilheira e nos intervalos superficiais do solo (0 a 0,05 m, 0,05 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m).

As alterações na MO adicionada ao solo após a implantação de sistemas de pastagem e cana-de-açúcar se dão principalmente, pela mudança no estoque. Pelos resultados apresentados por Campos (2003), verifica-se, também através da composição isotópica do C, que a MO de origem C4 na pastagem tem entrada para o solo de 0 a 0,05 m, principalmente na fração livre do solo, tendo a cana-de-açúcar reduzida adição na fração intra-agregados.

Com o aumento da profundidade no solo da mata, a composição isotópica do C mostrou-se crescente. Na pastagem e na plantação de cana-de-açúcar ao contrário, a cada nível o  $\delta^{13}\text{C}$  se mostra mais leve. A elevação dos valores para o  $\delta^{13}\text{C}$  na matéria orgânica com aumento da profundidade para a mata se deve ao chamado efeito de Suess, discutido a seguir. Já os valores encontrados para o  $\delta^{13}\text{C}$  nas áreas alteradas, tanto na superfície, quanto ao longo do perfil demonstram claramente que essas áreas apresentaram em algum momento no passado uma cobertura vegetal predominantemente de plantas C3.

Em vista da provável recuperação promovida pela pastagem para o conteúdo de C no solo e pela redução do mesmo na plantação de cana-de-açúcar, verificamos através da composição isotópica do C a alteração na participação MO no solo. Tomando-se a mata como a cobertura original para as áreas estudadas, foi calculada a diferença isotópica relativa (DI) da MOS, tendo como base a assinatura isotópica da superfície do solo da mata (-27,7‰) e a média das gramíneas C4 (-12,2‰). Para as áreas alteradas, esse índice pode ser interpretado como a porcentagem de participação da matéria orgânica de origem C4 em relação à C3. Na pastagem a participação do  $C_{C4}$  na MOS chega a 57% na superfície e tem uma redução abrupta até 0,20 m (26%), tendo a partir daí pequena variação até a profundidade estudada. A plantação de cana-de-açúcar teve 65% de  $C_{C4}$  na superfície e uma redução mais gradativamente até 1,00 m, onde o  $C_{C4}$  teve a menor participação, com 29%. Esses valores confirmam o histórico apresentado para as áreas, indicando ao longo de todo perfil uma participação percentual da MO  $C_{C4}$  menos acentuada na pastagem, que teve a implantação da nova cobertura vegetal a menos tempo, cerca de 30 anos, que a plantação de cana-de-açúcar com pelo menos 60 anos sem mata (Fig. 15).

No solo das áreas alteradas, a MO orgânica de origem mista, C3 + C4, tem a participação do seu  $\delta^{13}C$  controlado por diversos fatores, como o tempo de mudança no uso da terra, tipo de solo, práticas de manejo e a nova vegetação implantada (Fearnside e Barbosa, 2002). Assim, o diferença isotópica observado para as áreas degradadas na Serra do Imbé era esperado, uma vez que à MO orgânica de origem C3 remanescente da vegetação original desses solos vem sendo acrescido MO de origem C4. Desta forma também, o menor tempo de substituição da pastagem em relação à plantação aparece expresso no DI do solo superficial, com a primeira que tem cerca de 30 anos, mostrando menor participação C4 que a plantação com mais de 60 anos de desmatada (Fig. 15).

Em pastagem e plantações de cana-de-açúcar com mais de 20 anos sobre área de Mata Atlântica Conceição da Barra (ES), os solos apresentaram participação de biomassa C4 até a profundidade estudada (1,00 m), sendo bastante semelhantes entre si ao longo de todo perfil (Campos, 2003).

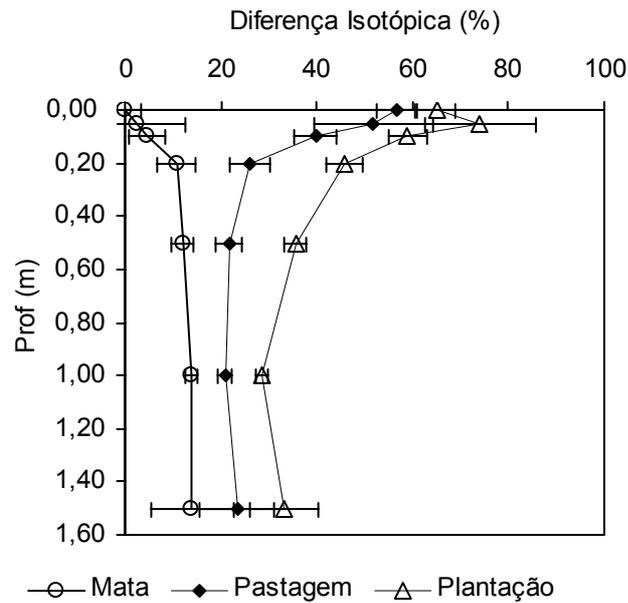


Figura 15: Diferença Isotópica (% , barra de erro padrão) ou % de biomassa C4 ao longo o perfil de solo.

Na mata, o  $\delta^{13}\text{C}$  ao longo do perfil teve considerável enriquecimento entre 0 e 0,20 m, sendo o DI nessa profundidade igual a 11% e teve uma variação bem mais discreta a partir dessa profundidade sendo a 1,60 m de 14%. Esse aumento na composição isotópica em solo de floresta, com vegetação exclusivamente C3, já foi evidenciado por outros autores (Camargo, 1997; Powers e Schlesinger, 2002) e pode ser atribuída a uma conjugação de fatores como a discriminação microbiana durante a decomposição, preservação seletiva de materiais recalcitrantes com menores razões isotópicas associadas à fração mineral do solo ou ainda à recentes alterações atmosféricas na razão isotópicas do C (Powers e Schlesinger, 2002). O mesmo efeito é reproduzido em Conceição da Barra (ES) onde o solo a 1,00 m de profundidade teve 1,6‰ mais  $\delta^{13}\text{C}$  que a superfície (Campos, 2003).

A preservação das frações mais enriquecidas em  $^{13}\text{C}$ , responsáveis pelo maior  $\delta^{13}\text{C}$  no solo superficial em relação à serrapilheira na mata, também pode estar sendo responsável pela elevação da composição isotópica ao longo do perfil. Outro fator potencialmente influente na elevação dos valores da assinatura isotópica no solo, em relação à serrapilheira é o empobrecimento da atmosfera verificado no último século para a concentração de  $^{13}\text{C}$ , decorrente da queima de combustíveis fósseis. O chamado efeito de Suess leva a um aumento de 1,3 a 1,5‰ dos detritos

mais superficiais do solo, da serrapilheira e das raízes em relação aos horizontes mais profundos do solo (Powers e Schlesinger , 2002).

A substituição da vegetação da mata pela pastagem ou pela plantação de cana-de-açúcar tem evidentes alterações na fonte de biomassa e na sua qualidade. Essas alterações vêm associadas a mudanças na degradabilidade da MO e ainda a um aumento na atividade biológica do solo, o que leva a uma decomposição mais rápida e mais completa da biomassa, reduzindo a recalcitrância da MO associada ao solo. Para os solos estudados por Campos (2003) também para a Mata Atlântica, o acréscimo da nova MO de origem C4 se deu principalmente na fração livre do solo, mais susceptível a degradação, com reduzida adição a fração intra-agregado, responsável, entre outras funções, pela estruturação física do solo. Além desse fato, foi também na fração intra-agregado que ocorreu a maior preservação da porção C3 da MO (Campos, 2003).

#### 6.4. Nitrogênio Total e Isotópico

##### 6.4.1. Fontes de Matéria Orgânica

A escassez do N normalmente é compensada em florestas tropicais, pela fixação do N<sub>2</sub> atmosférico por bactérias de vida-livre ou associadas simbioticamente a nódulos nas raízes de algumas espécies, notadamente espécies da família Leguminosae. Num estudo que buscou identificar a assinatura isotópica das espécies fixadoras de nitrogênio, a variação do <sup>15</sup>N, que esteve entre -0,3 e 3,5‰, foi significativamente menor nas espécies com de nódulos de bactérias fixadoras de nitrogênio nas raízes (Guehl *et al.*, 1998). As espécies estudadas para a Serra do Imbé não foram analisadas quanto à presença de nodulações ou quaisquer outros indicativos de fixação do N<sub>2</sub> Para essas espécies, a variação do  $\delta^{15}\text{N}$  ficou entre -0,3 e 4,3‰, com uma média de 1,8‰. Esses valores são superiores a média apresentada por Guehl *et al.* (1998) para floresta tropical úmida na Guiana Francesa (-3,8‰). Um segundo trabalho para floresta tropical de altitude em Borneo, Kitayama e Iwamamoto (2001) encontraram uma média de 0‰ para a vegetação estudada.

A concentração total de N para folhas de plantas noduladas é apresentada dentro de uma ampla faixa de valores chegando até  $27 \text{ mg g}^{-1}$  (*Sclerolobium melinonii*, Leguminosae, Guehl *et al.*, 1998). Concentrações elevadas para o N foliar são consideradas um indicativo da fixação de N atmosférico (Guehl *et al.*, 1998). Na Serra do Imbé, a espécie *P. contorta* (Leguminosae) conhecida como uma fixadora de N atmosférico, apresentou concentração elementar de N foliar de  $27,7 \text{ mg g}^{-1}$ , somente superada por *Pysonia* sp. uma Anonaceae, com destacada concentração de N ( $34,9 \text{ mg g}^{-1}$ ). *Pysonia* sp. se destacou ainda das demais espécies, junto com *Oxandra nitida*, uma Nyctaginaceae, pelos maiores  $\delta^{15}\text{N}$  com 4,3‰ e 4,1‰ respectivamente (Fig. 16), o que pode estar relacionado com a fixação do nitrogênio. *Sclerolobium* sp., também Leguminosa, de um gênero citado como fixadora de N (Guehl *et al.*, 1998), apresentou teor de N ( $21,9 \text{ mg g}^{-1}$ ) e o  $\delta^{15}\text{N}$  (0,92‰) mediano em relação a variação das espécies estudadas. Outro destaque entre as espécies estudadas na mata foi *Lasiacis* sp., um bambu de pequeno porte (Gramineae, C3), que apresentou uma elevada concentração de N total ( $26,5 \text{ mg g}^{-1}$ ) com uma considerável seletividade para o  $^{15}\text{N}$ , o menor  $\delta^{15}\text{N}$ , -0,3‰ (Fig.16). Deve se acrescentar que, essa espécie, juntamente com outras duas exclusivas do subosque, não se diferenciou ( $p>0,05$ ) das demais espécies da mata, arbustivas e arbóreas, sendo portanto, ao longo desse estudo, consideradas num único grupo.

Compondo grupos distintos entre si ( $p>0,05$ ), tanto para o  $\delta^{15}\text{N}$  quanto para o N:C, as espécies da mata e das áreas alteradas são dispostas na Figura 16, seguindo a relação entre o  $\delta^{15}\text{N}$  e a razão N:C. Para essa, a relação entre as variáveis reforçam a distinção entre espécies da mata e espécies das áreas alteradas (Apênd. 9). As espécies da mata apresentaram uma correlação significativamente ( $p<0,05$ ) positiva entre o  $\delta^{15}\text{N}$  e a razão N:C, indicando que para essas espécies, o aumento da concentração foliar de N é acompanhado pela redução da seletividade do  $^{15}\text{N}$  (Fig. 16). Para as espécies das áreas alteradas, a correlação citada não se deu significativamente, tendo essas espécies, o  $\delta^{15}\text{N}$  em média 1,1‰ mais pesado que o da mata. Para essas, a correlação também não distingue as gramíneas de ciclo C4 das ciperáceas (C3 e CAM - Fig. 16), provavelmente refletindo a estrutura graminóide, comum para ambos os grupos, e a aquisição do N estocado no solo.

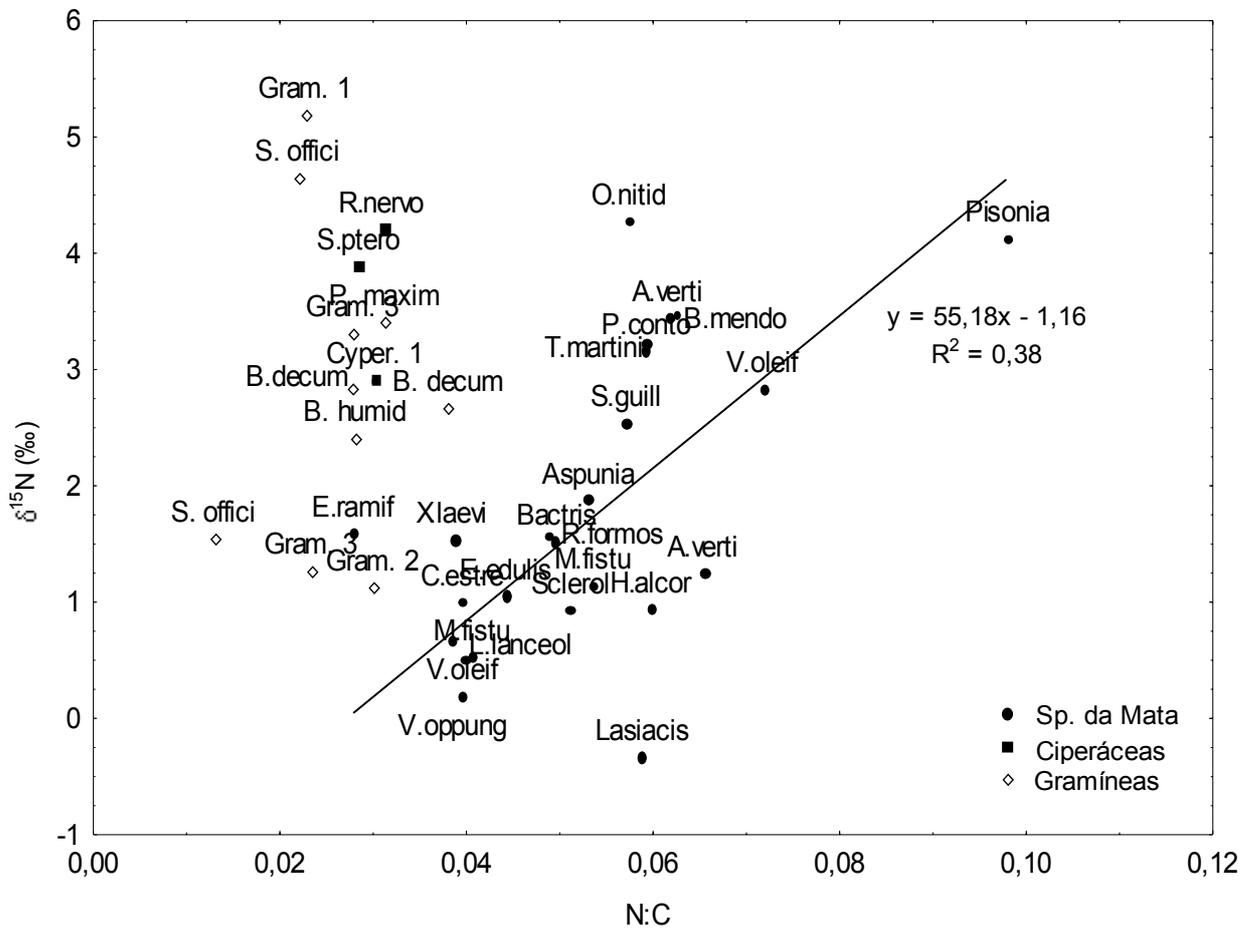


Figura 16: Relação entre o  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) e a razão N:C entre 37 espécies, na Serra do Imbé, RJ, sendo 24 arbóreas ou herbáceas da mata, 3 ciperáceas e 11 gramíneas. Nomes completos e famílias vide Tabela 1. A reta representa a correlação ( $R^2=0,379$ ,  $p<0,05$ ) para as espécies da mata.

Como sugerido por Guehl *et al.* (1998), o  $\delta^{15}\text{N}$  pode ser usado como indicador indireto da aquisição e uso do N. Contudo, a sugestão inicial de se usar a composição isotópica de um solo como indicativo diferencial da fixação biológica pelas plantas permanece sem respostas definitivas. Neste estudo, a assinatura dessa biomassa para o  $^{15}\text{N}$  não apresenta padrões tão claros quanto para o carbono. A composição elementar para as folhas das espécies da mata, que variou gradualmente entre os valores, não distinguiu as potenciais fixadoras de N das

demais, o que também pode ser afirmado para o  $\delta^{15}\text{N}$ , embora a variação para esse fator não tenha sido gradual.

Em relação ao estrato herbáceo, na mata, as folhas da vegetação arbórea tiveram um  $\delta^{15}\text{N}$  significativamente ( $p < 0,05$ ) mais pesado na média desse compartimento em 1,5 ‰ e não apresentou diferença exclusivamente para as folhas deste estrato. Esse resultado é em parte, consequência da biomassa de folhas ser 2,0‰ mais leves ( $p < 0,05$ ) que a fração madeira. Para as espécies das áreas alteradas, o  $\delta^{15}\text{N}$  foi 1,0‰ mais leve ( $p < 0,05$ ) que a média do próprio estrato herbáceo da plantação de cana-de-açúcar, área que teve o estrato herbáceo analisado para esse fator.

#### 6.4.2. Composição Isotópica do Nitrogênio no Solo

O  $\delta^{15}\text{N}$  na matéria orgânica do solo superficial se apresentou sem diferença entre as áreas estudadas com 6,3, 6,4 e 7,8‰ na mata, pastagem e plantação de cana-de-açúcar respectivamente. Na vegetação, a abundância de  $^{15}\text{N}$  reflete mais estritamente a história recente desse elemento no solo, enquanto no próprio solo, principalmente em profundidade, ela reflete mais uma história em longo prazo (Emmett *et al.*, 1998). Com aumento da profundidade do solo, o N está gradativamente mais associado aos estoques inativos da MO, associados à fração mineral e/ou compondo a estrutura do solo. Desta forma, enquanto a vegetação, através da absorção do estoque lábil, tende a apresentar um  $\delta^{15}\text{N}$  mais aproximado do montante ativo do N, recém incorporado ao solo pela mineralização, os horizontes do solo tendem a guardar em si uma assinatura isotópica que talvez reflita a da vegetação pretérita (Emmett *et al.*, 1998).

Embora pouco claro, o estudo do comportamento isotópico para o N diante da passagem da serrapilheira para a matéria orgânica do solo aponta para o enriquecimento da MO em  $^{15}\text{N}$  (Kitayama e Iwamoto, 2001). Durante o decaimento da biomassa é acrescida ao solo uma MO mais pesada (Emmett *et al.*, 1998; Kitayama e Iwamoto, 2001). Para o estudo realizado por Kitayama e Ywamoto (2001) em uma floresta tropical em Borneo, o aumento dos valores do  $\delta^{15}\text{N}$  esteve diretamente associado ao avanço do processo de decomposição, sendo também

crescente ao longo de um perfil de solo. Esse padrão também é reportado por Piccolo *et al.* (1996) para uma seqüência entre uma pastagem e uma floresta na Amazônia. Esse processo pode explicar a elevação percebida para o  $\delta^{15}\text{N}$  na mata, entre as folhas e a serrapilheira e entre esta última e o topo do solo quantificada em 1,4 e 5,6‰ (Fig. 17).

Nas áreas alteradas, foi observada, contudo, uma tendência contrária. Para a serrapilheira, a seletividade no processo de decomposição evidenciada neste estudo pelo maior  $\delta^{13}\text{C}$  nesse compartimento do que na vegetação, também pode ser usada como explicação para o enriquecimento do  $\delta^{15}\text{N}$  na camada de serrapilheira em relação às folhas na mata. Na mata, as folhas da vegetação arbórea mostraram-se mais leves do que a fração folhas e o total da serrapilheira, 1,8‰ e 1,4‰ respectivamente (Fig. 17). Ao contrário, nas gramíneas C4 do estrato herbáceo graminóide, vegetação predominante das áreas alteradas, o  $\delta^{15}\text{N}$  apresentou-se mais pesado que a camada de serrapilheira graminóide de ambas as áreas alteradas, em 2,5‰ e 1,0‰ na pastagem e plantação de cana-de-açúcar, respectivamente. Esta inversão, entre o enriquecimento na biomassa C3 e o empobrecimento na biomassa C4, quando se compara a biomassa viva com a serrapilheira pode ser relacionada, tal como para o  $\delta^{13}\text{C}$ , à diferença na composição bioquímica dessas plantas e a diferenças na seletividade do processo de decomposição para esses compostos.

Enquanto nas plantas C4 (gramíneas) a celulose tem uma proporção maior que a lignina, nas plantas C3 a lignina prevalece ainda que em menor intensidade. Possíveis diferenças no  $\delta^{15}\text{N}$  entre a lignina e a celulose não são comumente reportadas, mas a exemplo do estudo de Schweizer *et al.* (1999) que verificaram a celulose com menor  $\delta^{13}\text{C}$  que a lignina, pode se supor, contudo, um padrão similar para o  $\delta^{15}\text{N}$ .

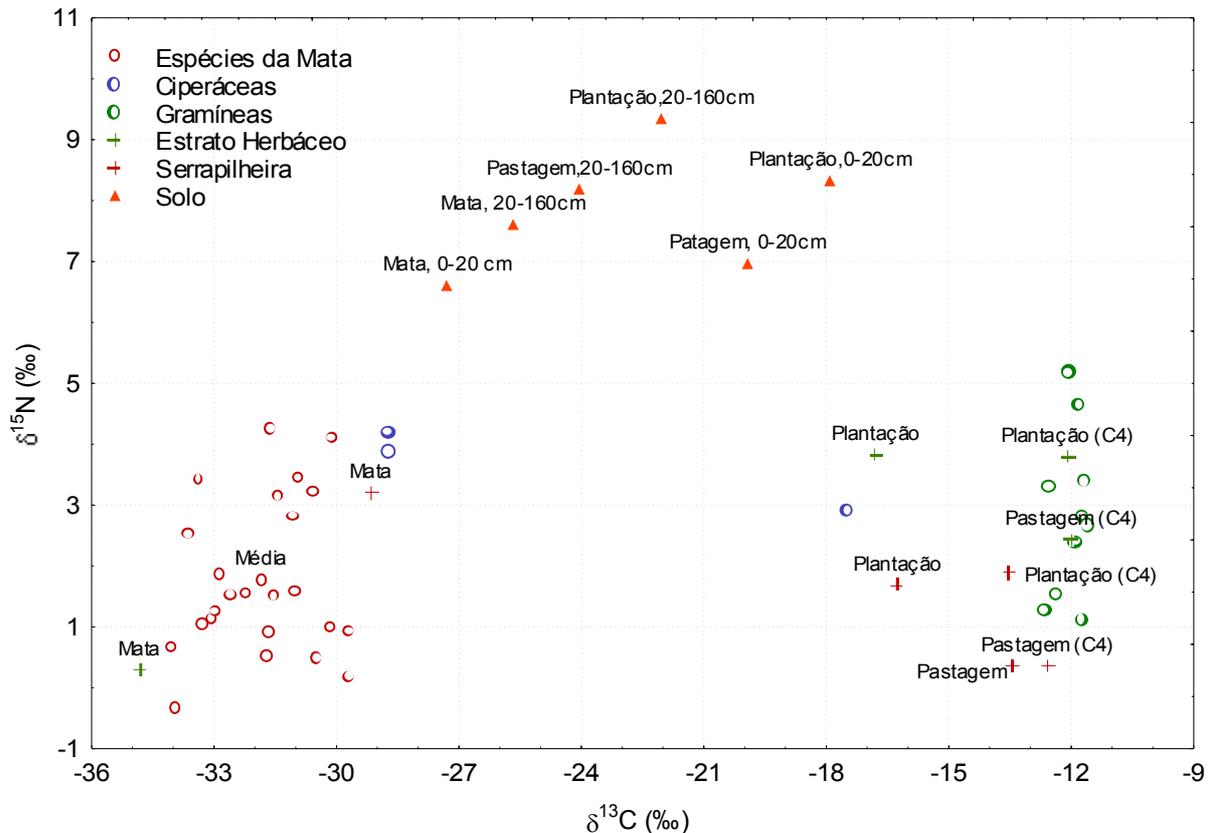


Figura 17:  $\delta^{13}\text{C}$  vs.  $\delta^{15}\text{N}$  na vegetação, estrato herbáceo, serrapilheira e no solo (0 a 20 e de 20 a 160 m) em uma Mata Atlântica na Serra do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da Terra.

Neste estudo, indícios de uma biomassa com diferente qualidade no que se refere à presença do nitrogênio, ficaram evidentes pela elevada razão C:N encontrada nas áreas degradadas. Na pastagem e na plantação de cana-de-açúcar, o C:N médio da serrapilheira foi perto de cinco vezes maior do que na mata. A decomposição de uma biomassa escassa em nitrogênio, exige da fauna microbiana, a aquisição de frações complementares de nitrogênio, entre outros nutrientes, de estoque adjacentes (Vitousek e Sanford, 1986). Esse processo, freqüentemente verificado através do enriquecimento da biomassa durante a decomposição para o nitrogênio total, pode estar levando a aproximação da composição isotópica da serrapilheira das áreas degradadas àquela do solo, mais empobrecido em  $^{15}\text{N}$ . Este fato pode também explicar a alteração do  $\delta^{15}\text{N}$  da serrapilheira durante a decomposição.

A relação entre o enriquecimento do  $\delta^{15}\text{N}$  e o grau de recalcitrância da MO, sugerida por Kitayama e Ywamoto (2001), foi verificada para os solos estudados. A correlação entre o  $\delta^{15}\text{N}$  e a C:N foi significativamente negativa ( $p < 0,02$ ) para a mata e a pastagem. Nos primeiros 0,20 m do solo a intensa elevação para o  $\delta^{15}\text{N}$  que foi igual a 1,8 ‰ na mata e 3,0‰ nas áreas alteradas, deu-se na mesma faixa de solo onde o decaimento da MO foi maior, verificada aqui pela abrupta redução na razão C:N. Para a profundidade entre 0,50 e 1,60 m, as áreas mostram diferentes padrões para a variação do  $\delta^{15}\text{N}$ . Enquanto a mata tem seus valores relativamente estabilizados a partir dessa profundidade, as áreas alteradas mostram uma redução do  $\delta^{15}\text{N}$  associado ao solo que chegou a 10,2‰ a 0,20 m na plantação de cana-de-açúcar, levando as três áreas a apresentarem a 1,60 m de profundidade um  $\delta^{15}\text{N}$  semelhante, entorno de 7,8‰ (Apênd. 6). A exemplo do  $\delta^{13}\text{C}$ , esse fato pode ser interpretado como um indicativo de que no passado as áreas eram cobertas por vegetações equivalentes e que hoje, diante dos perfis aqui analisados, predomina nas áreas alteradas uma mistura da biomassa de origem florestal, mais decomposta, com a biomassa de origem graminóide, menos decomposta.

Para a plantação de cana-de-açúcar, a falta de relação entre  $\delta^{15}\text{N}$  e C:N pode ser resultado da mineralização intensa e imediata promovida pela queima, levando a entrada no solo de uma biomassa trabalhada não trabalhada biologicamente. Contudo, diferenças na textura e no conteúdo de argila dos solos, fatores fortemente influentes na decomposição, devem ser considerados. Na mata e na pastagem, a área superficial mostrou-se maior que na plantação de cana-de-açúcar.

Para Kitayama e Ywamoto (2001) a relação entre a profundidade do solo e a elevação no  $\delta^{15}\text{N}$  é inerente ao aumento do grau de recalcitrância da MO nessa mesma direção. Com aumento da profundidade é esperado um aumento no retrabalhamento da MO e conseqüentemente um decréscimo da razão C:N. Os padrões de distribuição da concentração do  $\text{NH}_4^+$  e do  $\text{NO}_3^-$  também podem diferenciar em relação ao tipo de vegetação dominante (Neill *et al.*, 1999). Esses autores detectaram que as diferenças nas fontes e nas vias de mineralização do nitrogênio levam, no estoque do mineral do solo, a predominância de  $\text{NH}_4^+$  em áreas cobertas por pastagem e do  $\text{NO}_3^-$  em áreas de florestas.

Florestas tropicais tendem a um aproveitamento de nutrientes mais otimizado, mostrando, mais que outros ambientes, uma ciclagem fechada de nutrientes

(Jordan, 1989). Uma decomposição mais acoplada ao processo de absorção promovida, por exemplo, pela ação de fungos micorrizos como ressalta Kitayama e Iwamoto (2001), tendem a reduzir a necessidade de fixação de N atmosférico, reduzindo as diferenças no  $\delta^{15}\text{N}$  entre a vegetação, a serrapilheira e o solo. Este fato pode explicar a menor diferença entre os valores do  $\delta^{15}\text{N}$  na mata quando comparado com as demais áreas estudadas. A ciclagem de nutrientes associada ao processo de fracionamento isotópico, pode estar promovendo a preservação de estoques mais leves, em detrimento àqueles estoques mais ricos em  $^{15}\text{N}$ , que podem estar sendo perdidos tanto por desnitrificação quanto por lixiviação.

#### 6.5. As Diferenças na Matéria Orgânica Alteram a Fertilidade do Solo?

Solos relacionados à Mata Atlântica são em geral ácidos como mostra os dados obtidos na literatura e apresentado na Tabela 12. Os solos estudados na Serra do Imbé acompanharam essa tendência, ainda que os valores encontrados se mostrem na faixa superior da variação encontrada para alguns solos de Mata Atlântica. Solos da Floresta da Tijuca, RJ, por exemplo, mostram uma variação de pH entre 2,4 e 4,4 (Clevelario Júnior, 1996; Kindel e Garay, 2002 e Silva-Filho *et al.*, 1986).

Para o solo superficial (0 a 0,10 m) nas áreas estudadas na Serra do Imbé, a mata com 4,7, apresentou menor o pH, seguido da pastagem com 5,3 e da plantação de cana-de-açúcar, menos ácido com 5,9. Em estudo anteriormente realizado na mesma região, Mazurec (1998) encontrou pH igual a 5,0 para um solo superficial (0 a 0,10 m) numa Mata Atlântica a 250 m. Nesse mesmo estudo foi encontrado um valor ainda mais ácido (3,6) na mesma área de mata (50 m) do estudo (Mazurec, 1998, Tab. 13). Variações sazonais e mesmo anuais podem explicar a diferença encontrada entre o primeiro estudo com  $34 \text{ mg g}^{-1}$  de C (Mazurec, 1998) e o atual com  $30 \text{ mg g}^{-1}$ .

Ao longo de todo perfil, a distinção encontrada para o pH no solo superficial se mantém. Entretanto, a diferença entre a mata e a pastagem que na superfície foi de quase uma unidade de pH, com o aprofundamento do perfil, caiu para menos 1/5 unidade. Entre a pastagem e a plantação de cana-de-açúcar a diferença se mostrou

constante ao longo de todo perfil, em torno de  $\frac{1}{2}$  unidade de pH. As áreas também se diferenciaram pela extensão da variação ao longo do perfil (Apênd. 4).

Bramley *et al.* (1996) estudando os efeitos de monoculturas de cana-de-açúcar na Austrália encontraram um padrão inverso, onde maior tempo de cultivo levou a aumento da acidez, reduzindo com isso a fertilidade e aumentando a possibilidade de ataque de patógenos. Tanaka *et al.* (1997) também verificou o aumento da acidez potencial com cultivo continuado, porém, relacionou o aumento do pH com a entrada de cinzas, após a passagem do fogo. Na plantação de cana-de-açúcar, o elevado pH pode ser também explicado pela calagem, efeito largamente relatado na literatura para esse tratamento e confirmado em Camargo *et al.* (1997)

Os valores de pH foram comparados com os teores de MO no solo (Fig. 18), e a correlação significativamente positiva ( $p < 0,01$ ) somente foi verificada para as áreas alteradas. Na mata, a pouca variação do pH ao longo da variação do C, associado ao aumento da profundidade, pode ser interpretada como uma propriedade da MO específica dessa área, uma vez que esta não difere para o conteúdo de C elementar da pastagem. A correlação entre o conteúdo de C e o pH mostrou-se significativa nas áreas alterada e pela inclinação positiva da reta confirma a dependência do pH ao conteúdo de MO (Fig. 18). Na plantação de cana-de-açúcar, com maior tempo de desmatamento, a maior inclinação da reta pode esta indicando a ocorrência do efeito alcalinizador atribuído a prática da queimada por Tanaka *et al.* (1997).

O pH mais ácido leva a mobilização dos cátions pela adição de  $H^+$  e a ativação dos íons de  $Al^{3+}$  elevando com isso acidez. Contudo, a presença da MO, tende a reduzir os efeitos provocados pelas variações desses fatores (Stevenson, 1994). A MO desempenha em solos ácidos um papel tanto na retenção dos nutrientes que serão disponibilizados gradativamente durante seu processo de decomposição, quanto na oferta de cargas trocáveis em sua superfície. Em sua estrutura coloidal, as partículas de MO expõem na superfície uma série de grupos funcionais, provendo a MO a capacidade de dissociar-se de prótons em uma ampla faixa de pH (Canelas, 1999; Stevenson, 1994).

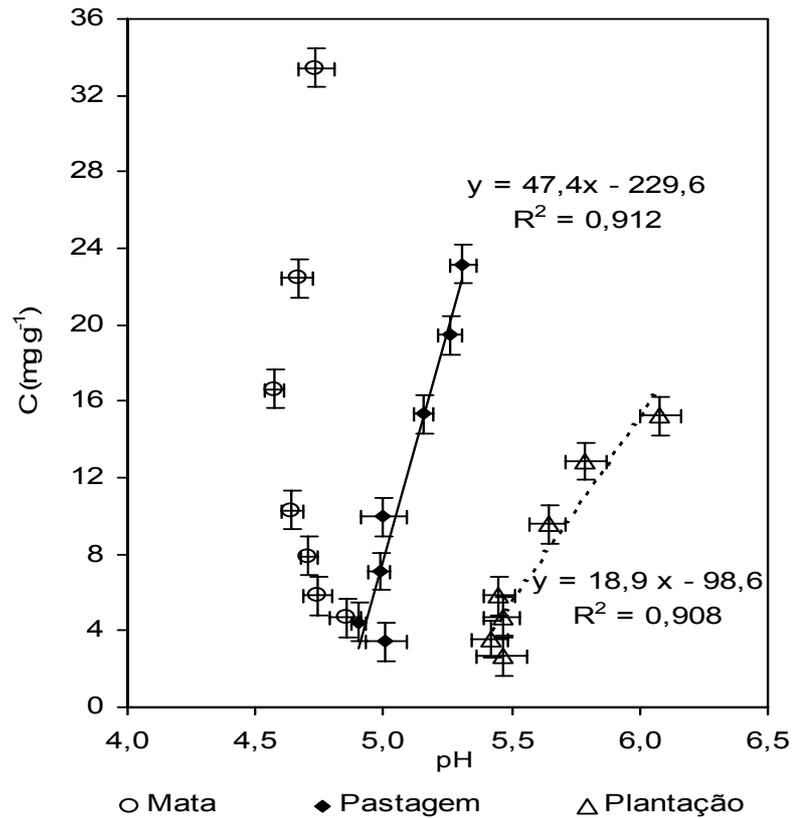


Figura 18: Regressão entre o conteúdo de C ( $\text{mg g}^{-1}$ ) e o pH ( $p < 0,01$  – linha contínua para pastagem e interrompida para plantação de cana-de-açúcar) do solo ao longo do perfil (0 a 1,60 m) em uma Mata Atlântica na Serra do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da Terra.

Os valores da acidez potencial (A.T.),  $[\text{H}^+] + [\text{Al}^{3+}]$ , para as áreas estudadas, podem ser consideradas dentro da variação reportada para solos de Mata Atlântica que vai desde 0,1 a 3,1  $\text{mg g}^{-1}$  (Oliveira-Filho *et al.*, 1986; Varjabedian *et al.*, 1988 - Tab. 12). A mata e principalmente a pastagem tiveram uma variação mais intensa até 0,20 m de profundidade, chegando a última área a uma variação de 15,2  $\text{mmol}_c \text{dc}^{-3}$  entre 0 e 0,50 m de profundidade (Fig. 8 e Apênd. 5).

Tabela 13: Características do solo superficial: pH, concentração de cátions, Acidez Trocável (Ac. P.) e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) ( $\text{cmol}_c \text{dc}^{-1}$ ) em outras áreas de Mata Atlântica.

Características do Solo em Outras Matas Atlânticas										
Local	Tipo de	Prof (m)	pH	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup> ( $\text{cmol}_c \text{dc}^{-3}$ )	Mg <sup>2+</sup>	A. T.	CTC	Referências
Sudeste do Brasil										
(Campos, RJ)	Mata Atlântica	0 – 0,10	4,7	0,22	0,03	0,98	0,50	1,06	2,8	Este Estudo
	Pastagem	0 – 0,10	5,3	0,16	0,03	0,68	0,55	1,29	2,7	
	Plantação	0 – 0,10	5,9	0,20	0,01	1,33	0,55	0,10	2,2	
	Atl. de enc (250 m)	0 – 0,10	5,0	0,28	0,17	0,77	0,74	2,62	4,6	Mazurec (1998)
(São Francisco de Itabapoana, RJ)	Tabuleiro (Clareira)	0 – 0,05	5,8	0,03	–	0,87	0,14	–	–	Aragão (2000)
		5 – 0,10	5,5	0,03	–	0,49	0,14	–	–	
	Tabuleiro (Mata)	0 – 0,05	5,5	0,02	–	0,45	0,10	–	–	
		5 – 0,10	4,9	0,02	–	0,27	0,80	–	–	
(P.N. Tijuca, RJ)	Atl. de encosta sec.	0 – 0,03	3,9	0,13	0,05	–	–	1,15	1,2	Oliveira-Filho <i>et al.</i> (1986)
		0,03 – 0,15	4,1	0,11	0,05	–	–	0,87	0,9	
		0,15 – 0,25	4,4	0,09	0,04	–	–	0,57	0,6	
	Atl. de encosta sec.	> 0,25	4,6	0,26	0,03	–	–	0,44	1,0	
(Guarujá, SP)	Atl. de encosta sec.	–	2,4	0,12	0,07	0,36	0,21	–	–	Clevelario Júnior (1996)
	Atl. de encosta	–	3,1	0,02	–	0,06	0,03	3,14	3,3	Varjabedian <i>et al.</i> (1988)
	Atl. de encosta	–	3,3	0,03	–	0,06	0,03	2,53	2,7	
	Atl. de encosta	–	3,9	0,03	–	0,05	0,04	2,53	2,7	
(Ilha do Cardoso, SP)	Atl. de encosta	0,0 – 0,15	3,2	0,19	0,14	0,51	0,8	–	4,7	Moraes <i>et al.</i> (1999)
	Atl. de encosta	0,15 – 0,30	4,2	0,09	0,10	0,19	0,4	–	3,7	
	Atl. de encosta	0,30 – 0,50	3,6	0,10	0,11	0,06	0,3	–	3,7	

Atl. = Mata Atlântica; séc. = secundária;

A acidez, ao lado de fatores ligados a mineralogia, como a textura, são tidos como de forte influência nas características do solo (Funakawa *et al.*, 1997; Oliveira Filho *et al.*, 2001; van Noordewijk *et al.*, 1997). A acidez particularmente tem forte influência nas características químicas e tem por sua vez considerável relação com o conteúdo de MO e com as características pedogênicas do solo (dos Anjos *et al.*, 1999; Funakawa *et al.*, 1997). Nas áreas estudadas, a maior variação para esse fator se deu até 0,50 m. Nesse intervalo, enquanto a mata apresentou valor semelhante a pastagem no topo, em torno de  $9 \text{ mmol}_c \text{ dc}^{-3}$ , apresentou a 0,20 m em torno da metade daquele reportado para a pastagem, com 14,4 e  $25,5 \text{ mmol}_c \text{ dc}^{-3}$ , respectivamente (Apênd. 5). Nessas áreas, o maior conteúdo de MO nos solos podem explicar em parte, a maior homogeneidade para a A.T. na mata em relação a pastagem.

Com um elevado conteúdo de cargas trocáveis em sua superfície, que proporcionam um tamponamento para a variação de cátions no solo, a MO tende a reduzir a variação não só da acidez trocável, quanto também para o pH (Canellas *et al.*, 1999). A decomposição mais intensa da biomassa das gramíneas leva a uma maior acidificação do solo, verificada na pastagem pela maior oscilação não só da A.T., mas também no pH. Baixos valores da acidez trocável e o elevado pH são típicos efeitos do tratamento por calagem (Camargo *et al.*, 1997). Entre o topo e 1,60 m, a plantação de cana-de-açúcar praticamente não teve variação na A.T. ( $1,9 \text{ mmol}_c \text{ dc}^{-3}$ ) com valores sempre abaixo de  $3,2 \text{ mmol}_c \text{ dc}^{-3}$ . Em razão dos efeitos físico-químicos desse tratamento, as inferências quanto a alterações promovidas exclusivamente pela mudança no uso da terra ficam prejudicadas em relação a essa área. Contudo, a diferença entre a pastagem e a plantação de cana-de-açúcar abaixo do horizonte superficial é evidente. Para um outro estudo em Mata Atlântica, na Floresta da Tijuca, RJ, Oliveira-Filho *et al.* (1987) reportam valores semelhantes aos observados na superfície na mata na Serra do Imbé, contudo há uma tendência inversa, com horizontes mais profundos mostrando menores teores de  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+$  (Tab. 12).

Em comparação a outros solos de Mata Atlântica, as áreas estudadas na Serra do Imbé, mostraram-se na faixa superior para a variação encontrada para  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e principalmente  $\text{Ca}^{2+}$ . (Tab. 12). Em relação às mudanças no uso da terra, os valores reportados para os solos na Serra do Imbé não apresentaram diferenças nítidas entre as áreas estudadas para superfície, exceto para  $\text{Na}^+$ , com maior participação na mata e na pastagem do que na plantação de cana-de-açúcar. Para a

profundidade, o  $K^+$  apresentou-se distinto abaixo de 0,50 m na mata em relação às demais áreas, onde teve maior concentração. O  $Ca^{2+}$  apresentou maior concentração abaixo de 0,20 m na plantação de cana-de-açúcar do que nas demais áreas (Apênd. 5).

Para o  $K^+$  e o  $Ca^+$  os efeitos da calagem como recuperadora da fertilidade podem se tornar diversos (Camargo *et al.*, 1997). O  $K^+$  é um elemento de certa mobilidade em solos ácidos, sendo desta forma susceptível a lixiviação em solos com baixa troca de cátions. A calagem tende a reduzir a mobilidade desse elemento, reduzindo sua perda para regiões profundas do solo. Contudo em ambientes onde há uma escassez desse elemento, o mesmo mecanismo pode levar a redução da sua disponibilidade para a planta (Camargo *et al.*, 1997). Para o  $Ca^{2+}$ , a calagem eleva comprovadamente a sua disponibilidade. O excesso desse elemento no solo pode gerar um efeito negativo pela redução do  $Mg^{2+}$  para a planta, uma vez que esses elementos competem por sítios de troca nos pelos radiculares.

Em estudos abordando a variação dos parâmetros ecológicos em profundidade, apresentados para outras áreas de Mata Atlântica de tabuleiro no Norte Fluminense (Aragão, 2000) e de Mata Atlântica de Encosta (Silva-Filho *et al.*, 1987) verificou-se diferença nos teores de  $K^+$  e  $Ca^{2+}$  que decresceram com aumento da profundidade. Em nosso estudo, o  $Ca^{2+}$  trocável esteve nas três áreas mais abundante no solo superior onde variou de 0 a 0,50 m de 2 a 16  $mmol_c\ dc^{-3}$ , do que em profundidade, quando variou de 0,50 a 1,60 m de 1 a 6  $mmol_c\ dc^{-3}$  (Apênd. 5). Este fato se deve a esse elemento, na forma solúvel, ter a sua maior fonte na mineralização da biomassa e a sua mobilidade relativamente menor no solo e na pastagem. Tanaka *et al.* (1997) também encontraram uma tendência similar para esse elemento e Camargo *et al.* (1997) reportam o aumento deste elemento relacionado a adição de calcário e dolomita.

A capacidade de troca catiônica (CTC), para a mata estudada na Serra do Imbé, esteve dentro da variação encontrada para outras áreas de Mata Atlântica (Tab. 12). Em um estudo anterior numa área de mata a 250 m de altitude na Serra do Imbé, Mazurec (1998) reporta a CTC ligeiramente acima dos valores obtidos para a mata neste estudo. Entretanto, para camadas superficiais do solo, comparações entre a concentração de nutrientes em diferentes estações do ano, como nesse caso, devem ser vistas com cautela. A serrapilheira, por exemplo, principal fonte de nutrientes para solos de florestas tropicais (Tiessen, Cuevas e Chacon, 1994), apresenta picos sazonais de queda e decomposição, provocando oscilações na

concentração de cátions no solo superficial ao longo do ano, fato este verificado para a Serra do Imbé (Mazurec, 1998). Oscilações sazonais na concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  no solo superficial são apresentadas por Aragão (2000) estudando uma mata de tabuleiro em São Francisco de Itabapoana (RJ), onde a concentração em uma área de mata fechada se mostrou maior no final da estação chuvosa (Março) do que no auge da estação seca (Julho).

Assim como para os cátions distintamente, as áreas estudadas somente mostraram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para CTC nos camadas inferiores, abaixo de 0,20 m. Com uma matriz mineral com avançada intemperização, solos tropicais tendem a apresentar em adição a uma elevada concentração de  $\text{Al}^{3+}$  e uma reduzida disponibilidade de cargas de superfície na fração mineral, levando ao aumento de cátions livres na solução do solo (da Silva, 1996, Camargo *et al.*, 1997). Esta tendência é ainda aumentada em solos onde predomina o baixo pH, onde o aumento de  $\text{H}^+$  livres na solução do solo competem pelos sítios de ligação, provendo aos cátions alta susceptibilidade a lixiviação. Em contraposição, a matéria orgânica tende a suprir as cargas de superfície, garantindo assim alguma capacidade de retenção de cátions (Stevenson, 1994). A diminuição da CTC correlacionada positivamente ao teores de C ao longo do perfil de solo justifica a importância da contribuição da MO nas propriedades eletroquímicas do solo (Canellas *et al.*, 1999).

O efeito tamponante da MO explica assim a semelhança na CTC na superfície para os solos estudados, semelhança essa que desaparece junto com a redução da participação da MO ao longo do perfil. Nos primeiros 0,50 m, a disponibilidade de todos os cátions estudados e do fosfato cai drasticamente, junto com o conteúdo de MO. Com o aumento da profundidade, as áreas se diferenciam para a CTC, tendo a mata valores intermediários, a pastagem valores mais elevados e a plantação de cana-de-açúcar, mesmo após calagem, baixo valores para a CTC. Bramley *et al.* (1996) estudando os efeitos da monocultura de cana-de-açúcar na fertilidade do solo, apresentam marcada redução na CTC do solo ao longo de todo perfil (0,80 m) associado ao maior tempo de uso do solo.

A regressão entre a concentração de C e a CTC (Fig. 19) mostrou uma forte correlação positiva ( $p < 0,01$ ) na mata e na plantação de cana-de-açúcar. Com o conteúdo de C total mostrando valores similares para as áreas estudadas, uma MO com características diferenciadas pode explicar as correlações encontradas para os nutrientes estudados e para a CTC (Apênd. 9). Esta afirmação é corroborado pela composição integral da MO de origem C3 na mata contra partilha entre C3 e C4 na

pastagem e mais ainda na plantação de cana-de-açúcar. Outra característica diferenciadora das áreas quanto a MO foi a maior razão C:N na mata quando relacionada com a plantação de cana-de-açúcar, indicando nesse caso possivelmente uma MO menos decomposta nessa última área.

Contudo, outros fatores ativos na fertilidade do solo e que se diferenciaram entre as áreas devem ser considerados na determinação da CTC. Como já mencionado, enquanto o pH mostrou um gradiente com a mata apresentando menores valores, seguido da pastagem e da plantação de cana-de-açúcar, a área superficial do solo indicou um solo mais grosseiro na plantação de cana-de-açúcar do que a mata e a pastagem, semelhantes entre si.

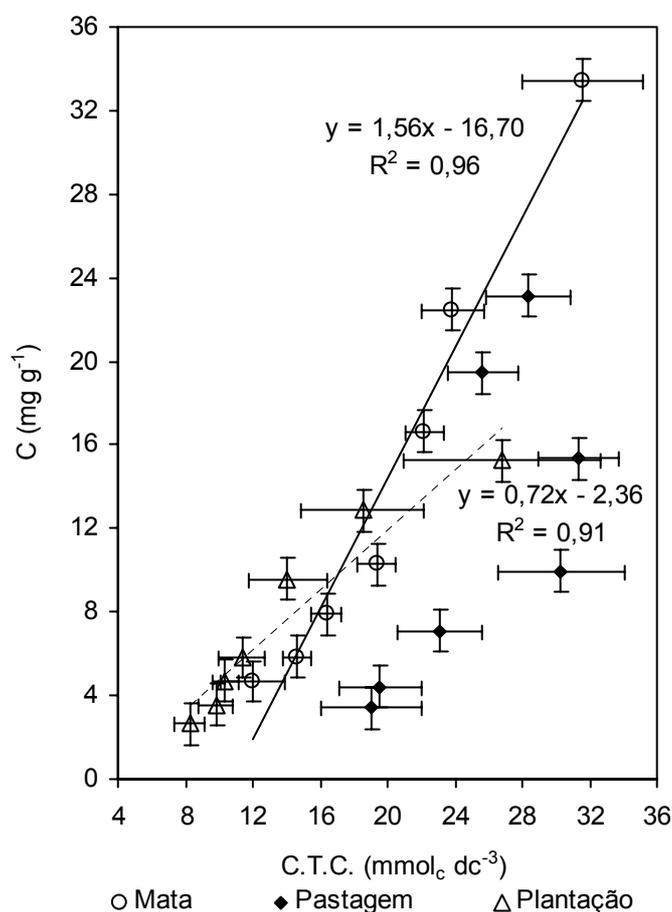


Figura 19: Regressão entre o conteúdo de C ( $\text{mg g}^{-1}$ ) e a CTC ( $\text{cmol}_c \text{dc}^{-3}$ ,  $p < 0,01$  – linha contínua para mata e interrompida para plantação de cana-de-açúcar) ao longo do perfil de solo (0 a 1,60 m) em uma Mata Atlântica na Serra do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da Terra.

Na pastagem a elevada CTC é consequência da acidez trocável, que abaixo de 0,20 m de profundidade chega a contribuir com mais de 80% desse fator. Na plantação de cana-de-açúcar, a queima pré-colheita pode estar levando a disponibilização imediata dos nutrientes, como reportado por Tanaka *et al.* (1997). Contudo, nessa área a calagem é determinante no controle dos cátions e na correlação da concentração do C (Fig. 19). O aumento da CTC como consequência da calagem é bastante bem documentada na literatura e é mais uma vez confirmada por Camargo *et al.*, (1997).

As áreas não se diferenciaram quanto à concentração de fósforo para o solo superficial (0 a 0,10 m), tendo verificado na mata e na pastagem uma concentração ligeiramente menor (5,0 mg dc<sup>-3</sup> e 4,6 mg dc<sup>-3</sup>) quando comparada à na plantação de cana-de-açúcar (6,2 mg dc<sup>-3</sup>). Ao longo do perfil, verificou-se uma elevada variação do fósforo e um comportamento distinto para as três áreas, mas no geral, nos primeiros centímetros, as áreas apresentaram uma abrupta queda dos valores.

Na mata, a concentração de fósforo se manteve entre 4,8 e 4,6 mg dc<sup>-3</sup> até 0,20 m e teve reduzidos valores de 0,50 a 1,60 m (em torno de 2,5 mg dc<sup>-3</sup>). Na pastagem foi observada uma redução mais pronunciada do fósforo, que caiu de 5,6 mg dc<sup>-3</sup> para 2,3 mg dc<sup>-3</sup> de 0 a 0,20 m e gradual aumento até 1,60 m (4,5 mg dc<sup>-3</sup>). O plantação de cana-de-açúcar, que teve uma queda gradual abaixo da superfície e teve o menor valor entre 100 e 160 (em torno de 3,2 mg dc<sup>-3</sup> – Fig. 9 e Apênd. 9). Como os demais parâmetros, a maior variação do fósforo acompanha a queda do C elementar, contudo abaixo da superfície um conjunto de fatores podem estar atuando na determinação do comportamento desse fator.

Tradicionalmente a disponibilidade de P em solos altamente intemperizados, como os solos tropicais, é vista como dependente dos processos biogeoquímicos (Rheinheimer *et al.*, 1999). No solo, o conteúdo de matéria orgânica interfere nas concentrações desse elemento, ou pela liberação gradativa de formas lábeis de fósforo, ou mais ativamente, por interferências no pH (Rheinheimer *et al.*, 1999). Para as áreas estudadas, a mata e a plantação de cana-de-açúcar tiveram uma correlação significativamente positiva ( $p < 0,05$ ) entre o conteúdo de C e a concentração de fósforo, tendo para a mata uma queda mais gradual desse ânion com a redução do conteúdo de C, quando comparado a plantação (Fig. 20 a).

A molécula de fósforo mostra-se bastante acessível a adsorção às partículas de argilo-minerais e principalmente a íons de Fe<sup>3+</sup> e Al<sup>3+</sup>, sobretudo em solos com

pH abaixo de 6,0 (da Silva, 1996). Entre pH 2 e 7, o fosfato se encontra na forma divalente ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ), principal forma de P inorgânico em solos ácidos. Desta forma, a exposição de cargas variáveis durante o processo de decomposição e o tamponamento do pH providos pela MO, garantem a disponibilidade continuada do fosfato em solos muito intemperizados e ricos em argilo-minerais. Por este fato, as concentrações de fosfato respondem pouco às variações de pH nessa faixa (McGill e Cole, 1981). Na plantação, por ter sofrido correção, o solo se encontra numa faixa de pH mais próxima do neutro, numa faixa de mudança de forma do fosfato de  $\text{HPO}_4^{2-}$  para  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Nessa faixa, o fosfato aumenta o seu potencial de troca, proporcionando maior variação na solubilidade associada a pequenas mudanças no pH (Rheinheimer *et al.* 1999).

Práticas de cultivo levam ao declínio no P extraível (Funakawa *et al.*, 1997; McGill e Cole, 1981), mas a elevada concentração de fosfato no solo superficial na plantação de cana-de-açúcar, também pode ser atribuída ao efeito da imediata mineralização dos elementos durante a queima da matéria orgânica. Mesmo que uma parte do P seja perdida durante a queima por exportação na forma de cinzas, é reportado o aumento em curto prazo, da concentração de fosfato no solo, prontamente disponibilizados após a passagem do fogo (Romanya *et al.*, 1994). Esses autores detectaram uma diferença para um solo superficial (0 a 0,025 m), de 78% entre uma área queimada e uma área controle, e atribuem essa diferença principalmente ao aumento do P inorgânico.

Ao longo dos 0,20 m superficiais, houve uma redução de aproximadamente metade do fosfato disponível no topo do solo. A disponibilidade de P no solo é tido como um fator limitador da produtividade vegetal em florestas tropicais (Rheinheimer *et al.*, 1999; Vitousek e Sanford, 1986). Fungos micorrízicos somados a uma complexa rede radicular distribuída na superfície do solo são colocados como um forte elemento de integração planta-solo durante a ciclagem de nutrientes nesses ecossistemas, sobretudo no que se refere ao fósforo, citado como um elemento de baixa mobilidade (Jordan, 1989). Um sistema radicular desenvolvido proporciona uma absorção mais intensa na superfície dos nutrientes. Em áreas degradadas, a rede radicular-micorrízica é perdida junto com a retirada da floresta.

Nas áreas degradadas, também se pode atribuir a redução dos valores de fosfato trocável nos primeiros centímetros do solo, a precipitação dos elementos disponíveis para camadas inferiores. A rápida decomposição da MO na pastagem e

a mineralização por queima na plantação de cana-de-açúcar, pode estar contribuindo para a entrada de fosfato livre no solo. Com uma cobertura vegetal graminóide e a maior mobilidade, garantida pelo pH acima de 5,0, verificada nessas áreas, o arraste do fosfato precipitado para horizontes mais profundos pode estar sendo facilitada. Este fato talvez explique o aumento do fosfato na pastagem abaixo de 0,50 m, o qual estaria se tornando indisponível em associação com a condição mais argilosa da região. Na plantação de cana-de-açúcar, contudo, o contínuo decréscimo do fosfato ao longo do perfil pode estar associado à acidez (corrigida nessas áreas) em conjunto, com a condição menos argilosa, observada nesta área. De outra forma na mata, a MO pode estar controlando a disponibilidade do fosfato, tendo a acidez um papel secundário no controle do desse íon (Fig. 20 a).

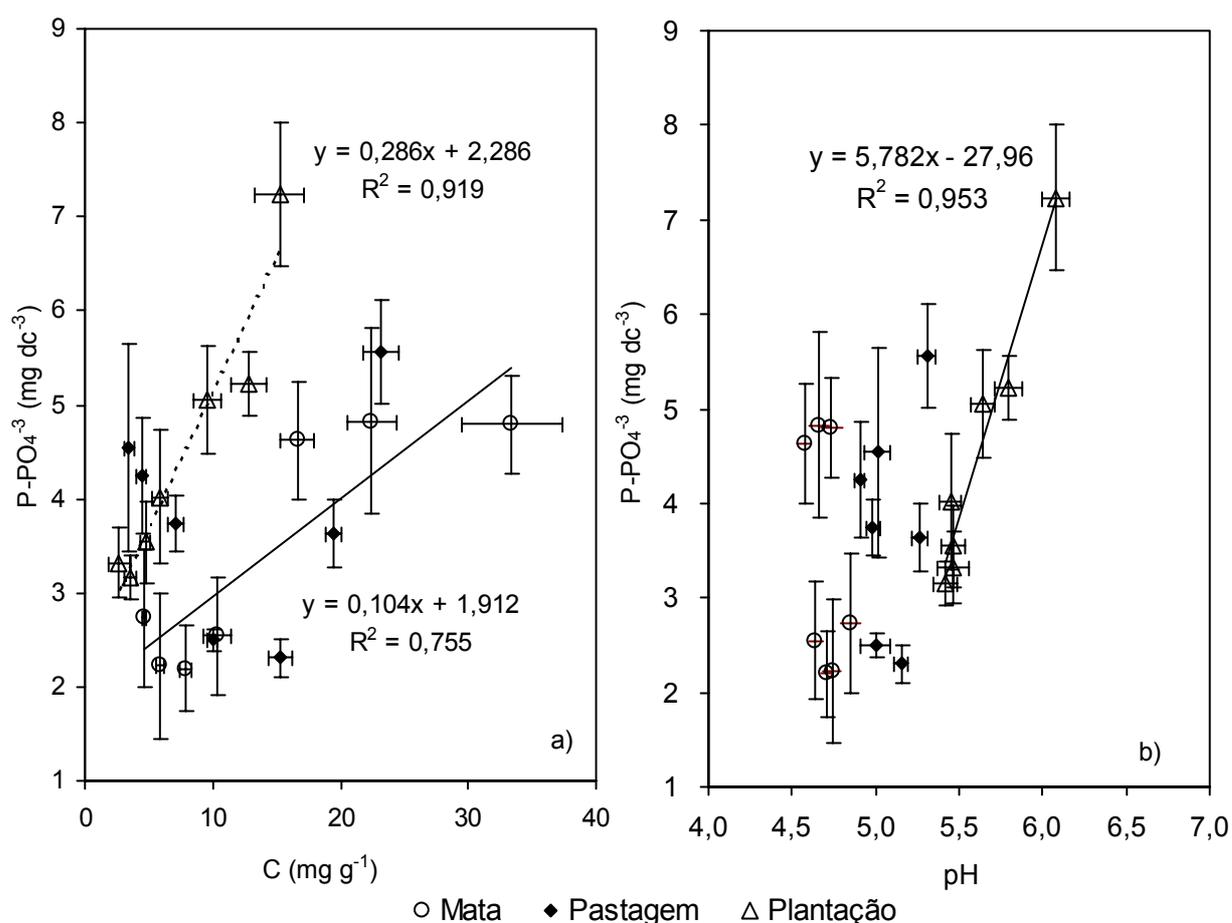


Figura 20: Regressão entre a concentração de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (mg dc<sup>-3</sup>) e (a) C (mg g<sup>-1</sup>,  $p < 0,01$  – linha contínua para mata e interrompida para pastagem) e (b) pH ( $p < 0,01$  – linha contínua para plantação) ao longo do perfil (0 a 1,60 m) em uma Mata Atlântica na Serra do Imbé, RJ, submetida a diferentes usos da terra.

São reportados na literatura diversos efeitos para a queima do solo em áreas cultivadas (Funakawa *et al.*, 1997; Neill *et al.*, 1997; Romanya *et al.*, 1994; Tanaka *et al.*, 1997). Os efeitos da queima para o solo dependem essencialmente, da temperatura a que chega a combustão. Na plantação de cana-de-açúcar, a prática de manejo e a queima sazonal pré-colheita, gera uma reduzida disponibilidade de serrapilheira sobre o solo e conseqüentemente, as temperaturas da queimada podem não ser tão intensas. A imediata a hidrólise do Al levando a Al (OH<sub>3</sub>) durante a queima, leva alcalinização do solo e a conseqüente liberação de sítios trocáveis. Associado a esse processo, a mineralização instantânea dos elementos retidos na biomassa levam ao enriquecimento do solo superficial. Os íons, principalmente os divalentes (Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>), são prontamente adsorvidos pelas cargas livres e o fosfato transformado da forma orgânica na forma lábil. A disponibilidade dos íons na superfície pode ser rapidamente reduzida pela absorção radicular, mas a falta de uma cobertura vegetal e a desorganização da estrutura de agregados pela perda da MOS, podem levar a rápida perda desses nutrientes para o sistema de drenagem diante das chuvas, levando ao longo do tempo, o declínio dessas culturas.

Quando se compara somente a mata e a pastagem, as diferenças nas condições físico-químicas do solo como pH, A.T. e na CTC, frente à similaridade dos solos para a área superficial e o conteúdo de MO, indicam alterações na qualidade da nova MO adicionada ao solo, confirmada pela composição isotópica do C. O aumento da concentração de fosfato abaixo da superfície na pastagem em relação à mata pode estar indicando uma menor eficiência no aproveitamento desse nutriente com conseqüente lixiviação e precipitação em horizontes inferiores. Essa lixiviação pode estar se dando mais intensamente pela própria mudança na qualidade da MO.

Comparações das alterações relacionadas á fertilidade relacionando essas áreas com a plantação de cana-de-açúcar ficam prejudicadas, mas os resultados reforçam as conseqüências da queimada para a fertilidade do solo. Mas o aumento da capacidade de retenção de cátions indicada aqui pela relação positiva entre o conteúdo de C ao longo da profundidade estudada e a CTC reforça o importante papel desempenhado pela MO na manutenção da fertilidade do solo. Papel não somente desempenhado pela quantidade total de MO, mas também pela qualidade, determinada previamente, pelas fontes dessa MO. Esta afirmação baseia-se aqui, na diferença para a CTC abaixo de 0,10 m entre a mata e a pastagem associada a três

outros resultados: a semelhança para o conteúdo total de C elementar, a semelhança entre as características do solo entre a mata e a pastagem e a participação da MO de origem C4 na pastagem, confirmada pelo mais elevado  $\delta^{13}\text{C}$  nessa área.

#### 6.5.1. Análise de Correspondência para as Variáveis do Solo

A fim de detectar uma correlação entre as variáveis medidas no solo, num total inicial de 18 variáveis e avaliar a importância de cada uma destas, assim como os possíveis gradientes ambientais gerados pelas alterações no uso do solo, efetuou-se Análise de Correspondência para a média das parcelas em cada área para diferentes profundidades analisadas. Para a hierarquização e eliminação das variáveis redundantes efetuou-se Análise do Componente Principal (PCA - StatSoft, Inc. 1998). Para a eliminação usou-se a conjugação de dois critérios: i) a exclusão de variáveis altamente correlatas sendo descartadas por esse critério: umidade, pH, A.T., C total,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ ; e ii) a ordenação das variáveis pela importância acumulada, sendo excluídas aqui: Na e P pela baixa relação com os fatores até então extraídos. Foram usadas nas análises de PCA as seguintes variáveis: A.S. N total,  $\delta^{15}\text{N}$ , DI, Ca e CTC, tendo-se obtido uma porcentagem de variância comum acumulada (autovalor) de 41% e 35% para os fatores 1 e 2 (Factorial Analysis - StatSoft, Inc. 1998). Afim de corrigir as distorções inerentes a método PCA (Kent e Coker, 1992), foi usada a *Detrended Correspondence Analysis* (DCA, DECORANA - Kent e Coker, 1992; PC-Ord, 1997) com as variáveis usadas no método anterior resultando dos autovalores de 0,13 e 0,08 para os fatores 1 e 2. O método DCA foi preferido por ser tido como de menor efeito distorcivo na distribuição dos pontos e das variáveis ao longo dos fatores (Kent e Coker, 1992). Com base na distribuição das variáveis ao longo dos eixos, verifica-se que fertilidade potencial foi a base do relacionamento entre as mesmas, que compuseram três influências distintas: granulométrica (AS), fertilidade ( $\text{Ca}^{2+}$  e CTC) e qualidade da matéria orgânica (C:N, N elementar,  $\delta^{15}\text{N}$  e DI).

Através da DCA, os fatores 1 e 2 resultaram em autovalores de 0,13 e 0,08 respectivamente, não podendo ser, pela própria natureza do cálculo, interpretados como proporções. A distribuição ao longo de um terceiro fator também foi descartada pela baixa explicação que esse ofereceu na distribuição dos pontos (Autovalor <

0,01). A distribuição quadrática das variáveis e dos pontos ao longo do eixo representativo do fator 1 indicam a oposição entre a A.S. e a concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  e o DI (Fig. 21, a). Este fato expressa a redução dos cátions, principalmente  $\text{Ca}^{2+}$  (e  $\text{Mg}^{2+}$  altamente correlacionado a  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $p < 0,05$  - Apênd. 9) com redução da A.S., podendo de outra forma ser vista como conteúdo de argila. A A.S. também está correlacionada positivamente com a A.T. ( $p < 0,05$  - Apênd. 9), também redutora da disponibilidade de cátions. A oposição entre A.S. e  $\text{Ca}^{2+}$  separa com certa clareza as áreas, colocando a mata e a pastagem como áreas mais semelhantes, e destacando o a plantação de cana-de-açúcar como uma área distinta (Fig. 21 a).

Para eixo representativo do fator 2, destaca-se a fertilidade do solo (CTC) em oposição ao grau de decomposição da MO (C:N, Fig. 21 a). Esse gradiente aprimora a segregação das áreas e dentro de cada área, distingue as profundidades. No sentido do eixo 2, destaca-se a associação da fertilidade do solo com o conteúdo de MO, visto aqui pelo N elementar.

A distribuição dos pontos expressa pela DCA e as significativas diferenças obtidas para outros fatores (pH e K e A.T.) coloca as áreas de mata e pastagem como mais similares do que a plantação. A semelhança do conteúdo de C elementar nas três áreas, associada às diferenças na área superficial e nas propriedades químicas e à participação da biomassa C4 (DI) nas áreas degradadas confirma as alterações geradas pela substituição da fonte de MO nas propriedades do solo. Esta constatação é corroborada pela distinção entre as mata e a pastagem, que tem solos similares representado por características já citadas. Pela DCA, esse fato pode ser confirmado agrupamento dos pontos referentes a essas áreas, principalmente com aumento da profundidade (Fig. 21 b).

De uma maneira geral, a DCA mostra que, acima do conteúdo de MO no solo, a fonte de matéria orgânica gera alterações na fertilidade dos solos nas áreas estudadas. Este fato se dá, principalmente na superfície, onde a MO predomina sobre a fração mineral na caracterização do solo. Na representação da DCA este fato fica claro, na maior dispersão dos pontos relacionados à superfície, em especial ao longo do segundo fator (Fig. 21 b). Com o aumento da profundidade há redução da participação da MO na estrutura do solo. Nesse sentido, reduzem também as diferenças entre as áreas, principalmente entre a mata e a pastagem, visto aqui pela redução da dispersão entre os pontos a cada área (Fig. 21 b).

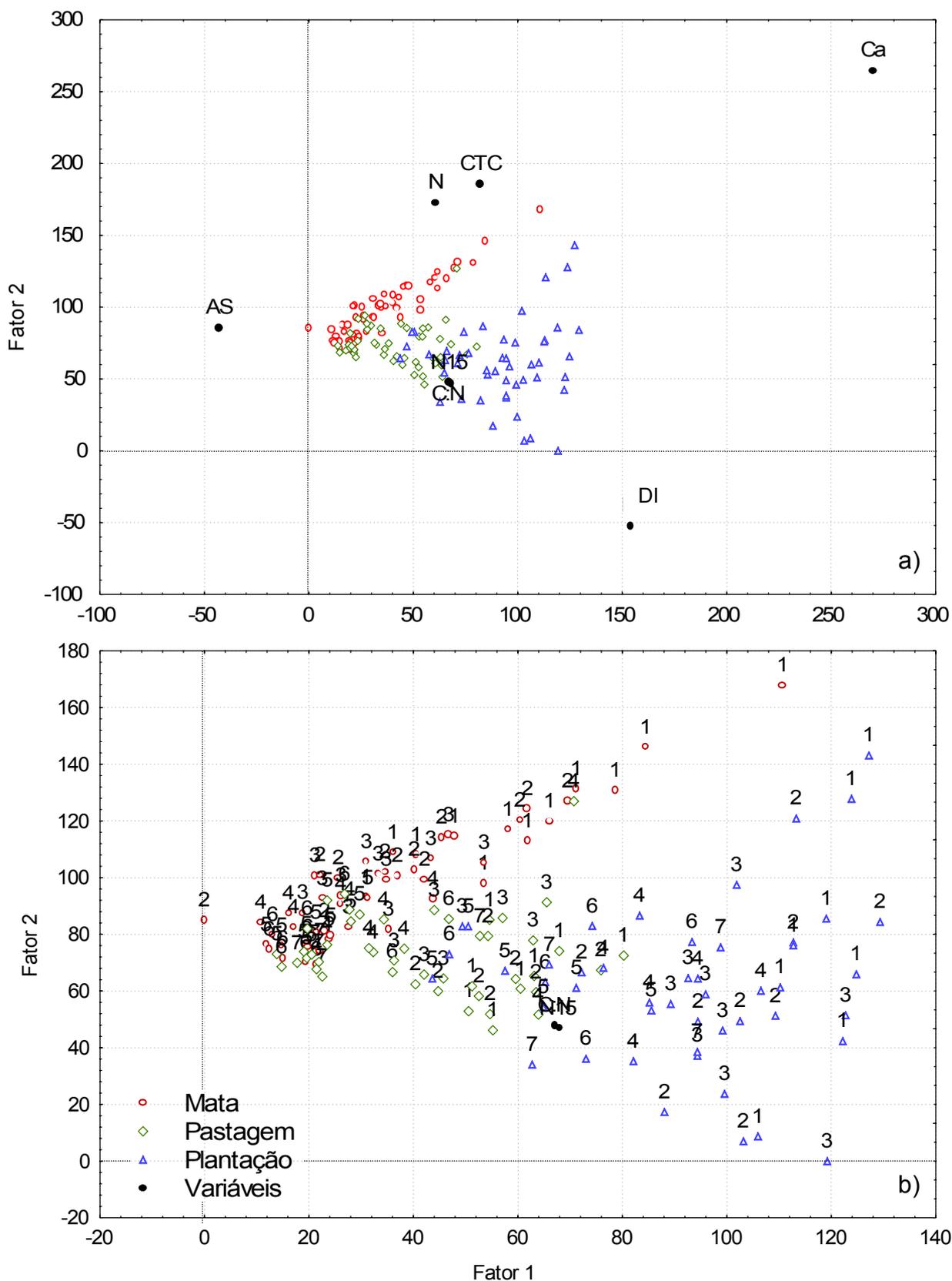


Figura 21: Representação quadrática da Detrended Correspondence Analysis para as propriedades do solo (0 a 1,60 m). Letras a) e b) para projeções normal e ampliada, respectivamente. AS = Área superficial, N = [N], N15 =  $\delta^{15}\text{N}$ , CTC = Capacidade de troca catiônica, DI = Diferença Isotópica, 1, 2, 3, 4, 5, 6, e 7 representam as profundidades do solo (0 - 0,05, 0,05 - 0,10, 0,10 - 0,20, 0,20 - 0,50, 0,50 - 1,00, 1,00 - 1,50 e 1,50 - 1,60 m respectivamente).

Comparações das alterações relacionadas a fertilidade entre essas áreas e a plantação de cana-de-açúcar ficaram prejudicadas pelas diferença granulométricas. Contudo os resultados reforçam as conseqüências do manejo nas características do solo. A relação positiva entre o conteúdo de C e a CTC ao longo da profundidade na plantação de cana-de-açúcar reforça o importante papel desempenhado pela MO na manutenção da fertilidade do solo, sobretudo pela qualidade, verificada pelas diferenças nas fontes dessa MO.

## 7. CONCLUSÕES

Em relação ao C e ao N total medido em 37 indivíduos nas áreas de mata, pastagem e plantação de cana-de-açúcar, podemos concluir que a composição elementar foliar do C e N para as espécies da mata foi maior e o C:N menor que espécies das famílias Gramineae e Cyperaceae analisadas para pastagem e na plantação.

As espécies analisadas na mata se mostraram exclusivamente com metabolismo C3 e apresentaram uma composição isotópica média para o C de  $-31,8\text{‰}$ . As plantas da família Gramineae apresentaram-se com metabolismo C4 e tiveram a média para  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-12,1\text{‰}$ . Dentre essas, exclui-se *Lasiacis* sp de ciclo C3 ( $-33,9\text{‰}$ ) incluídas nas espécies da mata. As plantas da família Cyperaceae analisadas para as áreas degradadas apresentaram-se com média de  $-25,0\text{‰}$  e destaca-se um indivíduo CAM ( $-17,5\text{‰}$ ).

Tendo as folhas da mata como base comparativa para a fonte de biomassa original das áreas estudadas na Serra do Imbé, pode se concluir que a mata teve um enriquecimento para o  $\delta^{13}\text{C}$  em relação a serrapilheira de  $2,7\text{‰}$ , tendo a serrapilheira dessa área apresentado  $-28,4\text{‰}$ . Nessa área o estrato herbáceo que se relaciona pouco com a serrapilheira teve  $\delta^{13}\text{C}$  maior que as folhas da vegetação arbórea ( $-34,8\text{‰}$ ). A partir da vegetação arbórea, a MO do solo superficial mostrou um enriquecimento de  $4,2\text{‰}$ , não sendo significativa a diferença entre a serrapilheira e a MO do solo superficial ( $1,7\text{‰}$ ).

Para fração gramínea das áreas alteradas, a diferença segue um padrão inverso ao observado para a mata. Nas áreas alteradas, a parte viva (estrato herbáceo) mostrou-se mais pesada em  $1,0\text{‰}$  do que a serrapilheira, composta nessas áreas exclusivamente de partes mortas do estrato herbáceo. Entre a serrapilheira e o solo, observou-se um empobrecimento para o  $\delta^{13}\text{C}$  para a pastagem e a plantação de  $5,8$  e  $1,4\text{‰}$ . Estes valores refletem a mistura da biomassa C3 da antiga vegetação florestal com a recente, de origem C4.

Ao longo do perfil, nas áreas degradadas, a diminuição na diferença isotópica também foi atribuída a mistura das biomassas C3 e C4. O cálculo da participação da biomassa C4 no solo indicou, na superfície da pastagem uma contribuição de 57% de  $C_{C4}$  com uma redução abrupta até 0,20 m (26%). Na superfície da plantação de

cana-de-açúcar o conteúdo de  $C_{C4}$  foi de 65% e uma redução gradativa até 1,00 m com 29%.

A biomassa total indicou para o estrato herbáceo valores similares para as áreas de mata e plantação de cana-de-açúcar com 0,48 e 0,57 t ha<sup>-1</sup> e a pastagem com uma tendência a apresentar maior biomassa nesse estoque, 1,83 t ha<sup>-1</sup>. A camada de serrapilheira teve uma massa total quase duas vezes maior na mata (7,62 t ha<sup>-1</sup>) que nas áreas alteradas, com 4,08 e 4,00 t ha<sup>-1</sup> na pastagem e plantação respectivamente.

O  $\delta^{15}N$  foliar não separou claramente as espécies analisadas em grupos distintos, contudo sugere-se, através da correlação significativamente positiva entre  $\delta^{15}N$  e a razão N:C exclusivamente para as espécies da mata, que a composição isotópica do N pode estar relacionada a qualidade foliar.

Para os solos estudados na Serra do Imbé, a substituição da mata não se manifesta, após 30 anos na pastagem e 60 anos na plantação, com diferenças no conteúdo total de MO no solo. No entanto, as alterações na qualidade dessa MO, pelo menos no que se refere a fonte são evidentes diante da participação da biomassa C4, que aumenta com o tempo de implantação da nova vegetação.

Quando se compara mata e pastagem, as diferenças nas condições físico-químicas do solo como pH, A.T. e na CTC, frente à similaridade dos solos para a área superficial e conteúdo de MO, indicam alterações na qualidade da nova MO de origem C4 adicionada ao solo. As maiores razões C:N e o menor estoque de nutrientes na biomassa das áreas alteradas em relação à mata foram evidentes diferenças em sua qualidade. A partilha das frações folhas e madeira na composição serrapilheira da mata contrastada com a predominância de folhas de gramíneas nas áreas degradadas foi também considerada uma importante diferença na fonte de biomassa dessas áreas.

O aumento da concentração de fosfato abaixo da superfície na pastagem em relação à mata pode estar indicando uma menor eficiência no aproveitamento desse nutriente com conseqüente lixiviação e precipitação em horizontes inferiores, conseqüência atribuída a mudança na qualidade da MO e nas condições físico-químicas do solo.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aerts, R. (1997) Climate, leaf litter chemistry e leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relation. *Oikos* 79:439-449
- Allen, S. E. (1989) *Chemical analysis of ecological materials*. Blackwell Scientific Publications. Oxford. 368p.
- Aragão, L. E. O. E. C. (2000) *Efeito de Clareiras pelo corte seletivo na decomposição foliar e no solo de uma mata de tabuleiros no Norte Fluminense, RJ*. Tese de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense. 96 pp
- Baillie, I. C. (1989) Soil characteristics and classification in relation to the mineral in tropical forested ecosystems. *Mineral Nutrients in Tropical Forest and Savanna Ecosystems*. Proctor, J. (Ed.) Blackwell Scientific Publication, Oxford. pp. 15-26
- Bertol, I., Beutler, J.F., Leite, D., Batistela, O. (2001) Propriedades físicas de um Cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. *Scientia Agrícola* 58(3):555-560
- Bonal, D., Sabatier, D., Montipied, P., Tremeaux, D., Guehl, J.M. (2000) Interspecific variability of  $\delta^{13}$  among trees in rainforest of French Guiana: Functional groups and canopy integration. *Oecologia* 124: 454-468
- Borém, A. T. B. (1998) *Estudo das relações do solo X vegetação em toposequencia de áreas de domínio da Mata Atlântica*. (Produção Vegetal). Tese de Doutorado, Universidade Estadual do Norte Fluminense. 165 pp
- Bramley, R. G. V., Ellis, N., Nable, R. O. (1996) Changes in soil chemical properties under long-term sugar cane monoculture and their possible role in sugar yield decline. *Australian Journal Soil Res.* 34:967-984
- Broadmeadow, M. S. J., Griffiths, H., Maxwell, C., Borland, A. M. (1992) The carbon isotope ratio of plant organic material reflects temporal and spatial variations in CO<sub>2</sub> within tropical forest formation in Trinidad *Oecologia* 89:435-441
- Cadisch, G., Imhof, H., Urquiaga, S., Boddey, R. M., Giller, K. E. (1996) Carbon turnover (C<sup>13</sup>) and nitrogen mineralization potential of particulate light soil organic matter after rainforest clearing. *Soil Biology and Biochemistry* 28(12):1555-1567
- Camargo, P. B. (1997) *Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo Decorrente das Mudanças no Uso da Terra Utilizando Isótopos de Carbono. Estudo de Um Caso: Paragominas, PA*. Tese de Doutorado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura/ Universidade de São Paulo, 98 p
- Camargo, O. A. de, Castro, O. M., Vieira, S. R., Quaggio, J. A. (1997) Alteração de atributos químicos do horizonte superficial de um latossolo e um podzóico com a calagem. *Scientia Agrícola* 54(1-2)1-12
- Campos, D, V. B. (2003) *Uso da Técnica de <sup>13</sup>C e Fracionamento Físico da Matéria Orgânica em Solos sob Cobertura de Pastagens e Cana-de-Açúcar na Região da Mata Atlântica*. Tese de Doutorado, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rui de Janeiro. 223 p.
- Canellas, L. P. Santos, G. A. Amaral, N. M. B. (1999) Reações da Matéria Orgânica. *Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais*. Santos, G. A., Camargo, F. A. O. (Ed.) Gênese – Porto Alegre pp 70-89.
- Carvalho, C. C. V. (1998) *Origem e Dinâmica da Matéria Orgânica em um Sistema*

- Fluvio-Lacustre da Região Norte Fluminense*. Tese de Doutorado. Universidade Estadual do Norte Fluminense. 100. p
- Cerri, C. C., Volkoff, B., Andreux, F. (1991) Nature and behaviour of organic matter in soils under natural forest, and after deforestation, burning and cultivation, near Manaus. *Forest Ecology and Management* 38:247-257
- Clevelario Júnior, J. (1996) *Distribuição de carbono e elementos minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida baixo montano*. Tese de Doutorado, Viçosa, Depto. de Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, 150p.
- Compton, J. E., Boone, R. D. (2002) Soil nitrogen transformation and the role of light fraction organic matter in forest soil. *Soil Biology and Biochemistry* 34:933-943
- Costa, G. S. (2002) *Decomposição da Serrapilheira em Florestas Plantadas e Fragmentos da Mata Atlântica na Região Norte Fluminense*. Tese de Doutorado. Universidade Estadual do Norte Fluminense. 113. p
- Currie, L. A., Klouda, G. A., Benner, B. A., Garrity, K., Eglinton, T. I. (1999) Isotopic and molecular fractionation in combustion; three routes to molecular marker validation including direct molecular "dating"(CG/AMS). *Atmospheric Environment* 33,2789-2806.
- Delaney, M., Brown, S., Lugo, E. A., Torres-Lezama, A., Bello Quintero, N. (1997) The distribution of organic carbon in major componentes of forest located in five life zones of Venezuela. *Journal of Tropical Ecology* 13: 697-708
- da Silva, L. F. (1996) Solos Tropicais: Aspectos Pedológicos, Ecológicos e de Manejo. Terra Brasilis Editora, 137 p.
- Domingos, M., Lopes, M. I. M. S., de Vuono, Y. S. (2000) Nutrient cycling disturbance in Atlantic forest sites affected by air pollution coming from the industrial complex of Cubatão, Southeast Brazil. *Revista Brasileira Botânica* 23(1): 77-85
- dos Anjos, L. E. C., Pereira, M. G., Ramos, D, P. (1999) Matéria Orgânica e Pedogênese. *Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais*. Santos, G. A., Camargo, F. A. O. (Ed.) Gênese – Porto Alegre pp 91-115.
- Ducatti, C., Salati E., Martins, D. (1991) Measurement of the natural variation of  $^{13}\text{C}$ : $^{12}\text{C}$  ration in leaves at reserve Ducke Forest, central Amazonia. *Forest Ecology and Management* 38:201-210
- Embrapa (1997) Manual de Métodos de Análise de Solos. 2.ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). 212 p
- Emmett, B. A., Kjonnas, O. J., Gundersen, P., Koopmans, C. J., Tietema, A., Sleep, D., (1998) Natural abundance of  $^{15}\text{N}$  in forest across a nitrogen deposition gradient. *Forest Ecology and Management* 101:9-18
- Farquhar, G. D., Ehleringer, J. R., Hubick, K. T., (1989) Carbon isotopic discrimination and photosynthesis. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 40:503-537
- Fearnside, P. M., Barbosa, R. I.(1998) Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 108:147-166
- Fontes, M. P. F., Weed, S. B. (1996) Phosphate adsorption by clays from Brazilian Oxisols: relation with specific surface area and mineralogy. *Geoderma* 72: 37-51
- Funakawa, S., Tanaka, S., Kaewkhongkha, T., Hattori, T., Yonebayashi, K. (1997)

- Physicochemical properties of the soil associated with shifting cultivation in Northern Thailand with special reference to factors determining soil fertility. *Soil Science Plant Nutrition* 43(3): 665-679
- Gama-Rodrigues, A. C. (1997) *Ciclagem de nutrientes por espécies florestais em povoamentos puros e mistos, em solo de tabuleiro da Bahia, Brasil*. Tese de Doutorado, Viçosa, Depto. de Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, 176p.
- Global Forest Resources Assessment (2000) *State of the World's Forest, 2001*. Food and Agriculture Organisation of the United Nations
- Golchin, A., Clarke, P., Oades, J. M., Skjemstad, J. O. (1995) The effects of cultivation on the composition of organic matter and structural stability of soil. *Australian Journal of Marine and Freshwater* 33:975-995
- Guehl, J. M., Domenach, A. M., Bereau, M., Barigah, T. S., Casabianca, H., Ferhi, A., Garbaye, J. (1998) Functional diversity in a Amazonian rainforest of French Guyana: a dual isotope approach ( $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$ ). *Oecologia* 116:116-316
- Hassink, J. (1997) The capacity of soil to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant and Soil* 191:77-87
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) (1998) Deflorestamento na Amazônia 1996 –1997. São José dos Campos, São Paulo.
- Jordan, C. F. (1989) Are process rates higher in tropical forest ecosystems? *Mineral Nutrients in Tropical Forest and Savanna Ecosystems*. Proctor, J. (Ed.) Blackwell Scientific Publication, Oxford. pp. 205-216
- Kapos, V., Ganade, G., Matsui, E., Victoria, R. L. (1993)  $\delta^{13}\text{C}$  as an indicator of edge effect in tropical rainforest reserves. *Journal of Ecology* 81:425-432
- Kay, B. D., VandenBygaart, A.J. (2002) Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil & Tillage Research* 66: 107-118
- Kent, M., Coker, P. (1992) *Vegetation description and Analysis: a Practical Approach* Ed. Willy, J. & Sons, INC.
- Kindel, A., Garay, I. (2002) Humus form in ecosystem of the Atlantic Forest, Brasil. *Geoderma* 108:101-108
- Kitayama, K., Iwamoto, K. (2001) Patterns of natural  $^{15}\text{N}$  abundance in the leaf-to-soil continuum of tropical rain forest differing in N availability on Mount Kinabalu, Borneo. *Plant and Soil*: 229:203-21
- Koopmans, C. J., van Dam, D., Tietema, A., Verstraten, J. M., (1997) Natural  $^{15}\text{N}$  abundance in two nitrogen saturated forest ecosystems. *Oecologia* 111:470-480
- Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A., Martin, S., Spain, A., Toutain, F., Barois, I., e Shaefer, R. (1993) A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: Applications to soils of the humid tropics. *Biotropica*, 25(2):130-150
- Leffler, A.J., Enquist, B., (2002) Carbon isotope composition of tree leaves from Guanacaste, Costa Rica: comparison across tropical forest and tree life history. *Journal of Tropical Ecology* 18:151-159
- Lloyd, J., Farquhar, G.D. (1994)  $\delta^{13}\text{C}$  discrimination during  $\text{CO}_2$  assimilation by the terrestrial biosphere. *Oecologia* 99:201-215
- Lugo, A. E., Brown, S. (1993) Management of tropical soil as sink or source atmospheric carbon. *Plant and Soil* 149:27-41
- Mapa de Uso e Cobertura do Solo do Rio de Janeiro (1998) CPRM

- Martinelli, L. A., Almeida, S., Brown, I. F., Moreira, M. Z., Victoria, R. L., Sternberg, L. S. L., Ferreira C. A. C., Thomas, W. W (1998) Stable carbon isotope ratio of tree leaves, boles and fine litter in a tropical forest in Rondônia, Brasil. *Oecologia* 114:170-179
- Martinelli, L. A., Camargo, P. B., Lara, R. L., Victoria, R. L., Artaxo, P. (2002) Stable carbon and nitrogen isotopic composition of bulk aerosol particles in a C4 plant landscape of southeast Brasil. *Atmospheric Environment* 36: 2427-2432.
- Martinelli, L. A., Victória, R. L. Fosberg, B. R., Richey, J. E. (1994) Isotopic composition of major carbon reservoirs in the Amazon floodplain. *Journal of Ecological Environmental Science* 20:31-46
- Mazurec, A. P. (1998) *Produção e Aporte de Nutrientes e decomposição da Serrapilheira em Mata Atlântica de Encosta em Duas Altitudes, na Serra do Imbé, Norte Fluminense*. Tese de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense. 98 pp
- Mazurec, A. P., Camargo, P. B., Rezende, C. E. (2001) Caracterização da composição isotópica elementar e isotópica do carbono e nitrogênio em uma Mata Atlântica na Serra do Imbé, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Acta do Congresso de Geoquímica dos Países e Língua Portuguesa & XII Semana de Geoquímica*: 263-566
- McCune, D, e Mefford, M.J. (1997) PC-Ord for windows: Multivariate Analysis of Ecological Data. *MjM Software*, Gleneden Beach, Oregon, USA
- McGill, W. B., Cole, C. V. (1981) Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. *Geoderma* 26:267-286
- Medina, E., Sternberg, L. S. L., Cuevas, E. (1991) Vertical stratification of  $\delta^{13}\text{C}$  values in closed natural and plantation forest in the Luquillo mountains, Puerto Rico. *Oecologia* 45:170-179.
- Moreno, M. R. (1998) *Estrutura e Composição Florística do Estrato Arbóreo de Duas Zonas Altitudinais na Mata Atlântica de Encosta na Região do Imbé – RJ*. Tese de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense. 100 pp
- Moraes, R. M., Delitti, W. B. C., de Vuono, Y. S. (1999) Litterfall and litter nutrient content in two Brazilian Tropical Forest. *Revista Brasileira Botânica*
- Neill, C., Piccolo, M. C., Cerri, C. C., Steudler, P. A., Melillo, J. M., Brito, M. (1997) Net nitrogen mineralization and net nitrification rates in soil following deforestation for pasture across the southwestern Brazilian Amazon Basin landscape. *Oecologia* 110:243-252
- Neill, C., Picolo, M. C., Melillo, J. M., Steudler, P. A., Cerri, C. C. (1999) Nitrogen dynamics in Amazon forest and pasture soil measured by  $^{15}\text{N}$  pool dilution. *Soil Biology and Biochemistry* 31:567-572
- Oliveira-Filho, A. T., Curi, N., Vilela, E. A., Carvalho, D. A. (2001) Variation in tree community composition and structure with changes in soil properties within a fragment of semideciduous forest in south-eastern Brasil *Edinburgo Journal of Botanic* 58(1):139-158
- Piccolo, M. C., Neill, C. Melillo, J. M., Cerri C. C., Steudler, P. A. (1996)  $^{15}\text{N}$  natural abundance in forest and pasture soils of the Brazilian Amazon Basin. *Plant Soil* 182: 249-258
- Powers, J. S. e Schlesinger, W. H. (2002) Geographic and vertical patterns of stable

- carbon isotopes in tropical rain forest soil of Costa Rica. *Geoderma* 109:141-161
- Proctor, J., Anderson, J. M., Fogden, S. C. L., Vallack, H. W. (1983) Ecological studies in four contrasting lowland rain forest in Gunung Mulu National Park, Sarawak. II. Litterfall, litter standing crop and preliminary observation on herbivory. *Journal of Ecology* 71:261-283
- Pró-Natura / UFRRJ (1994) Diagnostico Geoambiental e Socioeconômico da Área de Influência do Parque Estadual do Desengano Projeto de Conservação da Biodiversidade e Desenvolvimento da Área de Influência do Parque Estadual do Desengano. *Convênio Pró-Natura / UFRRJ* 74p.
- Quantachrome Corporation (1999) NOVA<sup>®</sup> 1200C – Surface Area Micropore Size Analyzer. <http://.quantachrome.com/gassoption/nova-series-specs.htm>
- Raij, B., van, Quaggio, J. A. (1983) Métodos de Análise de Solos para Fins de Fertilidade. Instituto Agronômico, Campinas, Estado de São Paulo Boletim Técnico N.º 81: 24-25
- Rheinheimer, D., Cassol, P. C., Kaminski, K., Anghinoni, I. (1999) Fósforo orgânico no Solo. *Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais*. Santos, G. A., Camargo, F. A. O. (Ed.) Gênese – Porto Alegre pp 139 - 157
- Romanyà, J., Khanna, P. K., Raison, R. J. (1994) Effects of slash burning on soil phosphorus fractions and sorption and desorption of phosphorus. *Forest Ecology and Management* 65:89-103
- Robertson, G. P. (1989) Nitrification and denitrification in humid tropical ecosystems: potential controls of nitrogen controls. *Mineral Nutrients in Tropical Forest and Savanna Ecosystems*. Proctor, J. (Ed.) Blackwell Scientific Publication, Oxford. pp. 55-70
- Ross, S. M. (1993) Organic matter in tropical soils: current conditions, concerns and prospects for conservation. *Progress in Physical Geography* 17(3):256-305
- Rovira, P., Vallejo, V. R. (2002) Labil and recalcitrante pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposition at different depths in soil: an acid hydrolysis approach. *Geoderma* 107:109-141
- Sanaïotti, T. M., Martinelli, L. A., Victoria, R. L., Trumbore, S. E., Camargo, P.B. (2002) Past Vegetation changes in Amazon savannas determined using carbon isotopes of soil organic matter. *Biotropica* 34(1):2-16
- Scarano, F. R., Duarte, H. M., Ribeiro, K. T., Rodrigues, P. J. F. P., Barcellos, E. M. B., Franco, A. C., Brulfert, J., Deléens, E., Lüttge, E. (2001) Four sites with contrasting environmental stress in southeastern Brazil: relations of species, life form diversity, and geographic distribution to ecophysiological parameters. *Botanical Journal of Linnean Society* 136:345-36
- Schlesinger, W.H. (1990) Vegetation an unlikely answer. *Nature* 348:679
- Schweizer, M., Fear, J., Cadisch, G. (1999) Isotopic (<sup>13</sup>C) fractionation during plant residue decomposition and its implication for soil organic matter studies. *Rapid Communication in Mass Spectrometry* 13:1284-1286
- Silva Filho, E. V., Ovalle, A. R. C., Brown, I. F. (1987) Balanço de nutrientes em uma floresta tropical úmida, Parque Nacional da Tijuca, Rio de Janeiro. *Acta de Liminologia Brasileira* 1:479-499

- StatSoft, Inc. (1998). STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., WEB: <http://www.statsoft.com>
- Stevenson, F. J. (1994) Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. 2a ed. pp. 496
- Swift, M. J., Anderson, J. M. (1989) Decomposition: Tropical Rain Forest Ecosystems. *Ecosystems of the World* 14(b):547-569
- Tanaka, S., Funakawa, S., Kaewkhongkha, T., Hattori, T., Yonebayashi, K. (1997) Soil ecological study on dynamics of K, Mg and Ca and soil acidity in shifting cultivation in Northern Thailand. *Soil Science Plant Nutrition* 43(3):695-708
- Tiessen, H., Cuevas, E., Chacon, P. (1994) The role of organic matter in sustaining soil fertility. *Nature* 371:783-785
- Turekian, V. C., Macko, S., Ballentine, D., Swap, R. J., Garstang, M. (1998) Causes of bulk carbon and nitrogen isotopic fractionation in the products of vegetation burns: laboratory studies. *Chemical Geology* 152: 181-192
- van Noordwijk, M., Cerri, C. C., Nugroho, K., Bernoux, M. (1997) Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone. *Geoderma* 79:187-225
- Varjabedian, R., Pagano, S. N. (1988) Produção e decomposição de folheto em um trecho de mata atlântica de encosta no município de Garujá, S.P. *Acta Botânica Brasileira*. 1(2):243-256 arjabedian e Pagano 1988
- Veloso, H.P. Rangel, A.L.R., Lima, J.C.A. (1991) – *Classificação da vegetação Brasileira adaptada a um sistema Universal*. RJ. – IBDF. 124 p
- Villela, D. M., Nascimento, M. T., Mazurec, A. P., Nascimento, L. M., Haddad, L. N. (2001) Biomassa do estrato rasteiro e estoque de serrapilheira sob plantações de *Eucalyptus citrodora* na Reserva biológica União, RJV Congresso de Ecologia do Brasil. *Anais do V Congresso de Ecologia do Brasil*
- Vitousek, P. M., Sanford, Jr. (1986) Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annals of Review Ecology Systematic* 17:137-167
- Vitousek, P.M. (1984) Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forest. *Ecology* 65(1):285-298
- Zeck, W., Senesi, N., Guggenberger, G., Kaiser, K., Lehmann, J., Miano, T. M., Miltner, A. e Schroth, G. (1996) Soil organic Carbon, permanganate fractions, and the chemical proprieties if acidics soils. *Australian Journal of Marine and Freshwater* 35:1301-1305

## 9. Apêndices

Apêndice 1: Controle Analítico: Comparação entre as réplicas para as análises da composição elementar e isotópica das folhas da vegetação, estrato herbáceo, camada de serrapilheira e solo. Os valores da diferença entre as réplicas correspondem à média (mínimo – máximo) da percentagem da diferença e os valores dos brancos correspondem à média (mínimo – máximo).

	Diferença entre as Réplicas		Branco		Faixa de Leitura do Extrato	
	Solo	M. Vegetal	Solo	M. Vegetal	Solo	M. Vegetal
	(%)		(ppm)		(ppm)	
Ac	6,3					
	(2,2 – 27,0)					
K	5,5	8,6	0,14	0,98	0,1 - 63,2	2,3 - 124
	(1,1 - 33,3)	(0,4 - 29,3)	(0 - 0,20)	(1,09 - 2,41)	122	* 141
Na	8,4	4,9	0,05	1,56	0,1 - 1,4	1,3 - 14,5
	(0,4 - 29,9)	(1,5 - 17,6)	(0 - 0,06)	(1,01 - 1,65)	66,8	* 73,1
Ca	6,8	9,5	0,07	0,94	0,1 - 171	1,2 - 74,6
	(0,1 - 27,0)	(1,5 - 25,2)	(0 - 0,11)	(0,75 - 1,08)	145	* 93,8
Mg	8,2	10,8	(0,07)	0,04	0,2 - 24,8	0 - 23,3
	(0,2 - 46,5)	(0 - 33,3)	(0,05 - 0,19)	(0,01 - 1,20)	102	* 146
P	3,2	5,0	1,48	0,53	0,2 - 16,5	0,1 - 18,6
	(0 - 96,2)	(1,4 - 28,2)	(0,2 - 0,94)	(0,04 - 1,09)	67,4	* 111
Amostras	384	65				
Replicas	48	15	7	4		

\* Coeficiente de Variação; M. Vegetal = Material vegetal (estrato herbáceo e camada de serrapilheira).

Apêndice 2: Concentração de nutrientes no estrato herbáceo. Os valores indicam a média (erro padrão abaixo) entre 16 quadrados (0,25 m<sup>2</sup>) distribuídos em quatro parcelas em cada área. Índices diferentes indicam a diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as áreas.

Áreas	Frações	Potássio	Sódio	Cálcio (mg g <sup>-1</sup> )	Magnésio	Fósforo	
Mata	Gramínea	-	-	-	-	-	
	Folhas	7,98 0,72	0,90 <sup>a</sup> 0,09	4,18 1,02	2,81 <sup>a</sup> 0,54	0,72 0,20	
	Madeira	7,98 4,44	0,46 0,25	5,71 2,42	1,11 0,32	0,73 0,43	
	£Média	5,67 <sup>a</sup> 1,01	0,53 <sup>a</sup> 0,16	3,73 <sup>a</sup> 0,38	1,83 <sup>a</sup> 0,34	0,48 0,11	
	Pastagem	Gramínea	2,45 0,96	0,96 0,32	0,33 <sup>b</sup> 0,12	0,22 0,08	0,60 0,24
	Folhas	4,13 <sup>b</sup> 1,52	0,33 <sup>b</sup> 0,06	1,82 0,84	0,49 <sup>b</sup> 0,03	1,31 0,63	
Madeira	-	-	-	-	-		
£Média	1,26 <sup>b</sup> 0,44	0,13 <sup>b</sup> 0,06	0,49 <sup>b</sup> 0,20	0,21 <sup>b</sup> 0,09	0,36 0,15		
<sup>b</sup> Média	2,38 <sup>b</sup> 0,47	0,89 <sup>b</sup> 0,15	0,35 <sup>b</sup> 0,08	0,22 <sup>b</sup> 0,05	0,59 <sup>b</sup> 0,13		
Plantação	Gramínea	6,74 1,82	0,72 0,18	1,07 <sup>c</sup> 0,21	0,31 0,02	1,21 0,30	
	Folhas	9,71 <sup>c</sup> 3,31	1,13 0,34	6,45 2,13	0,83 <sup>b</sup> 0,18	1,92 0,55	
	Madeira	0,38 0,15	0,01 0,01	1,26 0,54	0,18 0,09	0,08 0,04	
	£Média	5,28 <sup>a</sup> 2,98	0,59 0,32	3,88 2,02	0,46 <sup>b</sup> 0,16	1,04 0,53	
	<sup>b</sup> Média	6,95 <sup>a</sup> 4,92	0,76 0,49	2,26 2,13	0,42 <sup>b</sup> 0,19	1,29 <sup>c</sup> 0,81	

£Média aritmética de não-gramíneas, <sup>b</sup>Média aritmética total

Apêndice 3: Concentração de nutrientes ( $\text{mg g}^{-1}$ ) na serrapilheira. Os valores indicam a média erro padrão (abaixo) entre 16 quadrados ( $0,25 \text{ m}^2$ ) distribuídos em quatro parcelas em cada área. Índices diferentes indicam a diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as áreas.

Área	Frações	Potássio	Sódio	Cálcio	Magnésio	Fósforo
		$(\text{mg g}^{-1})$				$(\mu\text{g g}^{-1})$
Mata	Gramínea	-	-	-	-	-
	Folhas	1,23 0,20	0,49 0,09	6,19 <sup>a</sup> 0,98	0,40 0,08	0,50 0,10
	Madeira	0,35 0,08	0,03 0,02	2,80 0,79	0,25 0,06	0,08 0,03
	Outros	0,43 0,07	0,08 0,03	1,87 0,39	0,22 0,04	0,13 0,02
	<sup>a</sup> Média	0,81 0,13	0,27 0,05	4,50 <sup>a</sup> 0,82	0,32 <sup>a</sup> 0,03	0,30 <sup>a</sup> 0,06
	Pastagem	Gramínea	0,47 0,19	0,15 0,11	0,33 0,14	0,12 0,04
	Folhas	0,59 0,12	0,37 <sup>b</sup> 0,13	1,73 <sup>b</sup> 0,49	0,17 0,06	0,34 0,12
	Madeira	1,03 0,35	0,13 0,05	1,86 0,01	0,35 0,06	0,50 0,11
	Outros	-	-	-	-	-
	<sup>a</sup> N-Gram.	0,69 0,33	0,26 0,15	1,31 0,63	0,21 0,10	0,36 0,16
	<sup>b</sup> Média	0,50 0,56	0,15 0,19	0,42 <sup>b</sup> 0,21	0,14 <sup>b</sup> 0,12	0,22 <sup>b</sup> 0,25
Plantação	Gramínea	0,35 0,10	0,08 0,06	0,61 0,22	0,16 0,09	0,08 0,07
	Folhas	3,71 2,55	0,43 <sup>c</sup> 0,16	4,08 1,29	0,33 0,13	0,83 0,45
	Madeira	0,39 0,15	0,05 0,01	2,41 0,59	0,24 0,04	0,16 0,07
	Outros	0,29 0,13	0,07 0,01	2,30 0,54	0,19 0,06	0,13 0,06
	<sup>a</sup> N-Gram.	0,77 0,33	0,14 0,04	3,03 0,50	0,23 0,04	0,26 0,09
	<sup>b</sup> Média	0,61 1,41	0,11 0,14	1,09 1,17	0,18 0,18	0,15 <sup>c</sup> 0,32

<sup>a</sup> Média aritmética de não-gramíneas, <sup>b</sup> Média aritmética total

Apêndice 4: Umidade (%), área superficial ( $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ ) e pH do solo ao longo do perfil (0 -160 cm) (N=4 por parcela) em área de mata atlântica de encosta submetida a diferentes usos da terra. Índices diferentes indicam a diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as áreas.

Área	Prof. cm	Umidade %	A.S. $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$	pH
Mata	0 - 5	18,4	36,6	4,74 <sup>a</sup>
		0,05	3,56	0,07
	5 - 10	15,6	46,3 <sup>a</sup>	4,66 <sup>a</sup>
		0,05	2,18	0,06
	10 - 20	17,2 <sup>a</sup>	50,5	4,58 <sup>a</sup>
		0,04	1,33	0,04
	20 - 50	18,9 <sup>a</sup>	57,3 <sup>a</sup>	4,64 <sup>a</sup>
		0,04	2,23	0,04
	50 - 100	19,2 <sup>a</sup>	56,9 <sup>a</sup>	4,71 <sup>a</sup>
		0,03	3,40	0,03
100 - 150	20,9 <sup>a</sup>	59,1 <sup>a</sup>	4,74 <sup>a</sup>	
	0,04	5,49	0,05	
150 - 160	20,4 <sup>a</sup>	58,8 <sup>a</sup>	4,85 <sup>a</sup>	
	0,06	5,21	0,06	
Pastagem	0 - 5	16,6	49,0	5,31 <sup>b</sup>
		0,04	4,68	0,05
	5 - 10	16,2	46,0 <sup>b</sup>	5,26 <sup>b</sup>
		0,05	3,74	0,05
	10 - 20	17,3 <sup>b</sup>	51,9 <sup>b</sup>	5,15 <sup>b</sup>
		0,05	3,68	0,04
	20 - 50	20,6 <sup>b</sup>	58,4 <sup>a</sup>	5,00 <sup>b</sup>
		0,02	1,07	0,09
	50 - 100	20,2 <sup>a</sup>	72,7 <sup>a</sup>	4,98 <sup>b</sup>
		0,03	5,70	0,04
100 - 150	19,9 <sup>b</sup>	58,5 <sup>a</sup>	4,90 <sup>b</sup>	
	0,03	5,66	0,03	
150 - 160	19,3 <sup>b</sup>	59,9 <sup>b</sup>	5,01 <sup>b</sup>	
	0,04	5,77	0,08	
Plantação	0 - 5	11,0	15,0	6,08 <sup>c</sup>
		0,04	2,88	0,08
	5 - 10	12,7	15,4	5,79 <sup>c</sup>
		0,05	3,38	0,08
	10 - 20	13,3 <sup>b</sup>	17,1 <sup>c</sup>	5,64 <sup>b</sup>
		0,04	2,74	0,07
	20 - 50	14,7 <sup>a</sup>	22,1 <sup>b</sup>	5,45 <sup>c</sup>
		0,05	11,83	0,06
	50 - 100	17,2 <sup>c</sup>	44,1 <sup>b</sup>	5,46 <sup>c</sup>
		0,05	1,65	0,07
100 - 150	15,1 <sup>c</sup>	29,6 <sup>b</sup>	5,42 <sup>c</sup>	
	0,06	6,88	0,07	
150 - 160	16,4	31,4	5,46 <sup>c</sup>	
	0,05	11,5	0,09	

Apêndice 5: Concentração de Nutrientes no solo no solo ao longo do perfil (0 -160 cm) (N=4 por parcela) em área de mata atlântica de encosta submetida a diferentes usos da terra. Índices diferentes indicam a diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as áreas.

Área	Prof. cm	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	A.T.	C.T.C.	P-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> mg dc <sup>-3</sup>
		mmol <sub>c</sub> dc <sup>-3</sup>						
Mata	0-5	2,47	0,30 <sup>a</sup>	13,29	6,31	9,18 <sup>a</sup>	31,6	4,80
		0,34	0,04	3,07	1,02	1,11	3,59	0,52
	5-10	1,98 <sup>a</sup>	0,26 <sup>a</sup>	6,00	3,55	12,08 <sup>a</sup>	23,9	4,83
		0,29	0,03	1,31	0,72	1,23	1,80	0,98
	10-20	1,78	0,28	3,83	2,34	13,99 <sup>a</sup>	22,2	4,62 <sup>a</sup>
		0,20	0,04	0,73	0,47	0,70	1,17	0,63
	20-50	1,29 <sup>a</sup>	0,23 <sup>a</sup>	2,12 <sup>a</sup>	1,68	14,04 <sup>a</sup>	19,4	2,54
		0,11	0,02	0,54	0,27	0,81	1,12	0,62
	50-100	1,21 <sup>a</sup>	0,25	1,24 <sup>a</sup>	1,73	11,96 <sup>a</sup>	16,4 <sup>a</sup>	2,20 <sup>a</sup>
		0,17	0,03	0,29	0,28	0,65	0,91	0,45
	100-150	1,24 <sup>a</sup>	0,30	0,90 <sup>a</sup>	2,06	10,13 <sup>a</sup>	14,6 <sup>a</sup>	2,22
		0,20	0,06	0,19	0,43	0,63	0,86	0,77
	150-160	1,37	0,30	0,73	2,05	9,63	11,9 <sup>a</sup>	2,73
		0,30	0,07	0,20	0,70	0,61	1,91	0,73
Pastagem	0-5	2,03	0,35 <sup>a</sup>	9,22	7,37	9,36 <sup>a</sup>	28,3	5,56
		0,32	0,04	1,62	0,85	1,27	2,48	0,54
	5-10	1,08 <sup>b</sup>	0,27 <sup>a</sup>	4,46	3,56	16,36 <sup>a</sup>	25,7	3,63 <sup>b</sup>
		0,16	0,04	0,74	0,52	1,79	2,06	0,36
	10-20	1,48	0,30	4,42	3,66	21,69 <sup>a</sup>	31,4 <sup>b</sup>	2,31 <sup>b</sup>
		0,37	0,03	0,89	0,84	1,78	2,42	0,20
	20-50	0,94	0,25 <sup>a</sup>	3,65	2,48	24,53 <sup>b</sup>	30,3 <sup>b</sup>	2,50
		0,30	0,03	1,46	0,68	1,74	3,74	0,12
	50-100	0,43 <sup>b</sup>	0,17	1,29 <sup>a</sup>	0,83	22,92 <sup>b</sup>	23,1 <sup>a</sup>	3,74 <sup>b</sup>
		0,09	0,04	0,27	0,22	2,09	2,55	0,29
	100-150	0,39 <sup>b</sup>	0,20	0,77 <sup>a</sup>	0,79	18,72 <sup>a</sup>	19,6 <sup>a</sup>	4,25
		0,09	0,05	0,24	0,28	2,13	2,47	0,61
	150-160	0,44	0,23	0,99	1,55	17,15 <sup>b</sup>	19,0 <sup>a</sup>	4,54
		0,07	0,08	0,37	0,87	2,93	2,98	1,11
Plantação	0-5	2,46	0,15 <sup>b</sup>	16,39	6,77	1,02 <sup>b</sup>	26,8	7,24
		0,66	0,02	3,85	1,30	0,34	5,84	0,77
	5-10	1,60	0,14 <sup>b</sup>	11,09	4,71	1,06 <sup>b</sup>	18,5	5,22 <sup>a</sup>
		0,35	0,02	2,39	0,85	0,28	3,61	0,34
	10-20	1,18	0,15	8,19	3,14	1,54 <sup>b</sup>	14,1 <sup>c</sup>	5,06 <sup>c</sup>
		0,27	0,03	1,49	0,64	0,26	2,30	0,57
	20-50	0,69 <sup>c</sup>	0,12 <sup>b</sup>	6,90 <sup>b</sup>	2,21	1,61 <sup>c</sup>	11,4 <sup>c</sup>	4,02
		0,14	0,01	1,09	0,31	0,40	1,33	0,72
	50-100	0,37 <sup>b</sup>	0,18	6,08 <sup>b</sup>	1,56	2,49 <sup>c</sup>	10,4 <sup>b</sup>	3,54
		0,08	0,03	0,75	0,19	0,64	0,76	0,44
	100-150	0,28 <sup>b</sup>	0,24	4,51 <sup>b</sup>	1,86	3,14 <sup>b</sup>	9,80 <sup>b</sup>	3,16
		0,05	0,04	0,78	0,32	0,65	0,99	0,23
	150-160	0,32	0,30	3,27	2,15	2,88 <sup>c</sup>	8,24 <sup>b</sup>	3,32
		0,06	0,06	0,69	0,55	0,87	0,93	0,38

Apêndice 6: Carbono e Nitrogênio ( $\text{mg g}^{-1}$ ), C:N,  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) e E.I. (%) no solo ao longo do perfil (0 -160 cm) em área de mata atlântica de encosta submetida a diferentes usos da terra. Os valores correspondem a 56 amostras divididas em quatro parcelas a cada área. Índices diferentes indicam a diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as áreas.

Área	Prof. cm	C ( $\text{mg g}^{-1}$ )	N	C : N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	*E.I. (%)
Mata	0-5	35,1	2,8	12,3 <sup>a</sup>	-27,9 <sup>a</sup>	5,6	0
		2,6	0,2		0,10	0,11	3,2
	5-10	23,9	2,0	11,6 <sup>a</sup>	-27,5 <sup>a</sup>	6,4	2,4
		5,9	0,4		0,07	0,12	10,1
	10-20	18,3	1,6	11,3 <sup>a</sup>	-27,1 <sup>a</sup>	7,1 <sup>a</sup>	4,5
		2,8	0,2		0,21	0,24	3,7
	20-50	10,2	1,0	10,7 <sup>a</sup>	-26,1 <sup>a</sup>	7,5 <sup>a</sup>	10,7
		0,5	0,1		0,09	0,15	4,1
	50-100	8,3 <sup>a</sup>	0,8 <sup>a</sup>	10,8 <sup>a</sup>	-26,0 <sup>a</sup>	7,5 <sup>a</sup>	12,1
		1,3	0,1		0,19	0,24	2,4
	100-150	6,0	0,6	10,9 <sup>a</sup>	-25,8 <sup>a</sup>	7,7 <sup>a</sup>	13,8
		0,3	< 0,1		0,07	0,22	1,3
	150-160	4,5	0,3	11,0 <sup>a</sup>	-25,6 <sup>a</sup>	7,8 <sup>a</sup>	14,0
		0,1	0,1		0,11	0,39	8,5
Pastagem	0-5	23,2 <sup>b</sup>	1,6 <sup>b</sup>	14,3 <sup>a</sup>	-18,8 <sup>b</sup>	6,0	56,6
		0,6	< 0,1		0,39	0,20	4,0
	5-10	19,5	1,4 <sup>b</sup>	13,7 <sup>a</sup>	-19,6 <sup>b</sup>	6,7	51,8
		1,4	0,1		0,59	0,16	12,4
	10-20	15,3	1,3	12,4 <sup>b</sup>	-21,4 <sup>b</sup>	8,1	39,7
		0,9	0,1		0,34	0,15	4,6
	20-50	1,0	0,9	11,4 <sup>b</sup>	-23,6 <sup>b</sup>	9,0 <sup>b</sup>	25,9
		0,6	0,1		0,20	0,22	4,1
	50-100	7,1 <sup>a</sup>	0,6 <sup>a</sup>	11,2 <sup>a</sup>	-24,3 <sup>b</sup>	8,2 <sup>b</sup>	21,7
		0,4	< 0,1		0,19	0,10	2,8
	100-150	4,4 <sup>b</sup>	0,4 <sup>b</sup>	11,0 <sup>b</sup>	-24,4 <sup>b</sup>	7,7 <sup>b</sup>	20,8
		0,4	< 0,1		0,15	0,20	1,3
	150-160	3,4	0,3	11,1 <sup>b</sup>	-24,0 <sup>b</sup>	7,9 <sup>b</sup>	23,4
		0,4	< 0,1		0,12	0,23	7,7
Plantação	0-5	15,7 <sup>b</sup>	1,2 <sup>c</sup>	13,6 <sup>b</sup>	-17,4 <sup>a</sup>	7,4	64,9
		1,7	0,1		1,01	0,67	4,0
	5-10	13,6	1,1 <sup>c</sup>	12,2 <sup>b</sup>	-18,8	8,8	74,1
		2,4	0,2		0,83	0,69	11,7
	10-20	10,9	1,0	11,5	-17,8	9,4 <sup>b</sup>	59,0
		1,1	0,1		0,80	0,48	4,1
	20-50	6,3	0,7	9,3 <sup>a</sup>	-20,4 <sup>c</sup>	10,2 <sup>c</sup>	45,9
		0,7	0,1		0,54	0,43	3,7
	50-100	4,8 <sup>b</sup>	0,6 <sup>b</sup>	8,9 <sup>b</sup>	-21,9 <sup>c</sup>	9,5 <sup>c</sup>	35,5
		0,6	0,1		0,81	0,43	2,5
	100-150	3,2 <sup>c</sup>	0,4 <sup>c</sup>	8,5 <sup>c</sup>	-22,8 <sup>c</sup>	9,4 <sup>c</sup>	28,6
		0,7	0,1		0,26	0,33	1,3
	150-160	2,7	0,2	9,3 <sup>c</sup>	-22,0	7,8 <sup>b</sup>	33,3
		1,1	0,1		1,52	0,45	7,1

\*Não comparado estatisticamente.

Apêndice 7: Comparações entre componentes vegetais. \*Teste Análise de Variância Simples (One-Way, ANOVA - StatSoft Inc., 1998) e \*\*Análise de Variância (ANOVA) com agrupamento (*nested*).

Comparações	C	N	C:N	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
*Mata: Sp. arbóreas vs. sp. herbáceas	0,34	0,82	0,64	0,20	0,28
Coeficiente de Variação	12,0	22,4	27,5	4,2	88,0
*Mata, Sp: Folhas de 1997 vs. folhas de 2002	<u>0,00</u>	0,57	0,06	0,64	0,28
Coeficiente de Variação	11,6	22,1	26,5	4,2	73,0
*Áreas alteradas, Sp: ciperáceas vs. gramíneas	0,08	1,00	0,40	<u>0,00</u>	0,34
Coeficiente de Variação	12,7	16,6	33,6	33,9	38,8
*Áreas alteradas, Sp: pastagem vs. plantação	<u>0,00</u>	0,11	<u>0,00</u>	0,38	0,25
Coeficiente de Variação	11,4	17,4	27,9	44,9	38,3
*Sp.: mata vs. áreas alteradas	<u>0,02</u>	<u>0,00</u>	<u>0,00</u>	<u>0,00</u>	<u>0,02</u>
*Mata: Sp. vs. folhas da serrap.	0,44	<u>0,00</u>	<u>0,04</u>	<u>0,00</u>	0,37
*Mata: Sp. vs. folhas do est. herbáceo	0,06	<u>0,01</u>	<u>0,02</u>	<u>0,00</u>	0,72
*Mata: Sp vs. est. herbáceo total	0,25	0,86	0,49	<u>0,00</u>	<u>0,04</u>
**Mata, Est. herbáceo: folhas vs. madeira	0,07	<u>0,01</u>	<u>0,04</u>	0,55	<u>0,04</u>
*Mata: Sp. vs. folhas da serrap.	0,54	0,80	<u>0,00</u>	<u>0,00</u>	0,37
*Mata: Sp. vs. serrap. total	<u>0,01</u>	<u>0,00</u>	<u>0,04</u>	0,88	<u>0,01</u>
**Mata, serrap.: folhas vs. total	0,54	<u>0,01</u>	<u>0,02</u>	<u>0,03</u>	0,08
**Mata, serrap.: folhas vs. madeira	0,23	<u>0,00</u>	<u>0,00</u>	<u>0,01</u>	<u>0,00</u>
**Serrap. graminóide: pastagem vs. plantação	0,06	0,63	0,31	0,11	<u>0,02</u>
*Pastagem: Sp. vs. est. herbáceo	0,36	<u>0,00</u>	<u>0,02</u>	<u>0,01</u>	<u>0,00</u>
*Pastagem: Sp. vs. folhas da serrap.	0,36	<u>0,00</u>	<u>0,02</u>	<u>0,01</u>	<u>0,00</u>

est. = estrato, serrap. = serrapilheira, sp. = espécies

Apêndice 8: Correlação ( $p$  abaixo) para composição elementar e isotópica para as espécies estudadas na mata e para as gramíneas. Valores sublinhados para correlação significativa ( $p < 0,05$ ).

	Folhas da Mata				Gramíneas			
	N	C:N	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	N	C:N	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
C	-0,13	<u>0,54</u>	0,14	-0,33	-0,42	<u>0,75</u>	0,55	0,14
	0,56	0,01	0,52	0,12	0,16	0,00	0,05	0,65
N		<u>-0,85</u>	0,10	<u>0,55</u>		<u>-0,86</u>	0,12	0,22
		0,00	0,63	0,01		0,00	0,69	0,47
C:N			0,03	<u>-0,53</u>			0,21	-0,20
			0,87	0,01			0,50	0,51
$\delta^{13}\text{C}$				0,15				-0,34
				0,48				0,26

Apêndice 9: Correlação para as variáveis do solo. Valores extraídos das médias das parcelas em cada horizonte de 0 a 160 cm. Valores sublinhados para significância ( $p < 0,05$ ,  $N=82$ ).

	Área	Umidade	pH	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	A.T.
Umidade	<u>0,74</u>							
pH	<u>-0,61</u>	<u>-0,51</u>						
K <sup>+</sup>	<u>-0,02</u>	<u>-0,02</u>	0,02					
Na <sup>+</sup>	<u>0,33</u>	<u>0,27</u>	<u>-0,12</u>	<u>0,29</u>				
Ca <sup>2+</sup>	<u>-0,43</u>	<u>-0,26</u>	<u>0,49</u>	<u>0,72</u>	0,01			
Mg <sup>2+</sup>	<u>-0,23</u>	<u>-0,16</u>	<u>0,35</u>	<u>0,84</u>	<u>0,31</u>	<u>0,84</u>		
A.T.	<u>0,67</u>	<u>0,44</u>	<u>-0,53</u>	<u>-0,06</u>	<u>0,27</u>	<u>-0,40</u>	<u>-0,21</u>	
C.T.C.	<u>0,28</u>	0,19	<u>-0,11</u>	<u>0,68</u>	<u>0,38</u>	<u>0,50</u>	<u>0,64</u>	<u>0,56</u>
P-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	<u>-0,30</u>	<u>-0,34</u>	<u>0,40</u>	<u>0,42</u>	0,14	<u>0,55</u>	<u>0,53</u>	<u>-0,21</u>
C	<u>-0,02</u>	<u>-0,02</u>	<u>-0,13</u>	<u>0,69</u>	<u>0,22</u>	<u>0,57</u>	<u>0,67</u>	0,03
N	0,00	0,01	<u>-0,21</u>	<u>0,70</u>	0,19	<u>0,55</u>	<u>0,62</u>	0,05
C:N	0,08	<u>-0,10</u>	0,21	<u>0,35</u>	0,16	<u>0,25</u>	<u>0,47</u>	0,07
δ <sup>13</sup> C	<u>-0,48</u>	<u>-0,44</u>	<u>0,86</u>	0,00	<u>-0,18</u>	<u>0,37</u>	<u>0,32</u>	<u>-0,42</u>
δ <sup>15</sup> N	<u>-0,19</u>	0,06	<u>0,32</u>	<u>-0,23</u>	<u>-0,34</u>	0,08	<u>-0,21</u>	<u>-0,21</u>
E.I.	<u>-0,48</u>	<u>-0,44</u>	<u>0,86</u>	0,00	<u>-0,18</u>	<u>0,37</u>	<u>0,32</u>	<u>-0,42</u>
	C.T.C.	P-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	C	N	C:N	δ <sup>13</sup> C	δ <sup>15</sup> N	
P-PO <sub>4</sub>	<u>0,30</u>							
C	<u>0,60</u>	<u>0,33</u>						
N	<u>0,59</u>	<u>0,29</u>	<u>0,98</u>					
C:N	<u>0,37</u>	<u>0,27</u>	<u>0,56</u>	<u>0,43</u>				
δ <sup>13</sup> C	<u>-0,08</u>	<u>0,29</u>	<u>-0,04</u>	<u>-0,16</u>	<u>0,46</u>			
δ <sup>15</sup> N	<u>-0,24</u>	<u>-0,13</u>	<u>-0,50</u>	<u>-0,44</u>	<u>-0,54</u>	<u>0,22</u>		
E.I.	<u>-0,08</u>	<u>0,29</u>	<u>-0,04</u>	<u>-0,16</u>	<u>0,46</u>	1,00	<u>0,22</u>	