

**CARBONO DAS FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E CLASSES
DE AGREGADOS DE SOLOS SOB SISTEMAS AGROFLORESTAIS
DE CACAU NO SUL DA BAHIA**

JOICE CLEIDE DE OLIVEIRA RITA

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO – UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
DEZEMBRO – 2007**

**CARBONO DAS FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E CLASSES
DE AGREGADOS DE SOLOS SOB SISTEMAS AGROFLORESTAIS
DE CACAU NO SUL DA BAHIA**

JOICE CLEIDE DE OLIVEIRA RITA

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal”.

Orientadora: Prof^a. Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues

CAMPOS DOS GOYTACAZES-RJ
DEZEMBRO – 2007

**CARBONO DAS FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E CLASSES
DE AGREGADOS DE SOLOS SOB SISTEMAS AGROFLORESTAIS
DE CACAU NO SUL DA BAHIA**

JOICE CLEIDE DE OLIVEIRA RITA

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal”.

Aprovada em 03 de dezembro de 2007.

Comissão examinadora:

Prof^a Solange Silva Samarão (D.Sc. Biociências e Biotecnologia) - ISTCA

Prof. José Carlos Polidoro (D.Sc. Ciência do Solo) EMBRAPA-Solos

Prof. Antônio Carlos da Gama-Rodrigues (D. Sc., Ciência do Solo) - UENF
Co-orientador

Prof^a Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues (Ph.D., Ciência do Solo) - UENF
Orientadora

“Por isso vos digo que tudo o que pedirdes,
orando, crede que o recebereis e te-lo-eis.”

Marcos 11, 24

A Deus, por me fazer sentir a sua presença em todos os momentos da minha caminhada, nos momentos felizes em que me conduzia pela mão e nos momentos de dificuldade em que me carregava em seus braços.

OFEREÇO.

Aos meus pais, Jorge e Márcia, e aos meus avós, Alcy e Celita, pelo amor, pelas orações e apoio em todas as etapas da minha vida.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que, do alto de sua infinita bondade, amor e sabedoria, nos permitiu a vida e nos chamou a contribuir junto a sua obra, evoluindo no caminho do bem e do amor.

Aos meus pais, Jorge e Márcia, e a toda família, pelo amor, apoio e compreensão.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), pela estrutura e a oportunidade concedida para a realização do curso de mestrado.

Ao USDA, em nome do Dr. Baligar, pela concessão da bolsa.

À empresa Almirante Cacau, pelo apoio logístico.

À Embrapa-Solos, pelo apoio nas análises do fracionamento físico da matéria orgânica e por permitir o uso do analisador Perkin Elmer CHNS.

À Prof^a Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues, pela confiança, pelo apoio, e, principalmente, pela ótima convivência e amizade.

Ao Professor Antonio Carlos da Gama-Rodrigues, pelas sugestões apresentadas para a melhoria do presente trabalho.

À Dra. Regina Machado, por todo o apoio concedido.

Ao Dr. Polidoro, pela contribuição nas análises de laboratório na Embrapa-Solos e pelas sugestões.

Ao Professor Cláudio Marciano, pela contribuição no cálculo do índice de agregação e formatação.

À Prof^a Solange, pelas sugestões apresentadas.

Aos pesquisadores, Lucieta, Daniel, Davi e Fabiano, pelo apoio dado a mim na Embrapa-Solos.

À Kátia Regina, por toda a atenção, contribuição e dedicação nas análises de laboratório.

Ao “Voka”, pelo auxílio na coleta de solo.

Aos técnicos e estagiários da Embrapa-Solos, Gilson, Júlio, Janine, Rojane, Rafaela, Alana e Kadu, pelo auxílio nas análises de laboratório.

Aos amigos do laboratório de solo, Carmen, Mariana, Rafaela, Amanda, Leisiani, Danielle, Maurício, Júnior, pelo auxílio nas análises no laboratório, e a Maria Kellen pelas sugestões quanto aos resultados.

Ao pessoal da Embrapa-Solos, Ricardo, Graciane, Carol, Ana Carolina, Shirley, Lorena, Zeca, Marcos, Karina e Marcelo, pela amizade e convivência.

Aos amigos do pensionato, Zenaída, Fladenir, Suzana e Conceição, pelo apoio e convivência no Rio de Janeiro.

Aos meus irmãos em Cristo, Débora, Enúbia, Lidiane, João e Willian, pela força e carinho.

Ao Davi e Michelle (*“in memoriam”*), pelo apoio e sugestões apresentadas para a melhoria deste trabalho.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desta dissertação.

Muito Obrigada!

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. Agregação do solo.....	4
3.2. Fracionamento físico da matéria orgânica.....	6
3.3. Qualidade do solo.....	7
3.4. Sistema agroflorestal	9
3.5. Sistema agroflorestal de cacau.....	10
3.5.1. Cultura do cacau.....	11
3.6. Influencia do manejo sobre as frações da matéria orgânica.....	12
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
4.1. Localização e descrição das áreas de estudo.....	14
4.2. Caracterização do experimento	14
4.2.1. Análises química e física do solo	15
4.2.2. Tamisamento úmido	16
4.2.2.1. Índice de agregação do solo.....	17
4.2.3. Fracionamento físico da matéria orgânica	18

4.3. Cálculo do estoque de carbono e nitrogênio do solo	19
4.4. Análise estatística	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5.1. Distribuição dos agregados estáveis em água.....	21
5.1.1. Índice de agregação do solo.....	23
5.2. Teor e estoque de carbono e nitrogênio do solo	23
5.3. Teor de carbono e nitrogênio das classes de agregado	24
5.4. Fracionamento físico da matéria orgânica do solo.....	25
5.4.1. Teor de carbono e nitrogênio das frações leves e pesadas do solo	25
5.5. Fracionamento físico da matéria orgânica das classes de agregado.....	29
5.5.1. Teor de carbono e nitrogênio das frações leves e pesadas da classe ..	29
6. CONCLUSÕES	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
APÊNDICE.....	40

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. Caracterização química e física dos solos sob floresta natural e sistemas agroflorestais de cacau

QUADRO 2. Distribuição dos agregados estáveis em água e o índice de agregação dos solos sob floresta natural e sistemas agroflorestais de cacau

QUADRO 3. Teor de carbono e nitrogênio (g kg^{-1}), relação C/N e estoque de carbono e nitrogênio (Mg ha^{-1}) dos solos sob floresta natural e sistemas agroflorestais de cacau

QUADRO 4. Teor de carbono, nitrogênio e relação C/N das classes de agregados dos solos sob floresta natural e sistemas agroflorestais de cacau

QUADRO 5. Teor de carbono das frações da matéria orgânica das classes de agregados dos solos sob floresta natural e sistema agroflorestal de cacau

QUADRO 6. Teor de nitrogênio das frações da matéria orgânica das classes de agregados dos solos sob floresta natural e sistema agroflorestal de cacau

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Teor de carbono da fração leve livre (FLL) e da fração leve intra-agregado (FLI) entre os solos sob floresta natural e sistema agroflorestal de cacau

FIGURA 2. Teor de nitrogênio da fração leve livre (FLL) e da fração leve intra-agregado (FLI) entre os solos sob floresta natural e sistema agroflorestal de cacau

FIGURA 3. Teor de carbono das frações pesadas (areia, silte, argila) entre os solos sob floresta natural e sistema agroflorestal de cacau

FIGURA 4. Teor de nitrogênio das frações pesadas (areia, silte, argila) entre os solos sob floresta natural e sistema agroflorestal de cacau

FIGURA 5. Relação C/N da fração leve livre (FLL) e da fração leve intra-agregado (FLI) entre os solos sob floresta natural e sistema agroflorestal de cacau

FIGURA 6. Relação C/N das frações pesadas (areia, silte, argila) entre os solos sob floresta natural e sistema agroflorestal de cacau

RESUMO

RITA, JOICE CLEIDE DE OLIVEIRA, M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, dezembro de 2007. Carbono das frações da matéria orgânica e classes de agregados de solos sob sistemas agroflorestais de cacau no sul da Bahia. Orientadora: Prof^a. Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues. Co-Orientador: Prof. Antonio Carlos da Gama-Rodrigues.

Os sistemas agroflorestais por promoverem grande deposição de resíduos vegetais sobre o solo, tornam-se importante fonte de matéria orgânica para o sistema solo, e assim, são considerados agrossistemas conservacionistas. O presente estudo teve os seguintes objetivos: determinar a distribuição dos agregados e o carbono e nitrogênio do solo e das classes de agregados; estudar a distribuição do carbono e nitrogênio das diferentes frações da matéria orgânica do solo e das classes de agregados dos solos em estudo. Este estudo foi realizado em agrossistemas de cacau (*Theobroma cacao*): cacau-cabruca e cacau com sombreamento definitivo de eritrina (*Erythrina* spp). A floresta natural foi considerada o sistema referencial. Em cada área de estudo, foram coletadas em março de 2007, quatro amostras simples de solo, que foram reunidas formando uma composta. Foram abertas minitrincheiras de profundidade 0-10 cm, nas entrelinhas, de forma aleatória, para a coleta de cada amostra simples, que foram então transferidas para uma peneira de malha de 19 mm e acondicionada em sacos plásticos. Por área foram obtidas quatro amostras compostas. A separação das classes de agregados foi realizada por via úmida, utilizando o aparelho de oscilação vertical, com um jogo de peneiras (2 mm; 1 mm; 0,250 mm; 0,053 mm),

graduada para uma amplitude de 4 cm de altura e uma frequência de 32 oscilações/minuto. As frações leves e pesadas da matéria orgânica (do solo e das diferentes classes de agregados) foram obtidas de acordo com o procedimento adotado por Sohi et al. (2001). As frações leves obtidas foram: a) fração leve livre - fração orgânica não associada aos componentes minerais do solo; e b) fração leve intra-agregado, fração orgânica do solo fisicamente protegida dentro dos agregados. Após a extração leve do material do solo, na mesma amostra, a fração organomineral (fração pesada) foi separada por granulometria. Para a comparação das médias foi usado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Os macroagregados representaram em torno de 98% das classes de agregado de cada cobertura. Os solos sob sistemas agroflorestais de cacau apresentaram mais de 60% de agregados na classe maior que 2 mm, enquanto na floresta, os maiores valores foram nas classes 2-1 e 1-0,250 mm. Não houve variação do diâmetro médio ponderado e do teor e estoque de carbono e nitrogênio dos solos sob floresta natural e sistemas agroflorestais. Os teores de carbono das classes de agregado variaram somente dentro das coberturas de floresta natural e cacau-eritrina, apresentando maiores teores de carbono na classe maior que 2 mm e os menores teores de carbono na classe 0,250-0,053 mm. Os sistemas agroflorestais de cacau são importantes na recuperação e/ou manutenção da matéria orgânica do solo, uma vez que apresentaram o carbono e nitrogênio da fração leve livre e intra-agregado do solo, e também o carbono da fração leve livre da classe 1-0,250 mm superiores ao encontrado na floresta natural.

ABSTRACT

RITA, JOICE CLEIDE DE OLIVEIRA, M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, December, 2007. Carbon of the fractions of the organic matter and classes of aggregate of soils under cocoa agroforestry systems in the south of the Bahia. Advisor: Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues. Co-advisor: Prof. Antonio Carlos da Gama-Rodrigues.

The agroforestry systems, promoting large waste disposal plant on the ground, become important source of organic matter to the soil system, and thus are considered agrosystems conservationist. This study had two aims: to determine the distribution of aggregate and the carbon and nitrogen in the soil and classes of aggregate; study the distribution of carbon and nitrogen from different fractions of soil organic matter and classes of aggregate in cocoa agroforestry systems. This study was conducted in cocoa (*Theobroma cocoa*) agroforestry systems: Cocoa "cabruca" and Cocoa with Erythrina shadow trees (*Erythrina* spp.). Soil sample will be collect in natural forest next to the agroforestry systems as a model for a self sustaining system. The cocoa agroforestry systems are located in research station Almirante Cacau, south Bahia, Brazil. Soil samples were collected in March 2007 from 0 to 10 cm depth. Four composite samples representing four individual samples were collected from each site. In order to minimize compression and to obtain a representative sample for soil aggregate, samples were taken using a bricklayer's trowel inserted into the soil at the lower level of sampling depth. Each soil sample was passed through a 19mm sieve, at the site of sampling, by gently breaking apart the soil. The size distribution of aggregates was measured by a wet

sieving method to obtain different size fractions (2 mm; 1 mm; 0,250 mm; 0,053 mm). Soil organic matter fractionation in soils and soils aggregates followed a protocol described by Sohi et al. (2001). The free light fraction (FLL), intra-aggregate light fraction (FLI) and heavy fraction (by particle size fractionation) were obtained. The macroaggregates represented around 98% of aggregates size classes in these soils. In cocoa agroforestry systems most than 60% of aggregates were in > 2 mm classes and were 2-1mm and 1-0,250 mm in forest soil. There were no variation on the mean weight diameter and in carbon and nitrogen content and storage in all soils. The carbon content on size classes varied only in natural forest and Cocoa with Erythrina with higher content in > 2 mm classe and lower carbon content in 0,250-0,053 mm classe. The cocoa agroforestry systems are important in the recovery and/or maintenance of soil organic matter, since it showed the carbon and nitrogen content in free light fraction and intra-aggregate light fraction and the carbon of free light fraction of classe 1-0250 mm were higher to that found in natural forest.

1. INTRODUÇÃO

A degradação de terras gera uma grande preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola e florestal, pois conduz à perda das camadas superficiais, onde há maior concentração de material orgânico (Fontes et al., 1996). Em razão disso, ocorre a redução dos estoques de carbono do solo, da agregação, da biomassa microbiana, da fertilidade do solo e, por conseqüência, a queda da produtividade, gerando migrações e novos ciclos de degradação para outras áreas florestadas. Portanto, torna-se necessário implantar sistemas de manejo agrícola de forma sustentável, favorecendo a manutenção da capacidade produtiva e a melhoria da qualidade florística e edáfica dos ecossistemas.

Nesse contexto, os sistemas agroflorestais, como o do cacau, podem ser considerados eficientes comunidades vegetais, por protegerem os solos tropicais contra os agentes de degradação, permitirem a preservação das florestas, sua valorização econômica e constituírem um agrossistema conservacionista do solo.

A cultura do cacau favorece o recobrimento total do terreno e forma uma densa camada de serapilheira, o que leva ao aumento da matéria orgânica e, por conseqüência, melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Santana et al., 1990). Nas propriedades físicas, a matéria orgânica apresenta um importante papel na agregação do solo, visto que participa do processo de formação e estabilização dos agregados (Bayer e Mielniczuk, 2008).

Assim como, a interação dos compostos orgânicos com os minerais e a formação de agregados diminui a ação dos microrganismos decompositores, a agregação do solo torna-se uma propriedade física importante para a manutenção da capacidade produtiva, principalmente pela sua influência na acumulação de carbono (Bronick e Lal, 2005).

A separação da matéria orgânica do solo (MOS), por meio da técnica do fracionamento físico, tem-se mostrado promissora e de grande importância para a avaliação da sustentabilidade do solo, por possibilitar a sua separação em diferentes frações orgânicas (fração leve livre, fração leve intra-agregado e fração pesada), cada qual respondendo, de forma distinta, às práticas de manejo (Collins et al., 1997). Dessa forma, pode-se avaliar o grau do manejo do solo, isto é, se o sistema está favorecendo a degradação ou a recuperação e/ou manutenção da matéria orgânica.

Segundo Pinheiro et al. (2004), as variações do conteúdo das frações leve livre e intra-agregado são resultantes das mudanças na quantidade e qualidade dos resíduos vegetais adicionados ao solo, da relação entre a entrada por superfície e subsuperfície destes resíduos e, principalmente das diferentes formas de manejo adotadas. Assim sendo, a fração leve livre constitui o compartimento orgânico mais sensível à degradação do solo pelo cultivo, podendo ser considerada um indicador precoce do declínio da MOS (Freixo et al., 2002 b). Todavia, a fração pesada, por ser mais estável às mudanças decorrentes do manejo, torna-se importante no acúmulo de carbono do solo (Souza et al., 2006).

2. OBJETIVOS

I- Determinar a distribuição dos agregados e o carbono e nitrogênio do solo e das classes de agregados;

II- Estudar a distribuição do carbono e nitrogênio das diferentes frações da matéria orgânica do solo e das classes de agregados dos solos em estudo;

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Agregação do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) tem um papel fundamental na formação dos agregados, unidades básicas da estrutura do solo, são resultantes da aproximação e da união entre as partículas (devido a forças de pressão e carga elétricas de superfície) e de sua estabilização pela ação de agentes cimentantes ou aglutinadores, como a matéria orgânica e os óxidos de ferro (Meurer, 2000).

Os compostos orgânicos envolvidos na formação dos agregados do solo podem ser transitórios, temporários e persistentes. Os transitórios são constituídos principalmente por polissacarídeos provenientes do metabolismo microbiano, que fazem parte do grupo dos carboidratos e representam entre 5-25% da matéria orgânica. Os temporários são as raízes e hifas. E os persistentes são polímeros orgânicos fortemente adsorvidos (Christensen, 2000).

Os agregados do solo podem ser divididos em: microagregados (agregados menores que 0,25 mm), formados pela interação das frações granulométricas entre si e destas com as moléculas orgânicas, cátions polivalentes e argila; e macroagregados (agregados maiores que 0,25 mm), resultantes da ação mecânica de raízes finas e hifas de fungos, principalmente os micorrízicos que entrelaçam os microagregados, formando estruturas mais complexas e diversificadas (Tisdall e Oades, 1982).

De acordo com Maia et al. (2006), trabalhando com a estabilidade e distribuição de percentual dos agregados estáveis em água em quatro sistemas agroflorestais (agrossilvipastoril, silvipastoril, agrossilvipastoril tradicional-1998, agrossilvipastoril tradicional-2002) e um sistema convencional, observaram que o solo, sob tratamento agrossilvipastoril em função dos cinco anos de cultivo, tendeu a perder a estrutura original pelo fracionamento dos agregados maiores em unidades menores. Já, no tratamento silvipastoril, foi observado um aumento significativo dos macroagregados em relação ao tratamento-referência (mata nativa). Dessa forma, a agregação do solo pode ser influenciada pelo tipo de manejo.

Segundo, Feller e Beare (1997) e Buyanovsky et al. (1994), a matéria orgânica protegida no interior de agregados apresenta um tempo de permanência no solo maior do que a matéria orgânica livre, sendo esta proteção maior nos microagregados do que nos macroagregados. Desse modo, o tempo de permanência do carbono orgânico do solo e a taxa de decomposição são fatores cruciais na eficácia da agregação (Bronick e Lal, 2005). Portanto, é importante a quantificação da matéria orgânica fracionada nas classes de agregados, tendo em vista que estas frações da MOS apresentam velocidades de transformação e níveis de proteção física distintos.

Franco et al. (2002), estimando as perdas de solo e nutrientes pela erosão em sistemas agroflorestais e convencionais, observaram que os sistemas convencionais apresentam a maior perda para todos os nutrientes analisados, principalmente o cálcio, o magnésio e o carbono orgânico. Tal fato mostra que, no horizonte superficial dos solos sem a barreira física gerada pelos resíduos vegetais, ocorre o empobrecimento de carbono e a degradação ao longo dos anos.

Uma das conseqüências da diminuição da MOS é justamente a desestruturação, o que facilita ainda mais o processo de escoamento superficial. Neste contexto, torna-se importante o uso de árvores que são responsáveis por diversos benefícios ao solo, tais como proteção contra o impacto das gotas de chuva, manutenção do teor de matéria orgânica e melhoria das características do solo (Young, 1997).

3.2. Fracionamento físico da matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) desempenha um papel fundamental no entendimento dos agroecossistemas, visto que possui um heterogêneo conjunto de materiais orgânicos, que difere em composição, grau de disponibilidade para a microbiota e função no ambiente (Carter, 2001). Diante deste fato, torna-se importante proceder a algum tipo de fracionamento, com o intuito de identificar os componentes homogêneos em relação às propriedades, à dinâmica e à função, que levam a MOS a alterar as propriedades do solo e do ambiente (Campos, 2003).

No fracionamento físico, a separação da MOS pode ser efetuada pelo fracionamento densimétrico ou granulométrico. O primeiro permite o isolamento e a quantificação dos compartimentos mais lábeis, fração leve livre e intra-agregado, formados principalmente por resíduos orgânicos em diferentes estádios de decomposição (Christensen, 1992; Janzen et al., 1992). O fracionamento granulométrico permite o estudo dos compartimentos mais humificados ligados à fração mineral do solo, areia, silte e argila, tipicamente mais estáveis às mudanças nos ambientes do solo provocadas pelo manejo (Feller e Beare, 1997).

As frações da matéria orgânica, tais como a fração leve livre (FLL), apresentam composição semelhante à dos resíduos vegetais, com maior perda dos compostos mais lábeis (carboidratos e proteínas), fragmentos de raízes, sementes, mesofauna e microfauna. Dentre as frações da MOS, a FLL é a que apresenta maior variabilidade espacial e sazonal, isto porque está muito ligada ao suprimento de resíduos orgânicos do sistema solo (Christensen, 2000). Estudos espectroscópicos, conduzidos por Freixo et al. (2002a), mostram que essa fração encontra-se nos estágios iniciais de transformação.

A fração leve intra-agregado (FLI) é a fração leve fisicamente protegida dentro dos agregados do solo. Para sua obtenção, é necessário um tratamento de quebra (dispersão) do agregado. Essa fração tem uma ciclagem mais lenta e, em geral, é mais humificada que a FLL (Freixo et al., 2002a).

Deve-se ressaltar que, o compartimento formado pela serapilheira e pelo solo é o sítio de todas as etapas da decomposição da matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes. O conjunto serapilheira-solo não representa somente uma fonte de carbono e energia para os organismos do solo, é também o habitat onde todas as ações do organismo ocorrem, garantindo a sua sobrevivência e

reprodução. A serapilheira é a porção mais dinâmica desse conjunto e, possivelmente, a mais variável não só entre os ecossistemas, mas também dentro de um mesmo ecossistema (Correia e Andrade, 2008).

A fração pesada (FP) pode ser dividida de acordo com o tamanho das partículas, sendo mais comumente separada nas frações areia ($>53 \mu\text{m}$), silte (2-53 μm) e argila (0-2 μm). Na FP, são encontrados os maiores estoques de carbono do solo, cuja dinâmica estaria intimamente relacionada à textura (Feller e Beare, 1997; Freixo et al., 2002 b). Em solos arenosos, a maior proporção de carbono estaria na fração areia, enquanto, nos solos argilosos, comporia as frações mais finas. Quanto maior a superfície específica da partícula, maior é a capacidade de interação dessa partícula à matéria orgânica (Campos, 2003).

A matéria orgânica associada à fração areia é composta de resíduos vegetais e outros materiais aderidos à superfície da partícula. Assim, esta fração apresenta uma maior susceptibilidade aos microrganismos e à decomposição, que as demais frações pesadas. Além disso, possui uma relação C:N de aproximadamente 20 (Feller e Beare, 1997).

A matéria orgânica associada à fração silte, denominada complexo organo-siltoso, é composta de materiais vegetais e fúngicos altamente humificados, associados aos microagregados estáveis, com relação C:N próxima de 15 (Feller e Beare, 1997), podendo ainda variar de 12 a 14 em Latossolo (Freixo et al., 2002b).

A matéria orgânica associada à fração argila, chamada de complexo organo-argiloso, atua cimentando a matriz argilosa, predominando a matéria orgânica amorfa, de relação C:N variando de 7 a 12 (Feller e Beare, 1997; Freixo et al., 2002b). Esta fração tem capacidade de “reter” a matéria orgânica, dependendo do tipo do solo, do teor e tipo de argila. Portanto, nas frações mais finas (silte e argila) quanto menor é o tamanho da partícula, menor é a relação C:N.

3.3. Qualidade do solo

A qualidade do solo (QS) está relacionada com a interação do ecossistema num todo, isto é, mantém a capacidade produtiva do solo, favorece o desenvolvimento da planta, a produtividade agrícola, além de contribuir para o

bem-estar dos seres vivos, sem deteriorar os recursos naturais básicos ou prejudicar o ambiente.

Para definir qualquer indicador de qualidade de solo, deve-se selecionar aquele que efetiva e eficientemente consiga monitorar as funções críticas do solo (ciclagem de nutrientes, fluxo de água, crescimento e desenvolvimento de plantas), de acordo com as metas do manejo específico para a avaliação que está sendo feita (Karlen et al., 2003). Assim sendo, a qualidade do solo é de grande importância para avaliar a sustentabilidade do sistema de produção, pois pode ser mensurada por indicadores sensíveis às variações do manejo e bem correlacionados com as funções desempenhadas pelo solo (Doran e Zeiss, 2000).

Segundo Islam e Weil (2000), os possíveis indicadores de QS podem ser distintos em três grupos, a saber: 1) efêmeros, cujas alterações dão-se rapidamente no tempo, segundo o manejo: pH, disponibilidade de nutrientes, densidade, porosidade e umidade do solo; 2) intermediários, com forte influência nos processos que ocorrem no solo: matéria orgânica do solo, agregação e biomassa microbiana; e 3) permanentes, são inerentes ao solo: profundidade, textura e mineralogia. Dentre estes, os indicadores do grupo intermediário são os mais aptos a serem utilizados como ferramentas de monitoramento da qualidade do solo. Dessa forma, a matéria orgânica possui potencial para ser utilizada como atributo-chave da qualidade do solo (Doran e Parkin, 1994; Mielniczuk, 2008), por ser dinâmica e sensível a modificações no solo em decorrência das práticas de manejo (Freixo, 2000), e ainda por influenciar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Maia et al. (2006), trabalhando com o impacto de sistema agroflorestal e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense, mostraram que os teores de carbono orgânico total nos tratamentos, cultivo intensivo, agrossilvipastoril (modelo rotativo) e agrossilvipastoril tradicional, foram reduzidos em 40,3, 38,4 e 35%, respectivamente, em relação ao da mata nativa na camada de 0-6 cm.

No âmbito da pesquisa, por meio do fracionamento físico da matéria orgânica, obtêm-se frações sensíveis (FLL e FLI) e frações mais estáveis (areia, silte, argila) às mudanças decorrentes do manejo. De acordo com alguns autores, Marin et al. (2006); Freixo et al. (2002b); Janzen et al. (1992), as frações leves podem ser indicadores sensíveis às mudanças decorrentes das diferentes formas

de uso do solo. Porém, a fração pesada dos solos cultivados, apresentou mais de 80% de carbono, o qual foi pouco modificado pelas práticas de manejo adotadas, o plantio direto e convencional, em dois sistemas de rotação, a saber, pousio/arroz-pousio/soja e crotalária/arroz-milheto/soja (Freixo et al., 2002b). Dessa forma, o carbono pode acumular-se em frações lábeis ou estáveis da MOS, podendo ter implicações na durabilidade do seu efeito quanto à retenção de carbono atmosférico (Bayer et al., 2004)

3.4. Sistema agroflorestal

Os sistemas agroflorestais são considerados sistemas que incluem árvores e arbustos lenhosos, diversificando a produção para o aumento de benefícios sociais, econômicos e ambientais (Schroth et al., 2004). Estes têm por objetivo criar diferentes estratos vegetais e imitar um bosque natural, onde as árvores e/ou os arbustos, pela influência que exercem no processo de ciclagem de nutrientes e no aproveitamento da energia solar, são considerados os elementos estruturais básicos e a chave para a estabilidade do sistema (Müller et al., 2004; Ribaski et al., 2001).

No sistema agroflorestal, a ciclagem de nutrientes torna-se mais eficiente, visto que as espécies arbóreas influenciam a quantidade e a disponibilidade de nutrientes dentro da zona de atuação do sistema radicular das culturas associadas. Tal fato se dá por meio do acréscimo de nitrogênio (fixação biológica do nitrogênio) e da interceptação dos nutrientes lixiviados das camadas superficiais, que se acumulam no subsolo, geralmente, fora do alcance das raízes da cultura agrícola, e retornam à superfície na forma de serapilheira. (Ribaski et al., 2001). Desse modo, o sistema agroflorestal pode ser considerado uma prática agrícola viável e conservacionista, por possibilitar um maior aporte de resíduos vegetais em diferentes quantidades e qualidades orgânicas, favorecendo, assim, o aumento da matéria orgânica do solo.

De acordo com Rodrigues (2003), os sistemas agroflorestais têm sido apontados como uma das alternativas econômico-ecológicas viáveis de produção agrícola. Estes sistemas constituem o tipo de uso do solo que mais se aproxima da estrutura e da dinâmica da vegetação natural, podendo substituir, com certa eficiência, a sua função ecofisiológica de manutenção do equilíbrio ecológico nos trópicos úmidos. Para cada local, deve-se encontrar um manejo específico e,

preferencialmente, baseado nos princípios agroecológicos, a fim de garantir a produção de alimentos de alta qualidade biológica, aliada a uma estabilidade ecológica e socioeconômica da produção a longo prazo.

3.5. Sistemas agroflorestais de cacau

Os sistemas agroflorestais, além de variáveis, são muito flexíveis, permitindo a utilização de espécies e ecossistemas de todo o mundo. Neste contexto, é bastante conhecida, nos trópicos úmidos, a associação de árvores de sombra com culturas perenes, como alternativa de uso sustentado de um sistema de produção. Dentre vários exemplos de associação, pode-se destacar o cultivo do cacau, por ser uma planta tolerante à sombra, pode ser cultivada em associação com outras espécies sob mata raleada (cacau-cabruca), ou sob cultivos alimentícios (sombreamento provisório) e espécies arbóreas como, por exemplo, a eritrina introduzida na área (sombreamento definitivo) (Muller et al., 2004).

No sistema cacau-cabruca, os cacauzeiros são cultivados sob sombreamento de mata que, geralmente, consistem de uma mistura de espécies. O raleamento da floresta é realizado, retirando-se a vegetação de menor porte e mantendo-se a vegetação de grande porte para garantir o sombreamento. Este sistema de plantio foi bastante utilizado na formação dos cacauais da Bahia

Já no sombreamento definitivo, são empregadas árvores plantadas ou nativas. Dentre as espécies de sombra plantadas, a eritrina é uma das mais utilizadas. A vantagem do seu uso é o enriquecimento do solo com nitrogênio, resultante da fixação biológica do nitrogênio. Neste sistema, são realizados derruba total, recorte e queima do revestimento florístico da área. As plantas jovens são, inicialmente, cultivadas sob sombreamento provisório com bananeira, ou outros cultivos alimentícios, como mandioca e milho, por cerca de 2-3 anos, ou até que as plantas de eritrinas (sombreamento definitivo) estejam fornecendo sombra suficiente (Muller et al., 2002).

O sombreamento funciona como elemento regulador da atividade do cacauzeiro, mediante maior ou menor quantidade de luz que proporciona à planta, visto que favorece condições ambientais estáveis, sem oscilações bruscas de temperatura e umidade (Gramacho et al., 1992). Assim sendo, a combinação do cacauzeiro com espécies não lenhosas (bananeira, mandioca, etc.) e espécies

lenhosas (eritrina, cajá, etc.) é uma excelente comprovação da compatibilidade e complementaridade de diferentes espécies e, ao mesmo tempo, sustentabilidade de sistemas de produção multiestratificados (Müller, et al., 2004).

A cultura do cacau constitui um agrossistema conservacionista do solo, devido ao recobrimento total do terreno e pela formação de densa camada de serapilheira (Santana et al., 1990). Fontes (2006), trabalhando com a ciclagem de nutrientes nas mesmas áreas do presente estudo, observou que a floresta apresentou valores de serapilheira acumulados iguais ou inferiores aos dos sistemas agroflorestais de cacau.

Santana et al. (1990), avaliando a concentração de nutrientes nas folhas caídas de cacauzeiros sob diferentes agrossistemas de cacau (cacau-cabruca, cacau com eritrina e cacau sem sombreamento), encontraram uma maior concentração de nitrogênio e fósforo nas folhas de árvores de sombra, principalmente no sombreamento com eritrina. No entanto, as quantidades de cálcio, magnésio, zinco e manganês foram mais elevadas nos resíduos de folhas de cacau.

3.5.1. Cultura do cacau

O cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.) é uma espécie nativa da floresta tropical úmida americana, sendo seu centro de origem, provavelmente, as nascentes dos rios Amazonas e Orinoco. É uma planta perene, arbórea, dicotiledônea, pertencente à família Sterculiaceae (Gramacho et al., 1992), cultivada em regiões tropicais onde ocorrem pequenas variações na radiação solar e na temperatura do ar durante o ano.

As condições climáticas mais adequadas para o desempenho normal dos diversos processos fisiológicos do cacauzeiro caracterizam-se geralmente por uma precipitação pluvial em torno de 1400 a 2500 mm/ano, bem distribuída no decorrer do ano, e uma temperatura média do ar de 22,4 a 26,7°C (Pinho et al., 1992).

Um dos maiores problemas fitopatológicos das regiões produtoras de cacau é a doença “vassoura-de-bruxa”, causada pelo fungo *Crinipellis pernicioso*, que infecta as regiões meristemáticas da planta, ocasionando queda acentuada na sua produção e enfraquecimento geral. Em razão disso, vários programas de melhoramento genético foram desenvolvidos visando à seleção de variedades resistentes à doença e com características agrônômicas desejáveis.

A cultura do cacau pode ser considerada a mais eficiente comunidade vegetal, no que se refere à proteção dos solos tropicais contra agentes de degradação. Isso porque possui muito dos atributos de sustentabilidade da floresta heterogênea natural, podendo tornar-se num componente sócio-econômico-ecológico apropriado para reduzir a pressão antrópica sobre a cobertura vegetal original dos trópicos úmidos (Muller, et al., 2004). Além disso, esta cultura é uma importante fonte de matéria prima para a indústria do chocolate, manteiga de cacau e outros subprodutos.

3.6. Influência do manejo sobre as frações da matéria orgânica

A dinâmica de carbono no sistema pode ser determinada pela combinação de três controladores, a taxa de adição de resíduos, a taxa de mineralização desse material e a taxa de humificação. Essa dinâmica é conduzida por fatores climáticos, edáficos, pela vegetação e manejo. Ao analisar esses fatores, pode-se constatar que o manejo é a forma com que a ação do homem pode provocar a redução do carbono no solo (Campos, 2003). Assim sendo, o manejo inadequado favorece a transferência de carbono da biomassa e da matéria orgânica para a atmosfera na forma de CO₂, juntamente com aquele liberado da queima dos combustíveis fósseis, favorecendo o efeito estufa. Estudos mostram que o carbono derivado desse aumento de CO₂ atmosférico é alocado principalmente em constituintes vegetais e em compartimentos de carbono no solo, que são rapidamente mineralizados e com rápida ciclagem (Piccolo, 1999).

Lal et al. (2004) avaliaram o manejo do carbono do solo e constataram que a reposição do carbono é essencial para acentuar a qualidade e a sustentabilidade do solo, melhorar a produção de alimentos, a conservação da água e a redução do aumento de CO₂. Desse modo, o tipo de uso do solo com sistema agroflorestal induz aumentos nos níveis de carbono orgânico, devido ao maior aporte de resíduos orgânicos que este sistema recebe ao longo dos anos (Perez et al., 2004).

Janzen et al. (1992) observaram a influência do tipo de manejo no teor da fração leve livre e intra-agregado. Este fato foi associado à quantidade de deposição dos resíduos vegetais, à taxa de decomposição do substrato e ao efeito positivo da aplicação do fertilizante nessas frações, o que pode ter promovido a produção e o retorno de substrato orgânico para o solo, na forma de raízes, folhas

e exsudato. Segundo, Bayer et al. (2004) o aporte de resíduos deve ser mantido continuamente no plantio direto, pois a sua interrupção pode resultar num efluxo de carbono da fração lábil da matéria orgânica para a atmosfera.

O acúmulo de carbono em frações lábeis da matéria orgânica pode estar relacionado com a proteção física do carbono no interior de agregados, em consequência da inacessibilidade aos microrganismos e suas enzimas (Bayer et al., 2004; Feller e Beare, 1997). A matéria orgânica (MO) protegida no interior de agregados (fração leve intra-agregado) apresenta um tempo de permanência no solo maior do que a MO livre (fração leve livre) (Buyanovsky et al., 1994).

Neste contexto, Freixo et al. (2002b), trabalhando com as frações orgânicas de um Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo (plantio direto e convencional), observaram que o compartimento orgânico que se mostrou mais sensível à degradação do solo pelo cultivo foi a fração leve livre (FLL), sendo considerada um indicador precoce do declínio da matéria orgânica. Já em relação ao carbono da MO associada aos minerais (fração pesada), a ciclagem é bem mais lenta, no que se refere à sua formação e decomposição (Bayer et al., 2004).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização e descrição das áreas de estudo

O trabalho foi realizado em duas áreas de sistemas agroflorestais de cacau (sombreamento definitivo e mata raleada), ambas com aproximadamente 30 anos de idade, e uma floresta natural, considerada o sistema referencial. Todas as áreas estudadas estão localizadas na Fazenda Brasileira, no município de Uruçuca, e apresentam precipitação média anual de 1500 mm, clima quente e úmido. O solo das seguintes áreas foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa e com parcela de 1500 m².

No sombreamento definitivo (cacau-eritrina), foi utilizada a eritrina (*Erythrina* spp). Neste sistema, foi retirado todo revestimento florístico da área pelo método da derruba total, para formação de plantações tecnicamente orientadas da eritrina e do cacau. No sistema sob mata raleada (cacau-cabruca), foi realizado o cultivo do cacau em consórcio com a mata nativa, retirando a vegetação rasteira e as árvores de menor porte, permanecendo somente aquelas que tendem a sombrear as plantas de cacau. A Floresta natural apresentou pouca intervenção antrópica.

4.2. Caracterização do experimento

Em cada área de estudo, foram coletadas em março de 2007, quatro amostras simples de solo, que foram reunidas formando uma composta. Foram

abertas minitrincheiras de profundidade 0-10 cm, nas entrelinhas, de forma aleatória, para a coleta de cada amostra simples, que foram então transferidas para uma peneira de malha de 19 mm e acondicionada em sacos plásticos. Por área foram obtidas quatro amostras compostas, que foram utilizadas para a determinação da análise química, a distribuição dos agregados e o fracionamento físico da matéria orgânica do solo e das classes de agregado.

4.2.1. Análise química e física do solo

As amostras de solo coletadas na camada de 0-10 cm foram secas ao ar e passadas em peneira com 2 mm de abertura, constituindo a terra fina seca ao ar (TFSA). Logo, foram determinadas as seguintes características, conforme os métodos descritos pela EMBRAPA (1999): pH em água; P, K e Na extraíveis por Mehlich-1, sendo P determinado por colorimetria (pelo método da vitamina C, modificado por Braga e Defelipo, 1974), K e Na por fotometria de chama; Ca, Mg e Al trocáveis por KCl 1 mol L⁻¹, sendo Ca e Mg determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o Al por titulação, com NaOH 0,025 mol L⁻¹; H + Al por acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0; N total pelo método Kjeldahl; C-orgânico total por oxidação com K₂Cr₂O₇ 1,25 mol L⁻¹ em meio ácido (Anderson e Ingram, 1996). A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1999) e a densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997). As características químicas e físicas dos solos estudados encontram-se no quadro 1.

Quadro 1: Caracterização química e física dos solos sob floresta natural e sistemas agroflorestais de cacau

Parâmetros Estudados	Floresta Natural	Cacau-Cabruca	Cacau-Eritrina
pH (H ₂ O)	4,17 b	4,81 a	4,27 ab
COT (g kg ⁻¹)	32,81 a	32,21 a	35,46 a
NOT (g kg ⁻¹)	2,82 a	2,51 a	2,90 a
P (mg dm ⁻³)	4,83 a	5,23 a	6,63 a
K (cmol _c dm ⁻³)	0,16 a	0,10 a	0,14 a
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,72 b	2,50 a	1,47 ab
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,58 b	1,37 a	0,93 ab
Al (cmol _c dm ⁻³)	1,55 a	0,38 b	0,83 b
H + Al (cmol _c /dm ³)	11,10 a	7,26 b	9,32 ab
Areia Fina (g kg ⁻¹)	110,4 a	121,5 a	107,7 a
Areia Grossa (gkg ⁻¹)	266,8 b	380,1 a	287,9 b
Silte (g kg ⁻¹)	5,80 a	5,87 a	6,85 a
Argila (g kg ⁻¹)	564,81a	439,74 b	535,98 ab

Médias seguidas de letras iguais na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. COT: carbono orgânico total; NOT: nitrogênio orgânico total, P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio e H + Al: acidez potencial.

4.2.2. Tamisamento Úmido

A metodologia proposta baseia-se em medir a quantidade e a distribuição dos agregados estáveis em água (EMBRAPA, 1997).

As amostras de solo foram secas ao ar em casa de vegetação por um dia. Antes da execução da metodologia no laboratório, parte desse solo foi colocada em um jogo de peneira de malhas 4 mm, 2 mm e fundo. O solo retido na malha 2 mm foi misturado com do fundo da peneira e, em seguida, homogeneizado. Foram pesados 25 g de amostras de solo em placa de vidro por quatro vezes, totalizando 100 g de solo/amostra composta, que foram pré-umedecidas por meio de um borrifador e mantidas em repouso por 4 h. Evitou-se o encharcamento do solo para que não ocorresse a desestruturação durante a agitação mecânica.

Esta amostra de solo então foi transferida para a parte superior de um jogo de peneiras na ordem decrescente: 2 mm; 1 mm; 0,250 mm; 0,053 mm de abertura de malha. Os agregados contidos na peneira superior foram umedecidos por capilaridade e o nível da água no jogo de peneira foi ajustado adequadamente. Os agregados foram agitados por 15 min em um aparelho de Yooder de oscilação vertical, graduado para uma amplitude de 4 cm de altura e uma frequência de 32 oscilações/min. Em seguida, foram retiradas as amostras contidas nas peneiras com o auxílio de jatos de água dos pissetes, passando-as para as placas de Petri, previamente pesadas e levadas à estufa a 105°C por 24h.

A umidade do solo foi determinada, pesando-se 20 g de amostra de solo, colocada em um cadinho de alumínio de peso conhecido e levado para a estufa a 105°C por 24 h e, depois, transferido para um dessecador. O peso dessa amostra seca a 105°C foi utilizado para o cálculo do percentual de agregados de cada classe, determinado pela seguinte fórmula:

$$\% \text{ de agregados} = (\text{Peso dos agregados no intervalo de classe} / \text{Peso da amostra inicial}) \times 100$$

Após a separação das classes de agregado, foram determinados o carbono e o nitrogênio do solo e das diferentes classes, por meio do analisador automático de carbono total (Perkin Elmer CHNS, Series II 2400).

4.2.2.1. Índice de agregação do solo

Os valores obtidos das classes de agregados foram usados para o cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP), que é tanto maior quanto maior for a percentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores. O DMP dos agregados foi calculado por meio da seguinte equação:

$$\text{DMP} = \sum (x_i \cdot w_i) \text{ sendo,}$$

w_i = proporção de cada classe em relação ao total,

x_i = diâmetro médio das classes (mm);

4.2.3. Fracionamento físico da matéria orgânica

A metodologia proposta baseou-se no fracionamento densimétrico (fração leve) e no fracionamento granulométrico (fração pesada) na profundidade de 0-10 cm.

- Fracionamento por densidade

Para a obtenção das frações leves (fração leve livre e intra-agregado) da matéria orgânica, foi utilizada a metodologia adaptada por Sohi et al. (2001). Primeiramente, foi extraída do solo, a fração leve livre (FLL), por meio de uma solução de iodeto de sódio (NaI), com densidade de $1,80 \text{ g cm}^{-3}$, ajustada por densímetro em duplicata, totalizando 10 g na proporção de 5 g terra fina (passada em peneira de 2 mm) seca ao ar. Foram adicionados nos tubos de centrífuga, 35 ml de NaI e, a seguir, efetuou-se uma leve agitação manual por 30 s e centrifugação a 9000 rpm por 15 min, sob temperatura de 15°C . O sobrenadante foi succionado logo em seguida, por meio da bomba de vácuo, e a FLL foi separada em filtro de fibra de vidro (2 m - Whatman tipo GF/A). Esta fração coletada foi lavada abundantemente com água destilada, para a eliminação do excesso de NaI.

Após a remoção da FLL, a fração leve intra-agregado (FLI) foi obtida por aplicação de ultra-som por 3 min, equivalente a uma intensidade de 400 J ml^{-1} , visando à desagregação e dispersão do solo. Depois deste tratamento, foi realizado o mesmo procedimento efetuado para coleta da FLL, separando-se assim a FLI. Os filtros contendo as frações leves foram posteriormente secos a 40°C por 48 h, pesados e finalmente moídos em almofariz, para a determinação de carbono e nitrogênio totais por meio do analisador automático de carbono total (Perkin Elmer CHNS, Series II 2400).

A solução de NaI utilizada nas frações leves foi reaproveitada mediante a remoção do carbono solúvel. Foram colocados 25 g de carvão ativado em um 1 L de NaI, agitando-o por 30 min, e, em seguida, foi realizada a filtragem na bomba. O ajuste da densidade desta solução foi feito por meio do densímetro.

- Fracionamento por granulometria

Com a extração das frações leves, a amostra de solo residual, correspondente à fração pesada, foi separada por granulometria, de acordo com metodologia proposta por Gavinelli et al. (1995). Foram adicionados 0,5 g de hexametáfosfato de sódio (HMP) à amostra residual obtida das duas repetições, deixou-a agitar por uma noite em 86 rpm, para a dispersão total da amostra do solo. Posteriormente, foi realizado o peneiramento úmido, utilizando peneira de 53 μm , de modo a ser obtida a fração orgânica associada à areia, lavando-a abundantemente com água e transferindo-a para uma placa de Petri previamente pesada.

Depois disso, a amostra ficou somente com a fração orgânica associada ao silte (2-53 μm) e à argila (0-2 μm), que logo foi transferida para uma proveta de 1000 ml e, com base na lei de Stokes pelo método da pipeta, realizou-se a homogeneização e a primeira pipetagem de 100 ml da suspensão que representou a fração total (0-53 μm). Depois de um período de 4 h a 25°C, foi realizada a segunda pipetagem de 100 ml (5 cm superficiais na proveta), que representou a fração argila (0-2 μm). Nesse método, a fração silte (2-53 μm) não foi isolada, mas determinada pela diferença entre a massa total encontrada, após a homogeneização, e a quantidade de fração argila isolada. As frações pesadas foram secas em estufa a 55°C, pesadas e moídas em almofariz, para posterior determinação de carbono e nitrogênio totais.

Após a execução desses fracionamentos (densimétrico e granulométrico), foram obtidas cinco frações da matéria orgânica do solo: fração leve livre (FLL), fração leve intra-agregado (FLI), fração areia (FA), fração silte (FSIL) e fração argila (FARG). Determinaram-se seus percentuais de carbono e nitrogênio por meio do analisador automático de carbono total (Perkin Elmer CHNS, Series II 2400).

4.3. Cálculo do estoque de carbono e nitrogênio do solo

O estoque de carbono do solo foi obtido pela seguinte fórmula:

$$Ct \text{ (Mg ha}^{-1}\text{)} = C \text{ (g Kg}^{-1}\text{)} * Dap * Prof. \text{ (m)} * 10$$

Considerando-se que:

Ct (Mg ha^{-1}) é o carbono total acumulado na fração

C (g Kg^{-1}) é a quantidade de carbono na fração
Dap (Kg dm^{-1}) é a densidade aparente do solo

Prof. (m) é a profundidade da camada de solo estudada

O estoque de nitrogênio foi obtido da mesma maneira.

4.4. Análise estatística

Os dados obtidos das análises químicas do solo, da distribuição dos agregados e do fracionamento físico dos solos e das classes de agregado, foram submetidos à análise de variância, adotando-se o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Para a comparação das médias foi usado o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Distribuição dos agregados estáveis em água

A distribuição das classes de agregados variou dentro e entre as coberturas estudadas somente nas classes $> 0,250$ mm (Quadro 2). Os macroagregados representaram em torno de 98% das classes de agregado de cada cobertura. Os solos sob sistemas agroflorestais de cacau apresentaram mais de 60% de agregados na classe > 2 mm, e a floresta natural apresentou em torno de 45% de agregados nesta mesma classe. Entre as coberturas, os sistemas agroflorestais de cacau apresentaram os maiores valores de agregados na classe > 2 mm, enquanto, na floresta, os maiores valores foram nas classes 2-1 e 1-0,250 mm (Quadro 2). Estes resultados mostram a importância dos sistemas agroflorestais de cacau na formação dos agregados, já que estes sistemas formam uma densa camada de resíduos vegetais sob o solo.

Cruz et al. (2003), estudando os atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo, associaram a maior agregação do solo, no campo nativo (0,10-0,20 m), à maior densidade de raízes apresentada pelas gramíneas perenes neste sistema, abrangendo um volume maior de solo.

Quadro 2: Distribuição dos agregados estáveis em água e o índice de agregação dos solos sob floresta natural e sistemas agroflorestais de cacau

Classes de Agregados (mm)	Floresta Natural	Cacau-cabruca	Cacau-eritrina
	------(%)-----		
> 2	44,88 Ab	66,96 Aa	64,80 Aa
2-1	30,42 Ba	19,73 Bb	25,18 Bab
1-0,250	23,29 Ba	11,97 BCb	9,00 Cb
0,250-0,053	0,98 Ca	1,04 CDa	0,60 Ca
< 0,053	0,43 Ca	0,30 Da	0,42 Ca
DMP	----- (mm) -----		
	1,95 a	2,38 a	2,38 a

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, maiúscula (comparação das classes de agregado dentro de cada cobertura) e, na linha, minúscula (comparação entre as coberturas dentro de cada classe de agregado) não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. DMP, diâmetro médio ponderado dos agregados; Macroagregado (classe > 0,250 mm) e Microagregado, (classe < 0,250 mm).

Maia et al. (2006), trabalhando com a estabilidade e distribuição de percentual dos agregados estáveis em água, em quatro sistemas agroflorestais (agrossilvipastoril, silvipastoril, agrossilvipastoril tradicional-1998, agrossilvipastoril tradicional-2002), observaram os maiores efeitos dos tratamentos nas classes C1 (4,76-2,0 mm) e C5 (<0,25 mm). Na classe C1, eles observaram que o maior percentual de agregado foi encontrado nos tratamentos silvipastoril, agrossilvipastoril tradicional-2002 e mata nativa. Já Boulhosa (1984) observou uma diminuição do percentual de agregados retidos em peneiras de 2,0 mm nesta ordem: capoeirão > sistemas de cultivo com capim > cacau > dendê > seringueira. Este autor associou os resultados à degradação da estrutura do solo pelos processos mecanizados adotados nas respectivas culturas. Desse modo, o sistema de manejo afeta significativamente a estabilidade e a formação dos agregados (Roldán et al., 2005).

5.1.1. Índice de agregação do solo

O diâmetro médio ponderado (DMP) não variou entre as coberturas vegetais (Quadro 2). Estes resultados sugerem que os sistemas agroflorestais de cacau estão favorecendo a formação de agregados grandes da mesma forma que a floresta.

Segundo Carvalho et al. (2004), o diâmetro médio ponderado foi estatisticamente superior em sistema agroflorestal quando comparado ao do sistema de preparo convencional. Eles observaram que a presença de grande quantidade de restos vegetais em diferentes estágios de decomposição, nos sistemas agroflorestais, promoveu um estímulo à atividade biológica e contribuiu para a formação de agregados estáveis. Assim sendo, a matéria orgânica do solo tem um papel fundamental na formação dos agregados.

Filho et al. (2002) observaram maior número de agregados grandes no solo sob plantio direto em relação ao do plantio convencional, o que pode ter sido influenciado pelo aumento da matéria orgânica do solo no plantio direto. No entanto, Cruz et al. (2003) mostraram o maior conteúdo de carbono orgânico no solo sob plantio direto, sem, portanto, promover diferenças significativas no diâmetro médio dos agregados, quando comparado ao dos solos sob plantio convencional e campo nativo.

5.2. Teor e estoque de carbono e nitrogênio do solo

Os teores e estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) do solo não apresentaram diferenças significativas entre as coberturas estudadas (Quadro 3). Tal fato indica que os sistemas agroflorestais são importantes na recuperação e/ou manutenção da matéria orgânica do solo, por apresentarem valores próximos aos do sistema referencial (floresta natural). Estes sistemas agroflorestais promovem aumentos nos níveis de matéria orgânica do solo, devido ao maior aporte de resíduos orgânicos que estes recebem ao longo dos anos, além de protegerem os solos tropicais contra agentes de degradação (Perez et al., 2004; Muller, et al., 2004). Desse modo, os sistemas agroflorestais constituem o tipo de uso do solo que mais se aproxima da estrutura e da dinâmica da vegetação natural (Rodrigues, 2003).

Quadro 3: Teor de carbono e nitrogênio (g kg^{-1}), relação C/N e estoque de carbono e nitrogênio (Mg ha^{-1}) dos solos sob floresta natural e sistemas agroflorestais de cacau

Coberturas Estudadas	C	N	C/N	Densidade	C	N
	----- g kg^{-1} -----			Kg dm^{-1}	----- Mg ha^{-1} -----	
Floresta Natural	39,90 ^{ns}	4,33 ^{ns}	9,46 ^{ns}	0,84	33,52 ^{ns}	3,63 ^{ns}
Cacau-Cabruca	33,38	3,65	9,26	1,16	36,71	4,02
Cacau-Eritrina	42,30	4,60	9,22	1,05	44,42	5,06

^{ns} Não houve diferença significativa entre as coberturas estudadas, na coluna, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.3. Teor de carbono e nitrogênio das classes de agregado

O teor de carbono (C) das classes de agregados pouco variou dentro das coberturas vegetais. A floresta natural e o cacau-eritrina apresentaram o maior teor de C na classe > 2 mm e o menor teor C na classe 0,250-0,053 mm (Quadro 4). Estes resultados mostram a importância da matéria orgânica do solo na formação dos macroagregados (Quadro 4). De acordo com Tisdall e Oades (1982) e Mielniczuk et al. (2003), os macroagregados (agregados maiores que 0,25 mm) são resultados da ação mecânica de raízes finas e hifas de fungos, principalmente micorrízicos entrelaçando os microagregados, formando estruturas mais complexas, diversificadas, e com grande quantidade de matéria orgânica retida. Nos demais parâmetros, não foram encontrados diferenças significativas.

Já entre as coberturas, somente houve diferença na relação C/N da classe > 2 mm, em que foi maior na floresta, seguido do cacau-eritrina e do cacau-cabruca (Quadro 4). O solo sob cacau-cabruca, por apresentar a menor relação C/N, pode estar favorecendo mais ativamente o processo de decomposição e mineralização da matéria orgânica.

Quadro 4: Teor de carbono, nitrogênio e relação C/N das classes de agregados dos solos sob floresta natural e sistemas agroflorestais de cacau

Parâmetros Estudados (g Kg ⁻¹)	Classes de Agregados	Floresta Natural	Cacau-Cabruca	Cacau-Eritrina
C das Classes	> 2mm	43,55 Aa	34,75 Aa	46,25 Aa
	2-1 mm	37,55 ABa	32,13 Aa	33,50 ABa
	1-0,250mm	35,68 ABa	26,83 Aa	29,35 ABa
	0,250-0,053 mm	29,50 Ba	20,97 Aa	28,43 Ba
N das Classes	> 2mm	4,03 Aa	4,40 Aa	5,15 Aa
	2-1 mm	3,62 Aa	3,95 Aa	5,30 Aa
	1-0,250mm	3,87 Aa	3,57 Aa	ND
	0,250-0,053 mm	3,53 Aa	4,43 Aa	4,0 Aa
C/N das Classes	> 2mm	10,80 Aa	7,76 Ab	10,35 Aab
	2-1 mm	10,36 Aa	8,33 Aa	5,94 Aa
	1-0,250mm	9,42 Aa	7,62 Aa	ND
	0,250-0,053 mm	8,83 Aa	5,62 Aa	8,28 Aa

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, maiúscula (comparação das classes de agregado dentro de cada cobertura) e, na linha, minúscula (comparação entre as coberturas dentro de cada classe de agregado) não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. ND, não determinado.

5.4. Fracionamento físico da matéria orgânica do solo

5.4.1. Teor de carbono e nitrogênio das frações leves (FLL e FLI) e pesadas (areia, silte, argila) do solo

Nos teores de carbono (C) da fração leve intra-agregado (FLI), foi observado que o cacau-cabruca apresentou o maior valor dentre as coberturas, diferindo somente ao da floresta (Figura 1).

Para o teor de nitrogênio (N) da fração leve livre (FLL), o cacau-eritrina mostrou-se importante para o fornecimento de N para o sistema solo (Figura 2). Já para o N da FLI, não foi observada diferença significativa entre os sistemas

agrofloretais, que diferiram ao da floresta. Estes resultados sugerem que a floresta possivelmente contribuiu para uma menor manutenção das frações leves.

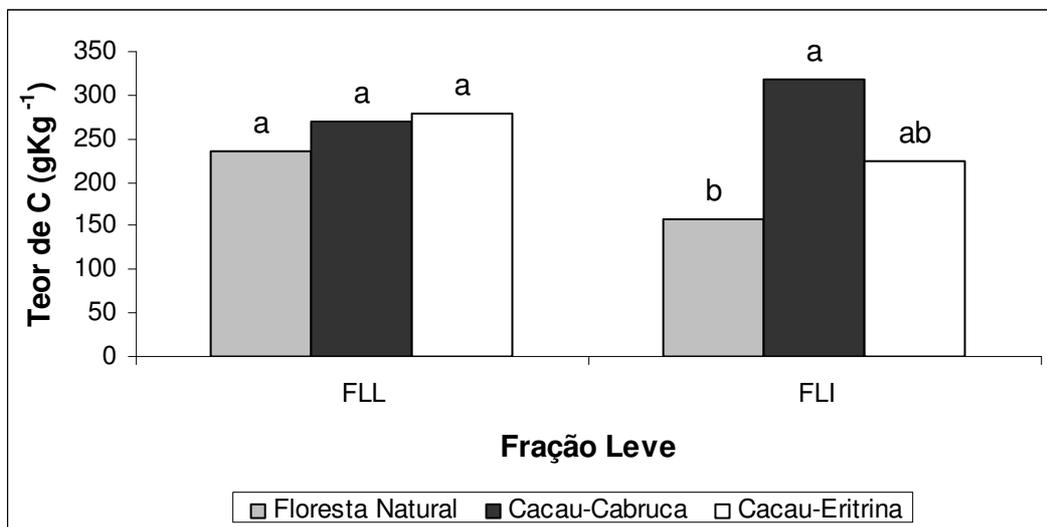


Figura 1: Teor de carbono da fração leve livre (FLL) e da fração leve intra-agregado (FLI) entre os solos sob floresta natural e sistema agroflorestral de cacau.

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

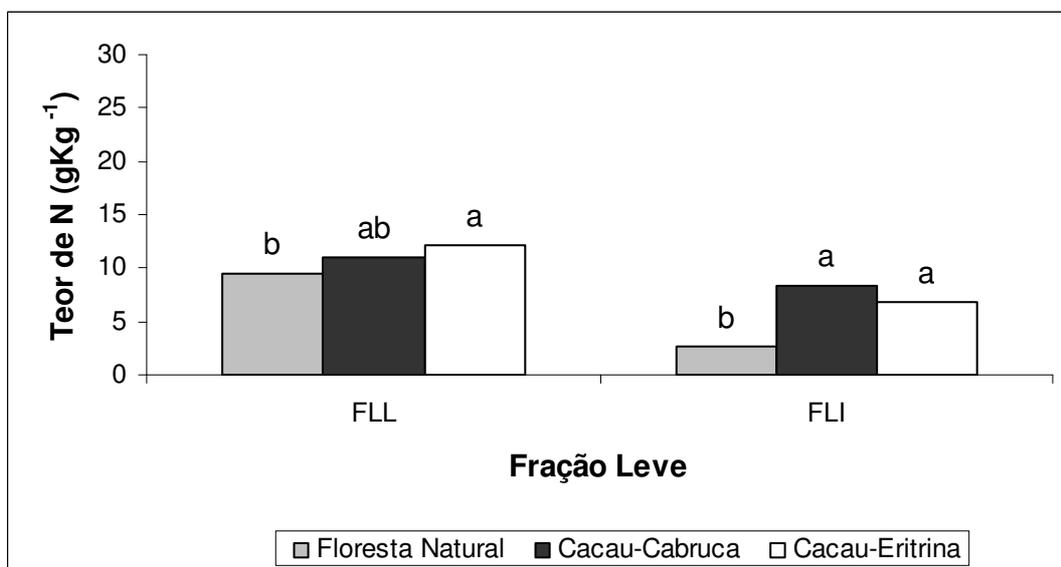


Figura 2: Teor de nitrogênio da fração leve livre (FLL) e da fração leve intra-agregado (FLI) entre os solos sob floresta natural e sistema agroflorestral de cacau.

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nos teores de C e N da fração pesada (FP), não foram observadas diferenças significativas entre as coberturas (Figuras 3 e 4). De acordo com alguns autores, Souza et al., (2006); Freixo et al., (2002b), a FP é pouco modificada pelas práticas de manejo adotadas. Desse modo, a FP, por ser mais estável às mudanças decorrentes do manejo, torna-se importante na manutenção do carbono no solo. Dessa forma, as frações leves, podem ser importantes indicadores precoces para a avaliação do sistema de manejo, visto que tais frações são facilmente decomponíveis e estão diretamente ligadas ao suprimento de resíduos orgânicos do sistema (Christensen, 2000).

A relação C:N pode ser considerada um parâmetro importante no estudo da dinâmica da matéria orgânica do solo, podendo ser um indicador da estabilidade da fração.

Nas frações mais finas (silte e argila), quanto menor o tamanho da partícula, menor é a relação C:N. No entanto, não houve diferença nas frações silte e argila entre as coberturas (Figura 6). Desse modo, a relação C:N encontrada na fração argila está de acordo com aquela obtida por Campos, (2003) e abaixo da encontrada por Freixo et al. (2002b). Já na fração silte, a relação C:N se encontra abaixo das encontradas por ambos os autores, exceto na da floresta.

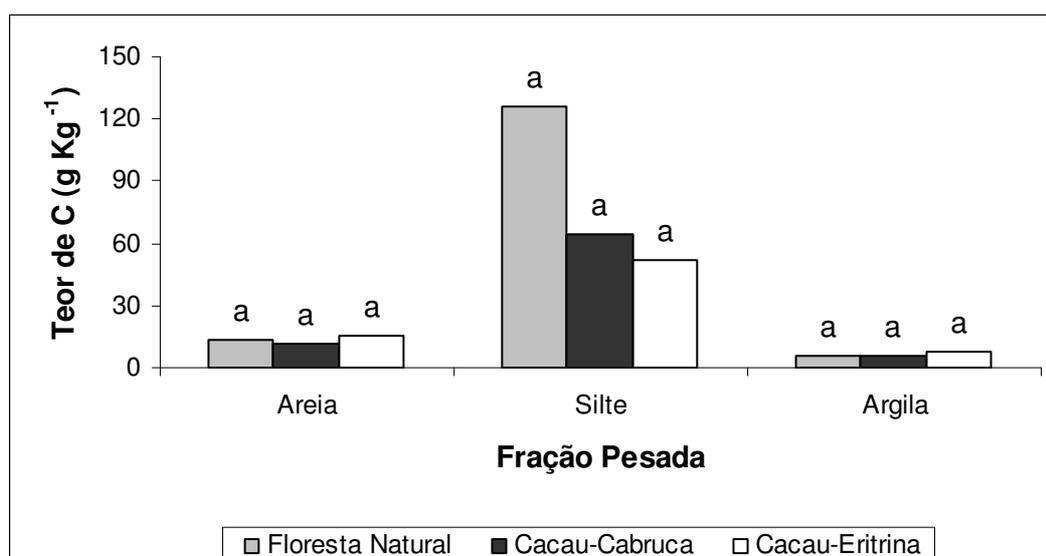


Figura 3: Teor de carbono das frações pesadas (areia, silte, argila) entre os solos sob floresta natural e sistema agroflorestal de cacau.

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

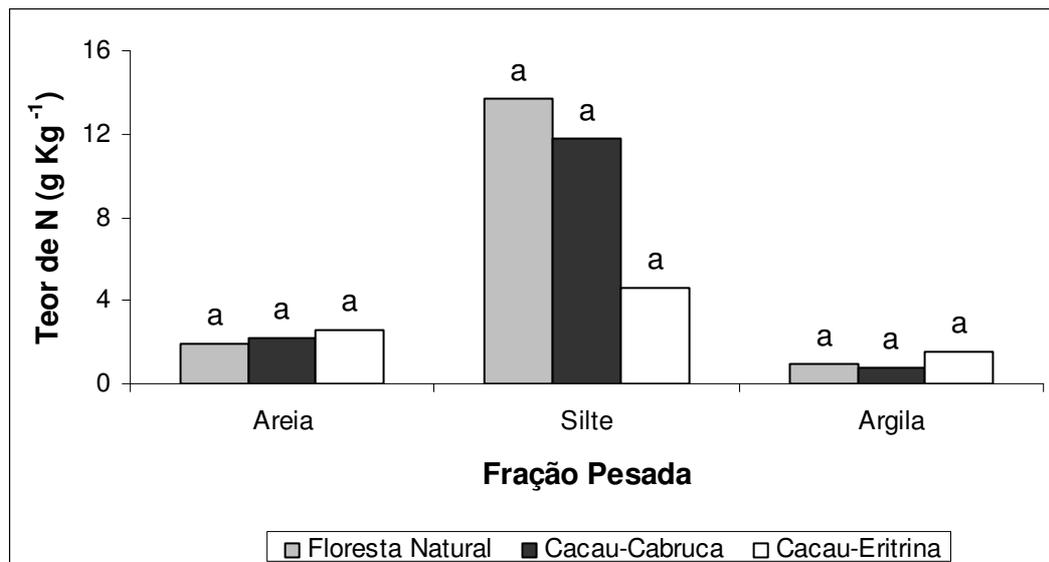


Figura 4: Teor de nitrogênio das frações pesadas (areia, silte, argila) entre os solos sob floresta natural e sistema agroflorestal de cacau.

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

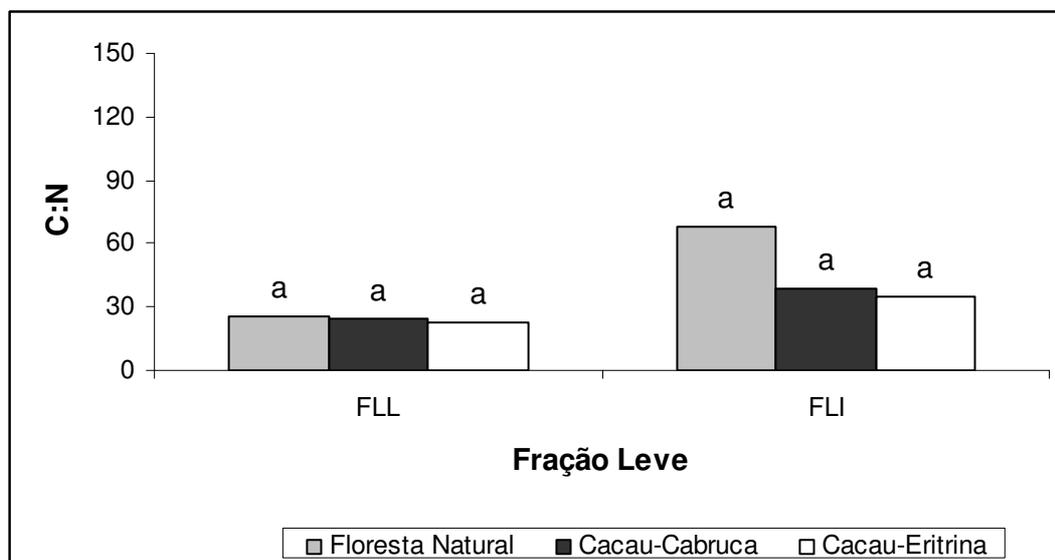


Figura 5: Relação C/N da fração leve livre (FLL) e da fração leve intra-agregado (FLI) entre os solos sob floresta natural e sistema agroflorestal de cacau.

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

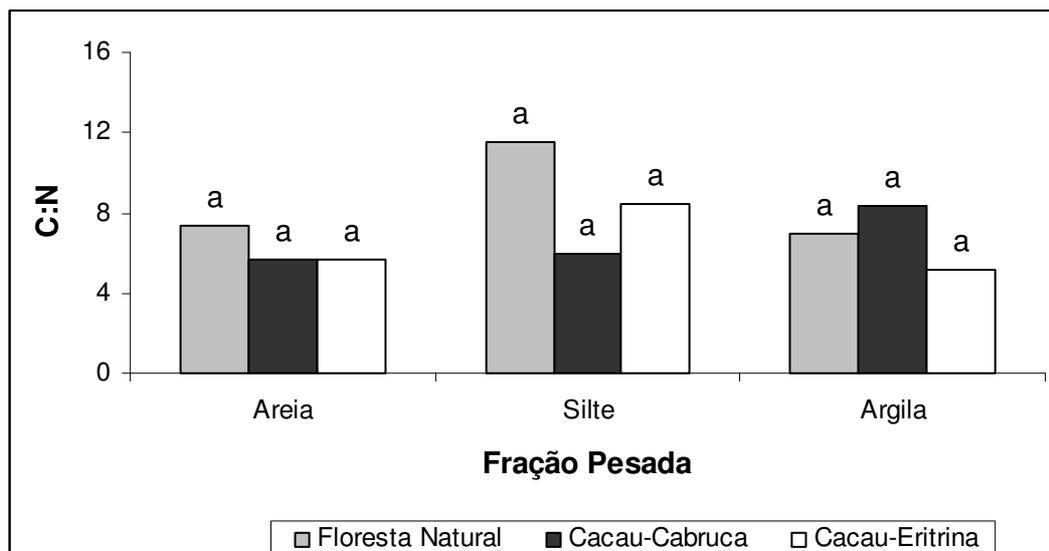


Figura 6: Relação C/N das frações pesadas (areia, silte, argila) entre os solos sob floresta natural e sistema agroflorestal de cacau.

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.5. Fracionamento físico da matéria orgânica das classes de agregado

5.5.1. Teor de carbono e nitrogênio das frações leves (FLL e FLI) e pesadas (areia, silte, argila) das classes

Nos teores de C e N das frações da matéria orgânica das classes, foram observadas algumas diferenças nas frações pesadas dos sistemas agroflorestais (Quadro 5). O solo sob cacau-cabruca apresentou dentre as classes, o maior teor de C na > 2 mm da fração areia. Já no cacau-eritrina foi encontrado diferença nas classes da fração silte. Para o teor de N, o cacau-cabruca, apresentou o maior valor na classe de menor tamanho (1-0,250 mm), e menor valor na classe de maior tamanho (> 2 mm) da fração silte (Quadro 6). Segundo Feller e Beare (1997) e Buyanovsky et al. (1994), a matéria orgânica protegida no interior de agregados apresenta um tempo de permanência no solo maior do que a matéria orgânica livre, sendo esta proteção maior nos microagregados do que nos macroagregados.

Já, entre as coberturas, foram observadas diferenças nas frações leves e pesadas. Os teores de C da FLL e da FLI foram maiores no cacau-cabruca nas respectivas classes, 1-0,25 mm e 2-1 mm (Quadro 5). Assim sendo, o sistema de manejo pode influenciar no teor da fração leve livre e intra-agregado, visto que

mudanças ocorrem na quantidade e qualidade dos resíduos vegetais adicionados ao solo, da relação entre a entrada por superfície e subsuperfície destes resíduos (Pinheiro et al., 2004).

Na fração pesada, somente houve diferença significativa no teor de N da fração argila na classe 2-1 mm, com maior valor no cacau-eritrina, seguido do cacau-cabruca e floresta (Quadro 6). Como a matéria orgânica é a principal fonte de C e N para o solo, torna-se importante a sua manutenção ou recuperação por meio de implantação de sistemas de manejo sustentável, assim como o sistema agroflorestal de cacau.

Quadro 5: Teor de carbono das frações da matéria orgânica das classes de agregados dos solos sob floresta natural e sistema agroflorestal de cacau

Coberturas Estudadas	Classes de agregado	Floresta Natural						Cacau-cabruca		Cacau-eritrina	
		----- g Kg ⁻¹ -----									
C-FLL das classes	> 2mm	259,87 (22,42)	Aa	270,30 (11,69)	Aa	286,85 (8,94)	Aa				
	2-1 mm	251,92 (13,39)	Aa	262,61 (21,27)	Aa	284,48 (9,46)	Aa				
	1-0,250 mm	225,05 (5,61)	Ab	260,14 (3,67)	Aa	254,72 (5,83)	Aab				
C-FLI das classes	> 2mm	226,15 (16,41)	Aa	277,17 (6,15)	Aa	281,48 (44,21)	Aa				
	2-1 mm	196,04 (9,03)	Ab	322,43 (31,72)	Aa	240,90 (11,59)	Ab				
	1-0,250 mm	209,25 (7,64)	Aa	233,90 (10,92)	Aa	271,35 (12,29)	Aa				
C-FA das classes	> 2mm	22,68 (2,22)	Aa	12,25 (2,06)	Aa	17,90 (4,15)	Aa				
	2-1 mm	18,13 (3,51)	Aa	8,33 (0,96)	ABa	14,23 (2,76)	Aa				
	1-0,250 mm	11,93 (1,54)	Aa	5,40 (0,76)	Ba	12,20 (2,33)	Aa				
C-FSIL das classes	> 2mm	84,30 (36,45)	Aa	17,93 (9,01)	Aa	134,22 (22,11)	Aa				
	2-1 mm	57,12 (19,90)	Aa	52,04 (20,55)	Aa	40,44 (7,64)	Ba				
	1-0,250 mm	30,70 (11,51)	Aa	33,88 (9,38)	Aa	ND					
C-FARG das classes	> 2mm	6,60 (1,27)	Aa	7,85 (0,95)	Aa	3,30 (1,53)	Aa				
	2-1 mm	5,97 (0,72)	Aa	5,97 (0,74)	Aa	3,50 (2,47)	Aa				
	1-0,250 mm	4,65 (0,25)	Aa	5,45 (1,52)	Aa	8,55 (0,88)	Aa				

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, maiúscula (comparação das classes de agregado dentro de cada cobertura) e, na linha, minúscula (comparação entre as coberturas dentro de cada classe de agregado) não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. C-FLL, carbono da fração leve livre; C-FLI, carbono da fração leve intra-agregado; C-FA, carbono da fração areia; C-FSIL, carbono da fração silte e C-FARG, carbono da fração argila; Valores entre parênteses referem-se ao erro-padrão da média (n= 4); ND, não determinado.

Quadro 6: Teor de nitrogênio das frações da matéria orgânica das classes de agregados dos solos sob floresta natural e sistema agroflorestal de cacau

Coberturas Estudadas	Classes de agregado	g Kg ⁻¹					
		Floresta Natural		Cacau-cabruca		Cacau-eritrina	
N-FLL das classes	> 2mm	9,84 (1,17)	Aa	9,36 (1,31)	Aa	11,52 (0,56)	Aa
	2-1 mm	9,71 (0,98)	Aa	9,90 (1,33)	Aa	10,72 (0,68)	Aa
	1-0,250 mm	9,68 (0,71)	Aa	12,61 (0,55)	Aa	13,06 (1,23)	Aa
N-FLI das classes	> 2mm	8,86 (0,62)	Aa	9,73 (0,98)	Aa	12,03 (2,08)	Aa
	2-1 mm	7,55 (0,38)	Aa	12,12 (2,14)	Aa	10,15 (0,76)	Aa
	1-0,250 mm	7,59 (0,64)	Aa	8,73 (1,56)	Aa	11,98 (1,02)	Aa
N-FA das classes	> 2mm	3,38 (0,27)	Aa	2,23 (0,31)	Aa	2,35 (0,63)	Aa
	2-1 mm	2,60 (0,43)	Aa	2,23 (0,33)	Aa	2,90 (0,31)	Aa
	1-0,250 mm	1,65 (0,20)	Aa	1,57 (0,15)	Aa	1,95 (0,25)	Aa
N-FSIL das classes	> 2mm	19,71 (6,70)	Aa	4,39 (0,92)	Ba	11,40 (4,90)	Aa
	2-1 mm	9,65 (3,75)	Aa	12,11 (0,41)	ABa	8,17 (4,90)	Aa
	1-0,250 mm	15,66 (3,11)	Aa	13,33 (3,64)	Aa	ND	
N-FARG das classes	> 2mm	1,80 (0,07)	Aa	1,15 (0,11)	Aa	1,55 (0,55)	Aa
	2-1 mm	0,93 (0,20)	Ab	1,17 (0,24)	Aab	1,75 (0,10)	Aa
	1-0,250 mm	1,15 (0,25)	Aa	1,50 (0,70)	Aa	1,85 (0,25)	Aa

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, maiúscula (comparação das classes de agregado dentro de cada cobertura) e, na linha, minúscula (comparação entre as coberturas dentro de cada classe de agregado) não diferem estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey. N-FLL, nitrogênio da fração leve livre; N-FLI, nitrogênio da fração leve intra-agregado; N-FA, nitrogênio da fração areia; N-FSIL, nitrogênio da fração silte e N-FARG, nitrogênio da fração argila. Valores entre parênteses referem-se ao erro-padrão da média (n= 4); ND, não determinado.

6. CONCLUSÕES

- As classes de agregados maiores que 0,250 mm foram predominantes nos solos estudados.
- O uso dos sistemas agroflorestais de cacau promoveu aumento do percentual de agregado na classe maior que 2 mm.
- Não houve influência das coberturas estudadas nos teores de carbono e nitrogênio do solo.
- Os teores de carbono das classes de agregado variaram somente dentro das coberturas de floresta natural e cacau-eritrina, apresentando maiores valores de carbono na classe maior que 2 mm e os menores valores de carbono na classe 0,250-0,053 mm.
- Os teores de carbono da fração leve livre da classe 1-0,25 mm e da fração leve intra-agregado da classe 2-1 mm foram maiores no solo sob cacau-cabruca.
- O teor de nitrogênio da fração argila da classe 2-1 mm foi maior no solo sob cacau-eritrina.
- Os sistemas agroflorestais de cacau demonstraram ser um sistema conservacionista de uso do solo, uma vez que apresentaram teor de carbono e nitrogênio da fração leve livre e intra-agregado do solo superiores ao encontrado na floresta natural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, J.D., Ingram, J.S.I. (1996) Tropical soil biology and fertility. In: *A handbook of methods*. 2 ed, Wallingford, UK CAB International, 171p.
- Bayer, C., Martin-Neto, L., Mielniczuk, J., Pavinato, A. (2004) Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 39:677-683.
- Bayer, C., Mielniczuk, J. (2008) Dinâmica e função da matéria orgânica, In: Santos, G. A; Silva, L.S. Canellas, L.P. Camargo, F.A.O. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais*, 2. ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, p. 7-18.
- Boulhosa E.F. (1984) *Efeito de sistemas de cultivo sobre propriedades físicas de um latossolo amarelo textura média*. Tese (Mestrado em manejo e conservação de solos) – Paraíba, Universidade Federal da Paraíba.
- Braga, J.M., Defelipo, B.V. (1974) Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solo e material vegetal. *Revista Ceres*, Viçosa, 21:73-85.
- Bronick, C.J., Lal, R. (2005) Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124:3-22.
- Buyanovsky, G.A., Aslam, M., Wagner, G.H. (1994) Carbon turnover in soil physical fractions. *Soil Science Society of America Journal*, 58:1167-1173.
- Campos, D.V.B.de. (2003) *Uso da técnica de ¹³C e fracionamento físico da matéria orgânica em solos sob cobertura de pastagens e cana-de-açúcar na*

região da mata atlântica. Tese (Doutorado em Agronomia) – Rio de Janeiro – RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, 175p.

- Carter, M.R. Organic matter and sustainability. (2001) In: Rees, R.M.; Ball, B.C.; Campbell, C.D.; Watson, C.A. (ed) *Sustainable management of soil organic matter*. New York: CABI Publishing, p. 9-22.
- Carvalho, R. W., Goedert J., Armando M. S. (2004) Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal, *Pesquisa agropecuária brasileira* 39:1153-1155.
- Christensen, B.T. (1992) Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil Sci.*, 20:1-90.
- Christensen, B.T. (2000) Organic matter in soil: structure, function and turnover. *Tijele*: DIAS, (DIAS Report. Plant Production, 30).
- Collins, H.P., Paul, E.A., Paustian, K., Elliott, E.T. (1997) Characterization of soil organic carbon relative to its stability and turnover. In: Paul, E.A.; Elliott, E.T.; Paustian, K., Cole, C.V., eds. *Soil organic matter in temperate agroecosystems: long-term experiments in North America*. Boca Raton, CRC Press, p. 51-72.
- Correia, M.E.F., Andrade, A.G. de. (2008) Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes, In: Santos, G. A; Silva, L.S. Canellas, L.P. Camargo, F.A.O. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicai.*, 2. ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, p. 137-154.
- Cruz, A. C. R., Pauletto, E. A., Flores, C. A., Silva, J. B. (2003) Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:1105-1112.
- Doran, J.W., Parkin, T.B. (1994) Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bzdicek, D.F. et al. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: SSA, n°5, p. 3-21.
- Doran, J.W., Zeiss, M.R. (2000) Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15:3-11.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. (1997) *Manual de métodos de análises de solo*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS). 2 ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 212p.

- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (1999) *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília: Embrapa solos, 379p.
- Feller, C., Beare, M.H. (1997) Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, 79:69-116.
- Filho, C.C., Lourenço, A., Guimarães, M. de F. Fonseca, I.C.B. (2002) Aggregate stability under different soil management system in a red latosol in the state of Parana Brazil. *Soil & Tillage Research*, 65:45-51.
- Fontes, A.G. (2006) *Ciclagem de Nutrientes em Sistemas Agroflorestais de Cacau no Sul da Bahia*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense. 103p.
- Fontes, R.L.F., Jucksch, I., Mendonça, E.S. de., Dantos, R.H.S., Dias, L.E. (1996) *Impactos ambientais do uso agrícola do solo*. ABEAS/ UFV. Departamento de Solos- Universidade Federal de Viçosa- UFV, Módulo xiii, 58p.
- Franco, F. S., Couto, L., Carvalho, A. F., Jucksch, I., Filho, E. I. F., Silva, E., Neto, J. A. A. M. (2002) Quantificação de erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na Zona da Mata de Minas Gerais. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, 26:751-760.
- Freixo, A.A. (2000) *Caracterização da matéria orgânica de latossolos sob diferentes sistemas de cultivo através de fracionamento físico e espectroscopia de infravermelho*. Tese (Mestrado em Agronomia) – Rio de Janeiro – RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, 86p.
- Freixo, A.A., Canellas, L.P., Machado, P.L.O.A. (2002a) Propriedades espectrais da matéria orgânica leve livre e leve intra-agregado de dois latossolos sob plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira do Solo*, 26:445-453.
- Freixo, A.A., Machado P.L.O.A., Guimarães C.M., Silva C.A., Fadigas F.S. (2002b) Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26: 425-464.
- Gavinelli, E., Feller, C., Larré-Larrouy, M.C., Bacye, B., Djegui, N. and Nzila, J.D. (1995) A routine method to study soil organic matter by particle-size fractionation: example for tropical soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26 (11 e12), 1749-1760.

- Gramacho, I.C.P., Magno, A.E.S., Mandarino, E.P., Matos, A. (1992) *Cultivo e beneficiamento do cacau na Bahia*. Ilhéus: CEPLAC. 124p.
- Islam, K.R., Weil, R.R. (2000) Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. *Journal of Soil and Water Conservation*, 55:69-78.
- Janzen, H.H., Campbell, C.A., Brandt G.P., Lafond, G.P., Townley-Smith, L. (1992) Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:1799-1806.
- Karlen, D. L., Ditzler, C. A., Andrews, S. S. (2003) Soil quality: why and how? *Geoderma*, 114:145-156.
- Lal, R., Griffin, M., Apt, J., Lave, L., Morgan, M.G. (2004) Managing soil carbon. *Science*, 304, 393.
- Maia, S. M. F., Xavier, F. A. da S., Oliveira, T. S., Mendonça, E. de Sá., Filho, J. A. de A. (2006) Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. *Revista Árvore*, 30:837-848.
- Marin, A.M.P., Menezes, R.S.C., Silva, E.D., Sampaio, E.V. de S.B.S. (2006) Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestral no Agreste Paraibano. *Revista Brasileira. Ciência do Solo*, 30:555-564.
- Meurer J. E. (2000) Introdução à ciência do solo, In: Meurer, E.J. *Fundamentos de química do solo*, gênese, Porto Alegre, p.11-21.
- Mielniczuk, J. (2008) Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas, In: In: Santos, G. A; Silva, L.S. Canellas, L.P. Camargo, F.A.O. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicai*, 2. ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, p. 1-5.
- Mielniczuk, J., Bayer, C., Vezzani, F.M., Lovato, T., Fernandes, F.F., Debarba, L. (2003) Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. *Tópicos em Ciência do Solo*, v.3, p. 209-249
- Müller, M.W., Almeida, C.M.V.C., Gomes, A.R.S. (2004) Sistemas agroflorestais com cacau como exploração sustentável dos biomas tropicais. In: Müller, M.W., Gama-Rodrigues, A.C., Brandão, I.C.F.L., Sertdio, M.H.C.F. (eds.) *Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos: Sustento da vida e sustento de vida*. Ilhéus, SBSAF/CEPLAC/UENF, p.169-179.

- Müller, M.W., Gomes, A. R. S., Almeida, C.M.V.C. (2002) Sistemas agroflorestais com o cacauero: www.sbsaf.org.br/anais/2002/trabalhos/019.pdf em 03/10/2007 página mantida pela Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais.
- Perez, A.M.M., Jucksch, I., Mendonça, E.de. S., Costa, M. da. (2004) Impactos da implementação de um sistema agrofloresta com café na qualidade do solo. *Agropecuária Técnica*, 25:25-36.
- Piccolo, A. (1999) Atmospheric CO₂ and alteration of global climate. In: *Anais, 3º Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas*, Santa Maria-RS, p 145.
- Pinheiro, E.F.M., Pereira, M.G., Anjos, L.H.C., Machado, P.L.O.A. (2004) Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). *Revista Brasileira. Ciência do Solo*, 28:731-737.
- Pinho, A.F.S., Muller, M.W., Santana, M.B.M. (1992) *Sistema de produção de cacau no recôncavo da Bahia*. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC. p 75.
- Ribaski, J., Montoya, I. J., Rodigheri, H.R. (2001) Sistemas agroflorestais: aspectos ambientais e socioeconômicos. *Informe agropecuário*, 22:61-67.
- Rodrigues, V.G.S. (2003) Sistemas agroflorestais na Amazônia brasileira: http://www.cpafrro.embrapa.br/embrapa/Artigos/sist_agro_amaz.htm em 26/04/2006, página mantida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária de Rondônia.
- Roldán, A., Salinas-García, J.R., Alguacil, M.M., Caravaca, F. (2005) Changes in soil enzyme activity, aggregation and C sequestration mediated by conservation tillage practices and water regime in a maize field. *Applied Soil Ecology*, 30:11-20.
- Santana, M.B.M., Cabala-Rosand, P., Serôdio, M.H. (1990) Reciclagem de nutrientes em agroecossistema de cacau, *Agrotrópica*, 2:68-74.
- Schroth, G., Fonseca, G.A.D., Harvey, C.A., Gascon, C., Vasconcelos, H.L. Izac, A.M.N (2004) *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes*. Edição de Island Press, 523p.
- Sohi, S., Mahieu, N., Arah, J.R.M., Powlson, D.S.P., Madari, B., Gaunt, J.L. (2001) Procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. *Soil Sci. Soc. Am.J.* vol. 65, july–august.

- Souza, E.D. de., Carneiro, M.A.C., Paulino, H.B., Silva, C.A., Buzetti, S. (2006) Alterações nas frações do carbono em um neossolo quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso do solo. *Maringá*, 28:305-311.
- Tisdall, J.M., Oades, J.M. (1982) Organic matter and water-stable aggregates in soils, *Journal of Soil Science* 33:141-163.
- Young, A. (1997) *Agroforestry for soil management*. 2nd ed. Nairobi: *CAB Internacional*, 320p.

APÊNDICE

Quadro 1A: Análise de variância da caracterização química e física dos solos estudados

F.V. ⁽¹⁾	G.L. ⁽²⁾	S.Q. ⁽³⁾	Q.M. ⁽⁴⁾	F	Significância
pH					
Área	2	0.9512169	0.4756084	5.017	
Resíduo	9	0.8531502	0.9479447E-01		0.03437
Coeficiente de Variação = 6.968					
C					
Área	2	24.09631	12.04815	0.560	
Resíduo	9	193.6041	21.51156		*****
Coeficiente de Variação = 13.849					
N					
Área	2	0.3482804	0.1741402	0.805	
Resíduo	9	1.946591	0.2162879		*****
Coeficiente de Variação = 16.962					
P					
Área	2	7.113194	3.556597	0.689	
Resíduo	9	46.42719	5.158576		*****
Coeficiente de Variação = 40.836					
K					
Área	2	0.7660643E-02	0.3830322E-02	1.293	
Resíduo	9	0.2667107E-01	0.2963453E-02		0.32104
Coeficiente de Variação = 42.010					
Ca					
Área	2	6.412625	3.206312	4.717	
Resíduo	9	6.117012	0.6796679		0.3969
Coeficiente de Variação = 52.619					
Mg					
Área	2	1.258069	0.6290344	5.629	
Resíduo	9	1.005787	0.1117541		0.02597
Coeficiente de Variação = 34.751					
Al					
Área	2	2.811667	1.405833	19.616	0.00052
Resíduo	9	0.6449997	0.7166664E-01		
Coeficiente de Variação = 29.204					
H+Al					
Área	2	29.48921	14.74460	7.619	
Resíduo	9	17.41720	1.935244		0.01158
Coeficiente de Variação = 15.078					
Areia fina					
Área	2	4.280020	2.140010	1.357	0.30551
Resíduo	9	14.19623	1.577359		
Coeficiente de Variação = 11.096					
Areia grossa					
Área	2	290.3036	145.1518	11.363	
Resíduo	9	114.9632	12.77369		0.00345
Coeficiente de Variação = 11.471					

Continuação Quadro 1A

Silte					
Área	2	2.735462	1.367731	0.674	
Resíduo	9	18.27615	2.030683		*****
Coeficiente de Variação = 23.086					
Argila					
Área	2	343.0939	171.5470	6.431	
Resíduo	9	240.0663	26.67403		0.01843
Coeficiente de Variação = 10.058					

⁽¹⁾ Fonte de variação; ⁽²⁾ Graus de liberdade; ⁽³⁾ Soma de quadrados; ⁽⁴⁾ Quadrado Médio

Quadro 2A: Análise de variância da distribuição dos agregados por cobertura estudada

F.V. ⁽¹⁾	G.L. ⁽²⁾	S.Q. ⁽³⁾	Q.M. ⁽⁴⁾	F	Significância
Floresta natural					
Classe	4	23733.29	5933.323	61.669	
Resíduo	75	7215.891	96.21188		0.00000
Coeficiente de Variação = 49.044					
Cacau-cabruca					
Classe	4	48269.34	12067.33	95.198	
Resíduo	75	9507.074	126.7610		0.00000
Coeficiente de Variação = 56.294					
Cacau-eritrina					
Classe	4	46634.21	11658.55	117.667	
Resíduo	75	7431.063	99.08083		0.00000
Coeficiente de Variação = 49.770					

⁽¹⁾ Fonte de variação; ⁽²⁾ Graus de liberdade; ⁽³⁾ Soma de quadrados; ⁽⁴⁾ Quadrado Médio

Quadro 3A: Análise de variância da distribuição dos agregados entre as coberturas estudadas na classe

F.V. ⁽¹⁾	G.L. ⁽²⁾	S.Q. ⁽³⁾	Q.M. ⁽⁴⁾	F	Significância
Classe > 2mm					
Área	2	4737.973	2368.987	7.362	
Resíduo	45	14479.97	321.7771		0.00171
Coeficiente de Variação = 30.466					
Classe 2-1 mm					
Área	2	913.9169	456.9584	4.095	
Resíduo	45	5022.036	111.6008		0.02324
Coeficiente de Variação = 42.072					
Classe 1-0,0250 mm					
Área	2	1818.796	909.3978	8.832	
Resíduo	45	4633.591	102.9687		0.00058
Coeficiente de Variação = 68.779					
Classe 0,0250-0,053 mm					
Área	2	1.826700	0.9133500	3.203	
Resíduo	45	12.83107	0.2851348		0.05005
Coeficiente de Variação = 61.168					

Continuação Quadro 3A

Classe < 0,053 mm					
Área	2	0.1520998	0.7604989E-01	0.610	
Resíduo	45	5.606239	0.1245831		*****
Coeficiente de Variação = 91.984					

⁽¹⁾ Fonte de variação; ⁽²⁾ Graus de liberdade; ⁽³⁾ Soma de quadrados; ⁽⁴⁾ Quadrado Médio

Quadro 4A: Análise de variância do teor e estoque de carbono, nitrogênio e relação C/N dos solos estudados

F.V. ⁽¹⁾	G.L. ⁽²⁾	S.Q. ⁽³⁾	Q.M. ⁽⁴⁾	F	Significância
Teor de carbono					
Área	2	170.6550	85.32752	1.925	
Resíduo	9	398.9475	44.32750		0.20140
Coeficiente de Variação = 17.282					
Teor de nitrogênio					
Área	2	1.911666	0.9558332	1.345	
Resíduo	9	6.397500	0.7108333		0.30835
Coeficiente de Variação = 20.114					
C/N					
Área	2	0.1320590	0.6602951E-01	0.028	
Resíduo	9	21.18053	2.353393		*****
Coeficiente de Variação = 16.472					
Estoque de carbono					
Área	2	251.1124	125.5562	2.851	
Resíduo	9	396.2984	44.03316		0.10985
Coeficiente de Variação = 17.364					
Estoque de nitrogênio					
Área	2	4.365705	2.182852	3.284	
Resíduo	9	5.981879	0.6646532		0.08492
Coeficiente de Variação = 19.246					

⁽¹⁾ Fonte de variação; ⁽²⁾ Graus de liberdade; ⁽³⁾ Soma de quadrados; ⁽⁴⁾ Quadrado Médio

Quadro 5A: Análise de variância do teor de carbono, nitrogênio e relação C/N das classes de agregado dentro da cobertura

FLORESTA NATURAL					
F.V. ⁽¹⁾	G.L. ⁽²⁾	S.Q. ⁽³⁾	Q.M. ⁽⁴⁾	F	Significância
Carbono					
Classe	3	328.0276	109.3425	6.168	
Resíduo	10	177.2666	17.72666		0.01209
Coeficiente de Variação = 11.275					
Nitrogênio					
Classe	3	0.5402380	0.1800793	0.854	
Resíduo	10	2.108334	0.2108334		*****
Coeficiente de Variação = 12.175					

Continuação Quadro 5A

C/N					
Classe	3	8.116644	2.705548	2.196	
Resíduo	10	12.31961	1.231961		0.15151
Coeficiente de Variação = 11.147					
CACAU-CABRUCÁ					
F.V. ⁽¹⁾	G.L. ⁽²⁾	S.Q. ⁽³⁾	Q.M. ⁽⁴⁾	F	Significância
Carbono					
Classe	3	218.3084	72.76945	1.875	0.21220
Resíduo	8	310.5008	38.81260		
Coeficiente de Variação = 22.689					
Nitrogênio					
Classe	3	1.180833	0.3936111	0.129	
Resíduo	8	24.36833	3.046041		*****
Coeficiente de Variação = 43.542					
C/N					
Classe	3	13.02992	4.343308	1.207	
Resíduo	8	28.79443	3.599303		0.36788
Coeficiente de Variação = 25.968					
CACAU-ERITRINA					
F.V. ⁽¹⁾	G.L. ⁽²⁾	S.Q. ⁽³⁾	Q.M. ⁽⁴⁾	F	Significância
Carbono					
Classe	2	240.1600	120.0800	9.486	
Resíduo	3	37.97496	12.65832		0.05045
Coeficiente de Variação = 9.681					
Nitrogênio					
Classe	2	5.603434	2.801717	5.319	
Resíduo	3	1.580250	0.5267499		0.10317
Coeficiente de Variação = 14.482					
C/N					
Classe	2	12.41209	6.206044	7.773	
Resíduo	3	2.395144	0.7983815		0.06506
Coeficiente de Variação = 11.822					

⁽¹⁾ Fonte de variação; ⁽²⁾ Graus de liberdade; ⁽³⁾ Soma de quadrados; ⁽⁴⁾ Quadrado Médio

Quadro 6A: Análise de variância do teor de carbono, nitrogênio e relação C/N das classes de agregados entre as coberturas estudadas

CLASSE > 2mm					
F.V. ⁽¹⁾	G.L. ⁽²⁾	S.Q. ⁽³⁾	Q.M. ⁽⁴⁾	F	Significância
Carbono					
Área	2	375.2271	187.6136	5.173	
Resíduo	4	145.0700	36.26749		0.07774
Coeficiente de Variação = 15.034					

Continuação do Quadro 6A

Nitrogênio					
Área	2	0.6160716	0.3080358	0.306	
Resíduo	4	4.032500	1.008125		*****
Coeficiente de Variação = 23.988					
C/N					
Área	2	16.32421	8.162107	8.833	
Resíduo	4	3.696354	0.9240885		0.03409
Coeficiente de Variação = 9.937					
CLASSE 2-1 mm					
F.V. ⁽¹⁾	G.L. ⁽²⁾	S.Q. ⁽³⁾	Q.M. ⁽⁴⁾	F	Significância
Carbono					
Área	2	68.76248	34.38124	1.597	
Resíduo	6	129.1775	21.52958		0.27795
Coeficiente de Variação = 13.462					
Nitrogênio					
Área	2	2.244723	1.122361	2.931	
Resíduo	6	2.297499	0.3829165		0.12941
Coeficiente de Variação = 15.644					
C/N					
Área	2	18.51842	9.259209		
Resíduo	6	12.35943	2.059905	4.495	0.06413
Coeficiente de Variação = 16.002					
CLASSE 1-0,0250 mm					
F.V. ⁽¹⁾	G.L. ⁽²⁾	S.Q. ⁽³⁾	Q.M. ⁽⁴⁾	F	Significância
Carbono					
Área	1	135.3750	135.3750	3.223	0.14705
Resíduo	4	168.0133	42.00333		
Coeficiente de Variação = 20.520					
Nitrogênio					
Área	1	0.1350000	0.1350000	2.931	
Resíduo	4	2.993334	0.3829165		0.12941
Coeficiente de Variação = 23.275					
C/N					
Área	1	4.897960	4.897960	3.019	
Resíduo	4	6.489063	1.622266		0.15728
Coeficiente de Variação = 14.943					
CLASSE 0,0250-0,053 mm					
F.V. ⁽¹⁾	G.L. ⁽²⁾	S.Q. ⁽³⁾	Q.M. ⁽⁴⁾	F	Significância
Carbono					
Área	2	168.0819	84.04095	7.387	0.04539
Resíduo	4	45.50667	11.37667		
Coeficiente de Variação = 12.735					

Continuação Quadro 6A

Nitrogênio					
Área	2	1.215238	0.6076190	0.142	
Resíduo	4	17.15333	4.288333		*****
Coeficiente de Variação = 51.956					
C/N					
Área	2	16.39549	8.197743	1.766	
Resíduo	4	18.56919	4.642298		0.28205
Coeficiente de Variação = 29.210					

⁽¹⁾ Fonte de variação; ⁽²⁾ Graus de liberdade; ⁽³⁾ Soma de quadrados; ⁽⁴⁾ Quadrado Médio

Quadro 7A: Análise de variância do teor de carbono e nitrogênio das frações da matéria orgânica das classes de agregados por cobertura

FLORESTA NATURAL					
F.V. ⁽¹⁾	G.L. ⁽²⁾	S.Q. ⁽³⁾	Q.M. ⁽⁴⁾	F	Significância
Carbono da FLL					
Classe	2	2202.959	1101.480	1.045	
Resíduo	8	8432.770	1054.096		0.39520
Coeficiente de Variação = 13.119					
Nitrogênio da FLL					
Classe	2	0.5034005E-01	0.2517002E-01	0.006	
Resíduo	8	31.97565	3.996956		*****
Coeficiente de Variação = 20.509					
Carbono da FLI					
Classe	2	1820.487	910.2437	1.485	
Resíduo	8	4904.419	613.0524		0.28289
Coeficiente de Variação = 11.757					
Nitrogênio da FLI					
Classe	2	4.249746	2.124873	1.502	
Resíduo	8	11.32128	1.415160		0.27946
Coeficiente de Variação = 14.805					
Carbono da FA					
Classe	2	142.7676	71.38379	1.946	
Resíduo	4	146.7467	36.68667		0.25692
Coeficiente de Variação = 35.273					
Nitrogênio da FA					
Classe	2	3.297619	1.648810	3.030	
Resíduo	4	2.176666	0.5441666		0.15810
Coeficiente de Variação = 29.848					
Carbono da FSIL					
Classe	2	2122.155	1061.077	0.463	
Resíduo	4	9196.672	2292.418		*****
Coeficiente de Variação = 80.348					
Nitrogênio da FSIL					
Classe	2	155.1458	77.57290	0.969	
Resíduo	4	320.3643	80.09108		*****
Coeficiente de Variação = 59.427					

Continuação do Quadro 7A

Carbônio da FARG					
Classe	2	4.002618	2.001309	0.738	
Resíduo	4	10.85166	2.712916		*****
Coeficiente de Variação = 28.539					
Nitrogênio da FARG					
Classe	2	0.9254763	0.4627381	3.128	
Resíduo	4	0.5916666	0.1479167		0.15209
Coeficiente de Variação = 30.945					
CACAU-CABRUCÁ					
F.V. (1)	G.L. (2)	S.Q. (3)	Q.M. (4)	F	Significância
Carbônio da FLL					
Classe	2	1820.7921	64.39607	0.064	*****
Resíduo	7	7092.751	1013.250		
Coeficiente de Variação = 11.970					
Nitrogênio da FLL					
Classe	2	15.94546	7.972732		
Resíduo	7	44.31723	6.331032	1.259	0.34106
Coeficiente de Variação = 24.547					
Carbônio da FLI					
Classe	2	13569.93	6784.964	4.026	
Resíduo	8	13482.81	1685.351		0.06170
Coeficiente de Variação = 14.567					
Nitrogênio da FLI					
Classe	2	21.92478	10.96239	1.026	
Resíduo	8	85.51679	10.68960		0.40135
Coeficiente de Variação = 31.656					
Carbônio da FA					
Classe	2	98.86333	49.43166	15.312	
Resíduo	3	9.684990	3.228330		0.02665
Coeficiente de Variação = 19.355					
Nitrogênio da FA					
Classe	2	0.5200001	0.2600001	0.415	
Resíduo	3	1.880000	0.6266667		*****
Coeficiente de Variação = 39.581					
Carbônio da FSIL					
Classe	2	249.3704	124.6852	0.128	
Resíduo	3	2924.576	974.8588		*****
Coeficiente de Variação = 100.599					
Nitrogênio da FSIL					
Classe	2	72.37611	36.18806	5.291	
Resíduo	3	20.51992	6.839973		0.10382
Coeficiente de Variação = 30.970					
Carbônio da FARG					
Classe	2	5.790000	2.895000	0.664	
Resíduo	3	13.07000	4.356666		*****
Coeficiente de Variação = 31.153					

Continuação do Quadro 7A

Nitrogênio da FARG					
Classe	2	0.3633333	0.1816666	0.264	
Resíduo	3	2.065000	0.6883333		*****
Coeficiente de Variação = 70.112					
CACAU-ERITRINA					
F.V. ⁽¹⁾	G.L. ⁽²⁾	S.Q. ⁽³⁾	Q.M. ⁽⁴⁾	F	Significância
Carbono da FLL					
Classe	2	469.3546	234.6773	0.693	
Resíduo	6	2032.484	338.7473		*****
Coeficiente de Variação = 6.500					
Nitrogênio da FLL					
Classe	2	7.571274	3.785637	3.053	
Resíduo	7	7.439758	1.239960		0.12174
Coeficiente de Variação = 9.798					
Carbono da FLI					
Classe	2	3458.176	1729.088	0.471	
Resíduo	7	25672.65	3667.521		*****
Coeficiente de Variação = 23.007					
Nitrogênio da FLI					
Classe	2	8.344932	4.172466	0.465	
Resíduo	7	62.85983	8.979976		*****
Coeficiente de Variação = 26.599					
Carbono da FA					
Classe	1	24.40167	24.40167	0.651	
Resíduo	4	149.8867	37.47167		*****
Coeficiente de Variação = 45.066					
Nitrogênio da FA					
Classe	1	1.126666	1.126666	2.704	
Resíduo	4	1.666667	0.4166667		0.17544
Coeficiente de Variação = 28.903					
Carbono da FSIL					
Classe	1	13194.31	13194.31	12.047	
Resíduo	4	4381.063	1095.266		0.02556
Coeficiente de Variação = 37.897					
Nitrogênio da FSIL					
Classe	1	0.0000000	0.0000000	0.000	
Resíduo	4	383.8483	95.96208		*****
Coeficiente de Variação = 119.906					
Carbono da FARG					
Classe	1	0.5999998E-01	0.5999998E-01	0.004	
Resíduo	4	67.52000	6.88000		*****
Coeficiente de Variação = 120.839					
Nitrogênio da FARG					
Classe	1	0.2368476E-14	0.2368476E-14	0.000	
Resíduo	4	2.513333	0.6283333		*****
Coeficiente de Variação = 43.237					

Quadro 8A: Análise de variância do teor de carbono e nitrogênio das frações da matéria orgânica das classes de agregados entre as coberturas

CLASSE > 2mm					
F.V. ⁽¹⁾	G.L. ⁽²⁾	S.Q. ⁽³⁾	Q.M. ⁽⁴⁾	F	Significância
Carbono da FLL					
Área	2	1481.228	740.6142	0.773	
Resíduo	9	8628.235	958.6928		*****
Coeficiente de Variação = 11.369					
Nitrogênio da FLL					
Área	2	10.28985	5.144923	1.133	
Resíduo	9	40.85354	4.539282		0.36390
Coeficiente de Variação = 20.806					
Carbono da FLI					
Área	2	7578.236	3789.118	1.256	
Resíduo	9	27145.42	3016.158		0.33024
Coeficiente de Variação = 20.994					
Nitrogênio da FLI					
Área	2	21.47703	10.73852	1.424	
Resíduo	9	67.88844	7.543160		0.29028
Coeficiente de Variação = 26.910					
Carbono da FA					
Área	2	59.64857	29.82429	0.806	
Resíduo	4	148.1000	37.02500		*****
Coeficiente de Variação = 35.554					
Nitrogênio da FA					
Área	2	3.303571	1.651786	3.329	
Resíduo	4	1.985000	0.4962500		*****
Coeficiente de Variação = 29.178					
Carbono da FSIL					
Área	2	15168.12	7584.062	3.101	
Resíduo	4	9782.349	2445.587		0.15372
Coeficiente de Variação = 56.276					
Nitrogênio da FSIL					
Área	2	275.7420	137.8710	1.466	
Resíduo	4	376.1125	94.02811		0.33292
Coeficiente de Variação = 94.949					
Carbono da FARG					
Área	2	27.97214	13.98607	1.935	
Resíduo	4	28.90500	7.226250		0.25827
Coeficiente de Variação = 48.498					
Nitrogênio da FARG					
Área	2	0.6426191	0.3213095	0.516	
Resíduo	4	2.491666	0.6229166		*****
Coeficiente de Variação = 48.463					
CLASSE 2-1 mm					
F.V. ⁽¹⁾	G.L. ⁽²⁾	S.Q. ⁽³⁾	Q.M. ⁽⁴⁾	F	Significância
Carbono da FLL					

Área	2	2204.600	1102.300	1.146	
Resíduo	9	8654.131	961.5701		0.36017
Coeficiente de Variação = 11.643					
Nitrogênio da FLL					
Área	2	11.21912	5.609558	1.385	
Resíduo	9	36.46416	4.051573		0.29906
Coeficiente de Variação = 19.195					
Carbono da FLI					
Área	2	32843.02	16421.51	10.078	
Resíduo	9	14664.48	1629.386		0.00504
Coeficiente de Variação = 15.947					
Nitrogênio da FLI					
Área	2	42.13567	21.06783	2.990	
Resíduo	9	63.40941	7.045490		0.10098
Coeficiente de Variação = 26.709					
Carbono da FA					
Área	2	155.8854	77.94270	2.579	
Resíduo	5	151.1334	30.22667		0.17002
Coeficiente de Variação = 41.221					
Nitrogênio da FA					
Área	2	0.3954166	0.1977083	0.335	
Resíduo	5	2.953333	0.5906667		*****
Coeficiente de Variação = 31.857					
Carbono da FSIL					
Área	2	691.6464	345.8232	0.325	
Resíduo	5	5326.297	1065.260		0.15372
Coeficiente de Variação = 71.891					
Nitrogênio da FSIL					
Área	2	18.61507	9.307534	0.153	
Resíduo	5	304.8991	60.97982		*****
Coeficiente de Variação = 80.436					
Carbono da FARG					
Área	2	15.53333	7.766667	0.732	
Resíduo	5	53.04667	10.60933		*****
Coeficiente de Variação = 62.042					
Nitrogênio da FARG					
Área	2	1.565417	0.7827086	9.031	
Resíduo	5	0.4333329	0.8666658E-01		*****
Coeficiente de Variação = 23.318					
CLASSE 1-0,0250 mm					
F.V. ⁽¹⁾	G.L. ⁽²⁾	S.Q. ⁽³⁾	Q.M. ⁽⁴⁾	F	Significância
Carbono da FLL					
Área	2	2227.211	1113.605	12.120	
Resíduo	3	275.6377	91.87923		0.03655
Coeficiente de Variação = 3.923					

Continuação do Quadro 8A

Nitrogênio da FLL					
Área	2	14.81135	7.405673	3.463	
Resíduo	3	6.414923	2.138308		0.16614
Coeficiente de Variação = 13.859					
Carbono da FLI					
Área	2	4628.083	314.041	5.142	
Resíduo	5	2249.986	449.9972		0.06120
Coeficiente de Variação = 9.065					
Nitrogênio da FLI					
Área	2	23.78725	11.89363	2.094	
Resíduo	5	7.084995	5.680010		0.21847
Coeficiente de Variação = 26.146					
Carbono da FA					
Área	1	26.52251	26.52251	7.487	
Resíduo	2	7.084995	3.542498		0.11164
Coeficiente de Variação = 24.364					
Nitrogênio da FA					
Área	1	0.2500007E-02	0.2500007E-02	0.006	
Resíduo	2	0.7850001	0.3925000		*****
Coeficiente de Variação = 38.554					
Carbono da FSIL					
Área	1	7.086197	7.086197	0.010	
Resíduo	2	1366.665	683.3326		*****
Coeficiente de Variação = 70.175					
Nitrogênio da FSIL					
Área	1	82.37340	82.37340	3.768	
Resíduo	2	43.72113	21.86057		0.19175
Coeficiente de Variação = 33.427					
Carbono da FARG					
Área	1	0.6399997	0.6399997	0.135	
Resíduo	2	9.490000	4.745000		*****
Coeficiente de Variação = 43.135					
Nitrogênio da FARG					
Área	1	0.1225000	0.1225000	0.109	
Resíduo	2	2.245000	1.122500		*****
Coeficiente de Variação = 79.961					

(1) Fonte de variação; (2) Graus de liberdade; (3) Soma de quadrados; (4) Quadrado Médio