

UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO

**USO DA TÉCNICA DE ^{13}C E FRACIONAMENTO
FÍSICO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLOS
SOB COBERTURA DE PASTAGENS E
CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DA
MATA ATLÂNTICA.**

David Vilas Boas de Campos

2003



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

USO DA TÉCNICA DE ^{13}C E FRACIONAMENTO FÍSICO DA
MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLOS SOB COBERTURA DE
PASTAGENS E CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DA MATA
ATLÂNTICA.

DAVID VILAS BOAS DE CAMPOS

Sob a Orientação do Professor
Gabriel de Araújo Santos

e Co-orientação dos Pesquisadores:

ROBERT MICHAEL BODDEY

PEDRO LUIZ OLIVEIRA DE ALMEIDA MACHADO

Tese submetida como requisito
parcial para obtenção do grau de
Doctor Scientiae em Agronomia,
Área de Concentração em Ciência
do Solo

Seropédica, RJ
FEVEREIRO DE 2003

Campos, David Vilas Boas da, 1972-

Uso da técnica de ^{13}C e fracionamento físico da matéria orgânica em solos sob cobertura de pastagens e cana-de-açúcar na região da mata Atlântica/David Vilas Boas de Campos. - 2003.

175f.: graf., tabs.

Orientador: Gabriel de Araújo Santos.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia.

Bibliografia: f. 166-174

1. Solos – Teor de compostos orgânicos – Teses. 2. Pastagens – Teses. 3. Solos – Teor de carbono – Teses. I. Santos, Gabriel de Araújo, 1949- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Agronomia.

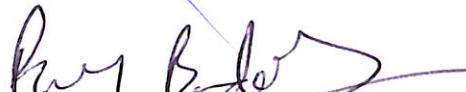
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO

DAVID VILAS-BOAS DE CAMPOS

Tese submetida ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo, como requisito parcial para obtenção do grau de *Philosophiae Doctor* em Agronomia.

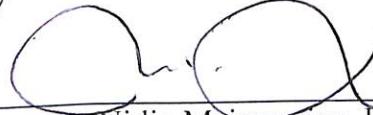
TESE APROVADA EM 25/02/2003

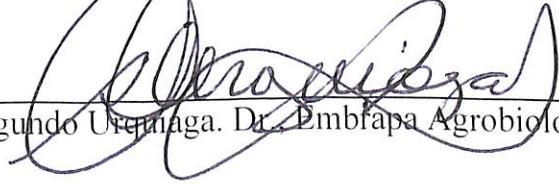

Gabriel de Araújo Santos. Dr., UFRRJ
(Orientador)


Robert Michael Boddey. Dr., Embrapa Agrobiologia
(Co-orientador)


Pedro Luis Oliveira de Almeida Machado. Dr., Embrapa Solos
(Co-orientador)


Carlos Eduardo de Rezende. Dr., UENF


Nidia Majerowicz. Dr., UFRRJ


Segundo Urquiza. Dr., Embrapa Agrobiologia

A fábula mito do cuidado

“Certo dia, ao atravessar um rio, Cuidado viu um pedaço de barro. Logo teve uma idéia inspirada. Tomou um pouco do barro e começou a dar-lhe forma. Enquanto contemplava o que havia feito, apareceu Júpiter.

Cuidado pediu-lhe que soprasse espírito nele. O que Júpiter fez de bom grado.

Quando, porém, Cuidado quis dar nome à criatura que havia moldado, Júpiter o proibiu. Exigiu que fosse imposto o seu nome.

enquanto Júpiter e o Cuidado discutiam, surgiu, de repente, a Terra. Quis também ela conferir o seu nome à criatura, pois fora feita de barro, material do corpo da Terra. Originou-se então uma discussão generalizada.

De comum acordo pediram a Saturno que funcionasse como árbitro. Este tomou a seguinte decisão que pareceu justa:

“Você, Júpiter, deu-lhe o espírito; receberá, pois, de volta este espírito por ocasião da morte dessa criatura.

“Você, Terra, deu-lhe o corpo; receberá, portanto, também de volta o seu corpo quando essa criatura morrer.

Mas como você, Cuidado, foi quem, por primeiro moldou a criatura, ficará sob seus cuidados enquanto ela viver.

E uma vez que entre vocês há acalorada discussão acerca do nome, decido eu: esta criatura será chamada “**HOMEM**”, isto é, feita de “**húmus**”, que significa terra fértil.

Gaius Julius Hyginus
século I DC

DEDICO ESTE TRABALHO

À Deus.

À minha mãe, meu pai, minha irmã e minha avó, pelo apoio dado e convivência durante esse período.

A Daniela, pelo amor, compreensão e apoio.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Gabriel, pela oportunidade da realização do curso e da docência.

Aos pesquisadores Bob, Segundo e Bruno, pelas dicas, apoio e acompanhamento.

Ao pesquisador Pedro Machado, pela confiança e acompanhamento.

À UFRRJ, Embrapa Agrobiologia e Embrapa Solos, que tornaram possível esse trabalho.

Aos professores Berbara, Mânlio, Lucia, Marco Bacis, Otávio e Cristina.

Ao professor Eduardo Lima, Evaristo, Paulo César e à usina ALCON, pela ajuda no capítulo 4.

Ao professor Luciano Canellas e ao pesquisador Tony, pelas discussões sobre a matéria orgânica do solo.

Ao Sérgio, pela ajuda e contribuição.

Ao Ricardo Tarré e Robert Macedo, por cederem as amostras de solo de Itabela (BA).

Ao CEPLAC, nas pessoas de Claudia de Paula Rezende e José Marques Pereira.

À Rojane, Marcelo e Viviane, pelo apoio dado na Embrapa Solos.

À Geraldo, Roberto Grégio, Roberto Andrade, Altiberto, Sidney, Selmo, Naldera, Claudinho, pelo apoio dado na Embrapa Agrobiologia.

À Érika, Inês, Tatiana, Ricardo, Luciana, pela ajuda no laboratório.

À Diego, Rogerinho, Polidoro, Elvino, Alex, Celso, Lincoln, Claudia, André, Douglas, Ednaldo, Luzimar, Aimee, Henrique, Renato e Márcio, pela convivência gratificante no dia a dia.

Ao Felipe, Fabiano, Luciana, Claudinha, Gustavo e Maria Rita.

À turma dos Amigos: Jerri, Perin, Fábio, Gás, Jean, Fernando e Ricardo.

Ao CNPq, pela bolsa de doutorado.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Nascido no Estado do Rio de Janeiro em 17 de Junho de 1972, rubro-negro, terminou o 1º grau no Centro Educacional Arlindo Donadelo Moreira, 1986, e concluiu o 2º grau no Colégio Belisário dos Santos, em 1989. Em 1990, ingressou no curso de Agronomia da UFRRJ, realizando atividades de pesquisa e ensino, sendo monitor de química analítica, sob orientação do professor Otávio Raimundo Lã; bolsista de iniciação científica na PESAGRO, sob orientação do professor Nilton Rocha Leal; bolsista de iniciação científica no Instituto de Fitotecnia, sob orientação do professor Carlos Pimentel; e bolsista de iniciação científica na Embrapa Agrobiologia, sob orientação do pesquisador Segundo Urquiaga. Graduou-se em 29 de Janeiro de 1995. Ingressou no curso de mestrado em Ciência do Solo em 1996, concluindo o curso em Março de 1999, quando ingressou no curso de doutorado em Ciência do Solo. Vem participando de projetos de pesquisa na UFRRJ, na Embrapa Agrobiologia e na Embrapa Solos.

Sumário

	página
Introdução -----	01
2- Revisão Bibliográfica -----	07
2.1- Fracionamento físico da matéria orgânica do solo -----	07
2.2- Fração leve -----	08
2.3- Fração pesada -----	08
2.4- Fracionamento físico e manejo do solo -----	09
2.5- Uso de ^{13}C -----	12
2.6- Uso de ^{13}C em estudos de fracionamento físico -----	15
 3- CAPÍTULO 1- Fracionamento da matéria orgânica do solo por densimetria e granulometria: teor de carbono na fração argila	
3.1- Introdução -----	18
3.2- Objetivos -----	23
3.3- Material e Métodos -----	24
3.4 - Resultados e discussão -----	27
3.5- Conclusões -----	30
 4- CAPÍTULO 2- Fracionamento físico da matéria orgânica em solos sob plantio de <i>Brachiaria humidicola</i> em monocultura e consorciada com <i>Desmodium ovalifolium</i> no município de Itabela (BA).	
4.1- Introdução -----	33
4.2- Objetivos -----	35
4.3- Material e Métodos -----	36
4.4- Resultados e Discussão -----	40
4.4- Conclusões -----	66
 5- CAPÍTULO 3- Fracionamento físico da matéria orgânica do solo e dinâmica de carbono em solos sob plantio de capim elefante (<i>Pennisetum purpureum</i>) e braquiária (<i>Brachiaria brizantha</i>) 2 e 4 anos após a remoção da floresta secundária.	
5.1- Introdução -----	69
5.2- Objetivos -----	70
5.3- Material e Métodos -----	71
5.4- Resultados e discussão -----	75
5.5- Conclusões -----	111
 6- CAPÍTULO 4- Fracionamento físico da matéria orgânica e uso de ^{13}C em solos sob plantio de cana-de-açúcar, mata secundária e pastagem no município de conceição de barra (ES).	
6.1- Introdução -----	114
6.2- Objetivos -----	114
6.3- Material e Métodos -----	115
6.4- Resultados e discussão -----	120
6.5- Conclusões -----	162
 7- Discussão geral -----	
7- Discussão geral -----	163
8- Bibliografia -----	166
9- Apêndice -----	175

RESUMO

A mata atlântica originalmente situa-se desde a região Sudeste até a região Nordeste do Brasil. Uma considerável proporção dessa floresta foi derrubada para a implantação de pastagens e uso agrícola, conforme observado nos sítios estudados, localizados em Conceição da Barra (ES) e Itabela (BA). Nesse estudo objetivou-se o entendimento da dinâmica da matéria orgânica em solos originalmente de floresta em que foram introduzidas pastagens de braquiária, capim elefante e cana-de-açúcar. A matéria orgânica, nos solos tropicais, assume grande importância para sua fertilidade e produtividade das culturas, estando intimamente relacionada com a sustentabilidade dos solos. Atualmente, têm-se buscado práticas de manejo para favorecer o acúmulo de carbono no solo, visando assim o sequestro de carbono e a mitigação dos gases do efeito estufa pela atividade agrícola. A matéria orgânica do solo, por sua heterogeneidade, tem sido dividida em compartimentos, que diferem em composição e função biológica, sendo assim mais útil para o estudo da ciclagem de carbono. Neste estudo, fêz-se a caracterização da matéria orgânica através do fracionamento por densidade e granulometria, obtendo-se assim cinco frações: leve livre, leve intra-agregado, areia, silte e argila. Utilizou-se também a composição isotópica de ^{13}C , que nas condições do experimento, pôde ser usado como traçador natural, sendo considerada uma ferramenta útil na determinação da origem do carbono no solo e nas frações. As frações leves apresentaram os maiores teores de carbono, com valores mais estáveis, próximos a 200 g C kg fração $^{-1}$, e relação C:N ao redor de 20, geralmente aumentando em profundidade ou em função da cobertura vegetal. De uma maneira geral, a quantidade de fração leve no solo foi maior nas camadas superficiais e reduziu em profundidade, mostrando que sua dinâmica é relacionada com a adição de resíduos vegetais depositados no solo. A fração areia apresentou maior dinâmica, destacando-se pelas maiores proporções de carbono novo em sua constituição. Já as frações mais finas, silte e argila, apresentaram maior estabilidade, com maior conservação do carbono derivado da floresta e menores valores de relação C:N, entre 10 e 12, para a fração silte, e entre 7 e 10, para a fração argila. Em Itabela (BA), avaliou-se o efeito de 9 anos de manejo de pastagem de *Brachiaria* em monocultura e consorciada com *Desmodium ovalifolium*. Com a introdução das pastagens, foi observado um aumento no estoque de carbono no solo até 30 cm de profundidade. Os estoques de fração leve total nos solos sob pastagens variaram entre 26 e 28 Mg ha $^{-1}$, superiores aos valores encontrados no solo sob mata, equivalente a 23 Mg ha $^{-1}$. Dentre as frações da matéria orgânica do solo, as maiores proporções de C novo, derivado das pastagens, foram encontradas nas frações areia e leve livre, entre 30 e 52 %. Na fração leve intra-agregado foi observada uma maior conservação do carbono derivado da floresta. Na fração silte, embora foram encontradas menores proporções de carbono novo, em quantidade, esses valores chegaram a 1 Mg ha $^{-1}$, na pastagem em monocultura. Na pastagem consorciada, as maiores proporções de carbono derivado da leguminosa foram encontradas nas frações leve livre e fração argila, com no máximo 32 e 37 %, respectivamente. Outro sítio estudado em Itabela (BA) foi o acompanhamento da dinâmica da matéria orgânica após 2 e 4 anos da implantação de pastagens em monocultura de braquiária e capim elefante, em solo originalmente sob floresta, e também das frações da matéria orgânica até 20 cm de profundidade. Após 4 anos do manejo de pastagens, foi observado um aumento no conteúdo de carbono no solo, principalmente nas camadas superficiais, com contribuições de 11 e 25 % do carbono novo na camada 0 a 5 cm, sob braquiária e capim elefante, respectivamente. Mesmo em quantidade reduzida, foi encontrado carbono derivado das gramíneas até 1 m de profundidade. As maiores proporções de

carbono derivado das gramíneas foram encontradas na fração areia, chegando a 62 % na camada 0-5 cm, após 4 anos de pastagem. As frações leve intra-agregado e argila conservaram mais o carbono derivado da floresta. A introdução das pastagens aumentou o conteúdo de carbono nas frações, principalmente na fração silte. Em Conceição da Barra (ES), comparou-se o efeito das coberturas de floresta secundária, pastagem de braquiária e cana-de-açúcar sobre o carbono do solo até 1 m de profundidade, e sobre as frações até 30 cm de profundidade. Foram observadas contribuições de carbono derivado das gramíneas até 1 m de profundidade. Foram encontrados estoques de carbono equivalentes a 51, 62 e 71 Mg C ha⁻¹, no solo sob cana-de-açúcar, floresta secundária e pastagem, respectivamente. A redução na quantidade de carbono no solo sob cana-de-açúcar em relação às demais coberturas vegetais foi devida à menor incorporação de carbono e maior decomposição de carbono derivado da floresta, enquanto no solo sob pastagem houve uma maior conservação do carbono antigo. Após 20 anos de pastagem, a maior proporção de carbono derivado da braquiária foi encontrada na fração leve livre, com 67 %. Já nas frações silte e argila houve uma maior conservação do carbono antigo, com contribuições menores que 40 % do carbono novo.

ABSTRACT

The Brazilian Atlantic Forest originally covered an area stretching from the south-east to the north-east regions of the country. Even in recent years large areas of this forest have been felled to make way for pasture and other agricultural uses. The objective of this study was to assess the impact of the removal of the forest and its replacement by *Brachiaria* pastures or sugar cane on soil organic matter (SOM) content and properties at two sites in the States of Bahia and Espírito Santo which had been cleared approximately 30 years ago. In most tropical soils SOM plays an important role in the maintenance of soil fertility and the sustainability of agricultural production. Recently there has been an emphasis on management practices which favour the accumulation of SOM with the aim of sequestering carbon (CO_2) from the atmosphere to mitigate greenhouse gas emissions arising from agricultural activities. SOM because of its heterogeneity has been divided into different pools which differ in their composition and biological function, which facilitates studies on soil carbon dynamics. In this study SOM was characterised using physical fractionation using density and particle size analysis, thus obtaining five fractions: free light, intra-aggregate light, sand, silt and clay. The ^{13}C isotopic composition of the different fractions was also studied, as at the sites sampled this could be employed as a natural tracer of C derived from the original native forest (C_3) and that introduced as tropical grass species (C_4) – *Brachiaria* and sugar cane. The light fractions showed the highest and most consistent concentrations of C at approximately 200 g C kg fraction $^{-1}$ and a C:N ratio close to 20. This ratio generally increased with depth. In almost all cases the quantity of light fraction in the soil was greater in the surface layers showing that this fraction was closely related to the quantities of plant residues deposited in the soil. The sand fraction was most dynamic as indicated by the larger proportions of newly deposited C ($\text{C}_4\text{-C}$) in this fraction. The finer fractions (silt and clay) were less dynamic conserving high proportions of forest-derived C and lower values of C:N ratio, normally between 10 and 12 for the silt fraction and between 7 and 10 for the clay fraction. At the site in Itabela (southern Bahia) the effects on SOM composition of 9 years of *Brachiaria* pastures either as pure grass or mixed with the legume *Desmodium ovalifolium* were studied. The introduction of the pastures increased soil C stocks to a depth of 30 cm. The stocks of light fraction varied between 26 and 28 Mg ha $^{-1}$ in this depth interval being somewhat higher than that under the native forest (23 Mg ha $^{-1}$). The sand and free light fractions contained the highest proportions of C derived from the pasture species, between 30 and 52 %. The intra-aggregate light fraction was found to conserve the highest proportion of forest-derived C and, although the silt fraction contained the lowest proportion of C derived from the pasture species, these values reached 1 Mg C ha $^{-1}$ under the grass-alone pasture. Under the mixed grass/legume sward the highest proportion of C derived from the legume was found in the free light and clay fractions with a maximum of 32 and 37 % respectively. At the adjacent site studied in Itabela the dynamics of SOM to a depth of 20 cm were studied after just 2 and 4 years after implantation of monoculture of either *Brachiaria brizantha* or elephant grass (*Pennisetum purpureum*). After 4 years of pasture an increase in the total C content of the soil was observed principally in the most superficial layers, with contributions of 11 and 25 % of grass-derived C in the 0-5 cm depth for *Brachiaria* and elephant grass, respectively. Although the proportions were low, C derived from the grasses was found down to a depth of 1 m. The highest proportions of grass-derived C were found in the sand fraction, reaching 62 % in the 0-5 cm layer after 4 years of pasture establishment. The clay and intra-aggregate light fraction were those which most conserved the original C derived from the forest. The

introduction of the pastures increased the C content of the fractions, principally that of the silt fraction. At the site in Conceição da Barra (Espirito Santo), the SOM dynamic were compared under an area of native forest vegetation, with an area converted to *Brachiaria* pasture and an area which after approximately 10 years of pasture had been converted to sugar cane. C derived from the *Brachiaria* or sugar cane was detected down to 1 m depth, and the total C stocks were equivalent to 62, 71 and 51 Mg C ha⁻¹ for the areas under native forest, *Brachiaria* and sugarcane (following *Brachiaria*), respectively. The reduction in the quantity of soil C under the sugar cane in relation to the forest or *Brachiaria* was found to be due to the lower incorporation of C derived from the C₄ species and an increase in the rate of decomposition of the forest-derived C, probably due to the intensive physical disturbance of the soil at the occasions of planting and renovation of the cane crop. In contrast under the continuous *Brachiaria*, forest C was largely conserved no doubt due to the complete lack of tillage under this area. After 20 years of pasture the greatest proportion of C derived from the *Brachiaria* was found in the light fraction (67 % of C in this fraction in the 0-30 cm depth interval). In the silt and clay fractions there was a greater conservation of the original forest C and C₄-C did not exceed 40 % of the C in these fractions.

1- Introdução

A matéria orgânica do solo é o produto de resíduos da biota, principalmente dos vegetais, parcialmente decompostos e sintetizados, em vários estágios de complexidade e diversidade estrutural (Silva e Resck, 1997; Batjes, 1999). Assim, pode ser definida como todo o carbono orgânico no solo, com diversas conformações estruturais. Considerando somente a camada superficial da Terra, o solo representa o maior compartimento de C, superando o somatório do carbono contido nas águas (rios e oceanos), na biomassa e na atmosfera (Bolin, 1983). Assim, o manejo feito pelo homem interfere direta e expressivamente no equilíbrio de carbono entre esses compartimentos. Desse carbono acumulado na matéria orgânica do solo, a maior parte, está na forma de húmus (Kononova e Dokuchayev, 1984). A matéria orgânica normalmente contribui com uma pequena fração da massa total dos solos, correspondendo à cerca de 7 % do volume total. É um componente essencial nos processos físicos, químicos e biológicos de ecossistemas terrestres (Carter, 2001).

A demanda cada vez maior de alimentos e energia para uma população crescente e tecnologicamente sofisticada tem requerido um aumento da área cultivada e, sobretudo, aumento da produtividade. Esse aumento de produtividade baseado na adição de fertilizantes, corretivos e agroquímicos, mecanização e uso de variedades melhoradas, apresenta custos econômicos elevados e em excesso, pode levar à degradação do solo, especialmente quando o manejo é inadequado. Nesse contexto, a matéria orgânica do solo pode ser um fator decisivo para a sustentabilidade.

A matéria orgânica tem tido uma crescente demanda de pesquisa nas avaliações econômicas e ambientais para a adoção de práticas agrícolas modernas. Os estudos têm caminhado para o potencial da matéria orgânica no seqüestro de carbono, isto é, na capacidade da matéria orgânica funcionar como um dreno dos gases do EFEITO ESTUFA (Reicosky, 1999), um fenômeno que preocupa todo o planeta. Atualmente, o estudo de ecologia do solo tem dado uma visão holística da matéria orgânica como uma ferramenta versátil e um fator chave para a sustentabilidade dos agroecossistemas e tem recebido uma atenção especial, com vistas na possibilidade de atenuação do efeito estufa (Feller e Manlay, 2001).

Na atmosfera terrestre, os gases nitrogênio, oxigênio e argônio representam mais de 98% de sua composição e com a característica de não absorverem calor. Já outros componentes da atmosfera como o CO₂ (dióxido de carbono), o CH₄ (metano), os óxidos de nitrogênio e o vapor d'água, absorvem o calor oriundo da superfície terrestre e o mantém na atmosfera causando o chamado efeito estufa. Este fenômeno natural é considerado como o principal responsável pelo aquecimento da Terra, mudança climática global que ocasiona, por exemplo, a fusão de gelo polar e a consequente elevação do nível dos oceanos, além da maior incidência de tempestades, enchentes e mesmo ocorrência de secas mais severas. O aumento da concentração de CO₂ na atmosfera após a revolução industrial, passou de 280 para 360 ppm, o que em termos agrícolas foi favorável pelo simples fato de otimizar a fixação de carbono pela fotossíntese e consequentemente contribuir para o aumento da produtividade primária dos vegetais. No entanto, a partir da revolução industrial e a queima dos combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural, houve um aumento substancial nas emissões de gases de efeito estufa (GEE), o que tem levado alguns estudiosos a fazer previsões catastróficas quanto ao clima na Terra. As principais emissões (perdas) de carbono do solo foram citadas por Batjes (1999), separando as áreas secas: erosão do solo, mineralização e oxidação da matéria orgânica e respiração do solo; e nas áreas inundadas: formação de metano e oxidação da matéria orgânica quando drenado.

A matéria orgânica desempenha importantes papéis que costumam ser descritos em funções físicas, químicas e biológicas. As funções físicas estão relacionadas à cor, temperatura, infiltração e retenção de água, agregação, estrutura, aeração e porosidade. Já a capacidade de troca catiônica, ação tamponante, associação com partículas minerais, quelação e combinação com moléculas orgânicas, dizem respeito às funções químicas. As funções ditas biológicas tratam da fonte de carbono, energia e nutrientes para as plantas e organismos do solo, regulação de crescimento vegetal (efeito hormonal), merecendo destaque nos dias de hoje a interação de ácidos húmicos com H^+ -ATPases de células das raízes (Silva e Resck, 1997; Canellas et al., 1999).

Comparada com os solos temperados, a maioria dos solos tropicais e subtropicais úmidos apresenta maior grau de intemperização, acidez mais elevada, deficiência em cátions básicos (Ca e Mg) e carga variável, com predominância de argilas de baixa atividade (caulinita e oxi-hidróxidos de Al e Fe). Logo, o teor de matéria orgânica do solo assume grande importância para a fertilidade dos solos e manutenção da produtividade das culturas. Os agroecossistemas tropicais oferecem mais opções de manejo que os solos temperados, além da possibilidade de plantios contínuos e grande diversidade de espécies vegetais. A dinâmica de carbono nos solos tropicais é controlada por processos físicos, químicos e biológicos, que vão determinar se ocorre acúmulo ou perda de carbono. Por isso, as práticas de manejo possuem grande importância, pois esses fatores podem regular o ganho e a decomposição da matéria orgânica do solo.

A qualidade da planta, que pode ser caracterizada pela sua composição química, como teor de lignina, polifenol e N, pode afetar a taxa de decomposição do material, influindo na formação da matéria orgânica do solo. Ligninas e polifenois são constituintes precursores das substâncias húmicas. Materiais com alta relação lignina/N e polifenóis/N, possuem taxas menores de decomposição, e podem contribuir mais na formação da matéria orgânica do solo. A qualidade da planta afeta a dinâmica da matéria orgânica do solo diretamente via regulação dos processos de decomposição (Cadisch et al., 1998).

A matéria orgânica do solo tem sido dividida em compartimentos (“pools”), que possuem características distintas quanto a velocidade de decomposição. O compartimento ativo, que seria aquele relacionado a biomassa microbiana do solo; o compartimento de liberação lenta, altamente recalcitrante, que seria responsável principalmente pela estabilização dos macroagregados do solo, e o compartimento passivo, responsável pela união das partículas do solo. Esses compartimentos, propostos por Parton et al. (1989), têm sido aceitos, embora ainda não existam métodos adequados de fracionamento da matéria orgânica em algumas das frações citadas no estudo.

Em solos de florestas nativas (ecossistemas naturais), a liberação de nutrientes da serrapilheira e posterior absorção pelas plantas ocorrem em sincronia. O carbono orgânico total do solo mantém-se estável. Com a implantação dos agroecossistemas, ocorre a absorção de nutrientes pelas culturas e posterior remoção de biomassa vegetal (colheita) e nutrientes, onde o desequilíbrio entre aporte e remoção afeta a quantidade de carbono orgânico, que pode decair em relação ao teor original da floresta, principalmente em sistemas agrícolas de monocultura intensiva. Essa redução do carbono orgânico é devida principalmente à erosão do solo, alta mineralização e oxidação da matéria orgânica existente e a menor entrada de biomassa vegetal no processo de decomposição (Fernandes et al., 1997). Em relação à conversão de vegetação nativa em pastagens, os dados encontrados na literatura ainda são contraditórios, sendo necessário um estudo mais amplo sobre a dinâmica de carbono nestes solos. Mas já existem trabalhos mostrando que a pastagem foi importante para a

manutenção do carbono orgânico à longo prazo (Cadisch et al., 1998, Tarré, 2001). Feigl et al. (1995) encontraram, por exemplo, que após 80 anos da conversão de solo sob floresta para pastagem, houve um aumento de 60% na quantidade de C. Os trabalhos aqui desenvolvidos se inserem na busca de informações sobre a matéria orgânica em solos onde a floresta nativa foi substituída por gramíneas e pastagens.

A quantidade de C do solo sob um determinado sistema é o resultado entre a taxa de adição de resíduos, a taxa de mineralização desse material e a taxa de humificação. A combinação desses três controladores vai determinar a dinâmica do C no sistema. Essa dinâmica é conduzida por fatores climáticos, edáficos, pela vegetação e manejo. Observando esses fatores, pode-se constatar que o manejo é a forma com que a ação do homem pode alterar essa dinâmica. Muitas vezes, ao modificar a vegetação, mesmo não desejando, pode-se provocar a redução do C no solo. Dentre as estratégias de manejo, quatro podem ser citadas: o uso de “inputs” orgânicos, alteração da qualidade e quantidade desses “inputs”, localização e momento de aplicação e manejo da fauna do solo (Sanchez et al., 1988).

A matéria orgânica bruta adicionada sobre um solo pode seguir três vias possíveis, que podem inclusive, acontecer ao mesmo tempo. Primeiro, sofrer uma fragmentação mecânica, seja pela atuação dos organismos do solo e/ou preparo do solo. Essa quebra dos materiais vegetais pode favorecer as vias seguintes. Segundo, o material vegetal bruto pode sofrer mineralização, produzindo novos compostos orgânicos e substâncias simples, como CO_2 , CH_4 , NO_3^- , NH_4^+ , cátions, ânions. A maior proporção do carbono adicionado na matéria orgânica bruta é decomposta na forma de dióxido de carbono e perdido para a atmosfera. Por último, o carbono pode entrar nas vias de humificação (matéria orgânica pouco transformada, neossíntese microbiana e insolubilização), incorporando-se às substâncias húmicas do solo (Camargo et al., 1999). Geralmente, no máximo 20 a 30 % do carbono do material bruto adicionado irá seguir as vias de humificação (Silva & Resck, 1997).

Parece não restar dúvida de que o atual modelo de gestão e desenvolvimento da humanidade tende a aguçar a exclusão social e a devastação do meio ambiente. Há, por outro lado, iniciativas globais promissoras na busca do chamado DESENVOLVIMENTO SUSTENTADO. A AGENDA 21, elaborada na ECO-92 no Rio de Janeiro, por exemplo, levantou uma série de questões relevantes e aprovou um conjunto de resoluções e recomendações das mais pertinentes e avançadas rumo à SUSTENTABILIDADE do planeta. A RIO + 10, nova avaliação realizada em 2002 na África do Sul, apontou um progresso ainda tímido no cumprimento da AGENDA 21 e até mesmo alguns retrocessos expressivos, o que aponta para a necessidade de intensificação da busca da sustentabilidade através da utilização de todos os mecanismos possíveis (Martins, 2002).

O Brasil, como detentor da maior biodiversidade e expoente mundial em vários outros recursos naturais, tem a responsabilidade de liderar a busca de conhecimento com vistas à recuperação e preservação de seus ecossistemas. Dentre os ecossistemas brasileiros mais alterados pelo homem está a MATA ATLÂNTICA, afetada pelo extrativismo inicialmente e depois por processos agrosilvopastoris, industriais e de urbanização.

A partir da ECO-92, países de todo o mundo vêm tentando chegar a um acordo sobre a redução das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) através de mecanismos de desenvolvimento limpo e emissões de certificados de redução de emissões, incluindo aí, o seqüestro de carbono que vem sendo muito propagado no meio agro-florestal. Aliado a tudo isto, a possibilidade da ratificação do Protocolo de Kyoto abre novas perspectivas para a captação de recursos internacionais para projetos que colaborem

com a redução dos impactos causados pelo efeito estufa. A menos que mudanças drásticas sejam feitas no modelo de produção e consumo de energia, em poucos anos o mundo estará enfrentando graves alterações ambientais principalmente no que diz respeito ao clima. Atualmente intensos esforços estão sendo feitos a nível internacional, com a finalidade de diminuir a emissão dos GEE. Neste sentido diferentes metas de redução ou limitação de emissões de carbono foram estabelecidas politicamente por cada país. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é um dos vários “mecanismos de flexibilidade” autorizados pelo Protocolo de Kyoto (dezembro de 1997) e consiste na certificação de projetos de redução de emissões e seqüestro de carbono em países em desenvolvimento e a posterior venda desses certificados para serem utilizados pelos países desenvolvidos como uma forma de atingir o cumprimento de suas metas. A Convenção das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, assinada pelo Brasil na RIO-92, estabeleceu que os países desenvolvidos deveriam tomar a liderança no combate ao aquecimento global e retornar suas emissões antrópicas de GEE, por volta do ano 2000, aos níveis anteriores aos de 1990. O processo do Mandato de Berlim culminou com a Terceira Conferência das Partes (COP 3), realizada em Kyoto (Japão), em 1997, com uma decisão por consenso em favor da adoção do Protocolo de Kyoto. De acordo com o Protocolo, os países desenvolvidos aceitaram compromissos diferenciados de redução ou limitação de emissões entre 2008 e 2012. Em 2001, infelizmente, o presidente dos Estados Unidos da América, George W Bush, país que representa 26 % das emissões de CO₂ do mundo, não se comprometeu a cumprir o que havia anteriormente decidido no protocolo de Kyoto, justificando que a indústria americana “seria prejudicada”. Essa decisão põe em risco o futuro das questões anteriormente decididas, mas a tendência mundial é uma tentativa de reduzir a concentração de CO₂, pela menor emissão desse gás e promover o seqüestro de carbono, pela agricultura. Políticas efetivas podem e devem ser adotadas, aliando aspectos políticos, econômicos, sociais e ambientais, a fim de reverter ou minimizar os efeitos das mudanças climáticas e ambientais. O aumento dos estoques de carbono no solo, o combate a degradação do solo, a preservação da biodiversidade, o aumento da qualidade e produtividade do solo não devem ser vistos como fatores contraditórios, mas sim, como fatores interligados, visando a sustentabilidade e qualidade do solo, no presente e futuro.

No âmbito da pesquisa, têm-se buscado técnicas e práticas de manejo que possam favorecer o acúmulo (aumento) de carbono no solo. Basicamente, essas práticas favorecem o aumento do uso dos resíduos orgânicos no solo e a diminuição da taxa de decomposição da matéria orgânica do solo. As práticas de manejo mais apropriadas para o aumento da reserva de carbono são específicas para cada local ou região e requerem adaptações e avaliações em relação ao tipo de solo e ao sistema de produção.

Estimativas globais realizadas mostram que a recuperação de áreas degradadas e o manejo correto em áreas em vias de degradação, podem acumular a mais (seqüestrar) o equivalente a 14 Pg (Pg= 10¹⁵g) de carbono, em 25 anos (Batjes, 1999). A atividade agrícola tem um importante papel no controle da emissão de gases do efeito estufa. O manejo inadequado transfere carbono do solo e da biomassa para a atmosfera, na forma de CO₂, que junto com aquele liberado da queima dos combustíveis fósseis, favorece o efeito estufa. É um consenso que o enriquecimento do CO₂ atmosférico estimula a fixação de carbono pela fotossíntese vegetal. Todavia, estudos recentes mostram que o carbono derivado desse aumento de CO₂ atmosférico é alocado principalmente em constituintes vegetais e compartimentos de carbono no solo que são rapidamente mineralizados, de ciclagem rápida (Piccolo, 1999).

Dentre as práticas de manejo sugeridas à ONU por Batjes (1999), pode-se citar, para as terras cultivadas: uso de resíduos orgânicos, práticas de conservação, rotação de culturas, culturas de inverno e repouso, adubos verdes, escolha de variedades adequadas e irrigação. Para as áreas de pastagens: aplicação racional de fertilizantes, escolha de variedades adequadas, lotação animal adequada e irrigação. Para as áreas degradadas: revegetação com espécies nativas, utilização de espécies de rápido crescimento e aplicação racional de fertilizantes. Outras práticas podem ser consideradas intrínsecas àquelas já citadas: uso da terra somente em áreas compatíveis, manejo da fertilidade do solo, controle da erosão, alta diversidade de espécies, sistemas agrosilvopastoris adequados, conservação da palha, cobertura morta, redução do preparo do solo, uso de fertilizantes orgânicos, estimular a fixação biológica de nitrogênio, aumento da eficiência dos fertilizantes e manejo integrado de pragas. Em relação ao Capítulo 14 da AGENDA 21, que trata da promoção do desenvolvimento rural e agrícola sustentável, as sugestões são as seguintes: revisão e planejamento da política agrícola; participação popular e promoção da agricultura; melhoria do sistema de cultivo, diversificação e desenvolvimento de infra-estrutura; conservação e reabilitação da terra; fornecimento de água; conservação e utilização de recursos genéticos vegetais e animais; manejo e controle integrado de pragas e doenças; diversificação da energia rural e avaliação dos efeitos da radiação ultravioleta sobre as plantas e animais (Martins, 2002).

Esse é o quadro atual, em que os profissionais da área necessitam conservar o ambiente e produzir alimentos. Políticas e tecnologias devem ser desenvolvidas para o uso adequado do solo, preservação e conservação do ambiente e produção sustentável. Nos países tropicais são necessários, investimentos em ciência e tecnologia, monitoramento ambiental e a criação efetiva de mecanismos para incentivar a produção sustentável.

Atualmente, cerca de 10 % da superfície terrestre está sob utilização agrícola, sendo que em muitas regiões, como na Europa, não existem mais terras novas para serem utilizadas, ou então as áreas existentes são consideradas impróprias para o uso agropecuário (desertos, áreas montanhosas, áreas urbanas). Algumas áreas, como na África Subsahariana e na América Latina, em especial no Brasil, na Amazônia e principalmente no Cerrado, apresentam potencial para a expansão agrícola (Borlaug, 1997). Contudo, o uso dessas novas áreas pode significar a degradação de ecossistemas estáveis, contribuindo com maior emissão de CO₂ para a atmosfera. Hoje em dia, tem-se discutido globalmente se vale a pena “abrir” novas fronteiras agrícolas ou recuperar as áreas degradadas ou sub-utilizadas existentes. Na minha opinião, a segunda opção deveria ser a prioridade principal, que se adequa melhor tendo em vista a sustentabilidade dos solos, embora envolva outras questões, sociais, econômicas e políticas, que dificultam uma melhor elaboração do uso da terra. Uma nova mentalidade social, aliada a questão ambiental, deveria servir de subsídio para alterar a política que controla e regula o uso do solo, e que necessitaria ser considerada o mais rapidamente possível. Pois é mais fácil e econômico remover as florestas naturais e aproveitar a fertilidade alta inicial do que recuperar solos inférteis pelo manejo intensivo ou incorreto.

A produtividade das culturas está intimamente relacionada à qualidade e sustentabilidade dos solos. Essa qualidade do solo pode ser acessada através dos atributos do solo. Esse atributo deve ser sensível às práticas de manejo, podendo ser utilizado como um indicador da qualidade do solo (Doran & Parkin, 1994). Nesse contexto, a matéria orgânica do solo pode ser considerada um atributo indicador, contribuindo de forma direta e indireta para a qualidade do solo. Um sistema de produção sustentável, hoje é entendido, como sendo viável biológica, econômica e

politicamente, sem declínio da produção e manutenção do mesmo para as futuras gerações (Sanchez, 1997). Hoje, já existe uma tendência para o direcionamento da pesquisa na avaliação do manejo e o uso sustentável dos solos. A matéria orgânica do solo desempenha um papel fundamental no entendimento dos agroecossistemas.

2- Revisão Bibliográfica

2.1- Fracionamento físico da matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) é o produto de resíduos da biota, principalmente dos vegetais, parcialmente decompostos e sintetizados, em vários estágios de complexidade e diversidade estrutural (Silva e Resck, 1997; Batjes, 1999). Logo, a matéria orgânica do solo possui diversos componentes com características heterogêneas, incluindo um componente vivo, compreendendo principalmente a microfauna, os microorganismos do solo, e um componente morto. Este pode ser subdividido em fração leve, ou matéria orgânica macroorgânica, e fração pesada, compreendendo as substâncias húmicas e não húmicas, o que já sugere a complexidade do estudo e a importância de se proceder algum tipo de fracionamento. O objetivo do fracionamento é identificar os componentes que sejam homogêneos em relação às propriedades, dinâmica e função, que levam a MOS a ter seus efeitos alterando as propriedades do solo e ambiente. Com a identificação das frações, pode-se estudar, com maior precisão, determinado componente ou grupo funcional. Com o fracionamento pode-se estudar ainda a qualidade e a quantidade de matéria orgânica nos diversos compartimentos.

Basicamente, o que se denomina fracionamento da matéria orgânica do solo envolve processos de duas naturezas. Um deles é o fracionamento químico, em que a separação é feita em soluções de diferentes faixas de pH. Assim, são identificados os ácidos fúlvicos (solúveis em ácido e base), os ácidos húmicos (solúveis apenas em meio básico) e as huminas (insolúveis tanto em ácido quanto em base). O outro é o fracionamento físico, em que a separação é realizada com base na densidade (densimetria) e/ou no tamanho das partículas (granulometria). O fracionamento físico separa a matéria orgânica do solo em frações que diferem em composição e função biológica (Christensen, 1992), podendo assim ser mais útil para o estudo da ciclagem de carbono (Tiessen and Stewart, 1983; Christensen, 1987).

O estudo sobre fracionamento físico consiste de 3 estágios obrigatórios: 1) um tratamento de dispersão; 2) peneiramento; e 3) sedimentação e centrifugação. A dispersão tem sido realizada com a aplicação de ultra-som, ou por agitação em presença de dispersores inertes (bolas de vidro, por exemplo) ou mesmo com adição de reagentes químicos.

O fracionamento por densimetria é baseado na utilização de uma solução com densidade conhecida, em que o material flotado é considerado fração leve, com densidade menor que a utilizada na solução. O material restante é considerado fração pesada. Ainda não há uma densidade de solução considerada padrão nos estudos de fracionamento, podendo variar de 1.4 até 2.2 g.cm⁻³, sendo a densidade de 1.80 g.cm⁻³ a mais utilizada (Christensen, 1992).

O fracionamento granulométrico é baseado na extração das frações da matéria orgânica do solo por peneiramento e sedimentação em proveta. Diversas peneiras têm sido utilizadas nos vários estudos de fracionamento (1000, 500, 200, 150, 100, 53 e 20 µm). A peneira de 53 µm é de grande importância nos estudos, porque é onde ocorre a separação das frações associadas a areia em relação àquelas associadas a silte e argila. As frações menores que 53 µm são obtidas por sedimentação gravitacional em proveta de 1000ml. A fração de 0-2 µm representa a matéria orgânica associada à argila. A fração de 2-53 µm representa a matéria orgânica associada ao silte. Em alguns trabalhos é utilizada a peneira de 20 µm, podendo-se fazer a separação entre silte grosso e silte fino.

Christensen (1992) cita as seguintes frações da matéria orgânica do solo: 1) fração leve e livre, separada por fracionamento densimétrico com densidade menor que 1,6 ou 2,2 g cm⁻³; 2) fração leve intra-agregado, separada por fracionamento densimétrico após aplicação de ultra-som; 3) fração pesada, residual obtida após o fracionamento densimétrico.

2.2- Fração leve

A fração leve é o compartimento de matéria orgânica composta de resíduos vegetais pouco ou não humificados, de baixa densidade, com características associadas aos resíduos vegetais (liteira). A fração leve intra-agregado ou oclusa é a fração leve fisicamente protegida no interior dos agregados. Estudos recentes têm mostrado que a fração leve intra-agregado possui composição diferente da fração leve livre, podendo ser considerada um outro compartimento (Sohi et al., 1998; Freixo, 2000; Freixo et al., 2002a). A fração pesada pode ser dividida em frações associadas ao tamanho das partículas do solo, como areia, silte e argila, tendo cada fração sua composição e dinâmica de carbono. Durante a humificação, parte da matéria orgânica do solo associa-se a partículas minerais tornando-se de maior densidade.

A fração leve livre tem composição semelhante aos resíduos vegetais, com maior perda dos compostos mais lábeis (carboidratos e proteínas), fragmentos de raízes, sementes, mesofauna e microfauna. Os teores de carbono variam de 20 a 40 %, e relação C:N alta maior do que 15 (Freixo, 2000). Em solos onde ocorreram queimadas, pode-se observar materiais carbonificados em sua composição (Roscoe et al., 2001). Dentre as frações da MOS, a fração leve livre é a que apresenta a maior variabilidade espacial e sazonal. Estudos espectroscópicos conduzidos por Freixo et al. (2002a) mostraram que essa fração encontra-se nos estágios iniciais de transformação.

A fração leve intra-agregado é a fração leve que fica fisicamente protegida entre os agregados do solo e 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 fração leve livre (Freixo et al., 2002a).

2.3- Fração pesada

Convencionalmente, a fração pesada pode ser dividida de acordo com o tamanho das partículas, sendo mais comumente separada nas frações areia (maior que 53 µm), silte (2-53 µm) e argila (0-2 µm). Na fração pesada, são encontrados os maiores estoques de carbono do solo. A dinâmica de carbono do solo estaria intimamente relacionada à textura (Feller, 1993; Feller & Beare, 1997). 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 com a matéria orgânica.

A matéria orgânica associada à fração areia é composta de resíduos vegetais e outros materiais aderidos à superfície da partícula. Possui uma relação C:N de aproximadamente 20 (Feller e Beare, 1997), embora quando é feito o fracionamento densimétrico anteriormente na mesma amostra, a relação C:N pode reduzir a valores entre 14 e 17 (Freixo et al., 2002b) em latossolo. Na fração areia, os materiais mais humificados podem se acumular ao redor das partículas, mas não há cargas suficientes para a sua retenção. Por isso, ela possui maior susceptibilidade aos microorganismos e decomposição (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 latossolos (Freixo et al., 2002b).

A matéria orgânica associada à fração argila, também chamada de complexo organo-argiloso, atua cimentando a matriz argilosa, predominando matéria orgânica amorfa, de relação C:N variando de 7 a 13 (Feller e Beare, 1997; Freixo et al., 2002b). A interação da matéria orgânica com as frações mais finas do solo depende do teor de argila e do tipo de argila do solo, podendo causar as diferenças na relação C:N nos diversos tipos de solo estudados.

As substâncias húmicas obtidas no fracionamento químico provavelmente estão associadas na fração leve intra-agregado e nas frações minerais do solo obtidas no fracionamento granulométrico: areia, silte e argila. Um problema do estudo da caracterização por fracionamento químico após o fracionamento físico, é que em alguma etapa da dispersão as substâncias húmicas são alteradas quimicamente ou quebradas. Assim, as substâncias húmicas podem ser encontradas em quase todas as frações da matéria orgânica do solo, embora esteja retida, em maiores concentrações, nas frações mais finas (silte e principalmente argila). Nessas frações, onde predominam os compostos de carbono mais humificados, a matéria orgânica possui maior estabilidade.

Quanto menor é o tamanho da partícula, menor é a relação C:N da MO associada a ela. A capacidade da fração argila “reter” matéria orgânica é um fator intrínseco do tipo do solo, depende do teor e do tipo de argila. Os aportes vegetais chegam ao solo com uma alta relação C:N, e na mineralização, perdem considerável parte do C para a atmosfera na forma de CO₂. Na medida que vai ocorrendo a humificação, a relação C:N vai se estabilizando em valores baixos. Sendo assim, para se aumentar os teores de C nessas frações mais humificadas, deve-se também aumentar os teores de N, pois a relação C:N é pouco variável. Isto é, não há sítios onde a matéria orgânica formada possa ficar retida, tornando-se mais suscetível à degradação e decomposição por microorganismos, podendo ser, dessa forma, mais facilmente perdida.

2.4- Influência do manejo do solo nas frações da matéria orgânica do solo.

A dinâmica das frações granulométricas estaria fortemente relacionada com a textura do solo. Em solos argilosos a maior proporção de C está associada a silte e argila, que são mais resistentes e estáveis. Solos arenosos podem possuir maior proporção de C associada à fração areia (Feller & Beare, 1997), sendo, portanto, mais suscetíveis ao manejo, já que essa fração é mais lável (Tiessen & Stewart, 1983), menos protegida e mais facilmente mineralizada. A fração da matéria orgânica associada à areia tem sido denominada matéria orgânica particulada, por denominação de Cambardella & Elliot (1992). Segundo estes mesmos autores, a maior parte da matéria orgânica do solo associada à areia constitui parte da fração leve. Utilizando essa metodologia, Beare et al. (1994a), encontraram que a matéria orgânica particulada continha aproximadamente 36% do total de C dos solos estudados, e que no sistema de plantio direto era aproximadamente 20% maior do que no plantio convencional. Os macroagregados no sistema de plantio direto são importantes para a proteção da matéria orgânica do solo, que seria mais facilmente mineralizável em práticas convencionais (Beare et al., 1994b). Estudos têm mostrado que as frações da matéria orgânica do solo

são diferentemente influenciadas pelo manejo (Tiessen & Stewart, 1983; Tiessen et al., 1984; Anderson et al., 1981; Cristensen, 1987).

Com a conversão de solos sob floresta nativa para solos cultivados, as frações leves e associadas a areia são as primeiras a sofrer alterações. Feigl et al. (1995) observaram a redução da contribuição relativa das frações grosseiras do total de C do solo e o aumento de contribuição nas frações mais finas. A relação C:N tende a reduzir com a diminuição do tamanho da partícula. Em solos de pradaria de textura argilosa, nos Estados Unidos, com relação C:N de 12,5, as frações areia e silte grosso mostraram relação C:N de 14 e 11,2, enquanto as frações argila e argila fina atingiram 9,5 e 8, respectivamente (Tiessen et al., 1984). Durante os anos iniciais de cultivo, a matéria orgânica mais grosseira foi transferida para as frações mais finas (Tiessen and Stewart, 1983).

Anderson et al. (1981) procederam um fracionamento granulométrico em amostras coletadas em chernossolos, originando as frações: areia ($>50\text{ }\mu\text{m}$), silte grosso ($50\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$), silte fino ($5\text{--}2\text{ }\mu\text{m}$), argila grossa ($2\text{--}0,2\text{ }\mu\text{m}$) e argila fina ($<0,2\text{ }\mu\text{m}$). Para a dispersão das amostras, foi utilizado ultra-som na proporção de 1:10 solo-água por 8min a 300 W sob 25 °C. As frações areia e silte grosso foram separadas por peneiramento, e as demais, por decantação e centrifugação. A maior proporção de C foi observada nas frações argila e silte. A fração areia continha menos de 4% do total de C do solo. O compartimento argila grossa ($2\text{--}0,2\text{ }\mu\text{m}$) apresentou maior proporção e quantidade de C e N. A recuperação de C, N e S foi da ordem de 96, 90 e 98%, respectivamente. A relação C:N reduziu com a diminuição do tamanho das partículas, de 11 a 17 na areia para 7,2-7,6 na argila fina. O solo apresentou relação C:N de 9,0 a 9,8. A natureza e quantidade de substâncias húmicas associadas às frações indicaram diferenças (N e ácidos fúlvicos).

Tiessen & Stewart (1983) utilizaram o mesmo fracionamento citado por Anderson et al. (1981), e fizeram um estudo comparativo entre solos de diferentes texturas, comparando-os com solos de pradarias nativas nos Estados Unidos. A fração silte fino ($5\text{--}2\text{ }\mu\text{m}$) teve o maior teor de C em todos os solos estudados no horizonte superficial. A relação C:N caiu de 15 na fração areia para cerca de 7 na fração argila fina. Foi observada a transferência de C das frações mais grosseiras para as frações mais finas nos primeiros anos de cultivo, principalmente nas frações silte. Segundo estes autores, isso sugere que essa transferência de C é principalmente física (possivelmente atividade da fauna do solo) e não microbiológica. Foi observada a redução de C em todo solo e nas frações decorrentes dos anos de cultivo. As maiores reduções após 60 anos de cultivo foram observadas nas frações areia e argila fina, que são as frações que contém C recente de materiais vegetais e de origem microbiana. As mudanças observadas nos horizontes sub-superficiais foram menos pronunciáveis do que no horizonte A. As frações silte fino e argila grossa sofreram as menores mudanças com o cultivo ao longo dos anos, mostrando serem mais resistentes, de menor fertilidade e de menor importância na ciclagem de nutrientes do solo (Tiessen & Stewart, 1983). A abundância natural de ^{15}N indicou que as frações areia e argila fina são os compartimentos de entrada de C, enquanto as frações silte fino e argila grossa mostraram pouca alteração, refletindo sua maior estabilidade (Tiessen et al., 1984).

Christensen (1987) estudou a decomposição das frações da matéria orgânica em solos sob cultivo de ervilha. O fracionamento partiu de 30 g de solo (adição de 150 ml de água) com aplicação de ultra-som (300 W por 15 min). Foram obtidas as frações argila ($0\text{--}2\text{ }\mu\text{m}$), silte ($2\text{--}20\text{ }\mu\text{m}$) e areia ($20\text{--}6000\text{ }\mu\text{m}$). Um possível problema desse estudo seria a subestimativa da fração silte, já que a maioria dos estudiosos considera a fração silte partículas de $2\text{--}53\text{ }\mu\text{m}$. A recuperação em peso, quantidade de C e N foi de

aproximadamente 99,4, 95 e 88 %, respectivamente. A fração silte mostrou-se mais resistente que a fração argila nesse estudo. A fração areia teve a menor estabilidade. A incorporação de palha aumentou a decomposição na fração areia e em todo o solo.

Bonde et al. (1992) utilizaram o fracionamento granulométrico, a partir de 30 g de solo e aplicação de ultra-som em 150 ml de água (300 W por 15 min), obtendo as frações argila (0-2 μm), silte (2-20 μm), areia fina 1 (20-63 μm), areia fina 2 (63-200 μm) e areia grossa (200-2000 μm), comparando solos cultivados com cana-de-açúcar, com 12 e 50 anos de cultivo, com solo de mata nativa próxima. O cultivo não alterou a composição granulométrica do solo. Argila, silte e areia continham 53, 31 e 17% de todo o C do solo na mata nativa, e de 67, 23 e 10% após 50 anos de cultivo. O limite usado pelo autor para areia fina foi menor que 53 μm (20 μm), podendo assim estar superestimando a fração areia e assim subestimado a fração silte. Mesmo assim, pôde-se notar uma migração de C das frações mais grosseiras para as frações mais finas em razão do cultivo, ocorrendo um enriquecimento de C na fração argila.

Feigl et al. (1995) procederam um fracionamento densi-granulométrico em solos localizados na Amazônia, em que as amostras de solo foram submetidas à dispersão em água (agitação por 1 h com bolas de vidro), seguido de peneiramento (200 μm e 50 μm), aplicação de ultra-som no material coletado nas peneiras e centrifugação e precipitação do material residual da peneira de 50 μm . As frações obtidas foram separadas em relação ao tamanho dos agregados de acordo com as peneiras utilizadas, e não a convencional separação nas frações silte e argila. A recuperação do C total do solo foi alta, variando de 82,5 a 100,6%. Mesmo assim, pôde-se observar que as frações mais grosseiras (200-2000 μm) apresentaram alta proporção de C novo derivado da pastagem (70 e 93 %, após 20 e 80 anos sob pastagem, respectivamente).

Hassink (1995), estudando solos de diferentes texturas na Holanda, separou a matéria orgânica do solo em 5 frações; 2 frações de microagregados (0-20 μm e 20-150 μm) e 3 frações de macroagregados ($>150 \mu\text{m}$) separadas por densidade: fração leve ($<1,13 \text{ g cm}^{-3}$), fração intermediária ($1,13-1,37 \text{ g cm}^{-3}$) e fração pesada ($>1,37 \text{ g cm}^{-3}$). As taxas de decomposição diminuíram com o aumento da densidade das frações dos macroagregados. Nas frações dos microagregados foram encontradas as menores taxas de decomposição, mostrando assim serem mais estáveis. Neste estudo não foi feita a separação entre silte e argila. Esse estudo considerou primeiramente o tamanho dos agregados, e não o tamanho das partículas. Logo, os representantes das diversas frações granulométricas poderiam estar presentes em todas as frações analisadas.

Barrios et al. (1996) conduziram fracionamentos densimétricos e granulométricos utilizando 3 métodos. Esse fracionamento apresenta a desvantagem de não saber a recuperação de C de todo o solo analisado, pois pode haver super ou subestimativas dos compartimentos de C no solo. As densidades das soluções utilizadas nos 3 métodos foram diferentes, podendo ter ocasionado erros de interpretação. No estudo não foram avaliadas as frações minerais mais finas (fração pesada). O estudo apontou que as frações leves extraídas por NaI (densidade de $1,7 \text{ g cm}^{-3}$) no solo todo e Ludox na fração 150-300 μm (densidade $1,13 \text{ g cm}^{-3}$) foram as mais indicadas para observar diferenças de manejo.

Cambardella & Elliot (1992) utilizaram a matéria orgânica particulada para avaliar o efeito do cultivo sobre o solo. Essa fração foi obtida após a dispersão de 10 g de solo com 30 ml de solução de hexametafosfato de sódio (5 g L^{-1}) por 15 horas, e coletado em peneira de 53 μm . A matéria orgânica particulada representou 39 % do C total do solo sob vegetação nativa. Após os diversos manejos agrícolas, a proporção relativa da fração caiu para menos de 25 % do C do solo, e aumentou a proporção da matéria orgânica do solo associada aos minerais. Segundo os autores, essa fração da

matéria orgânica do solo tem características muito próximas do pool lento citado por Parton et al. (1987). Mais que 50 % do C da fração foram perdidos como resultado de 20 anos de uso agrícola. A fração matéria orgânica particulada é composta principalmente de fragmentos de raízes parcialmente decompostas e tem uma relação C:N próxima a 16 (Cambardella & Elliot, 1993).

Six et al. (1998) estudaram o efeito do manejo sobre 3 frações de matéria orgânica particulada. Primeiramente, a partir de 100 g de solo seco, separou em diferentes classes de agregados de solo (53-250 μm , 250-2000 μm e $>2000\ \mu\text{m}$). Depois, em cada classe de agregados, a partir de 5 g, removeu a fração leve, por flotação em 35 ml de solução de politungstato de sódio ($1,85\ \text{g cm}^{-3}$). Sobre a fração pesada resultante, após dispersão com hexametafosfato de sódio 0,5 % por 18 horas, foi coletada a fração orgânica particulada através de peneiramento. Tanto em plantio convencional quanto no plantio direto a fração leve livre foi mais reduzida do que no solo de pastagem nativa. Nos 2 sistemas a matéria orgânica particulada de 250-2000 μm tinha a menor idade (através de ^{13}C), indicando a recente incorporação desse C nos agregados. O manejo agrícola influenciou a agregação do solo e a quantidade e tipo da matéria orgânica particulada com os agregados do solo.

Alguns trabalhos têm citado que a matéria orgânica associada à argila é importante para a ciclagem de nutrientes a médio prazo, enquanto a matéria orgânica associada ao silte seria importante a longo prazo (Christensen, 1987). A matéria orgânica do solo associada aos minerais possui baixa disponibilidade de nutrientes (Tiessen & Stewart, 1983; Anderson et al., 1981). Assim, o cultivo reduz a matéria orgânica do solo e também a disponibilidade de nutrientes (Cambardella & Elliot, 1992).

2.5- Uso de ^{13}C

Na natureza existem três isótopos do C: ^{12}C , ^{13}C , e ^{14}C . Este último representa somente $10^{-10}\ %$, não tendo, portanto, relevância fisiológica (Taiz e Zeiger, 1998). O ^{13}C representa aproximadamente 1,11 %, contra 98,89 % do ^{12}C . A concentração de ^{13}C no ar, no entanto, é muito variável, não podendo ser utilizado, por isso, como uma referência padrão. Por convenção internacional, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ são expressos utilizando os valores encontrados em uma reserva de carbonato de cálcio, denominada PDB, como referência. Essa é uma reserva calcárea fóssil de Belemnite americana, numa formação Pee Dee do Cretáceo, na Carolina do Sul, EUA (Boutton, 1991, Alves et al., 1999).

Isso pode ser mensurado pela análise de $\delta^{13}\text{C}$, realizada em espectrômetros de massa. A unidade de $\delta^{13}\text{C}$ representa a variação de um átomo de ^{13}C em mil átomos de C (%), em relação ao padrão de referência (PDB), e pode ser representada pela seguinte fórmula (Boutton, 1991):

$$\delta^{13}\text{C} (\%) = \left(\frac{\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \text{ amostra}}{\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \text{ referência}} - 1 \right) * 1000$$

Logo, o valor de $\delta^{13}\text{C}$ expresso significa o quanto a proporção da amostra em $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ difere da referência padrão (PDB) que, por definição, assume o valor de 0 %. A composição do CO_2 atmosférico geralmente apresenta valores de -7% (Balesdent et al.,

1987). Assim, o ar é ligeiramente empobrecido de ^{13}C . Já em combustíveis fósseis, os valores chegam a ser menores que $-30\text{ \textperthousand}$, como no carvão e petróleo, já que esses depósitos tem como origem plantas C_3 (Taiz & Zeiger, 1998).

No processo da fotossíntese, ocorre uma discriminação isotópica do ^{13}C do CO_2 atmosférico, quando incorporado aos tecidos vegetais. Isto é, a entrada de ^{12}C é favorecida, alterando a proporção entre ^{12}C e ^{13}C . Nas plantas que possuem a via fotossintética C_3 , a abundância isotópica situa-se entre -25 e $-31\text{ \textperthousand}$ (Ludlow et al., 1976), como nas culturas da soja, trigo, arroz, e principalmente, nas florestas tropicais. Já nas plantas de ciclo C_4 , a discriminação isotópica é menor, variando de -10 a $-15\text{ \textperthousand}$, como exemplo a cana-de-açúcar, braquiária, capim elefante e milho.

A discriminação isotópica ocorre basicamente devido à diferença de peso entre os isótopos ^{12}C e ^{13}C , que possuem uma diferença de massa de $2,3\text{ \%}$. Nas folhas, o carbono movimenta-se por difusão, e o ^{12}C é mais rápido que o ^{13}C . Mesmo assim, o maior grau de discriminação isotópica ocorre na reação de carboxilação catalisada pela RUBISCO, por razões ainda não conhecidas, nas plantas de ciclo fotossintético C_3 . Contrariamente, nas plantas de ciclo fotossintético C_4 , o efeito de discriminação isotópica é menor, na fixação de carbono pela PEP carboxilase. Assim, as diferenças entre os ciclos fotossintéticos vão diferenciar a composição isotópica (Taiz & Zeiger, 1998). Uma utilização interessante do ^{13}C é o estudo em plantas CAM, já que estas fixam o carbono, via PEP carboxilase, e em algumas espécies, quando bem hidratadas, durante o dia, fixam carbono via RUBISCO. Assim, os valores de ^{13}C ficam intermediários entre as plantas de ciclo C_3 e C_4 , e pode-se conhecer a origem de como o C foi fixado (Taiz & Zeiger, 1998).

Devido a essa diferença entre espécies C_3 e C_4 , e levando-se em conta que a matéria orgânica do solo é dependente e/ou reflete a vegetação sobre o solo, é possível determinar a origem do C contido na matéria orgânica do solo, nas suas frações e lитеira, podendo assim quantificar a contribuição de cada tipo de vegetação. A técnica da abundância natural de ^{13}C é considerada uma ferramenta de grande valor na determinação da origem das diferentes frações da matéria orgânica do solo.

No caso dos solos tropicais, a matéria orgânica dos solos sob floresta geralmente apresenta valores próximos a $-27\text{ \textperthousand}$ (Cerri et al., 1985). Assim, em solos sob cultivo de plantas C_4 onde havia originalmente florestas (C_3), pela análise do carbono isotópico em materiais fracionados, pode-se saber a origem do carbono orgânico da fração do solo. Com o desflorestamento e implantação de espécies C_4 (as quais são mais competitivas nas condições do habitat tropical), a matéria orgânica do solo originalmente sob floresta nativa vai sendo substituída por nova matéria orgânica formada oriunda dessa nova vegetação, com diferente sinal de $\delta^{13}\text{C}$. A velocidade com que ocorre essa substituição permite aplicar modelos para a caracterização dos compartimentos da matéria orgânica do solo (Cadisch et al., 1998, Cerri et al., 1985).

Métodos mais recentes, baseados na abundância natural de ^{13}C , têm sido aplicados em experimentos de campo (Cerri et al., 1985; Balesdent, 1987). A composição isotópica da matéria orgânica do solo é relacionada à composição isotópica da cobertura vegetal. A alteração da vegetação sobre o solo vai refletir na matéria orgânica. Assim, as diferenças isotópicas observadas nas frações do solo podem indicar a velocidade da ciclagem de C no sistema.

Em profundidade, também pode ser verificado um ligeiro enriquecimento nos valores de $\delta^{13}\text{C}$. Balesdent et al. (1987) citaram três razões pra essas diferenças observadas entre as frações e em profundidade. Primeiro, a decomposição de substratos orgânicos poderia envolver um efeito isotópico normal, então, os produtos microbianos tornar-se-iam mais enriquecidos em ^{13}C do que os substratos. Segundo, nas plantas e

microorganismos, ocorrem pequenas variações inter e intra-moleculares de $\delta^{13}\text{C}$. Assim, a decomposição diferenciada entre os diversos componentes do material pode gerar enriquecimentos isotópicos diferenciados. E por último, as variações climáticas locais e globais, já que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ no tempo está sendo modificado. Com a queima de combustíveis fósseis (petróleo e carvão), que são menos enriquecidos em $\delta^{13}\text{C}$ (Boutton, 1991), tem-se liberado na atmosfera CO_2 com menores enriquecimentos de ^{13}C . Assim, a matéria orgânica do solo mais antiga geralmente apresenta valores mais enriquecidos de ^{13}C . Outra possível causa de variabilidade reside no fato de que na humificação, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ do carbono orgânico tendem a aumentar (Vitorello et al., 1989).

Existe uma pequena variação isotópica entre as frações da matéria orgânica do solo (Balesdent et al., 1987). Cada fração tem o seu valor de $\delta^{13}\text{C}$ inicial, e por isso, a comparação no tempo deve ser feita em relação a fração inicial (100 % C_3). Em profundidade, também pode ser verificado um leve enriquecimento nos valores de $\delta^{13}\text{C}$. Por isso, a comparação entre diversos materiais deve ser feita nas mesmas profundidades.

Para a quantificação do C da matéria orgânica do solo derivado da floresta e da planta cultivada, é necessário se conhecer o delta ^{13}C do solo sob floresta, que pode ser medido em uma amostra de solo de uma área de reserva próxima do sítio experimental, o enriquecimento do solo de uso agrícola e o enriquecimento dos resíduos da espécie agrícola.

A técnica da abundância natural do ^{13}C possui limitações, quando duas premissas não são satisfeitas. Primeiro, deve haver diferença isotópica entre o material vegetal ou da matéria orgânica do solo sob a vegetação antiga e da nova vegetação. Segundo, deve-se conhecer o histórico das áreas em estudo.

Em áreas nas quais reconhecidamente predominam espécies C_3 e que foram substituídas por espécies de ciclo C_4 , as estimativas podem ser calculadas com precisão. Por isso, em solos onde a floresta primária ou secundária foi substituída pelas culturas da cana-de-açúcar, milho, pastagens de gramíneas tropicais, capim elefante, braquiária, oferecem condições ideais para o estudo. Já a utilização de espécies C_3 , como feijão, soja, arroz, hortaliças, café, laranja, apresenta dificuldades, gerando resultados pouco elucidativos. O histórico da área estudada também possui grande importância, pois ajuda a explicar os resultados obtidos, já que torna conhecido o manejo realizado na área em determinado tempo.

O desconhecimento do histórico da área é uma limitação que pode ser uma fonte de erro no uso da técnica. Na área em estudo, quando são utilizadas várias espécies C_4 após a substituição das espécies C_3 , seria necessário calcular quanto foi a contribuição de cada espécie durante o tempo que foi plantada. Isso é uma grande dificuldade, porque cada planta tem a sua característica em relação à sua qualidade e quantidade de material produzido. Nessas condições, as estimativas podem perder precisão.

No caso em que são adicionados mais de dois tipos de resíduos ao solo, como acontece no consórcio, não é possível determinar com precisão a origem do C do solo. Cadisch e Giller (1995) propuseram um modelo para quantificar a contribuição de plantas C_3 , plantadas em consórcio com plantas C_4 , sobre solo com cobertura anterior de floresta (predominante C_3). O uso correto desse modelo só é aconselhado quando é feito um controle apropriado. Os tratamentos precisam ser da mesma idade e devem receber o mesmo manejo. Nesse caso, admitiu-se que a dinâmica do carbono é a mesma em ambos os tratamentos, isto é, a redução do carbono da floresta foi a mesma tanto no plantio em monocultura quanto no plantio em consórcio. Nesse estudo, após 6 anos da implantação das pastagens, o carbono derivado da leguminosa *Desmodium ovalifolium*,

plantada em consórcio com *Brachiaria humidicola*, na camada 0-2 cm, chegou a 24 % do carbono total do solo, correspondendo a 45 % do carbono novo no solo.

Outra dificuldade na utilização dessa técnica ocorre em estudos de curta duração, já que a dinâmica de carbono é um processo lento e a substituição do carbono velho por carbono novo é um processo gradativo e lento.

A técnica de delta ^{13}C também tem servido para vários outros usos, como por exemplo, a medida da oxidação do metano (CH_4) no ambiente (Groot, 2002); e a comprovação, em estudos paleobotânicos, que as plantas C_4 são mais recentes que as plantas C_3 (Taiz & Zeiger, 1998).

2.6- Uso de ^{13}C em estudos de fracionamento físico

Estudando solos sob pastagem após 80 anos da conversão da floresta em pastagens, Feigl et al. (1995) encontraram, utilizando a abundância natural de ^{13}C , que nos primeiros 10 cm do solo na região Amazônica, a fração mais humificada (associada a partículas menores que 50 μm) continha 82% de C derivado da pastagem. A movimentação de C derivado da pastagem para as frações mais finas já foi observada após 4 anos.

Valores de delta ^{13}C tendem a aumentar como resultado da humificação (Volkoff et al., 1978), o mesmo que Vitorello et al. (1989) observaram nas frações da matéria orgânica do solo. O enriquecimento de ^{13}C causado pelo cultivo de cana-de-açúcar foi mais pronunciado nas frações associadas a areia do que na fração argila (Bonde et al., 1992).

Utilizando a composição isotópica de ^{13}C e o fracionamento granulométrico, Bonde et al. (1992) encontraram que quanto maior a partícula, maior é a velocidade de substituição de C novo. Após 12 anos de cultivo de cana-de-açúcar, 61 e 37 % de C das frações argila e silte ainda eram derivadas do C antigo (mata C_3). Após 50 anos de cultivo, essa proporção de C antigo chegou a 51 e 28 %, respectivamente. Enquanto as frações areia $>63 \mu\text{m}$ continham de 6 a 17 % de C antigo somente. A fração citada pelo autor de areia fina (20-63 μm) apresentou resultados mais próximos ao comportamento silte, indicando que essa fração provavelmente não pertence ao comportamento areia, na metodologia empregada.

Roscoe et al. (2001), em experimentos conduzidos no Cerrado, observaram que após 23 anos de pastagem, cerca de 50 % do total de carbono contido na fração leve livre da camada superficial ainda era derivado da vegetação nativa do cerrado, indicando que uma parte da fração leve livre seria mais recalcitrante. Cerca de 90 % do C acumulado no solo estava contido nas frações mais finas (silte e argila). A fração leve oclusa apresentou a maior proporção de C derivado do Cerrado, possivelmente devido à proteção conferida no interior do agregado.

No presente estudo, buscou-se avaliar o conteúdo de C total em diferentes horizontes do solo, que após o desflorestamento permaneceram sob cultivo de plantas C_4 ou com histórico bem definido. Nestas amostras, pela técnica de ^{13}C , foi determinada a influência dos resíduos culturais, nos principais compartimentos da matéria orgânica do solo. Com o fracionamento físico da matéria orgânica, visou-se a identificação das frações mais sensíveis ao manejo da cobertura do solo, e quantificou-se a contribuição de carbono “novo” (de origem C_4) nesses materiais.

CAPÍTULO 1

**FRACIONAMENTO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO POR DENSIDADE
E GRANULOMETRIA: TEOR DE CARBONO NA FRAÇÃO ARGILA.**

PALAVRAS-CHAVE

Método da alíquota, método da decantação, aplicação de ultra-som, hexametafosfato de sódio, C total.

3.1- Introdução

O fracionamento físico é utilizado quando se pretende estudar os diversos compartimentos da matéria orgânica do solo, em grupos com características e dinâmicas semelhantes, e que sirvam como indicadores do manejo dado no solo, podendo assim ser mais útil para o estudo da ciclagem de carbono (Tiessen e Stewart, 1983; Christensen, 1987). O fracionamento físico utiliza métodos densimétricos, baseados na densidade da fração, onde se obtêm frações leves e pesadas, e métodos granulométricos, baseados no tamanho das partículas. O fracionamento físico é mais indicado quando se quer estudar, principalmente, a quantidade da matéria orgânica e como ela está subdividida nos compartimentos.

O fracionamento físico também pode ser utilizado em estudos da qualidade da matéria orgânica, quando as frações são analisadas por métodos espectroscópicos, feitos principalmente na fração leve e nas frações mais finas. Estudos têm mostrado que as frações da matéria orgânica do solo são diferentemente influenciadas pelo manejo do solo (Tiessen & Stewart, 1983; Tiessen et al., 1984; Anderson et al., 1981 e Christensen, 1987).

Desde o início do século XIX, as técnicas usadas para o estudo da matéria orgânica do solo foram dominadas pela tentativa de caracterização química. Em contraste com as abordagens químicas e biológicas, não foram escritos muitos artigos históricos sobre fracionamento físico, embora essa técnica fosse utilizada desde aquele tempo (Feller, 1999). Em 1874, um pesquisador chamado Schloesing, realizou um trabalho com fracionamento granulométrico, questionando a distribuição da matéria orgânica entre areia e argila, discutindo assim as propriedades físicas do solo. Segundo Feller (1999), esse trabalho praticamente poderia ser publicado nos dias de hoje. Entre 1930 e 1950, alguns trabalhos isolados comentavam a importância de separar os resíduos vegetais por fracionamento físico. Depois de 1940, as pesquisas já indicavam a necessidade de separar a matéria orgânica livre da fração mais humificada. Em 1950, o trabalho de Henin e Turcs, citado por Feller (1999), separou a matéria orgânica em 2 frações, obtidas por fracionamento densimétrico. Uma fração leve, com alto teor de carbono e alta relação C:N, e uma fração pesada, chamada de matéria orgânica ligada aos constituintes inorgânicos, mais humificada, de relação C:N menor que 11. O estudo por densitometria foi essencialmente desenvolvido e difundido por pesquisadores franceses (Feller, 1999; Cerri et al., 1985; Balesdent et al., 1987). As soluções utilizadas no fracionamento densimétrico eram principalmente líquidos orgânicos, como o tetrabromoetano e o Bromofórmio. Devido ao alto potencial tóxico e para evitar a contaminação da amostra com compostos orgânicos, esses líquidos orgânicos atualmente foram substituídos por sais inorgânicos, como o ZnBr, Ludox, NaI e politungstato de sódio. Na década de 60, o uso do ultra-som começou a ser difundido, com o objetivo de promover uma dispersão do solo. Após 1970, numerosos trabalhos começaram a ser publicados utilizando fracionamento densimétrico ou granulométrico, identificando frações funcionais, com várias maneiras de fazer a dispersão na amostra (Feller, 1997 e 1999).

O processo de fracionamento da matéria orgânica do solo apresenta dificuldades e limitações. Um dos principais problemas no fracionamento físico é que não existe uma metodologia padrão. Isto é, diversas metodologias têm sido utilizadas para se chegar em objetivos parecidos, e não há um procedimento aceito universalmente. No fracionamento físico, os estudos têm sido conduzidos com soluções de diferentes densidades, a dispersão é feita por diferentes métodos e intensidade, e a separação das

frações granulométricas é baseada em vários tamanhos das partículas (Christensen, 1992; Gavinelli et al., 1995; Sohi et al., 2001).

Para o estudo da dinâmica e ciclagem de carbono do solo, o fracionamento físico tem sido mais adequado, pois identifica os compartimentos que são mais sensíveis as práticas do manejo. O fracionamento químico, nesses estudos, não é o mais indicado, por dois motivos (Feller & Beare, 1997). Primeiro, as substâncias húmicas apresentam baixa taxa de ciclagem (formação e decomposição), o que dificulta os trabalhos em curto prazo, isto é, faz-se o fracionamento químico em estudos de curto espaço de tempo, enquanto as substâncias húmicas de maior recalcitrância podem apresentar um tempo de reciclagem de mais de 1000 anos (Duxbury et al., 1989). A ciclagem das substâncias húmicas é lenta, quando comparada aos organismos do solo ou seus metabólitos. E segundo, nas extrações baseadas na solubilidade (ácido-base), são obtidos compostos semelhantes de compartimentos diferentes. E o procedimento de extração é desnaturante. As características das frações extraídas podem não corresponder às características da fração no solo (*in situ*).

A matéria orgânica do solo é composta de complexos organo-minerais primários e secundários e matéria orgânica não complexada, livre e oclusa. A matéria orgânica não complexada livre, corresponderia à fração leve livre, enquanto a não complexada oclusa, seria a fração leve intra-agregado ou oclusa. Os complexos organo-minerais primários são os compostos orgânicos associados às partículas minerais, areia, silte e argila, podendo ser consideradas as unidades básicas da matéria orgânica do solo. Os complexos organo-minerais secundários são formados pela união dos complexos organo-minerais primários, formando-se assim os agregados do solo.

Alguns pesquisadores confundem fracionamento da matéria orgânica do solo com fracionamento por tamanho de agregados (Feller, 1999; 1997), mas essas duas metodologias têm objetivos diferentes. O fracionamento por tamanho de agregados visa principalmente estudar a distribuição dos agregados do solo. Nesse caso, o estudo é conduzido visando o conhecimento dos complexos organo-minerais secundários, não tendo assim a necessidade de dispersão total da amostra.

Uma característica metodológica obrigatória do fracionamento físico da matéria orgânica é a dispersão e desagregação do solo, identificando formas da matéria orgânica associada às partículas de areia, silte e argila (Feller, 1999). O problema pode ocorrer quando a desagregação for realizada com níveis de energia muito elevados, o que pode causar alterações nas frações. No fracionamento físico, em algum momento do procedimento, é necessária essa etapa de dispersão, que tem sido questionada em alguns estudos. A aplicação de energia em excesso poderia deslocar carbono contido das frações mais grosseiras para as frações finas (Balesdent et al., 1987; Gavinelli et al., 1995, Feller, 1999). Mesmo assim, segundo Gavinelli et al (1995), a aplicação do ultra-som nesses estudos não foi descartada, e sim, conduzida antes da separação das frações silte e argila. Há que se considerar que, nestes estudos, a aplicação do ultra-som era feita por um período de 8 a 10 min (Anderson et al., 1981; Balesdent et al., 1987; Gavinelli et al., 1995), que poderiam ser equivalentes a quantidades de energia superiores a 1000 J ml^{-1} .

Não há consenso no nível de energia a ser aplicado para a dispersão da amostra. Segundo Roscoe et al. (2000), quantidades de energia entre 260 e 275 J ml^{-1} foram suficientes para quebrar os agregados não estáveis, e uma energia aplicada de 825 J ml^{-1} ainda não foi possível estabilizar a redistribuição de massa de solo e matéria orgânica entre as frações granulométricas, embora quando foram aplicadas quantidades de energia acima de 300 J ml^{-1} foi observada uma menor variação em massa das frações, principalmente areia e argila. Ainda segundo Roscoe et al. (2000), entre os níveis de

energia de 310 e 825 J ml⁻¹ cerca de 6 % da massa do solo foram transferidas das frações grosseiras para a fração argila, que corresponderam a 12 % do C total. Esses autores recomendaram que os níveis de energia aplicados para a dispersão não sejam mais elevados que 300 J ml⁻¹. Em estudos de fracionamento físico da matéria orgânica, Roscoe et al. (2001) adotaram o nível de energia de 270 J ml⁻¹ na aplicação de ultra-som. Em trabalho mais amplo, utilizando níveis de energia entre 100 e 1500 J ml⁻¹, Gregorich et al. (1988) encontraram que níveis de energia entre 300 e 500 J ml⁻¹ foram eficientes para a dispersão dos agregados, havendo pouca variação nas frações em energia acima desses valores. E medidas da área superficial das partículas de argila indicaram que não houve alteração das partículas primárias ou fragmentação de matéria orgânica. Na completa dispersão da amostra, não havia evidência de redistribuição de matéria orgânica provocada pela aplicação de ultra-som. Assim, atualmente tem sido aceita a aplicação de ultra-som nos níveis entre 300 e 500 J ml⁻¹.

A identificação das frações tem grande importância para o estudo de modelagem, onde se pretende prever futuramente como o manejo interfere na matéria orgânica, em que compartimentos e com que intensidade. Os modelos são usados para simular a dinâmica de carbono em determinadas condições de clima, solo, vegetação e manejo. Um dos modelos mais conhecidos e usados, o modelo CENTURY, foi desenvolvido para sistemas naturais e pastagens, e divide a matéria orgânica do solo em 3 compartimentos: uma fração ativa, uma fração protegida e uma fração química e fisicamente protegida (Leal e De Polli, 1999; Parton et al., 1989 e 1994). Com o estudo das frações, sua composição e dinâmica, podem ser obtidos modelos mais precisos.

O fracionamento físico é baseado na diferença de densidade e/ou tamanho das partículas. No fracionamento densimétrico, a matéria orgânica é dividida em fração leve e fração pesada. A fração leve é a parte da matéria orgânica que flota na solução de densidade conhecida, enquanto a fração pesada é a fração que decanta. Um grande problema no fracionamento densimétrico é a escolha da densidade da solução. Nos diversos estudos, a densidade tem variado de 1.2 a 2.2 g.cm⁻³ (Christensen, 1992), tornando difícil a comparação entre os trabalhos. A escolha da densidade é baseada na tentativa de separar a matéria orgânica humificada da não-humificada.

A fração leve é o compartimento de entrada de C no solo, podendo influenciar assim, todos os demais compartimentos. Podendo ser considerada a interface entre a liteira e a matéria orgânica humificada. A fração leve pode representar de 5 a 40 % do C total do solo. Os aportes vegetais (liteira ou serrapilheira), quando depositados sobre o solo, possuem alta relação C:N e densidade baixa. À medida que a matéria orgânica bruta vai sendo mineralizada, vão ocorrendo também as reações de humificação e quando as substâncias húmicas vão sendo formadas, elas se associam com as partículas minerais do solo, adquirindo assim maior densidade.

No fracionamento granulométrico, de uma maneira geral, é separada a matéria orgânica do solo associada às partículas minerais, areia, silte e argila. A peneira de 53 µm é de grande importância nos estudos, porque é onde ocorre a separação das frações associadas a areia em relação aquelas associadas a silte e argila. As frações menores que 53 µm são obtidas por sedimentação gravitacional em proveta de 1000 ml. A fração de 0-2 µm representa a matéria orgânica associada à argila. (Gavinelli et al., 1995).

A fração de 2-53 µm representa a matéria orgânica associada ao silte. Em alguns trabalhos é utilizada a peneira de 20 µm, podendo-se ainda fazer a separação entre silte grosso e silte fino. As frações associadas a silte (2-53 µm) e a argila (0-2 µm) podem ser obtidas através de 2 métodos. No método da decantação, são necessários vários ciclos de separação da argila e silte em proveta, extraíndo toda a argila contida na amostra inicial. No método da aliquota, é retirada uma amostra logo após a homogeneização na

proveta, que representa a fração 0-53 μm . Após determinado tempo, que pode variar de acordo com a temperatura do ambiente, é retirada uma alíquota que representa a fração 0-2 μm . A fração silte é determinada por diferença entre as frações obtidas. O método da alíquota possui a vantagem de ser mais rápido, necessitando assim de menos vidraria e reagentes, apresentando a desvantagem de que não é extraída toda a fração argila (Gavinelli et al., 1995).

Na metodologia proposta por Sohi et al. (2001), desenvolvida no IACR – Rothamsted (Reino Unido), adotada pela Embrapa Solos (Machado, 2002) e pela UFRRJ, na mesma amostra de solo, são realizados os fracionamentos por densidade e granulométrico, obtendo no final, cinco frações distintas da matéria orgânica do solo: fração leve livre, leve intra-agregado ou oclusa, e as frações granulométricas: areia, silte e argila (Figura 3.1).

Vários trabalhos conduzidos no Brasil já utilizaram esta técnica, que não requer equipamentos caros, exceto ultra-som de ponta e centrífuga de alta rotação e temperatura controlada. Necessita sim de muitas vidrarias, bequeres, provetas, tubos de centrífuga, bomba de vácuo, balança, capela, equipamentos de proteção (máscara facial completa e luvas descartáveis, e principalmente, de ambiente com temperatura controlada (Machado, 2002). No Brasil, esse fracionamento já foi utilizado em áreas sob pastagens (Roscoe et al., 2001), em comparação de plantio direto versus plantio convencional (Freixo, 2000; Freixo et al, 2002a e 2002b; Pinheiro, 2002), em área sob a cultura de cana-de-açúcar (Carvalho et al., 2002; Canellas, informação pessoal) e em áreas sob manejo orgânico (Jefé, 2002). Assim sendo, é uma técnica já difundida em pelo menos 6 instituições de pesquisa em diferentes Estados do Brasil.

Nesse estudo, buscou-se analisar a fração argila obtida por fracionamento físico da matéria orgânica do solo, e avaliar qual o efeito da aplicação do ultra-som e da adição do hexametafosfato de sódio no conteúdo de C nas frações, e também avaliar a recuperação em massa de solo e quantidade de C utilizando o método da alíquota e o método da decantação.

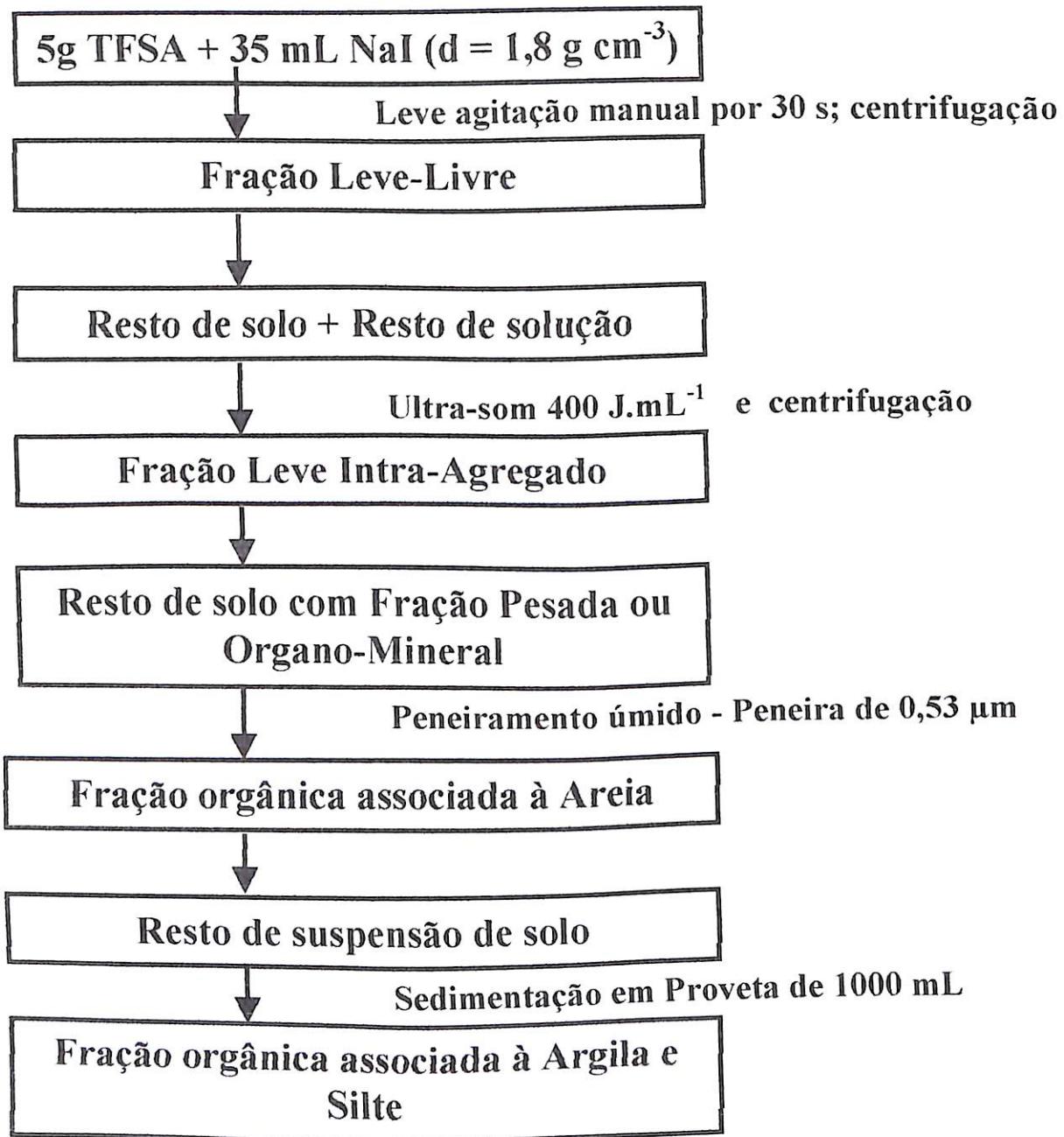


Figura 3.1- Procedimento analítico proposto para o fracionamento por densidade e granulometria proposto por Sohi et al.(2001).

3.2- Objetivos

Avaliar os métodos da decantação e alíquota na recuperação de C e massa de solo, no fracionamento granulométrico.

Avaliar o efeito da aplicação do ultra-som e da adição de hexametafosfato nos teores de carbono na fração argila, em solo de textura arenosa sob cobertura de mata.

3.3- Material e Métodos

3.3.1- Comparação entre os métodos da decantação e alíquota para separação entre silte e argila.

Utilizando uma amostra de argissolo vermelho amarelo, na profundidade 0-10 cm (Tabela 3.1), de textura arenosa (750 g kg^{-1} solo), sob cobertura de floresta secundária, coletado na região de Itabela (BA) em 1995, procedeu-se o fracionamento físico da matéria orgânica do solo. Na separação das frações silte e argila foram utilizados dois métodos: decantação e alíquota, com 2 repetições para cada método. Esses dois métodos foram avaliados quanto à recuperação em massa de solo e quantidade de carbono.

Tabela 3.1- Análise de argissolo vermelho amarelo, na profundidade 0-10 cm, sob cobertura de mata.

Prof. (cm)	pH	Al cmol _c dm ⁻³	Ca + Mg cmol _c dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K
0-10	5,3	0,2	2,3	3	65

Fracionamento físico da matéria orgânica do solo

A metodologia proposta baseia-se no fracionamento por densidade da matéria orgânica do solo (fração leve) e no fracionamento granulométrico (fração pesada), até a profundidade de 30 cm.

Fracionamento por densidade

A obtenção das frações leves da matéria orgânica foi realizada a partir de metodologia adaptada de Sohi et al. (2001). As frações leves foram extraídas do solo por meio de uma solução de NaI com densidade de $1,80 \text{ g cm}^{-3}$, ajustada por densímetro, em duplicata, totalizando 10 g, na proporção de 5 g de terra fina seca ao ar e 35 ml de solução, seguido de leve agitação manual por 30 segundos e centrifugação a 18000 rpm por 15 min, sob temperatura de 18°C . O sobrenadante foi succionado logo em seguida e as frações foram separadas em filtro de fibra de vidro ($2 \mu\text{m}$ – Whatman tipo GF/A). A fração coletada foi lavada abundantemente com água ultra-pura, para a eliminação do excesso de NaI presente na fração. Após a remoção da fração leve livre, a fração leve intra-agregado foi obtida após aplicação de ultra-som por 3 min, equivalente a uma intensidade de 400 J ml^{-1} , visando a desagregação e dispersão do solo. Após este tratamento, repetiu-se o procedimento para coleta de fração leve, separando-se assim a fração leve intra-agregado ou oclusa. A solução de NaI utilizada foi reaproveitada, após a remoção do carbono solúvel, com agitação com carvão ativado e posterior filtragem. O ajuste da densidade da solução foi feito através de densímetro. A amostra de solo residual, que corresponde à fração pesada, foi utilizada no fracionamento granulométrico.

Fracionamento por granulometria

Após a extração da fração leve, as frações pesadas foram separadas por granulometria, de acordo com metodologia proposta por Gavinelli et al. (1995). Adicionou-se 0,5 g de hexametafosfato de sódio (HMP) à amostra residual obtida das

duas repetições e fez-se agitação por uma noite, visando a dispersão total da amostra do solo. A fração orgânica associada à areia ($> 53 \mu\text{m}$) foi obtida por peneiramento úmido, sendo lavada abundantemente com água, e coletada em becker de vidro previamente pesado.

As frações associadas a silte ($2-53 \mu\text{m}$) e argila ($0-2 \mu\text{m}$), foram obtidas por sedimentação em proveta de 1000 ml, com base na **lei de Stokes**, nos métodos da decantação e alíquota.

Método da decantação ou completo

Neste método, busca-se separação completa das frações silte e argila. Na proveta de 1000 ml, fez-se a homogeneização da suspensão, e após 17 horas a uma temperatura ambiente de 25°C , coletou-se o volume equivalente a 30 cm medido na proveta abaixo da superfície do líquido, sendo posteriormente coletada em frascos de vidro. Após essa coleta, o volume da proveta foi novamente completado a 1000 ml, e esse procedimento foi repetido por 5 a 8 ciclos (dias), para que toda a argila fosse separada da fração silte, que fica decantada na proveta. A suspensão coletada nos frascos de vidro e a resultante na proveta de 1000 ml foram então centrifugadas a 2000 rpm por 15 min, secas em estufa e pesadas.

Método da alíquota.

Após a homogeneização na proveta de 1000 ml, retirou-se uma alíquota, que representava a fração $0-53 \mu\text{m}$. Após um período de 4h a 25°C , retirou-se uma segunda alíquota (5 cm superficiais na proveta), que representa a fração $0-2 \mu\text{m}$. Assim, nesse método, a fração silte ($2-53 \mu\text{m}$) não foi isolada, mas determinada por diferença entre a massa total encontrada após a homogeneização a quantidade de fração argila isolada.

A fração total e a fração argila foram então centrifugadas a 2000 rpm por 15 min sob 20°C , removendo-se depois o sobrenadante, transferindo a fração para um becker de vidro previamente pesado.

Todas frações obtidas foram secas em estufa, a 55°C , por 48 horas, pesadas e moídas, em moinho de rolagem (Smith & Myung, 1990). Em relação aos métodos tradicionais de moagem, a amostra preparada por este moinho de rolagem foi macerada, produzindo partículas de diminuto tamanho (aspecto de talco) com maior homogeneidade, permitindo, assim, o manuseio de alíquotas, em mg, necessárias para a análise.

Com esse procedimento, foram obtidas cinco frações da matéria orgânica do solo: fração leve livre (FL), leve intra-agregado (FI), areia (FA), silte (Fsil) e argila (Farg).

As amostras da fração argila foram analisadas para o teor de C em analisador automático de C total (Perkin Elmer CHNS, Series II 2400), no laboratório de análise de solo e planta (LASP) da Embrapa Solos.

3.3.2- Determinação dos teores de C na fração argila, de Argissolo submetido a diferentes procedimentos analíticos de fracionamento.

Baseado no procedimento padrão de fracionamento físico proposto por Sohi et al. (2001), de fracionamento densimétrico e fracionamento granulométrico pelo método da alíquota, foram avaliados cinco procedimentos diferentes, com 3 repetições cada, buscando identificar o efeito de cada tratamento de fracionamento no conteúdo de carbono na fração argila, em Argissolo Vermelho Amarelo (Tabela 3.2) sob floresta secundária, na profundidade 5-10 cm, coletado em 1997.

Tabela 3.2- Análise de argissolo vermelho amarelo, na profundidade 5-10 cm, sob floresta secundária.

Prof. (cm)	pH	Al cmol _c dm ⁻³	Ca + Mg cmol _c dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K
5-10	4,3	0,3	2,8	2	35

Procedimentos:

- a) Procedimento padrão (Sohi et al., 2001), onde foi realizado o fracionamento por densidade, aplicação de ultra-som e fracionamento granulométrico.
- b) Procedimento padrão sem coleta de fração leve intra-agregado. Após a coleta da fração leve livre, foi aplicado o ultra-som por 3 min, e posteriormente, fez-se o fracionamento granulométrico.
- c) Procedimento padrão mas com aplicação de ultra-som por 10 min ao invés de 3 min.
- d) Procedimento padrão sem aplicação de ultra-som. Após a coleta da fração leve livre, fez-se o fracionamento granulométrico.
- e) Procedimento padrão sem a adição de hexametafosfato de sódio, anterior ao fracionamento granulométrico.

O fracionamento foi realizado no laboratório de análise de solo e planta (LASP), na Embrapa Solos. As amostras foram pesadas, moídas e foram analisadas em analisador automático de C total (modelo LECO, CHN 600), no laboratório de solos, na Embrapa Agrobiologia.

3.4- Resultados e Discussão

3.4.1- Comparação entre os métodos da decantação e alíquota para separação entre silte e argila.

Os resultados confirmaram que a amostra de solo era de textura arenosa, já que aproximadamente 85 % da massa de solo estavam contidas na fração areia. No método da alíquota, a quantidade de silte e argila foi superior à encontrada pelo método completo. Na fração silte, foram encontrados o equivalente a 34,8 e 45,7 g kg⁻¹, pelos métodos de decantação e alíquota, e na fração argila 46,7 e 67,1 g kg⁻¹, respectivamente. A recuperação em massa de solo foi maior pelo método da alíquota, chegando a recuperar 100 % da massa de solo inicial, enquanto o método de decantação chegou a perder 5 % de solo (Tabela 3.3).

Tabela 3.3- Proporção das frações da matéria orgânica do solo em argissolo na camada 0-10 cm, sob cobertura de mata secundária, em Itabela (BA).

Fração	g kg ⁻¹ solo	% de recuperação em massa
Leve livre	6,84	
Leve intra-agregado	2,09	
Areia	864,69	
Método da decantação		95
Silte	34,80	
Argila	46,71	
Método da alíquota		100
Silte	45,70	
Argila	67,08	

Comparando-se os métodos da decantação e alíquota, pôde-se observar que os valores obtidos nos parâmetros relação C:N, teor e quantidade de C foram semelhantes. Pelo método da alíquota a recuperação em quantidade de C foi maior que no método da decantação, apesar de não ter havido diferença significativa entre os métodos em todos os parâmetros avaliados. Mesmo o solo sendo de textura arenosa, as maiores quantidades de C estavam localizadas nas frações finas, silte e argila, sendo a fração silte o maior reservatório de carbono (Tabela 3.4). Ambos os métodos apresentaram resultados próximos, e podem ser utilizados na separação entre as frações silte e argila.

Pelos resultados obtidos, o método da alíquota foi escolhido o mais apropriado para o fracionamento físico. Essa escolha se baseou na maior recuperação em massa de solo e de C total da amostra, e por não ter sido observada diferença estatística entre os métodos. Outras vantagens do método da alíquota foram observadas. As determinações pelo método da alíquota foram conduzidas no mesmo dia. Já no método da decantação, foram necessários ciclos de 5 a 8 dias para o isolamento das frações. Isto é, o método da alíquota foi de 5 a 8 vezes mais rápido e mais eficiente para um número limitado de vidrarias e espaço.

Tabela 3.4- Teores e quantidades de C e relação C:N em frações da matéria orgânica do solo em argissolo na camada 0-10 cm, sob cobertura de mata secundária, em Itabela (BA).

Fração	g C kg fração ⁻¹	g C kg solo ⁻¹	C:N
Leve livre	207,9	1,41	19,6
Leve intra-agregado	42,9	0,09	11,7
Areia	2,0	1,71	6,6
Método da decantação			
Silte	67,9	2,36	10,1
Argila	42,0	1,96	8,3
Método da alíquota			
Silte	71,0	3,24	10,9
Argila	34,8	2,33	8,1

3.4.2- Determinação dos teores de C na fração argila, de Argissolo submetido a diferentes procedimentos analíticos.

Em relação à quantidade das frações granulométricas, não foi observada diferença entre os tratamentos A, B e C. A quantidade de argila recuperada por esses procedimentos variou entre 159 e 162 g kg⁻¹. Isto é, a aplicação de ultra-som por 10 min, em relação ao procedimento padrão, de 3 min, não aumentou a recuperação da quantidade de argila. No procedimento D, em que a fração leve intra-agregado não foi coletada e também não teve aplicação de ultra-som, a quantidade de argila diminuiu para 153 g kg⁻¹, e foi encontrada maior quantidade de massa na fração areia. No procedimento E, sem a adição do hexametafosfato de sódio, a quantidade de argila obtida foi a menor, com apenas 84 g kg⁻¹, enquanto na fração areia foi observado um aumento de massa na fração, chegando a 742 g kg⁻¹ (Tabela 3.5).

Tabela 3.5- Quantidade de argila, silte e areia em amostra de Argissolo de textura arenosa submetido a 5 diferentes procedimentos.

Procedimento	Argila g kg ⁻¹	Silte g kg ⁻¹	Areia g kg ⁻¹
A (padrão)	162 a	139 a	699 c
B (sem coleta de FI)	160 a	144 a	696 c
C (ultra-som por 10 min)	159 a	142 a	699 c
D (sem ultra-som)	153 a	134 a	713 b
E (sem hexametafosfato de sódio)	084 a	174 a	742 a
CV (%)	20	17	1

Médias seguidas de mesma letra por coluna não diferem estatisticamente a Tukey 5%.

Os teores de C na fração argila foram maiores no procedimento padrão (A), com 3,6 g C kg fração⁻¹, assim como as maiores quantidades de C na fração argila, com 0,59 g C kg solo⁻¹. No procedimento B, em que a fração leve intra-agregado não foi coletada, a quantidade de C na fração argila reduziu em um terço, chegando a 0,4 g C kg solo⁻¹. Com a aplicação do ultra-som por 10 min, que correspondeu a aproximadamente 1440 J ml⁻¹, o teor de C na fração argila reduziu a 2,9 g C kg fração⁻¹ e a quantidade de C a 0,45 g C kg solo⁻¹ (Tabela 3.6). Uma possível explicação para isso seria que essa energia excessiva aplicada pode ter quebrado fragmentos da matéria orgânica associada

à fração argila, e essa em solução, foi perdida como C solúvel. No procedimento D, em que não foi aplicado ultra-som e não foi coletada a fração leve intra-agregado, o teor de C foi igual a 2,2 g C kg fração⁻¹, enquanto a quantidade de C encontrada na fração foi igual a 0,35 g C kg solo⁻¹ (Tabela 3.6). Essa redução de C na fração argila em relação ao procedimento padrão pode ter sido devido à não aplicação do ultra-som, não desagregando o solo completamente, o que pode ser observado no maior peso da fração areia com esse procedimento (Tabelas 3.5 e 3.6). No procedimento E foram encontrados os menores teores de C (1,6 g C kg fração⁻¹) e as menores quantidades de C na fração argila (0,15 g C kg solo⁻¹). Assim, a adição de hexametafosfato de sódio anterior ao fracionamento granulométrico mostrou-se fundamental para a desagregação e dispersão do solo, podendo assumir maior importância do que a aplicação de ultra-som (Tabela 3.6).

Tabela 3.6- Teores e quantidades de C na fração argila em uma amostra de Argissolo de textura arenosa submetida a 5 diferentes procedimentos.

Procedimento	g C kg fração ⁻¹	g C kg solo ⁻¹
A (padrão)	3,6 a	0,59 a
B (sem coleta de FI)	2,5 ab	0,40 ab
C (ultra-som por 10 min)	2,9 ab	0,45 a
D (sem ultra-som)	2,2 ab	0,35 ab
E (sem hexametafosfato de sódio)	1,6 b	0,15 b

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente a Tukey 5%.

Análises futuras realizadas nas demais frações (leve livre, leve intra-agregado, areia e silte) podem contribuir mais na elucidação da dinâmica do carbono entre as frações e no estudo do efeito dos diversos procedimentos sobre a matéria orgânica do solo. A microscopia óptica das frações leves e fração areia e microscopia eletrônica das frações finas, como exemplo, na fração argila.

3.5- Conclusões

- Os métodos da alíquota e da decantação obtiveram resultados semelhantes, podendo ser recomendados nos estudos de fracionamento físico da matéria orgânica do solo.
- A adição de hexametafosfato de sódio anterior ao fracionamento granulométrico foi mais importante para a dispersão das amostras de solo que a aplicação de ultra-som.

CAPÍTULO 2

FRACIONAMENTO FÍSICO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLOS SOB PLANTIO DE *Brachiaria humidicola* EM MONOCULTURA E CONSORCIADA COM *Desmodium ovalifolium*, NO MUNICÍPIO DE ITABELA (BA).

PALAVRAS-CHAVE

¹³C, carbono, nitrogênio, mata secundária, gramínea, leguminosa, pastagem tropical, fração leve, Mata Atlântica.

4.1- Introdução

A floresta da Mata Atlântica originalmente ocupava uma área de aproximadamente 90 milhões de hectares, abrangendo uma ampla faixa litorânea entre os estados do Rio Grande do Sul e Rio Grande do Norte (Pereira et al., 1995). Atualmente, no Sul da Bahia restam somente cerca de 6% da área original encontrada em 1945 (Mendonça, 1994). Grande proporção dessa floresta original foi derrubada para a introdução de pastagens, principalmente a braquiária, que é considerada uma espécie adaptada ao clima tropical, com alta produção de biomassa. Mas, devido a diversos fatores como, por exemplo, baixa disponibilidade de nutrientes minerais, escolha de variedades inadequadas, taxa de lotação excessiva e manejo incorreto do solo, o quadro atual é a caracterização de pastagens em algum grau de degradação (com baixo rendimento do ponto de vista zootécnico). Esse potencial de acúmulo de carbono em pastagens necessita ser melhor estudado, já que da área plantada, atualmente, 2/3 estão degradados ou em vias de degradação (Macedo, 1995).

A qualidade e a quantidade do material adicionado ao solo determinam o tempo em que os nutrientes contidos estarão disponíveis para as plantas (Sanchez et al., 1988). Inicialmente, a qualidade do resíduo vegetal era definida pela relação C:N. Uma relação C:N menor que 20 indicava que o material seria decomposto mais facilmente. Os trabalhos recentes sugerem que a liberação de nutrientes nas leguminosas é melhor relacionada com o conteúdo de polifenol e lignina. Leguminosas com altos teores de N, mas com diferentes taxas de decomposição possuem interessantes implicações no manejo do solo (Sanchez et al., 1988). Resíduos ricos em N e com baixos teores de lignina e polifenóis decompõem-se rapidamente, fornecendo N disponível em maiores quantidades para as plantas, em curtos períodos. Entretanto, contribuem pouco para a manutenção da matéria orgânica do solo (Handayanto et al., 1997). Nas plantas com baixos teores de N e altos teores de lignina e polifenóis, a decomposição e liberação de nutrientes são mais lentas. A escolha da leguminosa é feita de acordo com os objetivos a serem alcançados. Por exemplo, *Arachis pintoi* e *Desmodium ovalifolium* são leguminosas com alto teor de N, mas diferem nos teores de lignina, o *Desmodium* apresenta os maiores teores. Enquanto o *Arachis* apresenta uma ciclagem muito rápida, fornecendo N e nutrientes rapidamente, a decomposição do *Desmodium* é mais lenta, favorecendo a formação da matéria orgânica do solo (Ferreira, 2002).

Atualmente tem-se buscado a manipulação da qualidade vegetal, de modo a aumentar os teores de carbono do solo, e consequentemente, a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Podem ser citadas algumas formas de manipulação (Handayanto et al., 1997), já que os atributos físicos e químicos do resíduo podem ser alterados. Primeiro, é a modificação da estrutura dos resíduos (pois a quebra ou moagem do resíduo vegetal pode acelerar sua decomposição) que pode ser necessária quando utiliza-se materiais com alta relação C:N. Outra opção é a alteração da qualidade química do resíduo, seja por alteração do ambiente onde esse material é crescido, ou então, a escolha do estágio de crescimento do vegetal. Diferentes estágios de crescimento das plantas apresentam diferentes níveis de lignificação. E também, pode-se manipular a qualidade do resíduo com adubação nitrogenada, aumentando os teores de N no material. Em estudo realizado por Bavage et al. (1997), com boas perspectivas futuras, buscou-se a manipulação genética para aumentar os teores de ligninas e taninos condensados no tecido vegetal.

Em alguns casos, o processo de decomposição pode reduzir a disponibilidade de N do solo e para as plantas, devido ao uso de materiais com alta relação C:N (Silva & Resck, 1997). Materiais com alta relação C:N são decompostos mais lentamente,

podendo produzir coberturas mais permanentes ao solo. A decomposição do material orgânico fresco adicionado ao solo é mais rápida nas primeiras semanas, tornando-se mais lenta após essa primeira etapa (Zotarelli, 2000). Segundo Heal et al. (1997), a decomposição dos resíduos pode ser dividida em duas fases. A primeira, controlada pelos teores de nutrientes, e a fase final, controlada pelo teor de lignina. Os fatores que controlam a taxa de decomposição são o tamanho e composição do material, temperatura, umidade e disponibilidade de nutrientes, especialmente o N (Zotarelli, 2000).

A introdução de espécies leguminosas, dessa forma, pode ter grande influência sobre a dinâmica de C no solo. As leguminosas interferem na ciclagem de C por três maneiras. Primeiramente, a própria biomassa vegetal da leguminosa aumenta a quantidade dos aportes vegetais no sistema. A liteira produzida pela leguminosa, com maiores teores de N e lignina, influencia diretamente a mineralização e humificação da matéria orgânica adicionada. E por último, os nutrientes liberados após a mineralização da liteira podem aumentar a produtividade do sistema. Uma característica importante da família das leguminosas é a sua baixa relação C:N quando comparada às gramíneas. Isso, aliado à presença de compostos solúveis, favorece a decomposição e mineralização (Zotarelli et al., 1997).

Para aumentar o acúmulo de carbono de um solo, é necessário aumentar a quantidade de resíduos adicionados, e dar preferência a materiais com relação C:N mais alta ou maiores teores de ligninas e polifenois. Quando os resíduos são utilizados para suprimento de nutrientes (principalmente N) para as plantas cultivadas, o ideal seria adicionar materiais de rápida decomposição, para que os nutrientes sejam liberados mais rapidamente. Na prática, há uma contradição entre, estimular a decomposição para o fornecimento de nutrientes para as plantas, ou favorecer a manutenção e formação da matéria orgânica do solo.

No extremo sul da Bahia, em um exemplo da ação antrópica, grande proporção da floresta original de Mata Atlântica foi derrubada para a introdução de pastagens, principalmente do gênero *Brachiaria*. Há um consenso que a baixa disponibilidade de N é uma das principais causas da degradação das pastagens. Estudos realizados na região têm buscado o consórcio da *Brachiaria* com leguminosas visando obter um aumento na disponibilidade de N no sistema (Pereira, 1991, Cadisch & Giller, 1996; Tarré, 2000). Em estudo conduzido na estação experimental do CEPLAC (Itabela-BA), Tarré (2000) encontrou um aumento no conteúdo e estoques de C no solo, principalmente nas camadas superficiais e aumento da relação C:N na matéria orgânica do solo após 9 anos de pastejo. Os tratamentos de pastagem de *Brachiaria* em monocultura e consorciado com *Desmodium ovalifolium* acumularam mais C no solo, em relação à mata secundária adjacente. A presença da leguminosa aumentou o estoque de N do solo até 30 cm. A proporção de C derivado da *Brachiaria* atingiu 54 % na camada 0-5 cm de profundidade, na monocultura. No consórcio, o C derivado da leguminosa variou de 4,8 a 26 % do C total encontrado no solo.

Baseado nesses resultados e dando continuidade ao trabalho iniciado por Tarré (2000) e Tarré et al. (2001), foi proposto o estudo da caracterização da matéria orgânica do solo através do fracionamento físico, na profundidade de 0 a 30 cm, buscando identificar assim a dinâmica das frações em relação ao manejo utilizado no solo. Esse estudo foi realizado visando obter um melhor entendimento da dinâmica da matéria orgânica desse sítio representativo da região da Mata Atlântica agora utilizada para pastagem.

4.2- Objetivos

Quantificar os estoques de C nos diferentes compartimentos do solo através do fracionamento físico.

Identificar a origem do carbono das frações da matéria orgânica do solo através da técnica da abundância natural de ^{13}C .

4.3- Material e Métodos

As amostras de solo analisadas procederam de um estudo que foi realizado na Estação de Zootecnia do Extremo Sul da Bahia (ESSUL/CEPLAC-CEPEC), localizada no município de Itabela (BA). Segundo a classificação de Koeppen Aw, predomina o clima de floresta pluvial tropical, caracterizado por temperaturas uniformemente elevadas e precipitação elevada (cerca de 1300 mm anuais) distribuída durante o ano. O solo é do tipo Argissolo Vermelho Amarelo (Rezende et al., 1999).

Na região, originalmente de Mata Atlântica derrubada para a exploração de madeira 30 anos atrás, foi instalado um experimento em 1988, com os seguintes tratamentos:

- 1) *Brachiaria humidicola* em monocultura
- 2) *Brachiaria humidicola* consorciada com *Desmodium ovalifolium*

Adjacente ao experimento havia uma área com cobertura de floresta secundária.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições. Cada tratamento ocupa uma área de aproximadamente 1 ha, com lotação de 3 animais por hectare. A adubação de formação constituiu-se de calagem, com 100 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico, 30 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de KCl e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato simples. A adubação de manutenção anual constituiu-se de 25 kg ha⁻¹ de K₂O e 25 kg ha⁻¹ de P₂O₅, nas mesmas formas usadas na formação das pastagens (Tarré, 2000).

Em 1997, após 9 anos de manejo, foram realizadas amostragens de solo, coletando-se em ziguezague dentro da área de cada tratamento, evitando locais com excreções de animais e trilhas. Foram coletadas amostras em 8 repetições de cada parcela, nas camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm. Em seguida, as amostras foram secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm e acondicionadas em sacos plásticos até análise, conforme descrito por Tarré (2000).

Os solos utilizados no estudo apresentaram os seguintes dados analíticos:

Tabela 4.1- Análise de solo sob cobertura de floresta secundária, pastagem de *Brachiaria humidicola* em monocultura e consorciada com *Desmodium ovalifolium*, na profundidade de 0 a 30 cm, após 9 anos de manejo, no município de Itabela (BA).

	Profundidade (cm)	pH	P mg kg ⁻¹	K mg kg ⁻¹	Al cmol dm ⁻³	Ca cmol dm ⁻³	Mg g kg ⁻¹	C g kg ⁻¹	$\delta^{13}\text{C}$ ‰
Monocultura	0 a 5	5,4	2,4	117	0,0	3,4	2,2	17,7	-20,5
	5 a 10	5,1	1,8	112	0,1	2,6	1,6	15,8	-21,0
	10 a 20	4,9	1,0	109	0,2	2,0	1,4	9,6	-23,5
	20 a 30	4,5	0,9	104	0,5	1,2	1,3	6,8	-24,6
Consórcio	0 a 5	5,3	1,7	126	0,1	3,7	1,9	20,8	-20,0
	5 a 10	5,2	1,5	101	0,1	3,1	1,7	15,1	-23,8
	10 a 20	5,0	1,1	98	0,2	2,3	1,5	11,6	-23,2
	20 a 30	4,6	0,9	86	0,5	1,5	1,4	8,9	-24,8
Mata	0 a 5	4,3	1	41	0,3	2,1	0,7	13,3	-27,5
	5 a 10	3,7	1	16	0,6	0,9	0,5	11,5	-27,4
	10 a 20	3,6	0	15	0,8		0,9	10,5	-27,0
	20 a 30	3,6	0	18	0,9		0,9	8,3	-26,4

Tabela 4.2- Análise granulométrica e densidade aparente do solo sob cobertura de floresta secundária, pastagem de *Brachiaria humidicola* em monocultura e consorciada com *Desmodium ovalifolium*, na profundidade de 0 a 30 cm, após 9 anos de manejo, no município de Itabela (BA).

	Profundidade cm	Areia	Argila g kg ⁻¹	Silte	Dap kg m ⁻³
Monocultura	0 a 5	800	130	70	1,18
	5 a 10	795	110	95	1,26
	10 a 20	730	170	100	1,52
	20 a 30	620	300	80	1,55
Consórcio	0 a 5	783	127	90	1,40
	5 a 10	742	160	98	1,46
	10 a 20	743	204	54	1,52
	20 a 30	640	320	40	1,59
Mata	0 a 5	860	60	80	1,10
	5 a 10	810	70	120	1,29
	10 a 20	770	130	100	1,44
	20 a 30	680	210	110	1,36

As amostras de solo nas camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm de cada tratamento, com 3 repetições, foram fracionadas no laboratório de análise de solo e planta (LASP), na Embrapa Solos, segundo a metodologia proposta por Sohi et al. (2001) e Machado (2002) de fracionamento densimétrico e granulométrico, pelo método da alíquota, citado no capítulo 1.

Foram obtidas cinco frações da matéria orgânica: fração leve livre (FL), fração leve intra-agregado (FI), fração areia (FA), fração silte (Fsil) e fração argila (Farg). Essas frações foram secas em estufa a 55°C, pesadas, moídas finamente em moinho de rolagem e posteriormente analisadas para $\delta^{13}\text{C}$, % C e % N em espectrômetro de massa (Finnigan Delta Plus) acoplado a um analisador automático de C e N total, no laboratório de nitrogênio na Embrapa Agrobiologia.

As amostras foram moídas finamente (aspecto de talco, < 250 µm) em moinho de rolagem (Smith e Myung, 1990). Em relação aos métodos tradicionais de procedimento, a amostra preparada por este moinho é macerada, produzindo partículas de diminuto tamanho (menor de 250 µm) e maior homogeneidade, permitindo aumentar a precisão analítica e manuseio na pesagem de amostras (2 a 40 µm) para análise em espectrômetro de massa.

Foram calculados os teores de C, N e ^{13}C para cada fração e correlacionados com os resultados do solo total. Com as determinações de densidade aparente citadas por Tarré et al. (2001), pôde-se calcular os estoques por hectare de solo. Assim, foram determinados os teores e estoque de carbono e nitrogênio da fração leve no solo, a relação C:N das frações, a quantidade de C e N nas frações por unidade de solo, a proporção de C e o estoque de C nas frações.

O cálculo da proporção de plantas C₃ e C₄ foi realizado de acordo com a fórmula abaixo, proposta por Balesdent et al. (1987), utilizando os valores de ^{13}C determinados nas frações da matéria orgânica em cada profundidade:

Equação 4.1:

$$\% \text{ C-C}_4 = 100 \times (\delta_M - \delta_A) / (\delta_{\text{Beliteira}} - \delta_A)$$

Considerando-se que:

$\%C-C_4$ foi a contribuição em porcentagem de carbono de planta C_4 .

δ_M foi o valor de $\delta^{13}C$ da fração estudada.

δ_A foi o valor de $\delta^{13}C$ da fração original, sob mata (100 % C_3).

δ_B foi o valor de $\delta^{13}C$ da liteira da gramínea.

Esta equação proposta por Balesdent et al. (1987) é baseada no fato de que os valores δ_A e δ_B representam 100 % C_3 e 100 % C_4 . Isto é, a fração sob floresta contém somente plantas C_3 , e se o valor de $\delta^{13}C$ da liteira da gramínea fosse encontrado em uma fração, ela conteria 100 % de C derivado da gramínea.

Na monocultura, a quantidade de C derivado da gramínea ($C-C_4$) foi determinado pela equação:

$$C-C_4 = Cf_{mon} \times \%C-C_4 / 100$$

Considerando-se que:

Cf_{mon} é o valor de C total na fração estudada na monocultura.

O C derivado da floresta ($C-C_3$) na monocultura foi determinado pela equação abaixo, já que o C do solo possui somente 2 fontes (floresta e gramínea):

$$C-C_3 = Cf_{mon} - C-C_4$$

A estimativa da proporção da leguminosa no consórcio foi determinada usando a equação proposta por Cadisch & Giller (1996), que baseia-se na hipótese de que o carbono remanescente da floresta é igual tanto na monocultura quanto no consórcio. Para o cálculo das contribuições, foram adotados os seguintes valores: -10,66 %, para a liteira de *Brachiaria* e -25,31 %, para a liteira de *Desmodium ovalifolium*.

No consórcio, considerou-se que o C do solo nesse manejo poderia ter três origens: $C-C_3$ da floresta, $C-C_3$ da leguminosa e $C-C_4$ da gramínea, que foi descrita pela equação:

$$Cf_{con} = C_{flo} + C_{gram} + C_{leg}$$

Considerando-se que:

Cf_{con} foi o valor de C total encontrado na fração no consórcio.

C_{flo} foi o valor de C derivado da floresta na monocultura.

C_{gram} foi o valor calculado de C derivado da gramínea no consórcio.

C_{leg} foi o valor calculado de C derivado da leguminosa no consórcio.

O C derivado da gramínea foi calculado pela seguinte fórmula:

$$C_{Gram} = \{Cf_{con} \times (\delta_M - \delta_{leg}) - C_{flo} \times (\delta_A - \delta_{leg})\} / (\delta_B - \delta_A)$$

Considerando-se que:

C_{Gram} foi o valor calculado de C derivado da gramínea no consórcio.

Cf_{con} foi o valor de C total encontrado na fração no consórcio.

δ_M foi o valor de $\delta^{13}C$ da fração estudada.

δ_{leg} foi o valor de $\delta^{13}C$ da leguminosa *Desmodium ovalifolium*.

δ_A foi o valor de $\delta^{13}C$ da fração original, sob mata (100 % C_3).

$\delta_{B\text{ liteira}}$ foi o valor de $\delta^{13}\text{C}$ da liteira da gramínea *Brachiaria humidicola*.

Assim, o C derivado da leguminosa foi calculado pela diferença entre o C total na fração e o somatório do C derivado da floresta e da gramínea.

$$C_{\text{leg}} = Cf_{\text{con}} - (C_{\text{flo}} + C_{\text{gram}})$$

O estoque de C nas frações foi calculado multiplicando-se a quantidade de C no solo em uma determinada camada pela sua densidade aparente.

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

Considerando-se que:

$Ct (\text{Mg ha}^{-1})$ é o C total acumulado na fração.

$C (\text{g kg}^{-1})$ é a quantidade de C na fração.

Dap é a densidade aparente do solo.

$Prof. (\text{m})$ é a profundidade da camada de solo estudada.

Com as proporções obtidas, foi possível estimar a contribuição das diferentes fontes de C (floresta, gramínea e leguminosa) nas frações, quantificar o C derivado, assim como os estoques de C das frações até 30 cm de profundidade.

4.4- Resultados e Discussão

4.4.1- Estoques de fração leve da matéria orgânica do solo

A quantidade de fração leve livre foi mais elevada no horizonte 0-5 cm nos solos sob cobertura da mata, pastagem de monocultura e pastagem consorciada, reduzindo progressivamente até profundidade de 20-30 cm, quando atingiu valores próximos aos encontrados para a fração leve intra-agregado. Não foi observada diferença entre as coberturas quanto aos teores das frações leves. Os teores da fração leve livre foram sempre superiores àqueles encontrados para a fração leve intra-agregado (Figura 4.1). Os maiores teores da fração leve na camada superficial podem ser considerados um efeito da liteira sobre o solo oriundo das coberturas vegetais. Os valores encontrados variaram de 2,65 a 8,74 g de fração leve livre kg solo^{-1} , e de 2,01 a 3,14 g kg^{-1} solo na fração leve intra-agregado. Foi observada diferença estatística entre a pastagem consorciada e a monocultura em relação ao teor de fração leve livre encontrado no solo (Apêndice A).

Considerando o volume de solo amostrado até 30 cm de profundidade, nos solos sob cobertura de pastagens em monocultura e consorciada, foram encontrados maiores estoques de fração leve livre do que em solo sob cobertura da mata, principalmente nas profundidades de 5 a 30 cm. Isso demonstra a capacidade das pastagens nesse manejo de acumular maiores quantidades de fração leve, alcançando valores superiores a 18 Mg de fração leve livre ha^{-1} , enquanto na mata foram encontradas 14 Mg ha^{-1} (Figura 4.2). Em relação à fração leve intra-agregado, não houve diferença entre as coberturas, variando em média de 8,1 a 9,6 Mg de fração ha^{-1} (Figura 4.3). Considerando a fração leve total acumulada de 0 a 30 cm de profundidade, os estoques de fração leves foram superiores nas pastagens, chegando a 26,1 e 27,7 Mg ha^{-1} na pastagem em monocultura e consorciada, respectivamente, enquanto na mata foram encontradas 22,7 Mg ha^{-1} (Figura 4.4). Essa maior quantidade do estoque de fração leve total é devida principalmente aos maiores valores encontrados na fração leve livre. Na camada superior do solo (0-5 cm), foram observadas quantidades superiores a 4 Mg fração leve livre ha^{-1} e superiores a 1,5 Mg fração leve intra-agregado ha^{-1} .

Esses resultados demonstraram o potencial da pastagem no aumento da quantidade de fração leve adicionada ao solo, que pode refletir em todos os compartimentos de C do solo. Resultados obtidos por Rezende et al (1999) no extremo Sul da Bahia mostraram que pastagens de braquiária contribuíram entre 25 a 30 Mg de liteira por ano, sendo provavelmente superior a liteira produzida pela mata nativa (Garay, informação pessoal). Essa liteira de braquiária também tem como característica apresentar uma relação C:N mais alta, fazendo com que esse material seja mais resistente à decomposição.

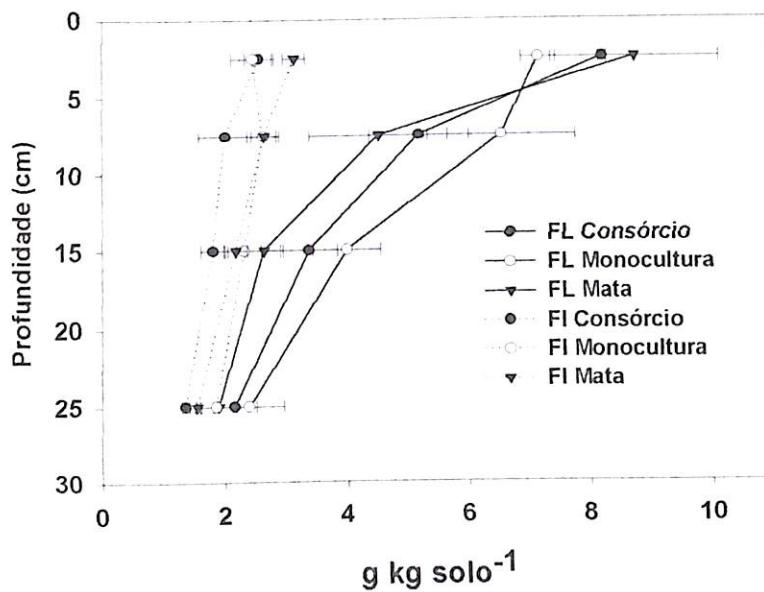


Figura 4.1- Teores de fração leve em solo sob cobertura de mata, pastagem em monocultura e consorciada com leguminosa. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 3 repetições)

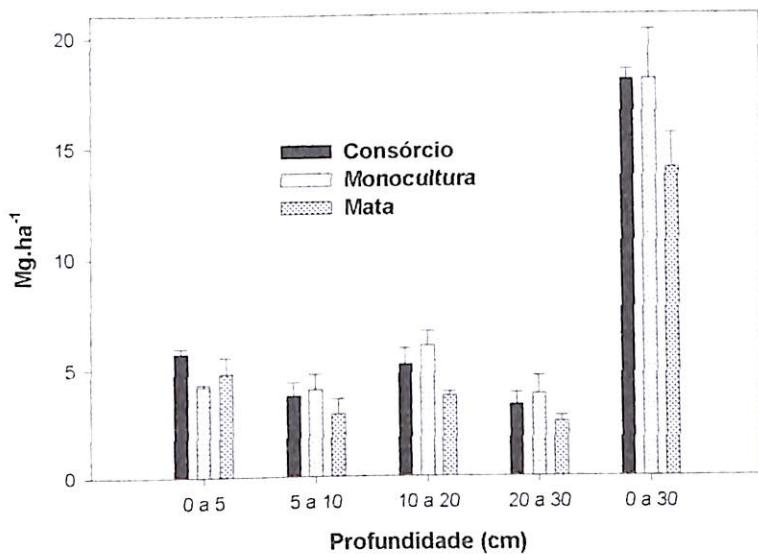


Figura 4.2- Quantidade de fração leve livre em solos sob mata, pastagem em monocultura e consorciada com leguminosa. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 3 repetições)

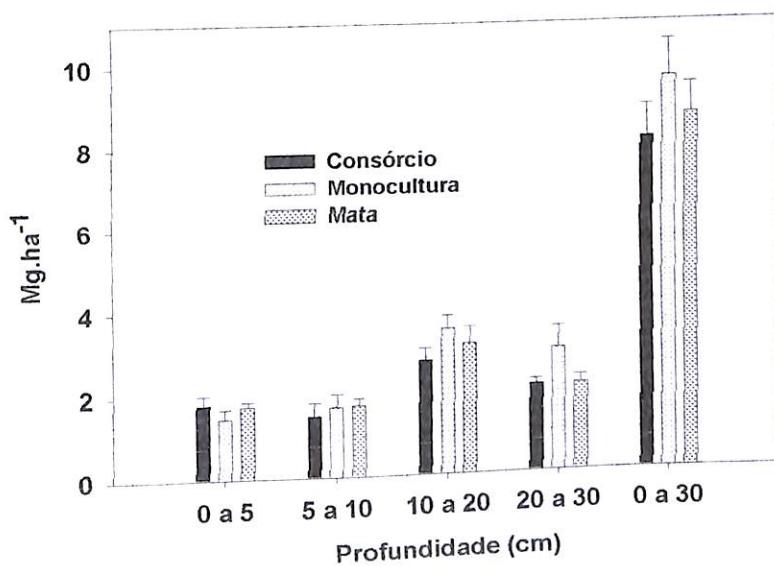


Figura 4.3- Quantidade de fração leve oclusa em solos sob mata, pastagem em monocultura e consorciada com leguminosa. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 3 repetições)

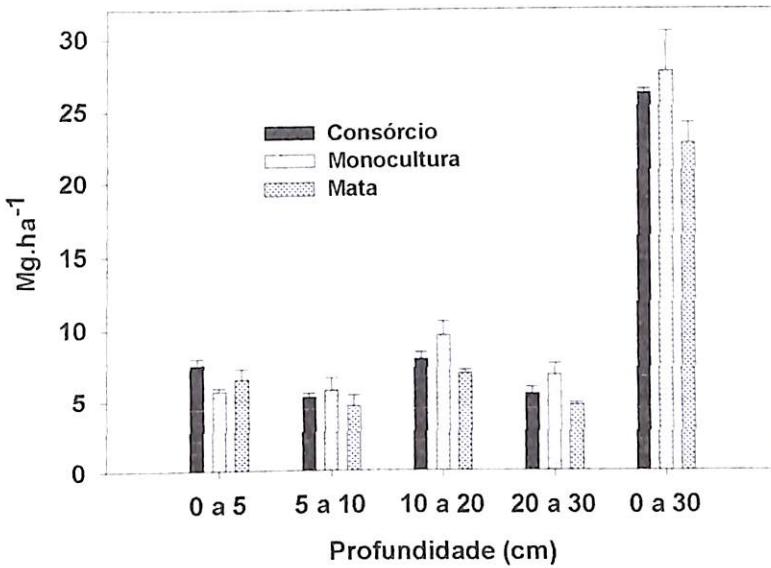


Figura 4.4- Quantidade de fração leve total em solos sob mata, pastagem em monocultura e consorciada com leguminosa. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 3 repetições)

4.4.2- Teores de C e N

Os teores de C e N encontrados nos diferentes compartimentos podem ser considerados uma característica da composição e estrutura da fração. Nas frações leves os teores encontrados foram mais altos do que nas frações pesadas, onde os teores da fração silte eram maiores que a fração argila. Na matéria orgânica associada à fração areia, os teores de C foram os menores encontrados (Tabela 4.3). Os teores de C na fração leve livre foram próximos a $200 \text{ g C kg fração}^{-1}$, enquanto na fração leve intra-agregado os valores foram menores, variando de 106 a $205 \text{ g kg fração}^{-1}$. Nas frações pesadas, os valores encontrados foram reduzidos, variando de 19 a $60 \text{ g kg fração}^{-1}$ na fração silte e de $8,6$ a $32,7 \text{ g C kg fração}^{-1}$ na fração argila. Na fração areia foram encontrados os menores teores de carbono, inferiores a $2 \text{ g kg fração}^{-1}$. Nessa fração, é encontrada uma partícula de matéria orgânica de tamanho superior a $53 \mu\text{m}$ que está aderida sobre a fração mineral. De uma maneira geral, os teores de C nas frações obtidas reduziram em profundidade, indicando que as frações dos horizontes superiores são mais enriquecidas em C, devido a maior proximidade do local de acúmulo de resíduos no solo (Tabela 4.3).

Os teores de N apresentaram comportamento semelhante aos teores de C, sendo superiores nas frações leves, atingindo $10 \text{ g N kg fração}^{-1}$ no horizonte 0-5 cm. Na fração areia, os teores de N não foram detectáveis em algumas amostras, devido aos baixos teores. Assim como o teor de C, o teor de N foi maior na fração silte do que na fração argila. Os teores de N das frações foram superiores nos horizontes superficiais e reduziam em profundidade (Tabela 4.4).

Dentre os parâmetros avaliados estatisticamente, não foram encontradas diferenças significativas entre o consórcio e a monocultura. Os teores de C e N encontrados nas frações concordam com aqueles encontrados nos demais estudos

(Freixo, 2000), principalmente em relação às frações silte e argila (Vitorello et al., 1989; Bonde et al., 1992).

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. A relação C:N foi mais alta nas frações leves, geralmente próximas de 20 ou superior. Na profundidade 0-5 cm, a relação C:N variou de 20 a 28 nas frações leves (Figura 4.5). A relação C:N na fração leve livre foi superior do que o encontrado na fração leve intra-agregado, exceto na profundidade de 20 a 30 cm, quando foram atingidos valores maiores que 40 na fração leve intra-agregado (Figuras 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8). Na fração leve intra-agregado, na profundidade 20-30 cm, os valores de relação C:N encontrados foram superiores a 40, (43,4 e 47,3, no consórcio e na monocultura, respectivamente), mais elevados que o encontrado na mata, de 34,6 (Figura 4.8). Esse aumento da relação C:N em profundidade também foi observado por Freixo et al. (2002a, 2002b). De uma maneira geral, a relação C:N nas frações leves na monocultura foram maiores que no consórcio e na mata. Isso deve-se provavelmente à qualidade do material adicionado ao solo pela *Brachiaria*, de maior relação C:N, já que no consórcio também tem a contribuição da leguminosa *Desmodium*, de relação C:N menor. Na fração areia, a relação C:N não pôde ser calculada em algumas profundidades, devido a não detecção dos teores de N nessas amostras. Nas frações mais finas (silte e argila), quanto menor o tamanho da partícula, menor é a relação C:N. Nas profundidades de 0-30 cm, geralmente, a relação C:N na fração silte e na fração argila se mantiveram estáveis, variando entre 11,5 a 13,8, na fração silte, e de 8,5 a 9,5 na fração argila (Figuras 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8). As relações C:N encontradas nas frações mais finas estão de acordo com aquelas obtidas por outros autores (Feller e Beare, 1997; Freixo et al., 2002b), e pode ser considerada uma característica da granulometria e tipo de argila do solo. A estabilidade da relação C:N também indica que a dinâmica de C está relacionada com a dinâmica do N. Isto é, para se aumentar o estoque de C estabilizado na fração, deve-se aumentar também o estoque de N, de acordo com a relação C:N da partícula. Mesmo com as variações encontradas nas frações leves sob diferentes coberturas e profundidades, a relação C:N nas partículas finas não foram influenciadas. Na fração leve, 9 anos de manejo das pastagens não foram suficientes para alterar os teores de C, N e relação C:N.

As quantidades de C nas frações foram maiores na superfície (0-5 cm) e reduziram até a profundidade de 20-30 cm. As maiores quantidades de C foram encontradas nas frações mais finas (silte e argila). A matéria orgânica associada à fração silte foi o maior compartimento de carbono. A proporção do C na fração leve livre em relação ao C total do solo variou de 15 a 23 % no horizonte superficial (0-5 cm) e reduziu em profundidade, chegando a variar entre 3,2 a 4,2 % na profundidade de 20-30 cm. A fração leve intra-agregado chegou a no máximo 5 % do C total do solo (Figuras 4.9, 4.10 e 4.11). A quantidade de C recuperado nas frações foi maior no solo com cobertura de pastagens, o que confirma os resultados obtidos por Tarré et al. (2001). A proporção de C na fração leve em relação ao solo total no horizonte de 0-5 cm foi maior na mata (23 %), e reduziu nas pastagens, chegando a 15,5 e 16 % na monocultura e no consórcio. Por outro lado, a proporção de C nas frações pesadas (areia, silte e argila) aumentou, principalmente na fração argila. Na camada de 5-10 cm, foi observada uma redução da quantidade de C nas frações silte e argila e aumento da fração argila, da mata para as pastagens. Na camada de 20-30 cm, foi observado um aumento na proporção de C na fração argila após 9 anos de pastagem (Figuras 4.9, 4.10 e 4.11). As quantidades de C encontradas nas frações foram menores que as observadas em outros estudos de fracionamento (Freixo et al., 2002a, 2002b, Roscoe et al., 2001, Vitorello et

al., 1989). Mas esses estudos foram realizados em solos de textura argilosa (Latossolos), apresentando características diferentes do solo estudado.

Com a medição da densidade aparente das profundidades estudadas, foi possível a determinação dos estoques de C em Mg ha⁻¹. A quantidade de C nas frações acompanhou os teores de C das frações no solo. Os maiores estoques de C foram encontrados nas frações pesadas (areia, silte e argila). Os estoques de C nas frações leves foram maiores na superfície 0-10 cm e reduziram em profundidade (Figuras 4.12, 4.13, 4.14 e 4.15). Na fração pesada, os estoques de C variaram de 0,3 a 1,2 Mg C ha⁻¹, na fração silte, de 2,7 a 5,9 Mg C ha⁻¹, e na fração argila, de 1,0 a 4,7 Mg C ha⁻¹. Na camada de 10-30 cm, os maiores estoques de C estavam localizados nas frações silte e argila. Os estoques de C na fração leve intra-agregado foram os menores encontrados, variando entre 0,2 e 0,5 Mg C ha⁻¹. Em relação à mata, houve um aumento da quantidade de C nas frações pesadas (areia, silte e argila) devido à implantação de pastagens sobre o solo (Figuras 4.12, 4.13, 4.14 e 4.15). Nos solos sob cobertura de pastagens, a quantidade de C na profundidade de 0-30 cm foi maior que no solo sob mata, equivalentes a 39, 31 e 27 Mg C ha⁻¹, no consórcio, na monocultura e na mata, respectivamente.

Tabela 4.3- Teores de carbono nas frações da matéria orgânica do solo sob mata secundária, pastagem em monocultura e pastagem consorciada.

Cobertura	Prof.	FL	ep ¹	FI	ep	FA	ep	Fsil	ep	Farg	Ep
	cm	g C kg fração ⁻¹									
	0 a 5										
Mata		252,6	16,3	151,5	21,1	1,30	0,5	59,3	25,3	27,3	1,0
Consorcio		223,7		197,8		1,63		39,3		32,7	
Monocultura		209,7		205,2		1,93		35,2		29,5	
CV (%)		8		31		45		67		11	
	5 a 10										
Mata		205,7	12,7	125,9	22,7	1,23	0,6	54,7	7,6	19,5	2,1
Consorcio		247,9		192,6		0,55		39,1		25,5	
Monocultura		193,6		155,1		0,60		47,5		24,2	
CV (%)		12		32		103		61		13	
	10 a 20										
Mata		167,7	52,9	112,4	16,8	0,45	0,1	37,0	0,9	13,6	2,0
Consorcio		192,5		164,0		0,95		60,2		17,8	
Monocultura		187,6		111,4		0,70		29,8		12,7	
CV (%)		18		30		59		53		28	
	20 a 30										
Mata		152,0	43,9	109,1	11,5	1,10	0,0	24,0	4,1	8,6	1,0
Consorcio		193,9		136,0		0,45		19,1		9,8	
Monocultura		146,5		105,6		1,23		29,6		10,0	
CV (%)		27		36		184		5		21	

ep¹ - erro padrão da média de 3 repetições.

Tabela 4.4- Teores de nitrogênio nas frações da matéria orgânica do solo sob mata secundária, pastagem em monocultura e pastagem consorciada.

Cobertura	Prof.	FL	ep ¹	FI	ep	FA	ep	Fsil	ep	Farg	Ep
	cm	g N kg fração ⁻¹									
	0 a 5										
Mata		12,6	1,0	7,2	0,7	0,80	0,49	6,1	0,6	3,1	0,2
Consorcio		10,5		9,9		0,10		3,1		3,6	
Monocultura		7,6		7,9		0,15		2,9		3,1	
CV (%)		10		25				69		11	
	5 a 10										
Mata		9,6	0,2	6,0	0,7	0,15	0,04	4,6	0,6	2,3	0,4
Consorcio		10,1		7,2		nd ²		3,1		2,8	
Monocultura		7,2		6,2		nd		3,5		2,6	
CV (%)		14		20				28		13	
	10 a 20										
Mata		5,7	1,6	4,5	0,7	1,30	0,00	3,1	0,3	1,4	0,2
Consorcio		5,3		6,1		0,10		5,2		1,9	
Monocultura		5,1		3,6		0,65		2,5		1,4	
CV (%)		22		31				51		25	
	20 a 30										
Mata		5,5	2,9	3,3	0,7	0,10	0,00	1,9	0,4	1,0	0,1
Consorcio		5,0		3,3		1,20		2,0		1,1	
Monocultura		3,8		2,4		0,90		4,7		1,1	
CV (%)		23		45				29		21	

ep¹ - erro padrão da média de 3 repetições.

nd² - não determinado

o erro padrão da média, de 3 repetições)

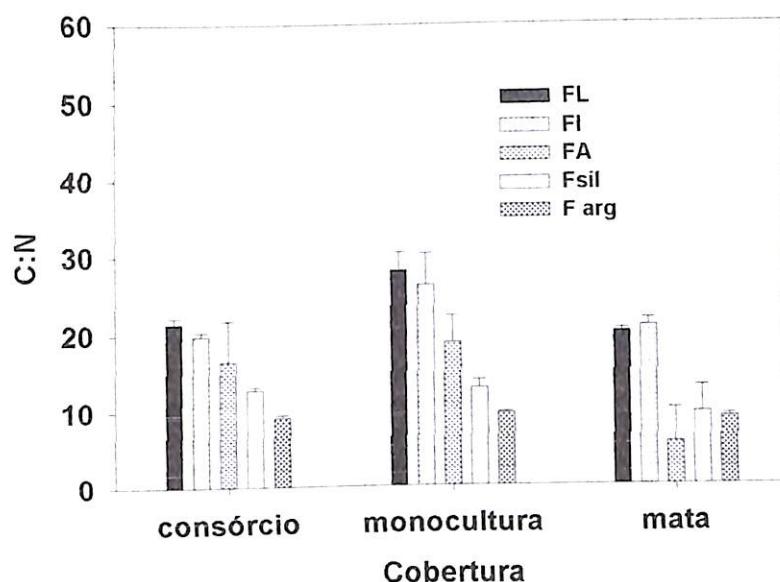


Figura 4.5- Relação C:N em frações de matéria orgânica do solo sob cobertura de mata secundária, pastagem em monocultura e pastagem consorciada, na profundidade de 0 a 5 cm. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 3 repetições)

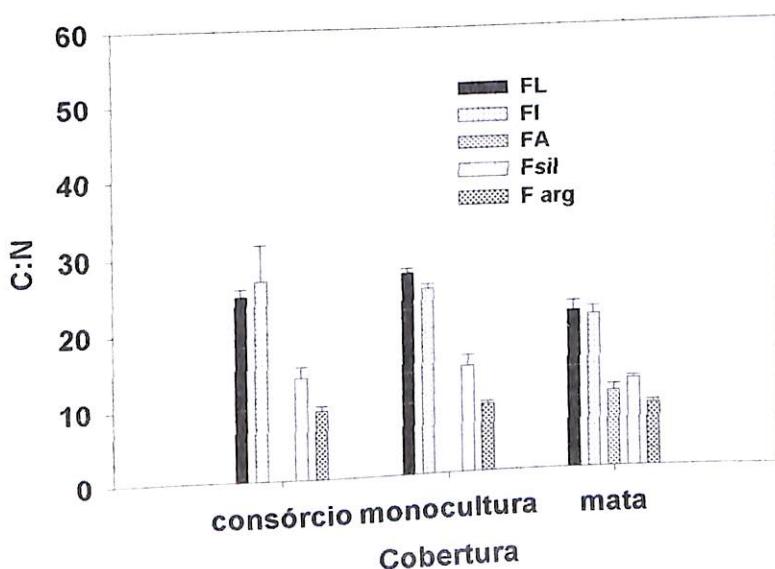


Figura 4.6- Relação C:N em frações de matéria orgânica do solo sob cobertura de mata secundária, pastagem em monocultura e pastagem consorciada, na profundidade de 5 a 10 cm. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 3 repetições)

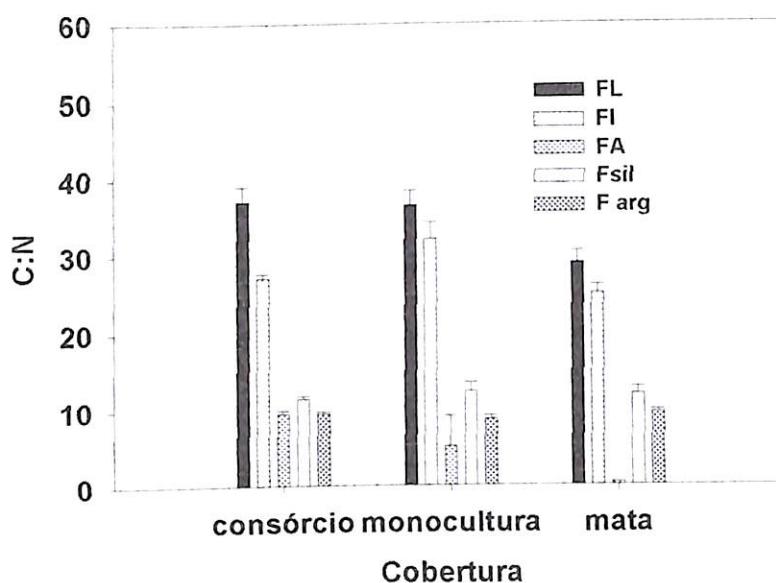
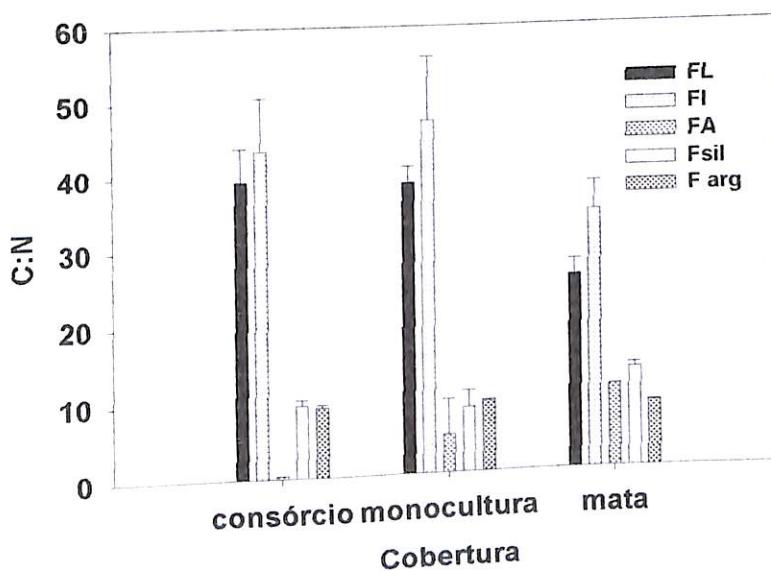


Figura 4.7- Relação C:N em frações de matéria orgânica do solo sob cobertura de mata secundária, pastagem em monocultura e pastagem consorciada, na profundidade de 10 a 20 cm. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 3 repetições)

Figura 4.8- Relação C:N em frações de matéria orgânica do solo sob cobertura de mata



secundária, pastagem em monocultura e pastagem consorciada, na profundidade de 20 a 30 cm. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 3 repetições)

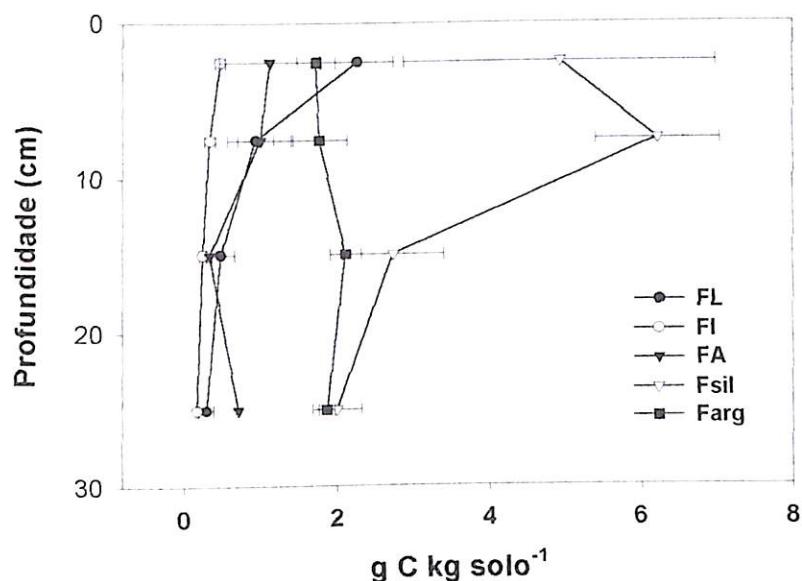


Figura 4.9- Quantidade de carbono nas frações da matéria orgânica de solo sob cobertura de mata secundária. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 3 repetições)

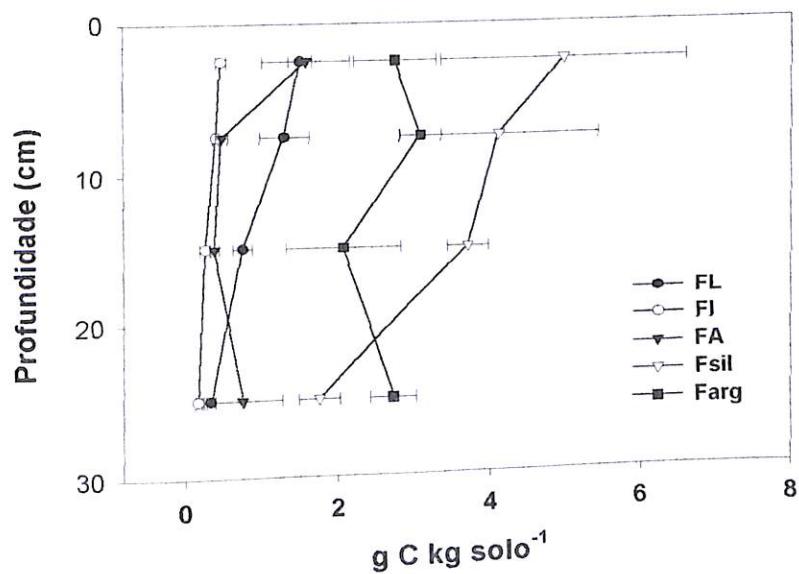


Figura 4.10- Quantidade de carbono nas frações da matéria orgânica de solo sob cobertura de pastagem em monocultura. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 3 repetições)

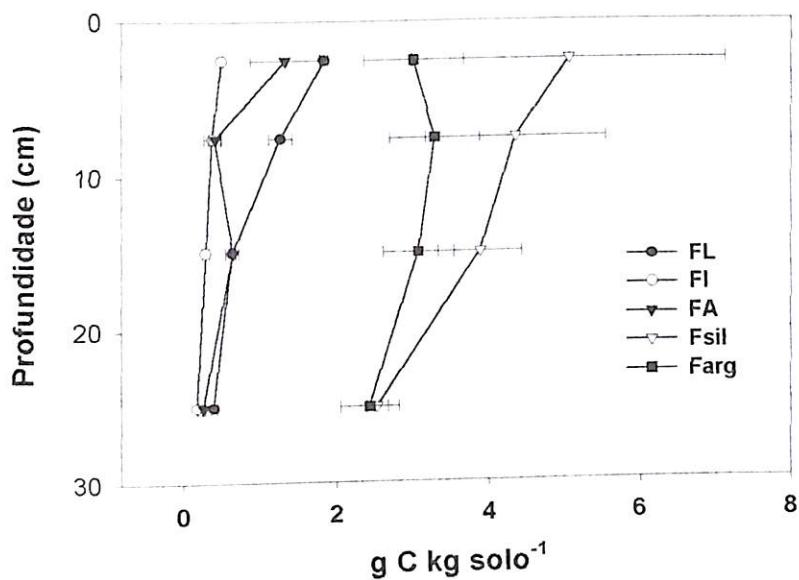


Figura 4.11- Quantidade de carbono nas frações da matéria orgânica de solo sob cobertura de pastagem consorciada. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 3 repetições)

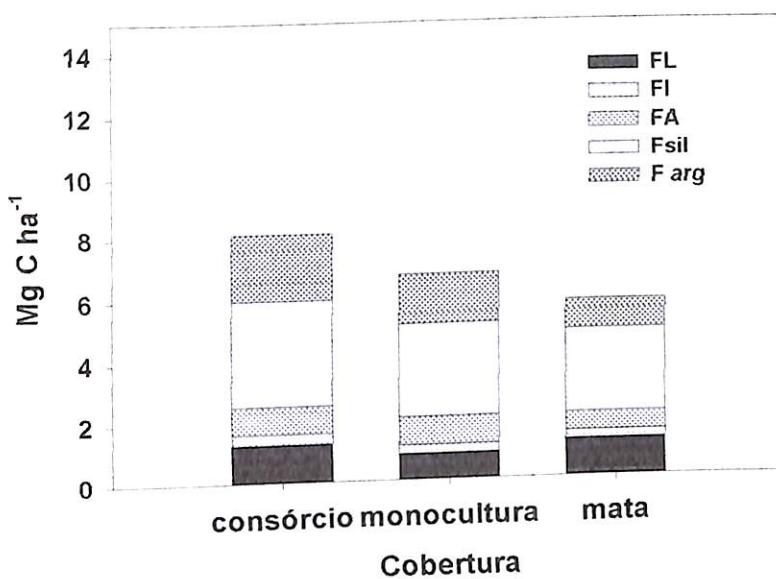


Figura 4.12- Quantidade de carbono por hectare nas frações da matéria orgânica de solo sob cobertura de mata secundária, pastagem em monocultura e pastagem consorciada, na profundidade de 0 a 5 cm.

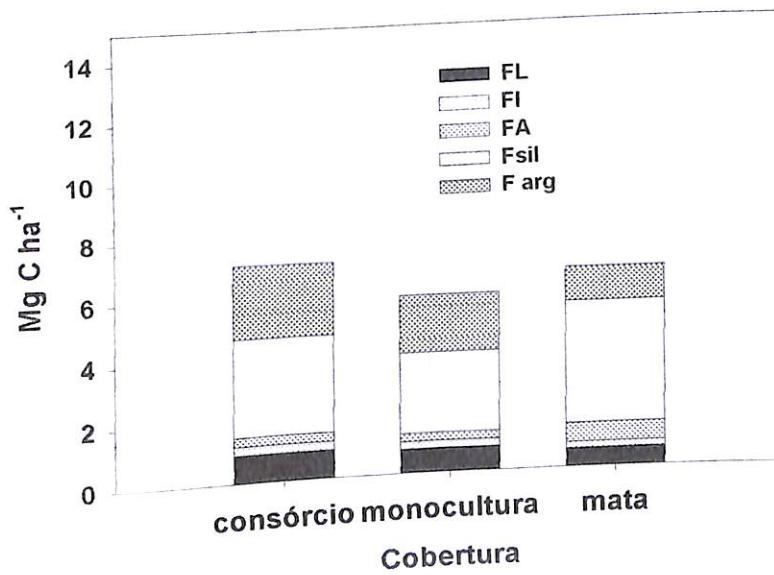


Figura 4.13- Quantidade de carbono por hectare nas frações da matéria orgânica de solo sob cobertura de mata secundária, pastagem em monocultura e pastagem consorciada, na profundidade de 5 a 10 cm.

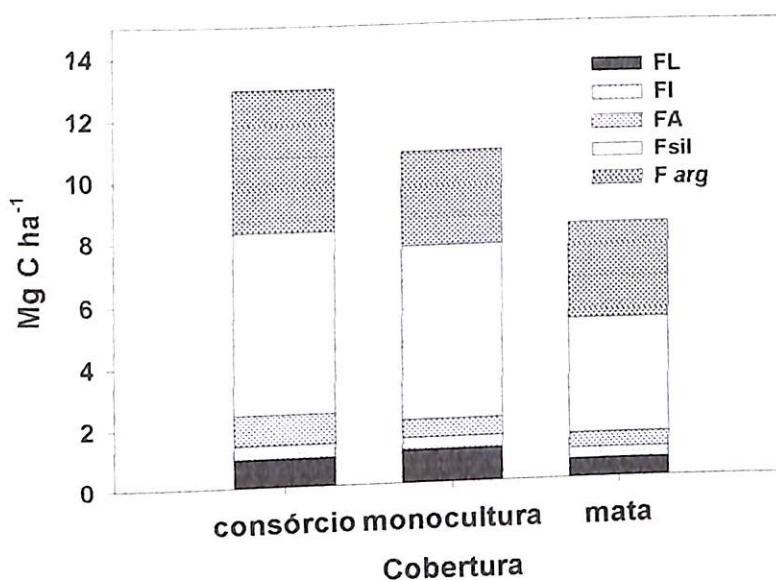


Figura 4.14- Quantidade de carbono por hectare nas frações da matéria orgânica de solo sob cobertura de mata secundária, pastagem em monocultura e pastagem consorciada, na profundidade de 10 a 20 cm.

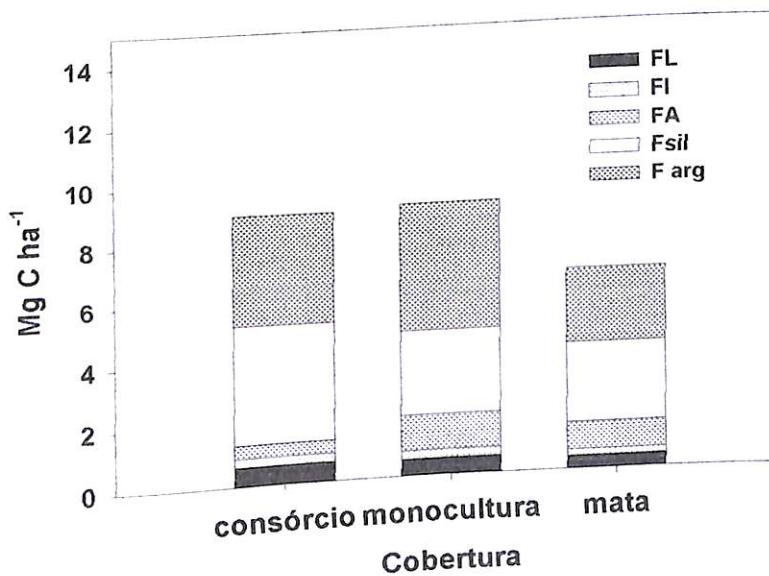


Figura 4.15- Quantidade de carbono por hectare nas frações da matéria orgânica de solo sob cobertura de mata secundária, pastagem em monocultura e pastagem consorciada, na profundidade de 20 a 30 cm.

4.4.3- Composição isotópica de ^{13}C

A composição isotópica das frações indicou o tipo de vegetação que está influenciando a matéria orgânica do solo. Nas frações obtidas no solo sob mata, os valores comprovaram que a matéria orgânica do solo foi originalmente de plantas C₃, característicos de floresta, entre -24 e -29 ‰ (Figura 4.16). Em profundidade, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ tenderam a ficar mais positivos (com variação em torno de 1 unidade de $\delta^{13}\text{C}$), e foi observada uma variação isotópica entre as frações no solo sob mata, conforme foi citado por Balesdent et al. (1987). Nas frações silte e argila, onde eram esperados valores mais positivos de $\delta^{13}\text{C}$ (devido à humificação), foi observado um comportamento diferente, já que essas frações se mostraram mais negativas, em relação às demais frações (Figura 4.16). De uma maneira geral, a composição isotópica das frações leves foram mais enriquecidas em valores de $\delta^{13}\text{C}$ que as frações silte e argila. Assim, a relação entre humificação e variação da composição isotópica necessitaria ser melhor compreendida, com estudos mais apropriados.

Nos solos sob pastagens, as frações comportaram-se já refletindo o tipo de vegetação sobre o solo, e apresentaram valores de $\delta^{13}\text{C}$ tendendo a se aproximar da ligeira de *Brachiaria*, uma gramínea C₄. Nos solos sob pastagens, as frações podem ser separadas em 2 grupos. Um grupo que apresenta uma maior estabilidade, conservando mais os valores de $\delta^{13}\text{C}$ iniciais, contendo as frações leve intra-agregado, fração silte e fração argila; e um grupo em que a substituição de C antigo pelo novo foi mais acentuada, indicando uma ciclagem mais rápida, compreendendo as frações areia e leve livre (Figuras 4.17 e 4.18). Nas frações sob o consórcio, de uma maneira geral, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ foram intermediários entre os de pastagem em monocultura e da mata. Isto se deve à contribuição, além da gramínea, da leguminosa *Desmodium*, que possui um sinal de $\delta^{13}\text{C}$ de planta C₃, assim contribuindo também na adição de C novo nas frações. Na fração areia, a substituição de C derivado da floresta pelo C derivado das pastagens foi mais acentuada, enquanto na fração leve intra-agregado, a contribuição de C novo foi muito reduzida ou nula (Figuras 4.16, 4.17 e 4.18). Isto é, a fração leve intra-agregado praticamente conservou o C original da mata. Em profundidade, a contribuição do C derivado de pastagem também foi menor em relação aos horizontes superficiais (0-5 e 5-10 cm). Baseado nesses valores de $\delta^{13}\text{C}$, foram calculadas as estimativas de contribuições de C da floresta, gramínea e leguminosa nas frações da matéria orgânica do solo.

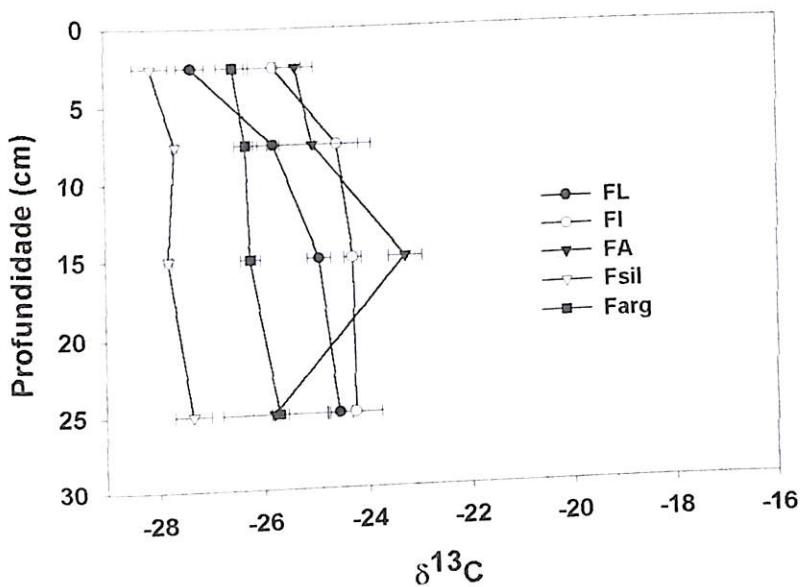


Figura 4.16- Valores de $\delta^{13}\text{C}$ nas frações da matéria orgânica do solo sob mata secundária. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 3 repetições)

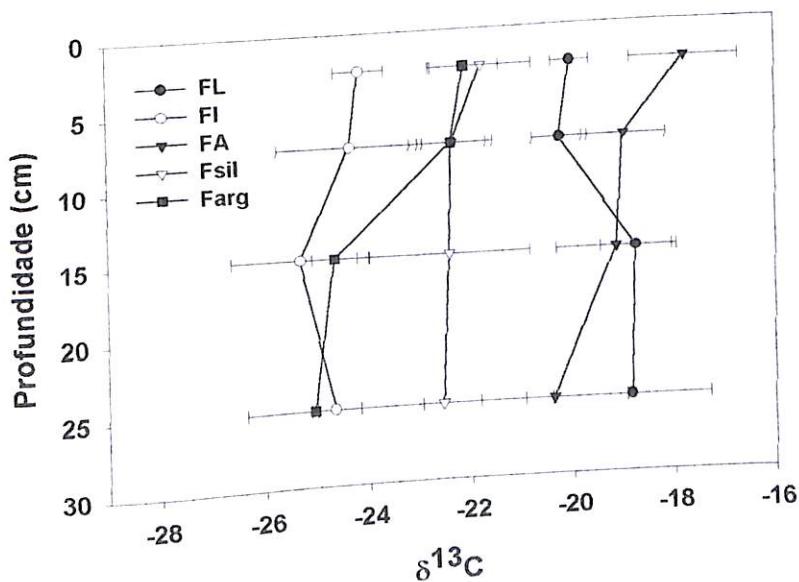


Figura 4.17- Valores de $\delta^{13}\text{C}$ nas frações da matéria orgânica do solo sob pastagem em monocultura. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 3 repetições)

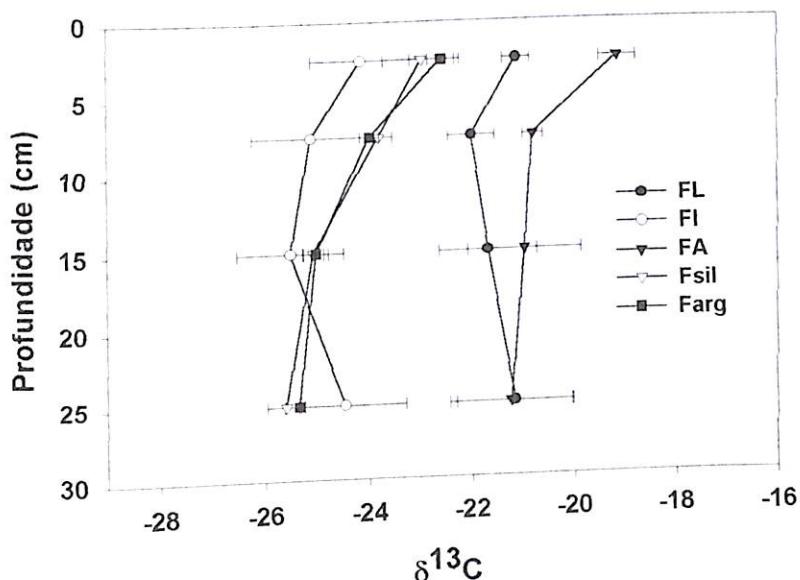


Figura 4.18- Valores de $\delta^{13}\text{C}$ nas frações da matéria orgânica do solo sob pastagem consorciada. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 3 repetições)

4.4.4- Origem do Carbono nas frações

Utilizando a equação proposta por Balesdent et al. (1987) (equação 4.1), foram calculadas as proporções de C-C₃ e C-C₄ nas frações da matéria orgânica do solo, utilizando os valores de $\delta^{13}\text{C}$ encontrados nas frações sob mata e sob as pastagens, para cada profundidade estudada. Considerou-se que as frações da matéria orgânica do solo encontradas no solo sob mata fossem 100 % originárias de plantas C₃, enquanto nos solos sob pastagens, ocorreu uma mistura de C antigo (original da floresta) e C novo (oriundo da pastagem) após 9 anos de manejo das pastagens.

Na pastagem sob monocultura de *Brachiaria*, as maiores proporções de C da gramínea foram encontradas nas frações leve livre e areia. As proporções de C novo foram mais altas nos horizontes superficiais, reduzindo em profundidade (Figura 4.19). Em média, pouco mais de 40 % do C da fração leve livre originou-se da gramínea. Na fração leve intra-agregado, só foram encontradas contribuições de C-C₄ de 10,8 e 1,7 %, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente. Na fração areia, as contribuições foram de 51,5 e 42 % nas profundidades superficiais de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente, e de 33 e 36 % nas camadas de 10-20 e 20-30 cm de profundidade. Nas frações mais finas (silte e argila), as proporções de C novo encontradas na fração silte foram maiores que na fração argila. Na fração silte, as proporções variaram de 20,9 a 35,7 %, e de 28 % na fração argila na camada superficial, reduzindo até 4,3 % na camada de 20-30 cm (Figura 4.19). Roscoe et al. (2001) encontraram que na camada superficial (0-10 cm) a proporção de C oriundo da gramínea após 23 anos de pastagem variou entre 41 e 61 %. Já em profundidade, as maiores proporções foram encontradas nas frações silte e argila. Na fração areia, as proporções de C derivado da gramínea variaram entre 15 e 39 %. Essas diferenças encontradas entre as proporções de C derivado da gramínea devem-se principalmente ao período diferente de cobertura de pastagem, e também a textura

diferente. Nesse estudo, em que o solo é de textura arenosa, a fração areia destacou-se pelas maiores proporções de C derivado da gramínea.

A quantidade de C novo, isto é, C derivado da gramínea, foi maior na camada de 0-5 cm e reduziu até a profundidade de 20-30 cm (Figuras 4.20, 4.21, 4.22 e 4.23). Na fração silte, chegou a 1,78 g C kg solo⁻¹, na camada 0-5 cm, reduzindo a 0,51 g C kg solo⁻¹, na camada 20-30 cm. Na fração argila, a contribuição máxima chegou a 0,77 g C kg solo⁻¹, na camada 0-5 cm. Na fração leve intra-agregado, a contribuição de C novo foi reduzida, chegando a no máximo 0,05 g C kg solo⁻¹ na camada 0-5 cm. Na fração leve livre, a quantidade de C derivado da gramínea foi alta, na camada superficial (0-5 cm), de 0,66 g C kg solo⁻¹, reduzindo até 0,14 g C kg solo⁻¹ na camada de 20-30 cm (Figuras 4.20, 4.21, 4.22 e 4.23). Apesar de as maiores proporções de C-C₄ serem encontradas nas frações leve-livre e fração areia, em quantidade os valores encontrados na fração silte foram maiores, principalmente nas profundidades abaixo de 10 cm.

Com base nas estimativas do estoque de C nas frações, foram determinadas as quantidades de C da gramínea e da floresta no solo até 30 cm de profundidade. Na camada superficial de 0-5 cm, na fração leve livre e fração areia, a quantidade de C derivada da gramínea foi maior que o C derivado da floresta, chegando a 0,4 e 0,5 Mg C ha⁻¹, respectivamente. Somente na camada superficial de 0-5 cm, a quantidade de C na fração leve sob pastagem em monocultura foi menor que o encontrado no solo sob a mata. Na fração silte, apesar de ser proporcionalmente menor (35,7 %), a quantidade de C derivado da gramínea foi a mais alta dentre as frações, chegando a 1,1 Mg C ha⁻¹. Na fração areia, do C total acumulado, de 1,6 Mg C ha⁻¹, 0,4 Mg C ha⁻¹ eram derivados da gramínea. As frações silte e argila conservaram maiores quantidades de C derivado da floresta, com 2,0 e 1,2 Mg C ha⁻¹, respectivamente. Na fração leve intra-agregado, onde foram encontrados estoques de C de 0,28 Mg C ha⁻¹, somente 0,03 Mg C ha⁻¹ eram derivados da gramínea (Tabela 4.5). Na profundidade de 5-10 cm, foi observado um comportamento semelhante a camada 0-5 cm. Na fração leve livre, o C derivado da gramínea e da floresta foram 0,39 e 0,49 Mg C ha⁻¹, respectivamente. O C derivado da gramínea na fração silte chegou a 1,0 Mg C ha⁻¹ (Tabela 4.5). Nas profundidades de 10-20 cm, a gramínea na fração silte chegou a 1,0 Mg C ha⁻¹, enquanto nas frações leves e na fração areia foram menores, 20 e 20-30 cm, os estoques de C nas frações leves e na fração areia foram menores, 20 e 20-30 cm, os estoques de C nas frações silte e argila os estoques de geralmente menores que 1 Mg C ha⁻¹, enquanto nas frações silte e argila os estoques de C variaram de 2,8 a 5,6 Mg C ha⁻¹. Mesmo nas profundidades de 10-20 e 20-30 cm, a quantidade de C na fração leve chegou a 0,5 e 0,2 Mg C ha⁻¹ e de 0,4 e 0,2 Mg C ha⁻¹ na fração areia. Nessas profundidades, não foi encontrado C derivado da gramínea na fração leve intra-agregado. A quantidade de C derivado da gramínea na fração silte chegou a 1,1 e 1,0 Mg C ha⁻¹, nas profundidades de 10-20 e 20-30 cm, respectivamente. Na fração argila, o C derivado da gramínea chegou a no máximo 0,4 Mg C ha⁻¹ (Tabela 4.5).

Com base nesses resultados, foi verificado que a contribuição do C derivado da gramínea foi maior na camada superficial de 0-10 cm, reduzindo até a profundidade de 20-30 cm. Em relação aos estoques de C encontrados nas frações, o C derivado da gramínea foi maior, proporcionalmente, nas frações leve livre e areia. Em quantidade, os maiores estoques de C da gramínea foram encontrados na fração silte. As frações argila e silte conservaram maiores quantidades de C derivado da floresta. Comparando-se os estoques de C das frações encontradas na mata e na monocultura, pôde-se observar que a introdução da pastagem aumentou o estoque de C do solo após 9 anos. Esse aumento ocorreu em todas as frações, sendo mais acentuada nas frações leve livre, silte e argila. Mas esses aumentos no estoque de C nas frações pesadas (silte e argila) não foram devidos somente ao C da gramínea, já que a quantidade de C novo (C-C₄) nas frações foi menor que o aumento de C total, nas frações silte e argila. Uma possível

explicação seria o fato de que a introdução da pastagem poderia ter estimulado uma maior decomposição e mineralização de fração leve e fração areia original da mata, como também de raízes, deslocando C desses compartimentos para frações mais finas. Por isso, nas frações pesadas do solo sob pastagem em monocultura, o estoque de C derivado da floresta ($C-C_3$) foi maior que o estoque de C encontrado no solo sob mata. O C encontrado nas frações argila e silte que apresentaram maior estabilidade, estaria em maior grau de humificação. Por isso, foi encontrada uma conservação maior do C originado da floresta, isto é, o C derivado da gramínea era proporcionalmente menor. A dinâmica da fração leve intra-agregado é influenciada, expressivamente, pelo preparo do solo. Como no manejo adotado, essa etapa só foi realizada no início da formação da pastagem, não houve efeito significativo na dinâmica de C nessa fração.

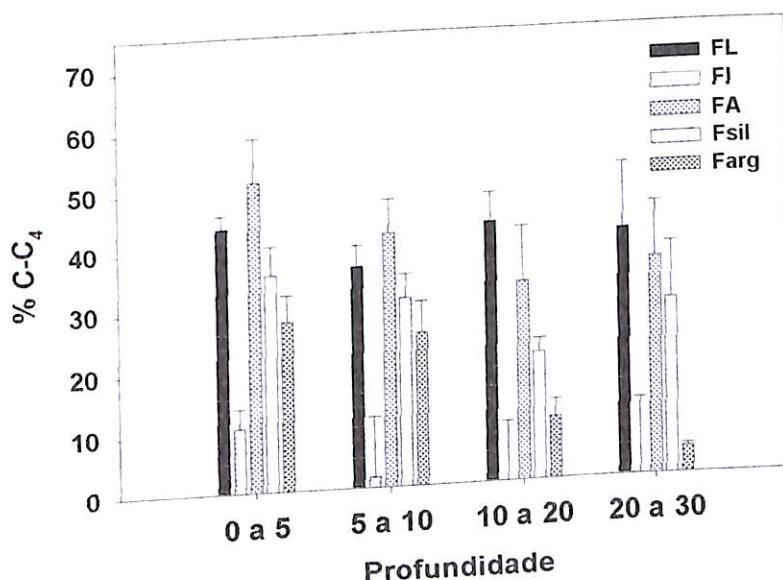


Figura 4.19- Proporção de carbono novo nas frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de pastagem em monocultura até 30 cm de profundidade. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 3 repetições)

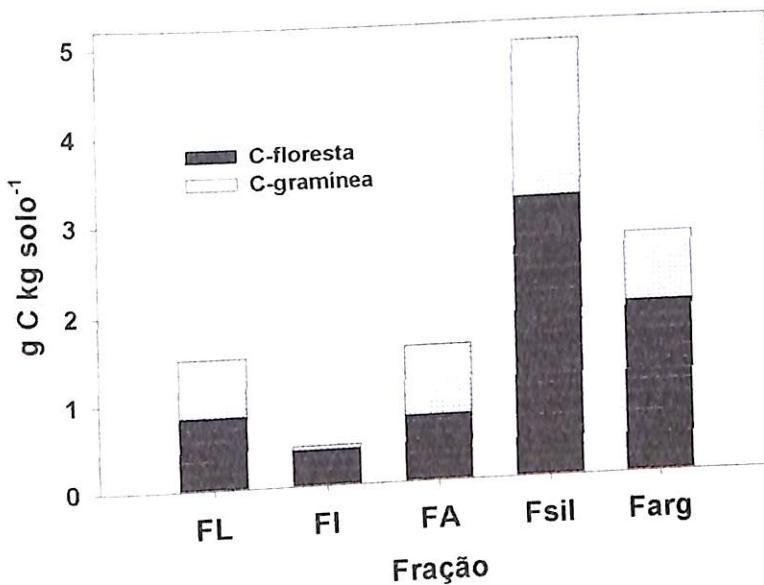


Figura 4.20- Proporção entre carbono derivado da floresta e carbono derivado da gramínea na pastagem em monocultura, na profundidade de 0 a 5 cm.

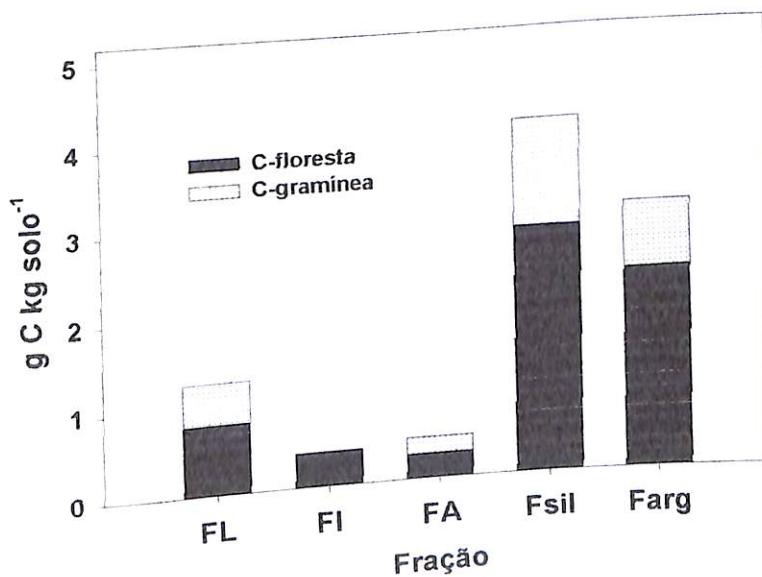


Figura 4.21- Proporção entre carbono derivado da floresta e carbono derivado da gramínea na pastagem em monocultura, na profundidade de 5 a 10 cm.

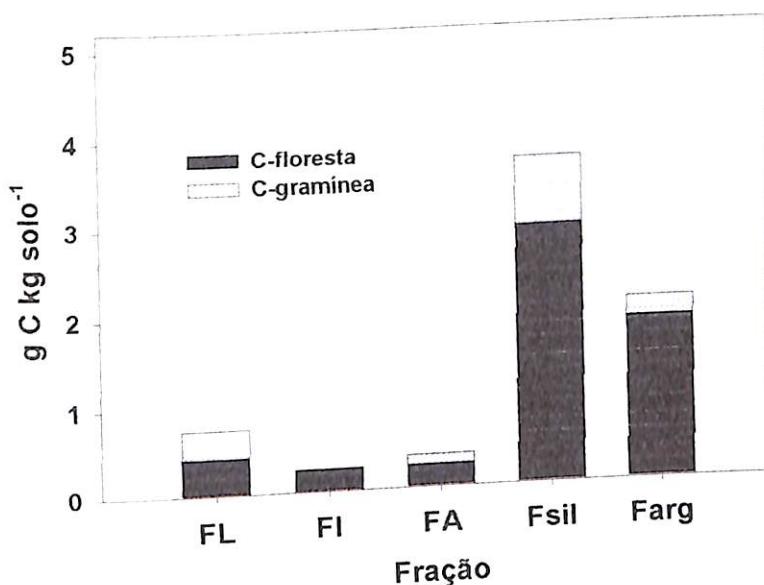


Figura 4.22- Proporção entre carbono derivado da floresta e carbono derivado da gramínea na pastagem em monocultura, na profundidade de 10 a 20 cm.

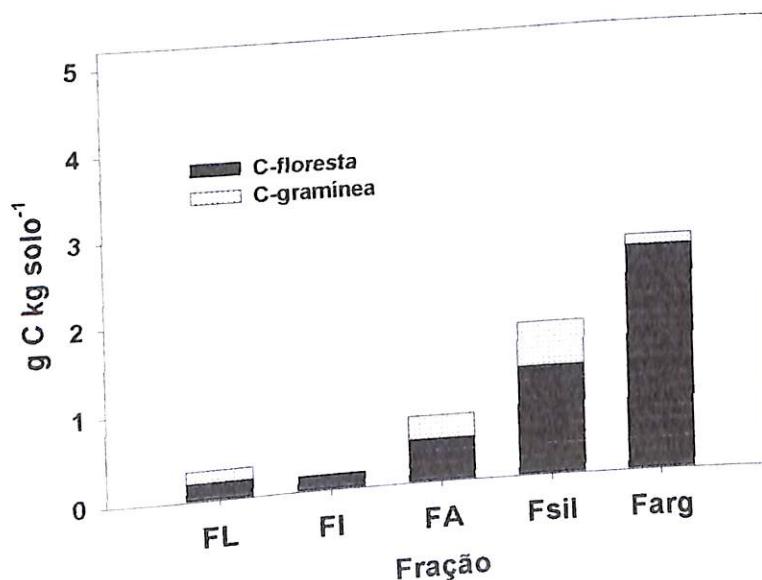


Figura 4.23- Proporção entre carbono derivado da floresta e carbono derivado da gramínea na pastagem em monocultura, na profundidade de 20 a 30 cm.

Tabela 4.5- Origem e estoque de carbono nas frações da matéria orgânica do solo sob pastagem em monocultura por 9 anos.

Origem	Prof.	FL	ep	FI	ep	FA	ep	Fsil	ep	Farg	ep
										Mg ha ⁻¹	cm
floresta braquiária	0 a 5	0,49	0,0	0,25	0,0	0,42	0,1	1,99	0,3	1,16	0,2
		0,39	0,0	0,03	0,1	0,50	0,2	1,09	0,1	0,44	0,1
floresta braquiária	5 a 10	0,51	0,1	0,25	0,0	0,17	0,0	2,29	0,4	1,43	0,1
		0,29	0,1	0,01	0,0	0,12	0,0	1,01	0,1	0,48	0,1
floresta braquiária	10 a 20	0,64	0,1	0,41	0,1	0,37	0,0	4,02	0,5	2,74	0,9
		0,50	0,1	0,00	0,0	0,21	0,1	1,09	0,2	0,38	0,2
floresta braquiária	20 a 30	0,31	0,1	0,28	0,1	0,22	0,5	2,16	0,1	4,18	0,5
		0,23	0,1	0,00	0,0	0,41	0,3	0,97	0,4	0,18	0,0

ep é o erro padrão da média de 3 repetições.

Na pastagem consorciada, assim como na pastagem em monocultura, foi observado um aumento na quantidade de C em relação à mata em todas as frações, sendo de maior magnitude nas frações pesadas silte e argila. Baseado na fórmula proposta por Cadisch e Giller (1996), a quantidade de C derivado da floresta nas frações obtidas na monocultura foram consideradas também no consórcio. Isto é, considerou-se que a quantidade de C derivado da floresta foi a mesma para os dois manejos. Com isso, pôde-se determinar a origem do C restante nas frações, entre a *Brachiaria* e o *Desmodium ovalifolium*.

A proporção de C derivado da floresta (100 % C₃), de uma maneira geral, foi maior que 50 % nas frações. A proporção de C da gramínea foi maior que a da leguminosa nas frações areia e silte, e menor na fração argila (Figuras 4.24, 4.25, 4.26 e 4.27).

Na fração leve livre, o C derivado da pastagem (C novo) foi maior na camada de 0-5 cm, e reduziu em profundidade até 20-30 cm, quando o C derivado da floresta era de 50 %, cerca de 0,2 g C kg solo⁻¹. As contribuições da gramínea e da leguminosa foram próximas, variando de 23 a 32 %, exceto na profundidade 0-5 cm, em que a leguminosa contribuiu com apenas 9 % do C encontrado na fração leve livre. As contribuições das pastagens atingiram valores de 0,6 g C kg solo⁻¹ nessa fração (Figuras 4.24, 4.25, 4.26 e 4.27).

A fração leve intra-agregado foi a que mais conservou o C antigo, mantendo após 9 anos da implantação da pastagem 90, 93 e 97 % de C derivado da floresta, nas camadas 5-10, 10-20 e 20-30 cm, respectivamente. A contribuição da gramínea chegou a apenas 9 % na camada 0-5 cm. O C derivado da leguminosa foi superior a da gramínea, de 20 % na camada superficial, e reduziu a somente 3 % na camada 20-30 cm (Figuras 4.24, 4.25, 4.26 e 4.27).

Na fração areia, o C derivado da floresta variou de 37 a 57 %, com valor máximo de 0,6 g C kg solo⁻¹ na camada de 0-5 cm. A proporção de C derivado da gramínea foi superior ao C da leguminosa, exceto na profundidade 10-20 cm, quando a leguminosa contribuiu com 34 %, chegando a 0,22 g C kg solo⁻¹. Essa fração, junto com a leve livre, foram as que mais receberam C derivado das pastagens, conservando menos o C original (Figuras 4.24, 4.25, 4.26 e 4.27).

Na fração silte, o C derivado da floresta variou de 57 a 72 %, equivalentes a 1,5 a 3,1 g C kg solo⁻¹. A proporção de C derivado da gramínea foi maior que o C derivado da leguminosa, chegando a contribuições de 0,6 a 2,0 g C kg solo⁻¹, sendo que a leguminosa contribuiu com no máximo 0,5 g C kg solo⁻¹ (Figuras 4.24, 4.25, 4.26 e 4.27).

Na fração argila, o C derivado da floresta na camada superficial (0-5 cm) foi de 54 %, e aumentou em profundidade. Na camada 20-30 cm, não foi observado C derivado das pastagens. A contribuição do C derivado da leguminosa foi maior que o C derivado da gramínea, variando entre 25 e 37 %, valores equivalentes de 0,2 e 0,8 g C kg solo⁻¹. O C derivado da gramínea foi mais alto na camada superficial de 0-5 cm, com 20 %, e reduziu em profundidade (Figuras 4.24, 4.25, 4.26 e 4.27).

Considerando os estoques de C das frações no solo, a contribuição da leguminosa atingiu a no máximo 0,4 Mg C ha⁻¹ na fração leve, 0,7 Mg C ha⁻¹ e chegou a 1,7 Mg C ha⁻¹ na fração silte na profundidade 10-20 cm. A leguminosa contribuiu com maiores quantidades de C que a gramínea nas frações leve intra-agregado e argila. O C derivado da gramínea chegou a no máximo 0,8 Mg C ha⁻¹, na fração silte, e a 0,4 Mg C ha⁻¹, na fração argila. O C derivado da floresta obteve as maiores estimativas nas frações silte e argila, correspondendo a valores entre 1,2 e 4,2 Mg C ha⁻¹. Nas frações leves e fração areia, a quantidade de C derivado das vegetações não ultrapassou a 1 Mg C ha⁻¹.

Já nas frações pesadas, foram encontrados os maiores estoques de C e as maiores contribuições em quantidade (Tabela 4.6).

Comparado com a monocultura, a contribuição da gramínea foi menor no consórcio, o que é um indicativo de que a gramínea e a leguminosa competem entre si, e ambas contribuíram para a matéria orgânica do solo.

Na prática, as proporções de C derivado da gramínea e da leguminosa, utilizando a equação proposta por Cadisch e Giller (1996), podem ter sido sub-estimadas, porque não leva em consideração a qualidade do material adicionado. A equação baseia-se que mantendo o mesmo manejo no mesmo período de tempo, a quantidade de C remanescente da floresta seria o mesmo independente da qualidade do material adicionado no solo. Mas a qualidade do material possui uma influência direta na dinâmica da matéria orgânica do solo.

A adição de leguminosas na pastagem pode aumentar a quantidade de N no sistema, podendo alterar a dinâmica do C do solo, favorecendo a decomposição do C mais antigo (originalmente da floresta). O aumento da disponibilidade de N pode favorecer a decomposição, inclusive do C mais antigo (“efeito priming”).

Após 9 anos da implantação das pastagens, a matéria orgânica do solo traduziu a mudança de vegetação sobre o solo, o que pôde ser observado pelos resultados obtidos no fracionamento físico, que foi uma ferramenta útil na identificação dos compartimentos de C. Nos solos sob cobertura de pastagens foi confirmado um aumento nos estoques de C, conforme citado por Tarré et al. (2001). Esse aumento na quantidade de C ocorreu em quase todas as frações, sendo mais acentuado nas frações silte e argila, apesar de, proporcionalmente, as maiores contribuições da nova vegetação terem sido observadas nas frações areia e leve livre. Esses resultados confirmam o potencial da utilização de pastagens no aumento do C do solo, conforme citado por outros autores (Tarré, 2000; Cadisch e Giller, 1996; Cerri et al., 1985; Neill et al, 1997) quando bem manejadas, embora o solo seja apenas um compartimento de todo o sistema, e não se levou em conta a biomassa da floresta que foi removida na introdução das pastagens, tanto em quantidade como também em diversidade. Mesmo assim, essa questão precisaria ser melhor debatida, já que 2/3 da área de pastagens do Brasil poderem ser enquadrados em algum grau de degradação, dada a inadequação do manejo (Macedo, 1995).

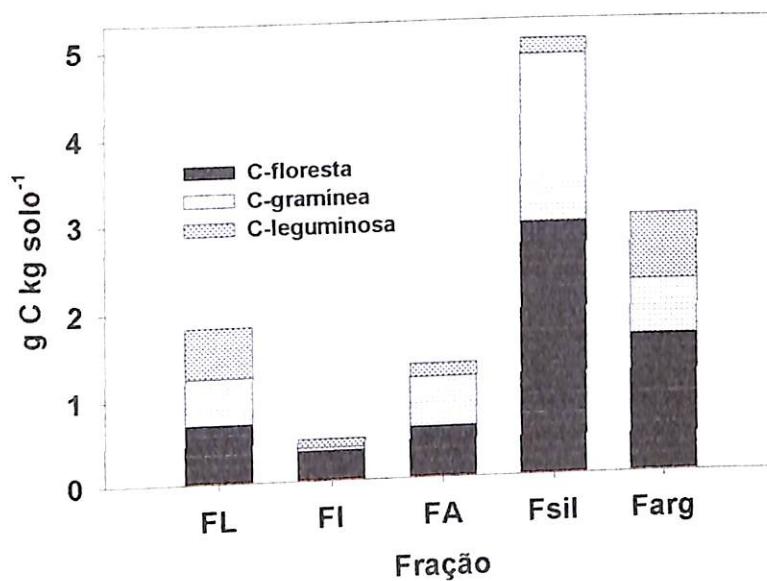


Figura 4.24- Proporção entre o carbono derivado da floresta, da gramínea e da leguminosa em pastagem consorciada, na profundidade de 0 a 5 cm, segundo a equação proposta por Cadisch e Giller (1996).

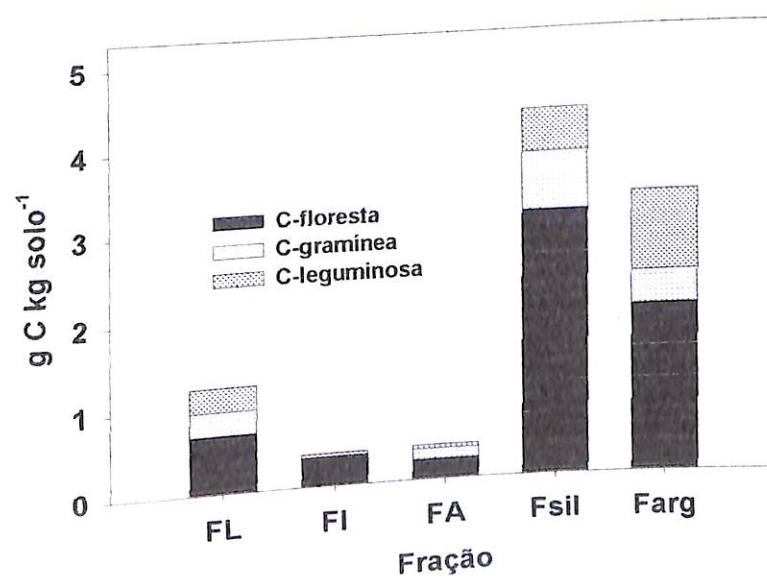


Figura 4.25- Proporção entre o carbono derivado da floresta, da gramínea e da leguminosa em pastagem consorciada, na profundidade de 5 a 10 cm, segundo a equação proposta por Cadisch e Giller (1996).

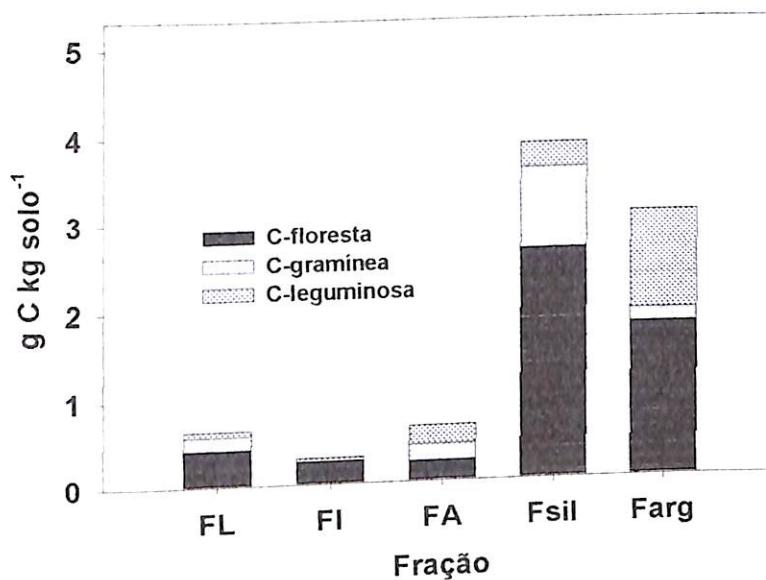


Figura 4.26- Proporção entre o carbono derivado da floresta, da gramínea e da leguminosa em pastagem consorciada, na profundidade de 10 a 20 cm, segundo a equação proposta por Cadisch e Giller (1996).

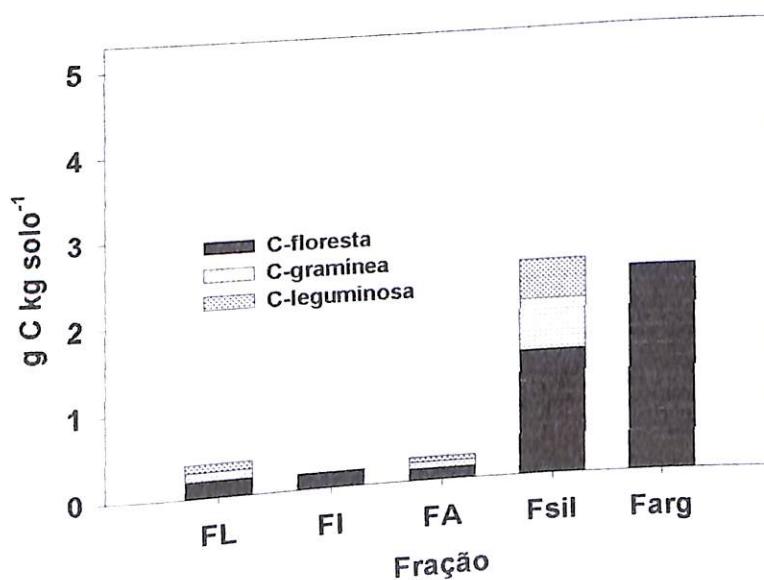


Figura 4.27- Proporção entre o carbono derivado da floresta, da gramínea e da leguminosa em pastagem consorciada, na profundidade de 20 a 30 cm, segundo a equação proposta por Cadisch e Giller (1996).

Tabela 4.6- Origem e estoque de carbono nas frações da matéria orgânica do solo sob pastagem consorciada, segundo a equação proposta por Cadisch e Giller (1996).

Origem	Prof.	ep	FI	ep	FA	ep	Fsil	ep	Farg	ep	
		cm	Mg ha ⁻¹								
0 a 5											
floresta		0,49	0,0	0,25	0,0	0,42	0,1	1,99	0,3	1,16	0,2
braquiária		0,38	0,0	0,03	0,0	0,40	0,1	0,76	0,1	0,44	0,1
leguminosa		0,41	0,0	0,07	0,0	0,11	0,1	0,12	0,1	0,53	0,5
5 a 10											
floresta		0,51	0,1	0,25	0,0	0,17	0,0	2,29	0,4	1,43	0,1
braquiária		0,21	0,0	0,00	0,0	0,09	0,0	0,62	0,1	0,29	0,0
leguminosa		0,21	0,1	0,03	0,1	0,04	0,0	0,38	0,3	0,69	0,4
10 a 20											
floresta		0,64	0,1	0,41	0,1	0,37	0,0	4,02	0,5	2,74	1,0
braquiária		0,24	0,1	0,00	0,0	0,29	0,1	0,65	0,1	0,24	0,1
leguminosa		0,09	0,1	0,06	0,0	0,34	0,0	0,44	0,7	1,72	0,8
20 a 30											
floresta		0,31	0,1	0,28	0,1	0,22	0,5	2,16	0,1	4,18	0,5
braquiária		0,16	0,0	0,00	0,0	0,13	0,0	0,25	0,1	0,10	0,0
leguminosa		0,15	0,1	0,01	0,0	0,08	0,0	0,71	0,3	0,00	0,0

ep é o erro padrão da média de 3 repetições.

4.5- Conclusões

- Após 9 anos da implantação das pastagens, foi observado um aumento da quantidade de C no solo em relação à mata adjacente, principalmente nas frações pesadas.
- Na fração silte foram encontrados os maiores estoques de C da matéria orgânica do solo, e também, as maiores quantidades de C derivado das pastagens.
- Nas frações associadas a areia e leve livre, foram observadas as maiores proporções de C novo, indicando uma maior contribuição de C derivado das gramíneas, enquanto as frações leve intra-agregado e argila conservaram mais o C derivado da floresta.
- O uso do $\delta^{13}\text{C}$ foi importante na identificação das diferentes origens do C nas frações da matéria orgânica do solo, servindo para a quantificação dos estoques de C derivado de cada vegetação.
- Há a necessidade de maiores investigações sobre a associação da matéria orgânica com as partículas de silte.

CAPÍTULO 3

FRACIONAMENTO FÍSICO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E
DINÂMICA DE CARBONO EM SOLOS SOB PLANTIO DE CAPIM
ELEFANTE (*Pennisetum purpureum*) E BRAQUIÁRIA (*Brachiaria brizantha*) 2 E
4 ANOS APÓS A REMOÇÃO DA FLORESTA SECUNDÁRIA.

PALAVRAS-CHAVE

Fração leve, ^{13}C , mata secundária, pastagem, graminea forrageira, C_3 , C_4 , nitrogênio, Mata Atlântica, sequestro de carbono.

5.1- Introdução

O maior compartimento de C no planeta, considerando-se até a profundidade de 27km, mostra que a grande proporção de C está retido como carbonato no fundo do oceano, e que este carbono não está acessível ainda, não participando da ciclagem de C na superfície. Dentre os compartimentos superficiais, o C da matéria orgânica do solo compreende a maior fração, superando assim o C na atmosfera e da biomassa (Bolin, 1985). Tem-se observado a redução do C do solo com a implantação de sistemas agropecuários em locais onde originalmente era floresta. Isto é, o C está sendo deslocado do solo para a atmosfera. Com estes estudos, pode-se observar que a ação do homem, principalmente quanto as práticas de manejo, pode alterar a proporção de C nesses compartimentos. Práticas de manejo inadequadas podem levar a um declínio da matéria orgânica do solo e consequentemente, aumento da emissão de CO₂ para a atmosfera.

Com a conversão de florestas em sistemas agrícolas, de uma maneira geral, é observada a redução de C orgânico do solo, que nas condições tropicais, pode alterar consideravelmente a fertilidade dos solos. Essa redução do carbono orgânico é devido principalmente, a três fatores: erosão do solo, alta mineralização e oxidação da matéria orgânica existente e a menor entrada de biomassa vegetal no processo de decomposição (Fernandes et al., 1997). Esses fatores atuam ao mesmo tempo, sendo que um fator, em determinadas condições, pode ter maior magnitude que outro.

A erosão do solo ocorre com maior intensidade em áreas mais declivosas, podendo ser classificada como erosão laminar, em sulcos ou voçorocas, quando já é de maior dificuldade a sua recuperação, tanto pelo aspecto técnico quanto econômico. Na erosão, ocorre perda de material na camada superficial do solo, que geralmente é a região de maior fertilidade no perfil. Os maiores teores de C estão próximos à superfície. Outro fator de redução do C no solo é o aumento da taxa de mineralização e oxidação da matéria orgânica do solo, o qual é devido principalmente ao revolvimento do solo e à adubação, que podem favorecer uma maior atividade de microorganismos, decompondo a matéria orgânica existente no solo. O último fator é em relação a entrada de material vegetal depositado no solo. Nos sistemas naturais, há um equilíbrio entre a produção de liteira, liberação de nutrientes dessa liteira e utilização desses nutrientes pela cobertura vegetal, processos esses que ocorrem em sincronia. Com a transformação desses sistemas naturais em agroecossistemas, esse equilíbrio existente é alterado, havendo uma maior remoção de biomassa vegetal e nutrientes pelas culturas, provocando uma maior necessidade de reposição dos nutrientes exportados.

Em relação à conversão de vegetação nativa em pastagens, os dados encontrados na literatura ainda são contraditórios, sendo necessário um estudo mais amplo sobre a dinâmica de carbono nestes solos. Mas já existem trabalhos em que a pastagem foi importante para a manutenção do carbono orgânico a longo prazo (Cadisch et al., 1998; Tarré, 2000; Tarré et al., 2001; Cadisch e Giller, 1996; Cerri et al., 1985; Neill et al., 1997). Comparado com os sistemas agrícolas, as pastagens tropicais apresentam potencial para aumentar a quantidade de C do solo, por três razões principais. Primeiro, as gramíneas C₄ são mais adaptadas ao clima na região do estudo, apresentando uma alta produtividade primária (produção de biomassa), de parte aérea e raízes. Segundo, apresentam um baixo índice de colheita, deixando maiores quantidades de resíduos sobre o solo. E por último, esses resíduos têm como característica uma alta relação C:N, sendo considerados materiais de decomposição mais lenta.

A substituição da vegetação natural de uma área por uma nova vegetação acarreta mudanças em toda a dinâmica de C do solo sob a vegetação. Diversos fatores

são responsáveis pelo controle dos processos na dinâmica de carbono: clima, solo, planta e manejo, e esses fatores não atuam separadamente. Destes fatores, o manejo pode ser mais diretamente trabalhado pelo homem, que pode inclusive alterar a quantidade e qualidade da espécie vegetal conforme suas necessidades. A qualidade da planta, que pode ser caracterizada pela sua composição química, pode afetar a taxa de decomposição do material, influindo na formação da matéria orgânica do solo. A qualidade da planta afeta a dinâmica da matéria orgânica do solo diretamente via regulação dos processos de decomposição (Cadisch et al., 1998).

A técnica da abundância natural do ^{13}C tem sido amplamente utilizada nas últimas duas décadas (Cerri et al., 1985; Balesdent, 1987; Feigl et al., 1995; Alves et al., 1999), e atualmente, tem sido bastante difundida, principalmente com o advento de espectrômetros de massa automatizados.

Experimentos em cronosequência permitem avaliar com precisão o efeito do manejo do solo no tempo. Uma das principais limitações dos estudos é a variabilidade espacial dos parâmetros de entrada, que é considerada a maior fonte de erro nos cálculos. Essa fonte de erro pode ser minimizada quando as amostras são coletadas sistematicamente nos mesmos locais (Roscoe, 2001; Veldcamp e Weitz, 1994). Segundo Roscoe (2001), a variabilidade das referências de entrada foi a principal fonte de erro nos cálculos das estimativas.

Neste estudo, conduzido no CEPLAC-ESSUL, em Itabela (BA), foram coletadas amostras de solo onde originalmente possuíam cobertura de mata secundária, no ano de 1995. Foi instalado um experimento com pastagens de gramíneas C₄. Após 2 e 4 anos da implantação dessas pastagens (1997 e 1999), foram feitas coletas de solo nas mesmas parcelas, podendo ser feito um acompanhamento preciso da dinâmica de C, que foi possível com a utilização de ^{13}C , já que o solo sob mata e a nova vegetação possuem composição isotópica diferentes. Aliado com a análise de solo, foi realizado o fracionamento físico da matéria orgânica do solo (Sohi et al., 2001).

5.2- Objetivos

- Determinar a origem do carbono (C₃ ou C₄) nos perfis de solo até 1m de profundidade, e nas frações da matéria orgânica do solo até 20 cm de profundidade, através da técnica da abundância natural de ^{13}C .
- Quantificar diferentes compartimentos da matéria orgânica do solo através do fracionamento físico por densidade e granulometria.

5.3- Material e Métodos

O local do estudo também se situou na Estação de Zootecnia do Extremo Sul da Bahia (ESSUL/CEPLAC-CEPEC), localizada no município de Itabela (BA), citado no capítulo anterior. Em uma área de aproximadamente 8 hectares, até 1995, continha uma mata secundária, da qual foram retiradas somente as madeiras de lei, que posteriormente fora adquirida pela Estação Experimental. Nessa área, a cobertura florestal foi removida, e depois arada e gradeada, e fez-se a implantação de um experimento com as gramíneas C₄ braquiária e capim elefante.

Os tratamentos consistiram de plantios em monocultura de *Pennisetum purpureum* c.v. Cameroon e *Brachiaria brizantha* c.v. Marandu, com cada parcela instalada em uma área de 720 m², com 4 repetições. Na implantação das pastagens, aplicaram-se 1000 kg ha⁻¹ de calcário e 80 kg de P₂O₅ ha⁻¹. A adubação de manutenção foi realizada nas quantidades equivalentes a 160 kg N ha⁻¹, 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ e 160 kg K₂O ha⁻¹, parcelados em 4 aplicações. Foram coletadas amostras de solo antes da implantação da pastagem (solo sob mata secundária) e após 2 e 4 anos com a cobertura das pastagens, nas 4 repetições de cada tratamento. As amostras foram coletadas por tradagem, em cada parcela, nas profundidades: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-80 e 80-100 cm. As amostras de solo foram secas ao ar, e depois, passadas em peneira de 2 mm, sendo posteriormente guardadas em sacos plástico. Essas amostras foram analisadas para fertilidade (Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3).

Tabela 5.1- Análise de solo sob cobertura original da mata secundária (1995).

Mata	Profundidade cm	pH	P mg kg ⁻¹	K mg kg ⁻¹	Al cmol _c dm ⁻³		Ca	Mg
					0,0	5,6		
	0-10	5,8	12	89	0,0	6,0	0,8	
	10-20	6,3	2	66	0,0	4,5	0,4	
	20-30	6,2	0	39	0,0	5,0	0,5	
	30-40	5,6	0	28	0,0	4,0	0,5	
	40-50	5,1	0	12	0,0	2,9	0,8	
	50-60	5,4	0	06	0,0	3,0	0,9	
	60-80	4,8	0	04	0,0	1,8	0,4	
	80-100	3,9	0	03	0,0			

*média de 2 repetições

Tabela 5.2- Análise de solo sob plantio de *Pennisetum purpureum* e *Brachiaria brizantha* em monocultura, após 2 anos da remoção da floresta secundária.

	Profundidade cm	pH	P mg kg ⁻¹	K mg kg ⁻¹	Al cmol dm ⁻³	Ca + Mg cmol dm ⁻³
Capim elefante	0-5	4,6	8	66	0,2	4,0
	5-10	4,4	4	57	0,3	3,0
	10-20	3,9	2	45	0,6	1,9
	20-30	4,0	1	42	0,8	1,0
	30-40	3,7	0	41	1,2	0,7
	40-50	3,7	0	43	1,3	0,6
	50-60	3,7	0	33	1,3	0,5
	60-80	3,6	0	26	1,3	0,5
	80-100	3,5	0	25	1,4	0,4
Braquiária	0-5	5,1	13	295	0,0	4,0
	5-10	4,5	4	195	0,3	3,2
	10-20	4,3	2	160	0,5	2,2
	20-30	3,6	1	73	1,0	0,9
	30-40	3,5	0	34	1,5	0,7
	40-50	3,5	0	21	1,6	0,6
	50-60	3,5	0	16	1,5	0,6
	60-80	3,5	0	10	1,5	0,5
	80-100	3,5	0	09	1,5	0,5

Tabela 5.3- Análise de solo sob plantio de *Pennisetum purpureum* e *Brachiaria brizantha* em monocultura, após 4 anos da remoção da floresta secundária.

	Profundidade cm	pH	P mg kg ⁻¹	K mg kg ⁻¹	Al cmol dm ⁻³	Ca + Mg cmol dm ⁻³
Capim elefante	0-5	4,9	13	180	0,1	4,9
	5-10	4,7	5	92	0,2	3,8
	10-20	4,2	2	60	0,5	2,4
	20-30	3,9	1	38	0,6	1,6
	30-40	3,8	0	18	0,9	1,2
	40-50	3,7	0	12	1,0	1,0
	50-60	3,6	0	09	1,1	0,9
	60-80	3,6	0	06	1,1	0,8
	80-100	3,5	0	05	1,2	0,6
Braquiária	0-5	5,2	82	186	0,0	6,2
	5-10	5,0	8	81	0,0	4,0
	10-20	5,4	8	120	0,0	4,9
	20-30	4,8	2	78	0,1	2,7
	30-40	4,9	1	132	0,1	2,6
	40-50	5,0	1	162	0,2	2,4
	50-60	4,6	0	168	0,2	2,0
	60-80	3,9	0	114	0,8	1,0
	80-100	3,7	0	67	1,0	0,9

Tabela 5.4- Análise granulométrica do solo sob plantio de *Pennisetum purpureum* e *Brachiaria brizantha* em monocultura, após 2 e 4 anos da remoção da floresta secundária (média de 2 repetições).

Cobertura	Profundidade cm	Areia	Silte g kg ⁻¹	Argila
2 anos Capim elefante	0-5	754	86	160
	5-10	758	102	140
	10-20	744	76	180
	20-30	662	98	240
2 anos Braquiária	0-5	812	88	100
	5-10	800	80	120
	10-20	742	98	160
	20-30	636	104	260
4 anos Capim elefante	0-5	768	92	140
	5-10	784	76	140
	10-20	746	94	160
	20-30	654	106	240
4 anos Braquiária	0-5	768	92	140
	5-10	778	82	140
	10-20	748	112	140
	20-30	640	100	260

As amostras de solo foram analisadas para teores de C, N e ¹³C, em espectrômetro de massa (Finnigan DeltaPlus) acoplado a um analisador automático de C e N total, no laboratório de nitrogênio na Embrapa Agrobiologia, após serem moídas e finamente em moinho de rolagem, onde apresentavam o aspecto de “talco” (Smith & Myung, 1990). Assim, foram avaliados os efeitos da implantação das pastagens no solo em profundidade, nos teores de C, N, relação C:N e $\delta^{13}\text{C}$.

Baseado nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ encontrados nos solos sob pastagens e sob mata em cada camada, calculou-se a proporção de C₃ e C₄ no solo, de acordo com a fórmula abaixo, proposta por Balesdent et al. (1987).

$$\text{Equação 5.1} \\ \% \text{C-C}_4 = 100 \times (\delta_M - \delta_A) / (\delta_{\text{B lитеira}} - \delta_A)$$

Considerando-se que:

%C-C₄ foi a contribuição em porcentagem de carbono de planta C₄.

δ_M foi o valor de $\delta^{13}\text{C}$ do solo sob pastagem.

δ_A foi o valor de $\delta^{13}\text{C}$ do solo sob mata (100 % C₃).

$\delta_{\text{B lитеira}}$ foi o valor de $\delta^{13}\text{C}$ da lитеira da gramínea.

Assim, o C derivado da gramínea (C-C₄) foi determinado pela equação:

$$\text{C-C}_4 = \text{C}_{\text{ solo}} \times \% \text{C-C}_4 / 100$$

Considerando-se que:

C _{solo} é o valor de C total do solo na camada estudada.

O C derivado da floresta ($C-C_3$) no solo foi determinado por diferença, já que o C do solo possui somente 2 fontes (floresta e gramínea):

$$C-C_3 = C_{\text{solo}} - C-C_4$$

Para o cálculo das contribuições, foram adotados os seguintes valores: -10,66 ‰, para a liteira de *Brachiaria brizantha* e -12,00 ‰, para a liteira de *Pennisetum purpureum*.

As amostras de solo nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm de cada tratamento, com as 4 repetições do experimento, foram fracionadas no laboratório de análise de solo e planta (LASP), na Embrapa Solos, segundo a metodologia proposta por Sohi et al. (2001) e Machado (2002) de fracionamento densimétrico e granulométrico, pelo método da alíquota, citado no capítulo 1.

Destes solos fracionados, foram obtidas cinco frações da matéria orgânica: fração leve livre (FL), fração leve intra-agregado (FI), fração areia (FA), fração silt (Fsil) e fração argila (Farg). Essas frações foram secas em estufa a 55°C, pesadas, moídas finamente em moinho de rolagem. As amostras das camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm foram analisadas para ^{13}C , % C e % N em espectrômetro de massa (Finnigan DeltaPlus) acoplado a um analisador automático de C e N total, no laboratório de nitrogênio na Embrapa Agrobiologia.

Foram calculados os teores de C, N e ^{13}C para cada fração e correlacionados com os resultados do solo total. Assim, foram determinados os teores de fração leve no solo, a relação C:N das frações, a quantidade de C e N nas frações por unidade de solo, a quantidade de C nas frações de diferentes origens (C_3 ou C_4).

O Cálculo da proporção de plantas C_3 e C_4 nas frações foi realizado de acordo com a equação 5.1.

Considerando-se que:

% $C-C_4$ foi a contribuição em porcentagem de carbono de planta C_4 .

δ_M foi o valor de $\delta^{13}\text{C}$ da fração estudada.

δ_A foi o valor de $\delta^{13}\text{C}$ da fração original, sob mata (100 % C_3).

δ_{Biteira} foi o valor de $\delta^{13}\text{C}$ da liteira da gramínea.

O C derivado da gramínea ($C-C_4$) foi determinado pela fórmula:

$$C-C_4 = C_t \times \%C-C_4$$

Considerando-se que:

C_t é o valor de C total na fração estudada.

O C derivado da floresta ($C-C_3$) foi determinado pela equação abaixo, já que o C do solo possui somente 2 fontes (floresta e gramínea):

$$C-C_3 = C_f - C-C_4$$

Com as proporções obtidas, foi possível estimar a contribuição das diferentes fontes de C (floresta ou gramínea) no solo até 1 m de profundidade, e também nas frações, quantificando o C derivado nas frações até 20 cm de profundidade.

5.4- Resultados e discussão

5.4.1- Teores de C e N no solo

De uma maneira geral, os teores de C foram mais altos na camada superficial do solo (0-5 cm), e reduziram em profundidade até 1m. No solo sob mata, coletado antes da remoção da cobertura florestal, os teores de C variaram de 11,3 g C kg⁻¹ de solo na camada 0-5 cm, até valores equivalentes a 5,3 g C kg⁻¹ de solo, na camada 80-100 cm. Após 2 anos de pastagens, os teores de C foram ainda próximos aos valores encontrados sob à mata. Na camada de 20-30 cm, os teores de C das pastagens após 2 anos foram menores que no solo sob mata, fato que aconteceu também na camada de 60-80 cm. Após 4 anos de cobertura das pastagens foi observado um aumento significativo nos conteúdos de C no solo nas camadas superficiais (0-5 e 5-10 cm), variando entre 17,2 e 28,1 g C kg⁻¹ de solo. Da camada de 10-20 cm até 60-80 cm de profundidade, os teores de C do solo sob pastagens foram bastante próximos daqueles encontrados sob mata. Na camada de 80-100 cm, os teores encontrados foram reduzidos em comparação à mata (Figura 5.1). Foi observada diferença estatística entre época da coleta e entre profundidade, e também houve interação entre espécie e profundidade (Apêndice B).

Os teores de N do solo acompanharam os teores de C, apresentando assim um comportamento semelhante. Na mata, a quantidade de N encontrada foi de 0,9 g N kg⁻¹ de solo na camada de 0-5 cm, reduzindo em profundidade até chegar a 0,4 g N kg⁻¹ de solo na camada 80-100 cm. Abaixo de 60 cm, os teores de N na mata foram menores que os valores encontrados nas pastagens. Assim como o encontrado para os teores de C, após 4 anos de pastagens também foi observado um aumento nos teores de N do solo, nas camadas superficiais de 0-5 e 5-10 cm, onde foram encontrados valores variando de 1,3 a 2,0 g N kg⁻¹ de solo. Nas pastagens após 4 anos da implantação, de uma maneira geral, os teores de N foram próximos aqueles encontrados na mata (Figura 5.2).

A relação C:N dos solos estudados variou de 11 até 21. No solo sob mata, a relação C:N variou de 12,6 a 15,8, valor observado na profundidade de 60-80 cm. Da superfície até a profundidade de 30 cm, a relação C:N nos solos variava de 12,5 a 14,8. Nas pastagens após 4 anos, a relação C:N do solo foi próxima aos valores encontrados sob mata até de 30 cm. Abaixo de 40 cm para o solo sob capim elefante, e nas camadas de 30-40 cm e abaixo de 80 cm de profundidade, na braquiária, a relação C:N foi maior quando comparado à mata (Figura 5.3). Não houve diferença estatística para a relação C:N (Apêndice B).

Esse aumento da relação C:N em solos sob pastagem pode ser devido principalmente à contribuição das raízes em profundidade, também já observado por Tarré et al. (2001). Esse aumento na quantidade de C em profundidade pode ser importante para o aumento da quantidade de C do solo, já que esse material tem uma mineralização mais lenta em comparação ao carbono mais próximo da superfície.

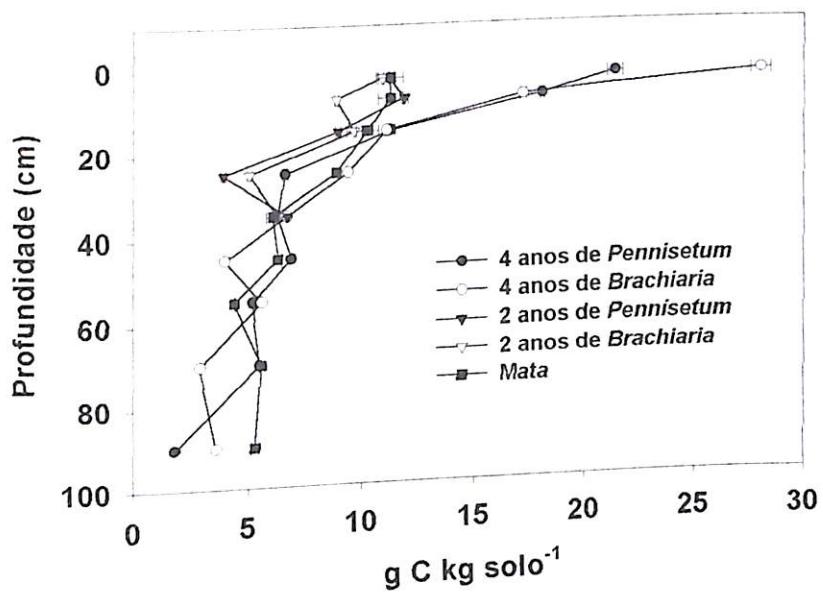


Figura 5.1- Teores de C no solo sob pastagem de braquiária e capim elefante, 2 e 4 anos após a remoção da cobertura de mata secundária. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

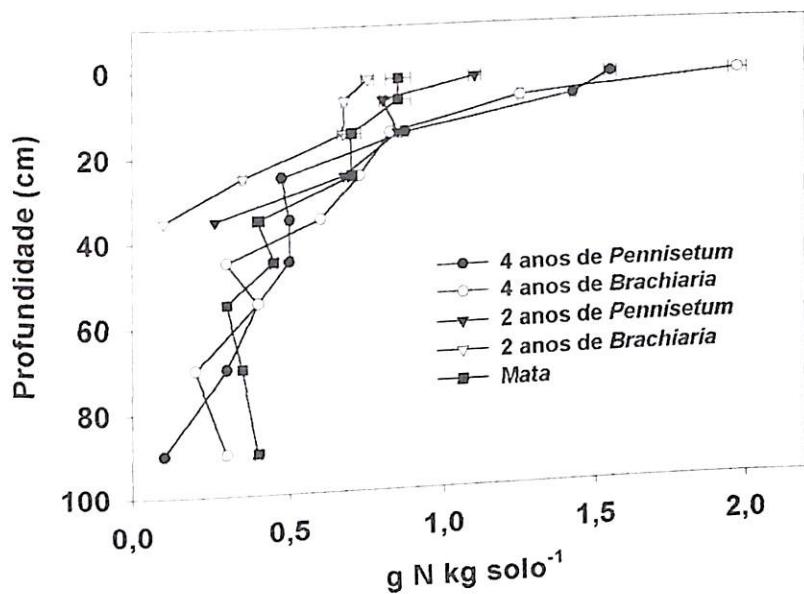


Figura 5.2- Teores de N no solo sob pastagem de braquiária e capim elefante, 2 e 4 anos após a remoção da cobertura de mata secundária. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

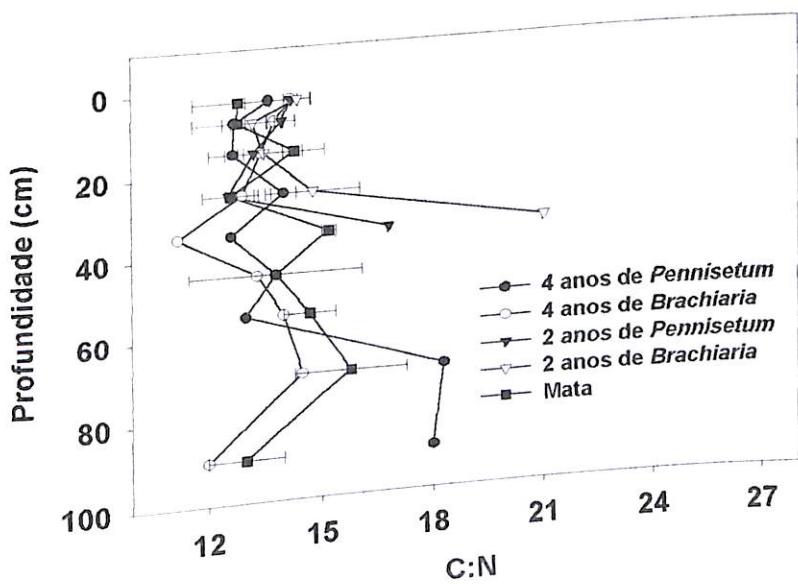


Figura 5.3- Relação C:N solo sob pastagem de braquiária e capim elefante, 2 e 4 anos após a remoção da cobertura de mata secundária. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

5.4.2- Composição isotópica do solo

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ do solo apresentaram um comportamento de acordo com a vegetação mantida sobre o solo. No solo sob mata, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ mostraram-se típicos de solos sob plantas C_3 (Figura 5.4), como aqueles encontrados sob florestas, conforme citado por vários autores (Balesdent et al., 1987; Roscoe et al., 2001). Na camada 0-10 cm, o valor encontrado foi de $-27,31\text{‰}$, e variou em profundidade, até chegar ao valor de $-25,20\text{‰}$ na profundidade de 80-100 cm. Os valores encontrados de $\delta^{13}\text{C}$ do solo sob mata foram semelhantes aos valores encontrados por Tarré et al. (2001), indicando que as amostras de solo coletadas pertencem ao mesmo sítio. Esses resultados indicam que a mata secundária realmente era composta exclusivamente de espécies C_3 .

Nos solos sob pastagens após 2 anos da remoção da cobertura vegetal, somente na profundidade superficial até 30 cm foi observada contribuição das gramíneas no C do solo, principalmente na camada de 0-5 cm, chegando a valores de $\delta^{13}\text{C}$ iguais a $-23,46\text{‰}$ e $-25,46\text{‰}$, no capim elefante e na braquiária, respectivamente. Esses valores indicaram também que o capim elefante contribuiu mais para o C do solo do que a braquiária, após 2 anos de manejo das pastagens sobre o solo. Na camada 30-40 cm, a composição isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ do solo sob braquiária tornou-se mais negativo que o solo sob mata. Isto é, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ do solo apresentaram um sinal mais característico de C_3 (Figura 5.4). Esse fato também foi observado por Veldkamp (1993). Mas esse comportamento foi contrário do esperado, pela introdução de uma espécie com sinal mais positivo em relação ao $\delta^{13}\text{C}$ do solo sob mata. Uma possível explicação para este fato, também afirmado por Veldkamp (1993), seria que no preparo do solo pode ter estimulado a mineralização de componentes da matéria orgânica e principalmente de raízes ainda pertencentes à mata, aumentando a quantidade de C com sinal característico de C_3 (Figura 5.4).

Já nos solos após 4 anos de pastagem sob solo original de mata, foram observadas contribuições de C derivado das gramíneas, principalmente nas camadas superficiais. Considerando o perfil, na camada superficial de 0-5 cm dos solos sob pastagens, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ chegaram a $-21,43\text{‰}$ e $-21,87\text{‰}$ no capim elefante e na braquiária, respectivamente. Em profundidade, o sinal de $\delta^{13}\text{C}$ foi aumentando até se aproximar, na camada de 40-50 cm, ao sinal do solo sob mata. Na camada de 80-100 cm, o solo sob capim elefante apresentava sinal mais positivo ($-24,82\text{‰}$) que o solo sob mata, indicando que até nessa profundidade ainda havia contribuição de C derivado da gramínea. Já o solo sob braquiária, abaixo de 80 cm o sinal era característico de C_3 , isto é, sem contribuição de C novo (Figura 5.4). Com esses valores de $\delta^{13}\text{C}$ encontrados nos solos sob mata e pastagens, foram calculadas as contribuições de C derivado das gramíneas. Foi observada diferença significativa em relação a época da coleta, a espécie de gramínea e em profundidade, considerando a camada de 0 a 30 cm (Apêndice B).

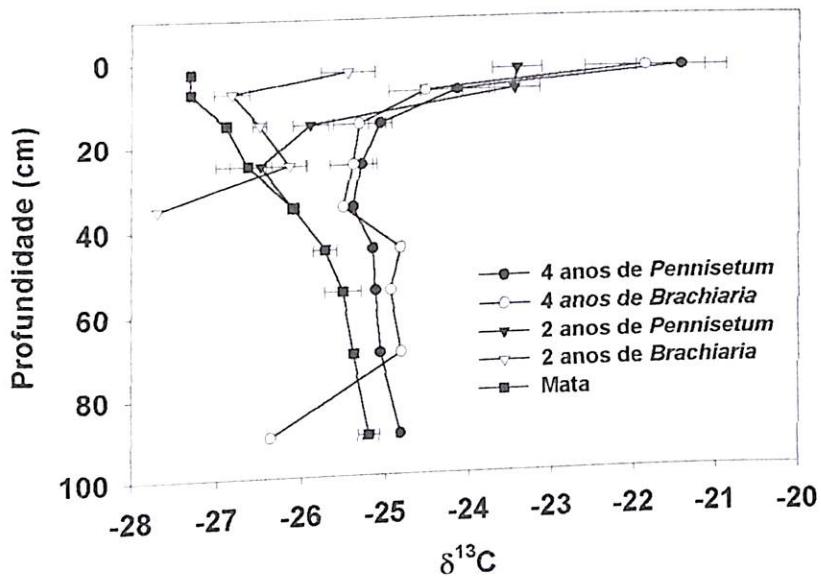


Figura 5.4- Valores de $\delta^{13}\text{C}$ do solo sob pastagem de braquiária e capim elefante 2 e 4 anos após a remoção da cobertura de mata secundária. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

5.4.3- Origem do carbono do solo

As proporções de C derivado das gramíneas foram altas na camada superficial e reduziram com a profundidade. Nos solos após 2 anos de pastagens, aproximadamente 11 % e 25 % do C do solo na camada 0-5 cm foram derivados do C da braquiária e do capim elefante, respectivamente. Foram observadas contribuições de C novo até a profundidade de 30 cm (Figura 5.5). Já nas pastagens após 4 anos da implantação, foram observadas contribuições até 1 m de profundidade no capim elefante, enquanto o C derivado da braquiária chegou a até 80 cm de profundidade. As contribuições foram altas na camada superficial, chegando a valores de 38,4 % e 32,7 %, na camada de 0-5 cm, do C total encontrado no solo, no capim elefante e na braquiária, respectivamente. No solo sob capim elefante, a proporção de C novo (C-C₄) reduziu a 12 % na camada 10-20 cm, depois a 5 % na camada 30-40 cm, chegando a 3 % na camada 80-100 cm. Já no solo sob braquiária, o C novo chegou a 10 % na camada 10-20 cm, e depois caiu para 4 % na camada 60-80 cm (Figura 5.5). Estes resultados mostraram que o capim elefante apresentou uma contribuição maior para o C do solo em relação à braquiária, devido provavelmente, ao seu maior potencial de produção de matéria seca, e com isso, maior quantidade de matéria orgânica bruta adicionada no solo. Houve diferença estatística em relação à época de coleta, espécie da cobertura e em profundidade, e também foi observada interação entre espécie e a profundidade (Apêndice B).

No solo sob pastagem de braquiária após 2 anos da implantação, a quantidade de C derivado da gramínea chegou a no máximo de 1,1 g C kg solo⁻¹, na camada de 0-5 cm. O C derivado da mata foi equivalente a 9,8 g C kg solo⁻¹, nessa camada. Na camada 30-40 cm de profundidade, 100 % do C era ainda derivado da floresta (Figura 5.6). Já

após 4 anos sob pastagem de braquiária, os teores de C do solo aumentaram, principalmente nas camadas superficiais. A contribuição de C derivado da gramínea chegou a 9,6 e 3,0 g C kg solo⁻¹, nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm, respectivamente. Abaixo da camada de 20-30 cm, só foram observadas contribuições menores que 1 g C kg solo⁻¹, chegando a somente 0,12 g C kg solo⁻¹ na camada 60-80 cm (Figura 5.7). Um fato importante a ser considerado foi que o C derivado da floresta aumentou, de 9,8 g C kg solo⁻¹ após 2 anos de pastagem de braquiária, para 18,4 g C kg solo⁻¹, em 4 anos de pastagem, na camada 0-5 cm. Uma possibilidade seria que esse aumento de C no solo fosse devido ao C derivado da liteira e/ou raízes no solo antes da remoção da floresta e que foi incorporado ao solo no processo de implantação da pastagem. O período de ciclagem do C da liteira pode chegar a 3 anos (Batjes, 1999).

No solo sob pastagem de capim elefante, pôde-se observar um comportamento semelhante ao encontrado no solo sob braquiária. Após 2 anos da implantação da pastagem, a contribuição de C derivado do capim elefante chegou a 2,9 e 1,1 g C kg solo⁻¹, nas camadas 0-5 e 5-10 cm, respectivamente. Nas camadas abaixo de 10 cm até 30 cm, o C derivado foi de no máximo 0,2 g C kg solo⁻¹. Na camada 30-40 cm, não foi observada contribuição de C da gramínea (Figura 5.8). Já no solo sob pastagem após 4 anos, o C derivado do capim elefante foi mais significativo, principalmente nas camadas superficiais (0-10 cm), chegando a 8,3 e 3,6 g C kg solo⁻¹, nas camadas 0-5 e 5-10 cm, respectivamente. Em profundidade, o C derivado reduziu, até chegar a valores de 0,6 e 0,3 g C kg solo⁻¹, nas camadas 20-30 e 30-40 cm, respectivamente. Abaixo de 80 cm as contribuições foram menores que 0,1 g C kg solo⁻¹ (Figura 5.9).

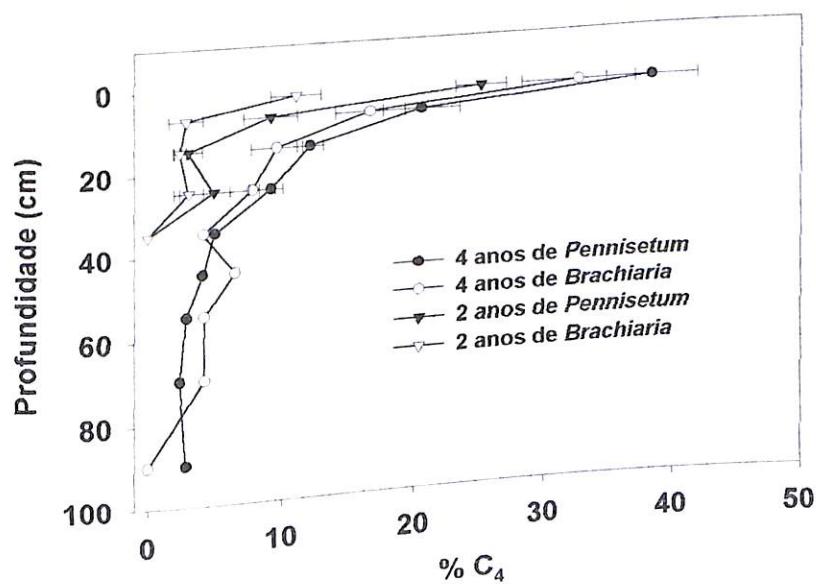


Figura 5.5- Proporção de C derivado da gramínea sob pastagem de braquiária e capim elefante 2 e 4 anos após a remoção da cobertura de mata secundária. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

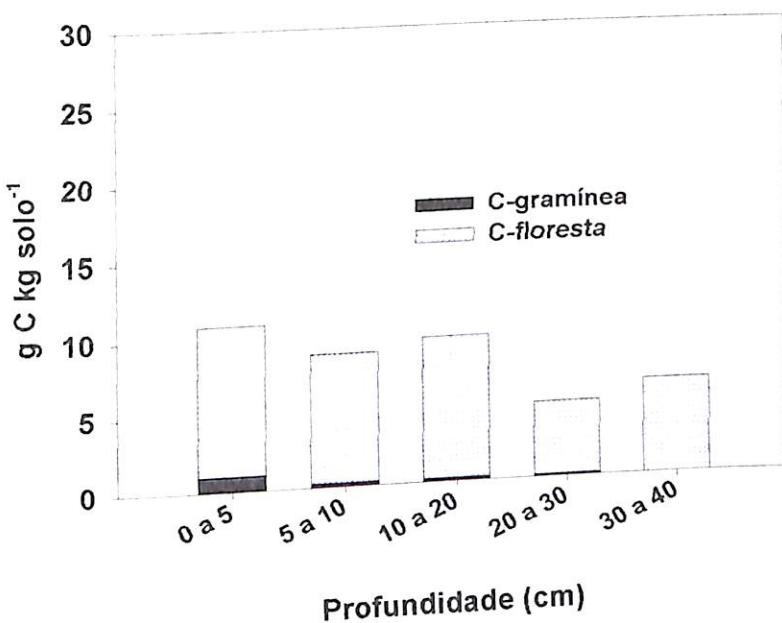


Figura 5.6- Origem do C do solo sob pastagem de *Brachiaria brizantha* após 2 anos a remoção da cobertura de floresta.

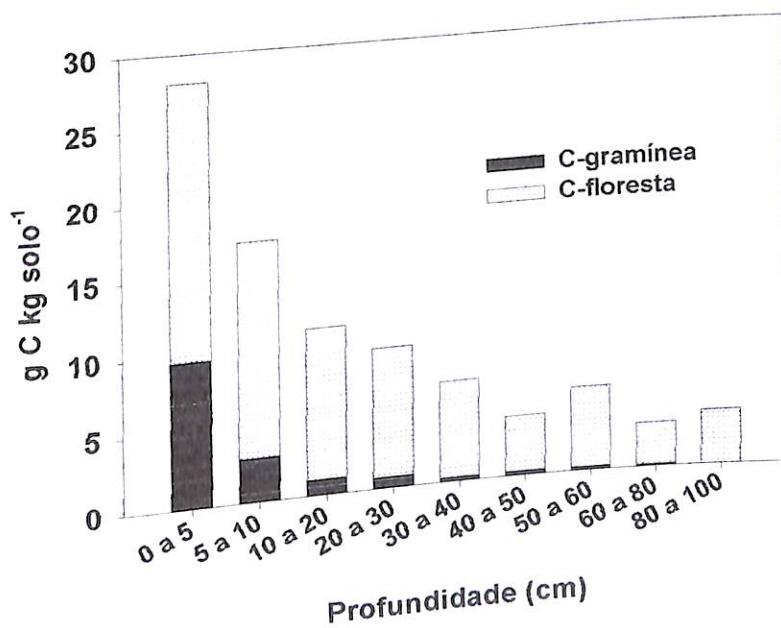


Figura 5.7- Origem do C do solo sob pastagem de *Brachiaria brizantha* após 4 anos a remoção da cobertura de floresta.

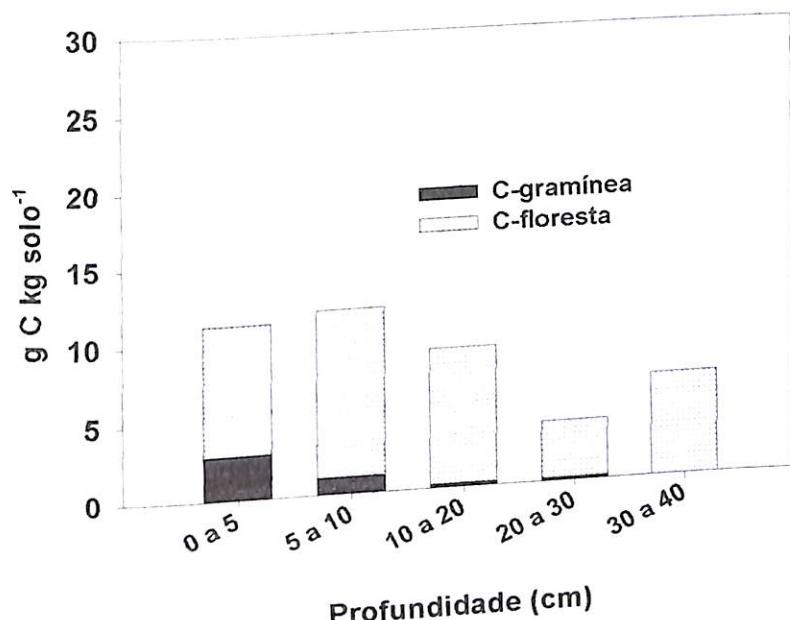


Figura 5.8- Origem do C do solo sob pastagem de *Pennisetum purpureum* após 2 anos a remoção da cobertura de floresta.

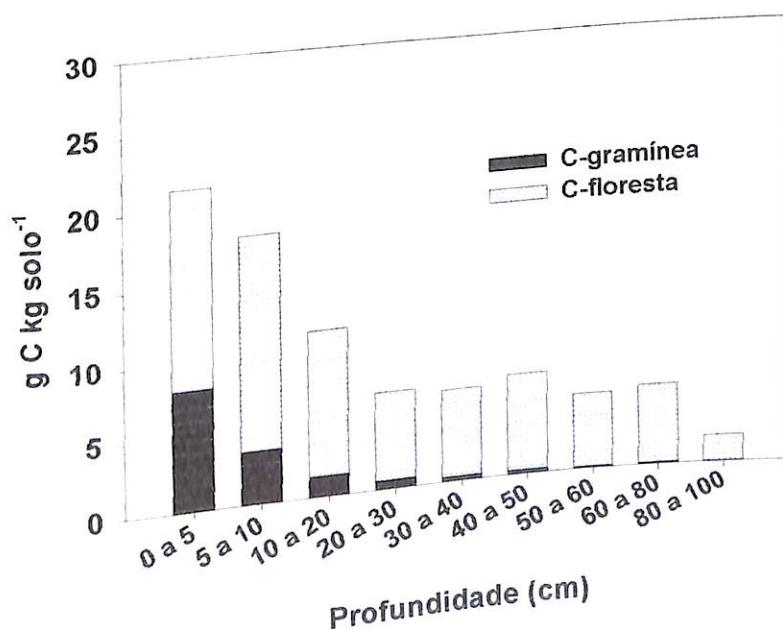


Figura 5.9- Origem do C do solo sob pastagem de *Pennisetum purpureum* após 4 anos a remoção da cobertura de floresta.

5.4.4- Teores de fração leve no solo

No solo sob mata, os teores da fração leve foram maiores na camada superficial e reduziram em profundidade, até 30 cm. A quantidade de fração leve livre foi superior ao encontrado para a fração leve intra-agregado. Na fração leve livre, a quantidade de fração chegou a $6,2 \text{ g kg solo}^{-1}$, na camada superficial (0-5 cm), e para a fração leve intra-agregado, o valor máximo encontrado foi de $2,5 \text{ g kg solo}^{-1}$, na camada 10-20 cm (Figura 5.10). Após 2 anos da introdução das pastagens, a quantidade de fração leve aumentou no solo, principalmente na camada superficial de 0-10 cm, sendo mais significativo na fração leve livre. De uma maneira geral, as frações leves nos solos sob pastagens tiveram um comportamento semelhante, embora, na camada 5-10 cm, a fração leve do solo sob capim elefante tenha sido superior em relação ao solo sob braquiária, tanto para a fração leve livre quanto para a leve intra-agregado. A quantidade de fração leve livre chegou a $11,2 \text{ g kg solo}^{-1}$, na camada 0-5 cm, sob a braquiária, e a $10,5 \text{ g kg solo}^{-1}$, sob o capim elefante (Figura 5.11). Após 4 anos da implantação das pastagens, a quantidade de fração leve livre do solo aumentou em relação ao solo após 2 anos. Não foi observada diferença entre as pastagens nesse período, embora possa ser observada uma tendência para um aumento da quantidade de fração leve livre no solo sob braquiária, que chegou a valores de $15,8 \text{ g kg solo}^{-1}$, na camada 0-5 cm, contra $12,8 \text{ g kg solo}^{-1}$ na mesma camada, no solo sob capim elefante. O aumento da quantidade de fração leve da mata até 4 anos de pastagem foi mais significativo na camada superficial de 0-5 cm (Figura 5.12). Em relação à fração leve intra-agregado, as quantidades encontradas nesse experimento variaram de 0,7 a $3,4 \text{ g kg solo}^{-1}$, mostrando que essa fração é mais estável, quando o manejo do solo utilizado não promove a quebra dos agregados, que pode ser mais acentuada com as práticas de aração e de gradagem. Em relação à quantidade de fração leve livre no solo, só foi observada diferença estatística entre profundidades (Apêndice B).

Estes resultados reforçam o fato de que a introdução de pastagens pode contribuir para o aumento da quantidade de fração leve de um solo. Esse aumento dos teores de fração leve, mais notadamente nas camadas superficiais, provavelmente foi devido às altas quantidades de liteira das pastagens depositadas sobre o solo, e também devido à sua composição, de alta relação C:N. Assim, essa adição de liteira das gramíneas no solo, de baixa taxa de decomposição e em grandes quantidades, favoreceu um maior acúmulo de fração leve principalmente, que pode ser considerado o compartimento da matéria orgânica do solo de maior interação com a liteira depositada sobre o solo. Os teores de fração leve livre encontrados após 4 anos da introdução das pastagens foram superiores aqueles encontrados após 9 anos (capítulo 2), o que pode ser um indicativo que essas pastagens ainda não estão estabilizadas.

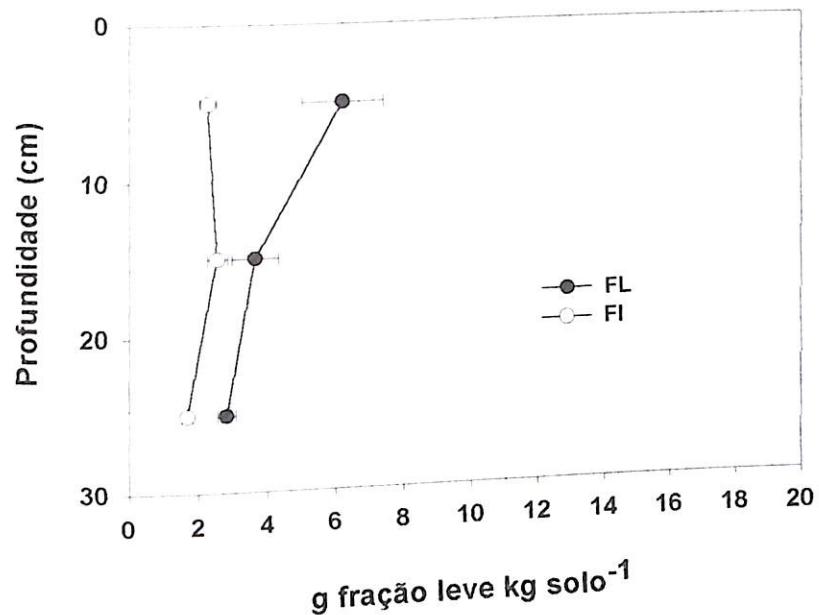


Figura 5.10- Fração leve da matéria orgânica do solo sob mata secundária, localizado no município de Itabela (BA). (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

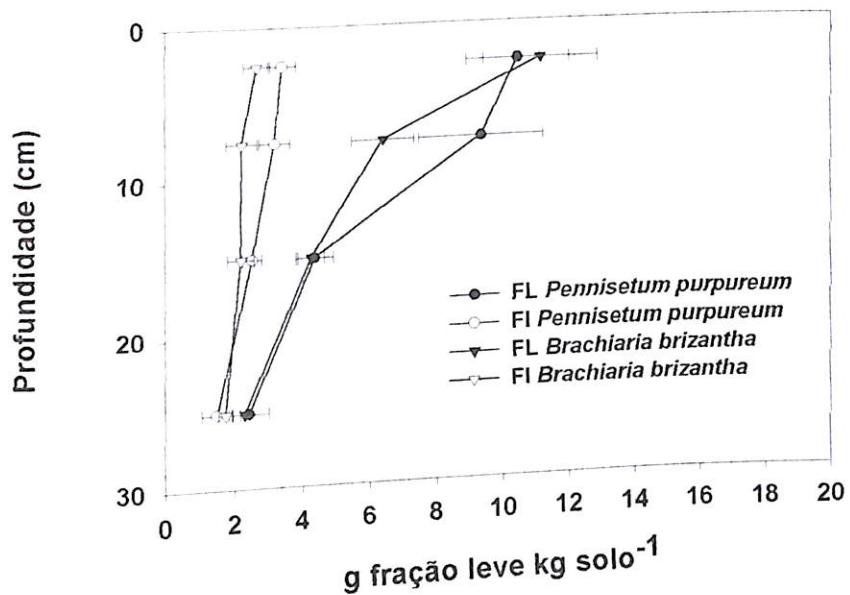


Figura 5.11- Fração leve da matéria orgânica do solo sob pastagem de capim elefante e braquiária, 2 anos após a remoção da floresta, no município de Itabela (BA). (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

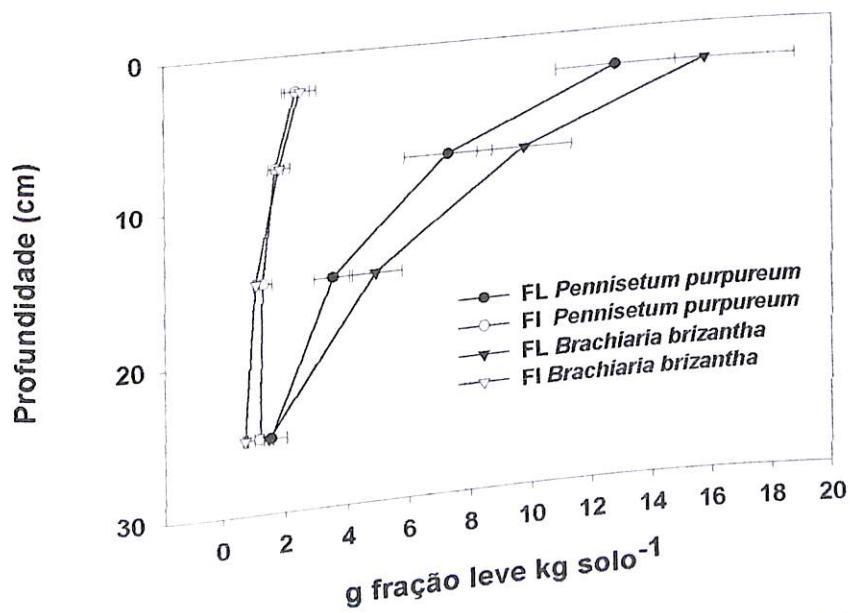


Figura 5.12- Fração leve da matéria orgânica do solo sob pastagem de capim elefante e braquiária, 4 anos após a remoção da floresta, no município de Itabela (BA). (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

5.4.5- Teores de C e N nas frações

Os teores de C encontrados nas frações leves foram superiores aqueles encontrados nas frações pesadas. Na camada 0-5 cm (Tabela 5.5), os teores de C na fração leve livre foram superiores a $220 \text{ g C kg fração}^{-1}$, sendo que o maior teor foi encontrado no solo sob mata, com $273 \text{ g C kg fração}^{-1}$. Os teores de C na fração leve intra-agregado foram superiores aos encontrados na fração leve livre no solo sob braquiária, após 2 e 4 anos, e no solo sob capim elefante após 4 anos, quando chegou a $309,5 \text{ g C kg fração}^{-1}$. Na mata, o teor dessa fração foi de $141 \text{ g C kg fração}^{-1}$. Na fração areia, os teores de C foram menores que $2,6 \text{ g C kg fração}^{-1}$ em todas as coberturas vegetais. Na fração silte, os teores de C variaram de $27,4$ a $53,3 \text{ g C kg fração}^{-1}$. Em relação à mata, com a introdução das pastagens o teor de C da fração silte foi aumentado. Isso também foi observado na fração argila, em que o teor de C na mata foi de $23,9 \text{ g C kg fração}^{-1}$, e nas pastagens variou de $31,3$ a $32,1 \text{ g C kg fração}^{-1}$, exceto após 4 anos de braquiária, em que o teor de C no silte reduziu a $22,9 \text{ g C kg fração}^{-1}$ (Tabela 5.5). Na camada 5-10 cm, os teores de C das frações foram semelhantes àqueles encontrados na camada 0-5 cm. O teor de C na fração leve livre foi maior na mata e na pastagem de braquiária após 4 anos, onde foram encontrados valores de $260 \text{ g C kg fração}^{-1}$. O teor de C na fração leve intra-agregado só foi superior à fração leve livre no solo sob capim elefante após 4 anos. Os teores de C na fração silte foram superiores ao solo sob capim elefante após 4 anos. Os teores de C na fração argila variaram de $20,8$ a $31,5 \text{ g C kg fração}^{-1}$ nas pastagens. Os teores de C na fração argila variaram de $20,8$ a $31,5 \text{ g C kg fração}^{-1}$ (Tabela 5.5). Já na camada 10-20 cm, os teores de C da fração leve livre nas pastagens foi maior do que na fração sob mata, equivalente a $170,6 \text{ g C kg fração}^{-1}$, chegando assim a valores superiores a $200 \text{ g C kg fração}^{-1}$. O teor de C da fração leve intra-agregado na mata foi próximo ao teor de C da fração leve livre, com $166,7 \text{ g C kg fração}^{-1}$. Após 2 anos de pastagem, os teores de C da fração leve livre aumentaram em relação à mata, enquanto os teores da fração leve intra-agregado reduziram. Já após 4 anos de pastagem, os teores de C da fração leve foram mantidos, e os teores de C da fração leve intra-agregado aumentaram, chegando a maiores valores em relação à fração leve livre. O teor de C na fração silte variou de $39,1$ a $59,1 \text{ g C kg fração}^{-1}$, sendo que somente no solo sob capim elefante o teor dessa fração foi maior em relação à mata, com $50,6 \text{ g C kg fração}^{-1}$. Na fração argila, os teores de C variaram de $18,9$ a $23,3 \text{ g C kg fração}^{-1}$. Houve diferença estatística entre época para o teor de C na fração leve intra-agregado e fração areia; e entre época e entre profundidade em relação à fração argila. Foi observado um efeito da interação entre o tipo de gramínea e a profundidade para os teores de C nas frações areia e argila (Tabela 5.5).

Os teores de N acompanharam os teores de C encontrados nas frações da matéria orgânica do solo. Na camada 0-5 cm, os teores de N na fração leve livre variaram de $11,3$ a $11,6 \text{ g N kg fração}^{-1}$. Somente nas pastagens após 4 anos os teores de N da fração leve intra-agregado foram maiores que na fração leve livre, chegando a $13,7$ e $15,3 \text{ g N kg fração}^{-1}$, no solo sob capim elefante e braquiária, respectivamente. Os teores de N encontrados na fração leve intra-agregado nas pastagens foi maior que na mata. Os teores de N da fração silte foram superiores nas pastagens, em relação ao solo sob mata, com valores entre $2,2$ e $4,3 \text{ g N kg fração}^{-1}$. O mesmo foi observado para a fração argila, com teores variando de $2,4$ a $3,6 \text{ g N kg fração}^{-1}$. Na fração areia, os teores de N foram menores que $0,2 \text{ g N kg fração}^{-1}$ (Tabela 5.6). Nas camadas 5-10 e 10-20 cm, os teores das frações leves reduziram em comparação à camada superficial, com valores próximos de $10 \text{ g N kg fração}^{-1}$. Os teores de N na fração silte, nos solos sob pastagens,

foram superiores ao encontrado na mata. Já na fração argila, os teores de N foram semelhantes entre as coberturas vegetais (Tabela 5.6).

Tabela 5.5- Teores de carbono nas frações da matéria orgânica do solo sob pastagem após 2 e 4 anos da remoção da cobertura original de floresta.

Cobertura	Prof.	FL	ep ¹	FI	ep	FA	ep	Fsil	ep	Farg	Ep
		cm				g C kg fração ⁻¹					
Mata											
	0 a 10	272,7	14,1	140,6	58,2	0,9	0,0	27,4	13,0	23,9	2,7
	10 a 20	170,6	82,2	166,7	0,5	1,6	0,0	50,6	11,5	19,3	4,8
	20 a 30	120,9	34,0	213,6	11,1	0,5	0,0	24,3	8,3	24,6	16,1
capim elefante	0 a 5					2,1		29,0		31,6	
capim elefante	2 anos	226,3		297,2		1,3		52,1		20,8	
braquiária	2 anos	226,2		309,5		0,6		59,1		16,0	
capim elefante	5 a 10					2,3		49,3		22,9	
capim elefante	2 anos	260,0		246,6		1,2		65,6		26,3	
braquiária	2 anos	230,3		233,4		0,7		42,8		18,9	
capim elefante	10 a 20					1,8		53,3		32,1	
capim elefante	2 anos	237,4		196,7		2,4		38,9		26,6	
braquiária	4 anos	238,5		160,3							
capim elefante	10 a 20					0,7		51,9		23,3	
capim elefante	2 anos	221,5		122,4		2,6		43,6		31,3	
braquiária	2 anos	231,6		248,1		1,4		59,9		31,5	
capim elefante	10 a 20					2,3		39,1		19,5	
capim elefante	4 anos	225,6		224,7							
braquiária	4 anos	198,2		145,9		60		46		21	
CV (%)		13		29							

ep¹ - erro padrão da média de 4 repetições.

Tabela 5.6- Teores de nitrogênio nas frações da matéria orgânica do solo sob pastagem após 2 e 4 anos da remoção da cobertura original de floresta.

Cobertura	Prof.	FL	ep ¹	FI	ep	FA	ep	Fsil	ep	Farg	Ep
	cm					g C kg fração ⁻¹					
Mata											
	0 a 10	11,3	0,1	6,3	1,3	0,0	0,0	2,2	1,2	2,4	0,4
	10 a 20	6,4	3,7	4,6	1,7	0,2	0,1	2,9	0,2	1,9	0,3
	20 a 30	3,4	1,4	4,6	1,1	0,1	0,0	2,4	1,3	2,3	1,4
Capim elefante											
	0 a 5										
braquiária	2 anos	11,5		15,3		0,1		2,4		3,3	
	2 anos	10,3		13,8		0,1		4,0		2,2	
Capim elefante	4 anos	9,2		9,1		0,0		5,0		1,7	
braquiária	4 anos	11,4		13,7		0,2		3,9		2,5	
Capim elefante											
	5 a 10										
braquiária	2 anos	10,4		10,4		0,1		5,3		2,5	
	2 anos	8,8		9,4		0,1		3,5		1,9	
Capim elefante	4 anos	11,6		8,8		0,1		4,3		3,3	
braquiária	4 anos	11,1		7,3		0,1		3,6		2,7	
Capim elefante											
	10 a 20										
braquiária	2 anos	8,1		4,7		0,0		3,2		2,8	
	2 anos	11,3		10,4		0,1		3,9		3,6	
Capim elefante	4 anos	10,8		9,9		0,1		4,8		3,1	
braquiária	4 anos	9,3		5,4		0,1		3,7		2,0	
CV (%)		20		30		nd ²		48		27	

ep¹ - erro padrão da média de 4 repetições.

nd² - não determinado

A relação C:N das frações leves foram superiores àquelas encontradas nas frações pesadas. Na camada 0-5 cm, a relação C:N na fração leve sob mata foi de 24, reduzindo nos solos sob pastagens a valores entre 20 e 22, o que foi observado também para a fração leve intra-agregado, que foi de 26 na mata, reduzindo a valores entre 22 e 24. Os valores encontrados na fração leve intra-agregado foram maiores que na fração leve livre, exceto após 4 anos de braquiária. A relação C:N na fração areia foi leve livre, exceto após 4 anos de braquiária. A relação C:N na fração silte, a relação C:N variou de 11 a 13, e na fração argila, de 9 a 10 intermediária entre os valores encontrados na fração leve e nas frações mais finas, nas pastagens. Na fração silte, a relação C:N aumentou em comparação à camada (Figura 5.13). Na camada 5-10 cm, a relação C:N aumentou em comparação à camada 0-5 cm, nas frações leves sob pastagens. Somente no solo sob braquiária após 4 anos a fração leve intra-agregado foi menor que a fração leve livre. Na fração silte, a relação C:N variou de 11 a 15. A relação C:N da fração silte continuou na mesma variação encontrada na camada 0-5 cm (Figura 5.14). Na camada 10-20 cm, a relação C:N nas frações foi maior na mata quando comparados às pastagens, exceto para a fração argila, que se manteve constante com a mudança da cobertura vegetal, entre 9 e 10. Dentre as frações na mata, a relação C:N foi maior na fração leve intra-agregado, igual a 42. Nas pastagens, a relação C:N reduziu a valores entre 25 e 29. Na fração silte, a relação C:N

na mata, igual a 18, reduziu com a introdução das pastagens, para valores entre 11 e 15 (Figura 5.15).

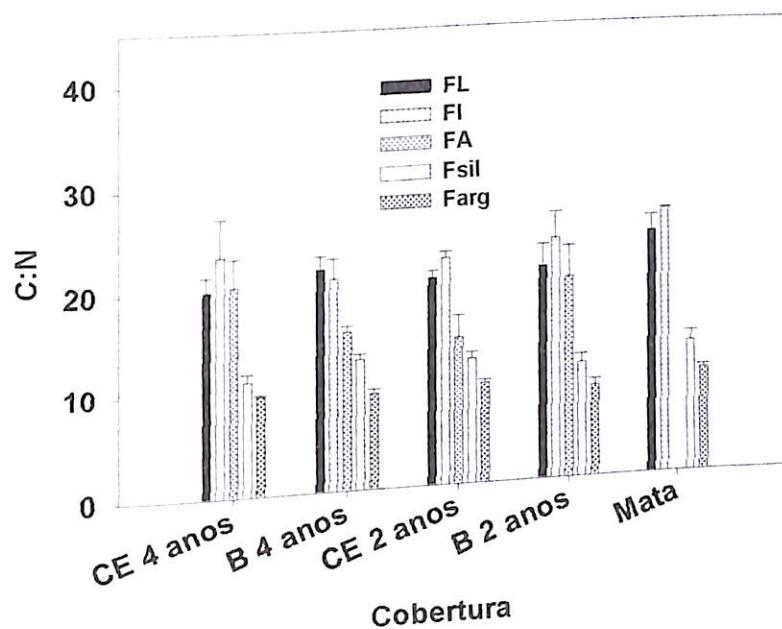


Figura 5.13- Relação C:N das frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de pastagem, após 2 e 4 anos da remoção da cobertura original de floresta na profundidade de 0-5 cm. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

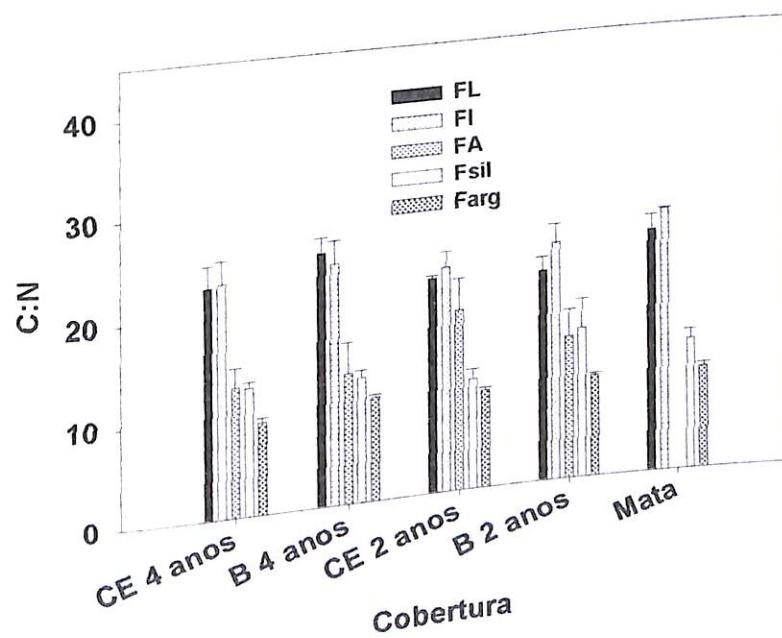


Figura 5.14- Relação C:N das frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de pastagem, após 2 e 4 anos da remoção da cobertura original de floresta na profundidade de 5-10 cm. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

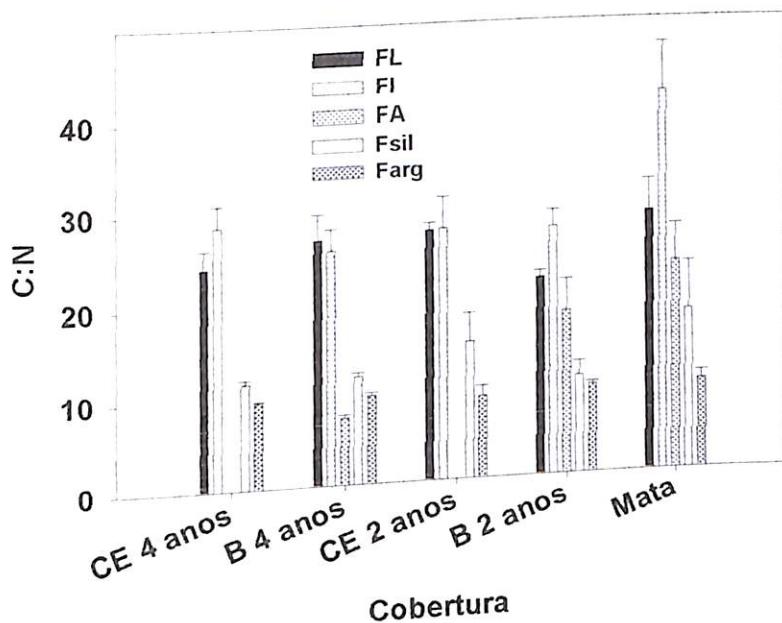


Figura 5.15- Relação C:N das frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de pastagem, após 2 e 4 anos da remoção da cobertura original de floresta na profundidade de 10-20 cm. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

Na mata, o C contido na fração leve, igual a $1,3 \text{ g C kg solo}^{-1}$, representava 20 % do C total do solo na camada superficial. A maior quantidade de C estava localizada nas frações mais finas, silte e argila, com $3,1 \text{ g C kg solo}^{-1}$, para ambas as frações. A quantidade de fração leve livre caiu em profundidade, chegando a $1,2$ e $0,3 \text{ g C kg solo}^{-1}$, nas camadas 10-20 e 20-30 cm. Na fração leve intra-agregado, foram encontradas quantidades de C de somente o equivalente a no máximo $0,5 \text{ g C kg solo}^{-1}$. A quantidade de C na fração argila aumentou em profundidade, até o valor de $4,5 \text{ g C kg solo}^{-1}$. Na fração silte, a quantidade de C aumentou na camada 10-20 cm e diminuiu na camada 20-30 cm, chegando a $2,2 \text{ g C kg solo}^{-1}$. A quantidade de C na fração areia foi maior que o C da fração leve nas profundidades abaixo de 10 cm (Figura 5.16).

No solo sob pastagem de braquiária, foi observado um aumento do conteúdo de C nas camadas superficiais de 0-5 e 5-10 cm. Na camada 10-20 cm, a quantidade de C reduziu com a introdução da braquiária, principalmente em relação à fração silte. Após 2 e 4 anos da pastagem de braquiária, as quantidades de C nas frações reduziram da camada superficial até a camada de 10-20 cm. A fração leve intra-agregado apresentou os menores teores de C, variando entre $0,3$ e $0,7 \text{ g C kg solo}^{-1}$. O C da fração areia só foi maior que o C da fração leve livre na camada 10-20 cm, após 2 anos de pastagem, chegando a ter $1,7 \text{ g C kg solo}^{-1}$. As maiores quantidades de C foram encontradas nas frações silte e argila, com valores entre $2,7$ e $4,5 \text{ g C kg solo}^{-1}$ (Figuras 5.17 e 5.18). Após 4 anos da pastagem de braquiária, as maiores quantidades de C foram encontradas na fração silte, com valores entre $4,0$ e $5,0 \text{ g C kg solo}^{-1}$. Na fração leve livre, a quantidade de C reduziu da camada 0-5 cm, quando era de $4,0 \text{ g C kg solo}^{-1}$, até a camada 10-20 cm, quando o valor chegou a $1,1 \text{ g C kg solo}^{-1}$. O C da fração argila variou entre $2,7$ e $3,0 \text{ g C kg solo}^{-1}$ (Figura 5.18).

No solo sob pastagem de capim elefante, foi observado um comportamento semelhante aquele encontrado para a braquiária. Após 2 anos de pastagem, as quantidades de C das frações reduziram em profundidade, exceto na fração areia, que teve maior acúmulo de C na profundidade 5-10 cm, com $2,0 \text{ g C kg solo}^{-1}$. A quantidade de C na fração leve livre, na camada 0-5 cm, foi de $2,6 \text{ g C kg solo}^{-1}$, e reduziu em profundidade, até chegar a $0,9 \text{ g C kg solo}^{-1}$ na camada 10-20 cm. As maiores quantidades de C foram encontradas nas frações silte e argila, com valores entre 3,0 e $4,1 \text{ g C kg solo}^{-1}$. A quantidade de C na fração argila foi maior que a encontrada na fração silte, nas profundidades de 5-10 e 10-20 cm, e reduziram em profundidade (Figura 5.19). Após 4 anos de pastagem de capim elefante, a quantidade de C nas frações reduziu em profundidade conforme observado na pastagem após 2 anos, com exceção para a fração silte, que aumentou, para valores de $4,0$ e $5,0 \text{ g C kg solo}^{-1}$, nas profundidades de 5-10 e 10-20 cm, respectivamente. Comparado à pastagem de capim elefante após 2 anos, as quantidades de C nas frações leve livre, leve intra-agregado, areia e argila diminuíram, porém, a quantidade de C na fração silte aumentou significativamente, o que foi suficiente para que fossem encontradas maiores quantidades de C nas frações após 4 anos de pastagem (Figura 5.20). A proporção de C na fração leve em relação ao C total do solo foi maior na mata, sendo aproximadamente 20 % do C encontrado na camada 0-5 cm. Após 4 anos de pastagem, esse valor caiu 20 % do C encontrado na camada 0-5 cm. Após 4 anos de pastagem, esse valor caiu 20 % do C encontrado na camada 0-5 cm. Na fração leve intra-agregado, para 14 %, nas pastagens de capim elefante e braquiária. Na fração leve intra-agregado, a proporção de C jamais foi superior a 6 %. A recuperação do C nas frações em relação ao C total do solo variou de 75 % a 126 %. Pelos resultados obtidos, pôde-se observar que a dinâmica das frações foi influenciada pelo tempo da introdução da pastagem, que refletiu nos compartimentos de C no solo.

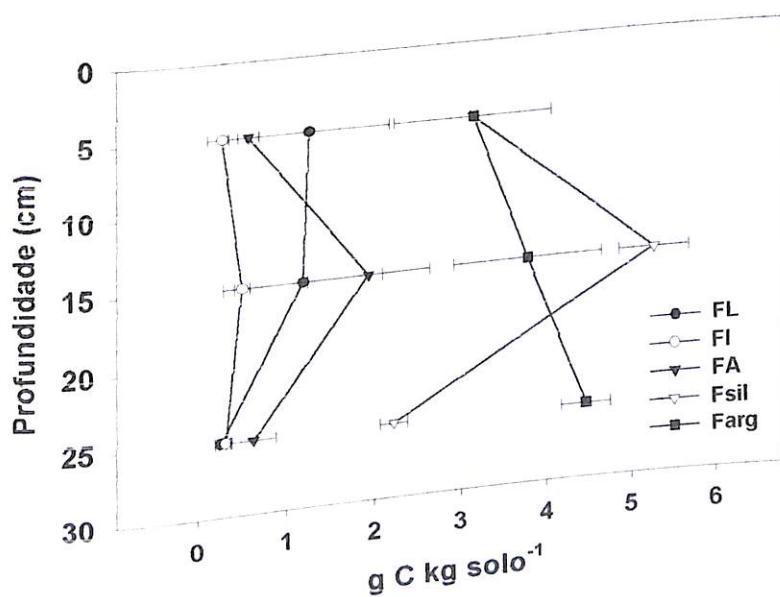


Figura 5.16- Quantidade de C nas frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de mata secundária. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

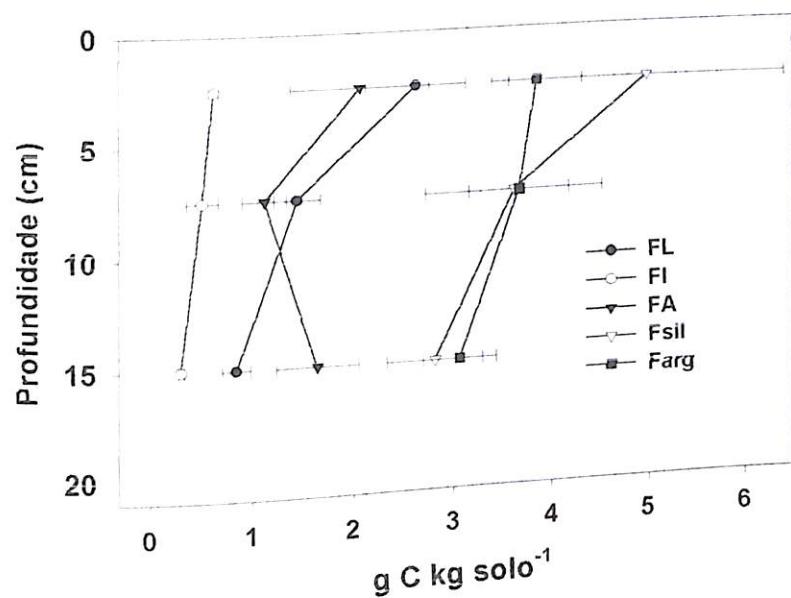


Figura 5.17- Quantidade de C nas frações da matéria orgânica do solo sob *Brachiaria brizantha*, após 2 anos da remoção da cobertura original de floresta. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

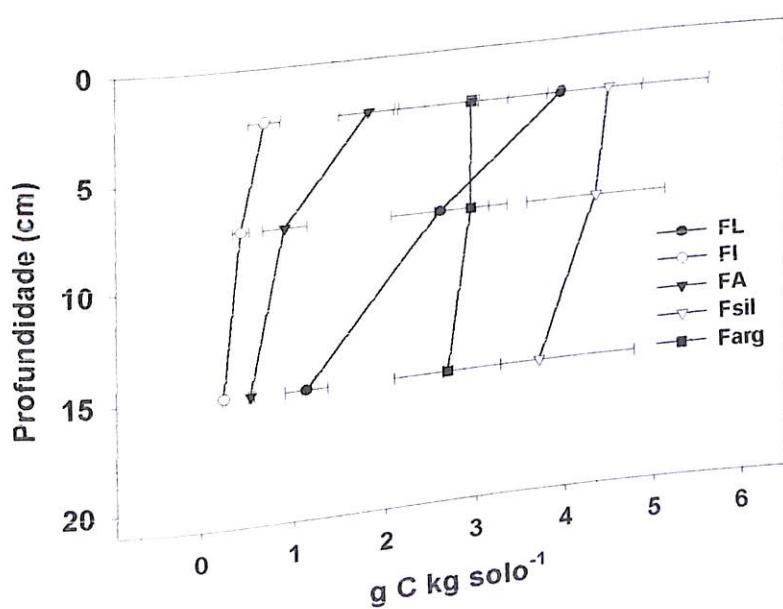


Figura 5.18- Quantidade de C nas frações da matéria orgânica do solo sob *Brachiaria brizantha*, após 4 anos da remoção da cobertura original de floresta. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

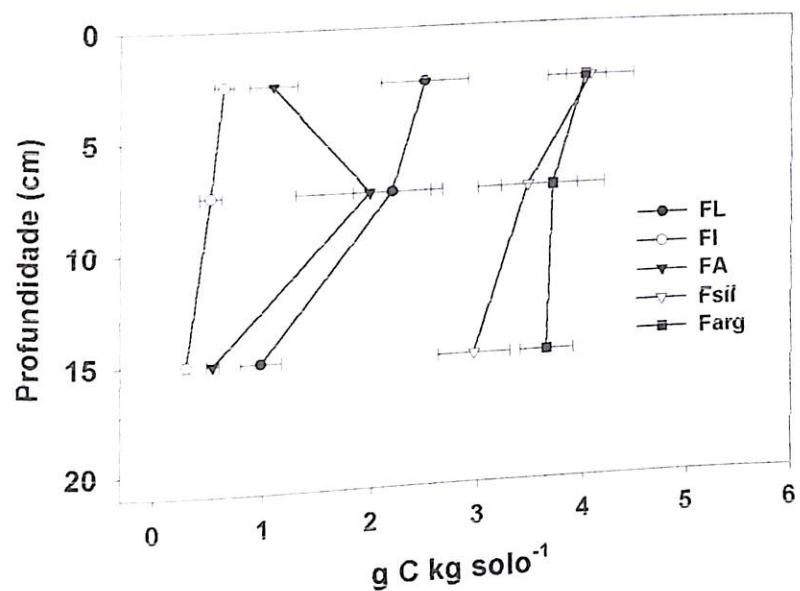


Figura 5.19- Quantidade de C nas frações da matéria orgânica do solo sob *Pennisetum purpureum*, após 2 anos da remoção da cobertura original de floresta. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

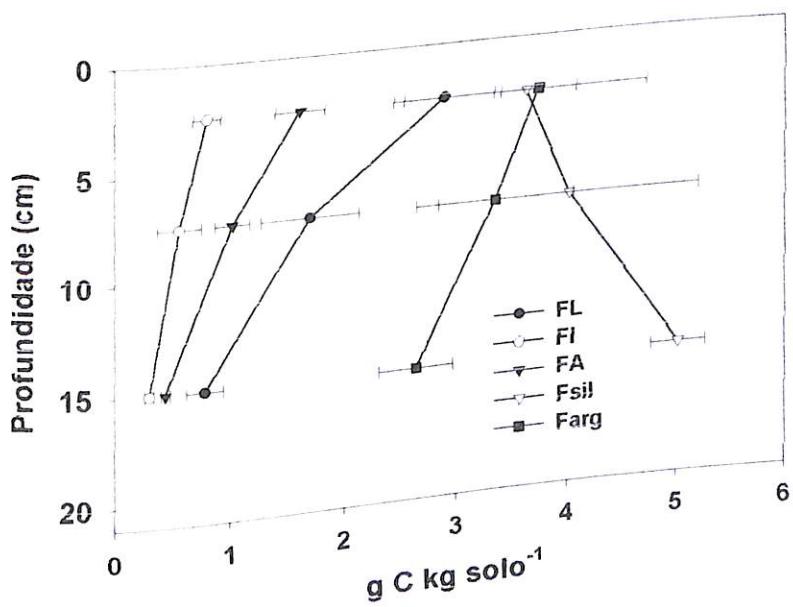


Figura 5.20- Quantidade de C nas frações da matéria orgânica do solo sob *Pennisetum purpureum*, após 4 anos da remoção da cobertura original de floresta. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

Os resultados obtidos para os teores de C e N nas frações concordaram com aqueles encontrados no capítulo 2. As maiores quantidades de C no solo estavam contidas nas frações mais finas, associadas às frações silte e argila. O C contido na fração leve livre foi maior na camada superficial, reduzindo em profundidade. Resultados semelhantes foram obtidos por Freixo et al (2002a, 2002b) e Roscoe et al. (2001), embora os solos estudados por esses autores fossem de textura argilosa, pertencente à classe dos Latossolos.

A relação C:N das frações encontradas nesse estudo tiveram comportamento semelhante ao encontrado por Freixo et al. (2002a; 2002b), podendo ser considerada uma característica da fração. Foi observado o mesmo comportamento de aumento da relação C:N nas frações leves em profundidade, enquanto nas frações silte e argila, praticamente se mantiveram constantes.

5.4.6- Composição isotópica das frações

A composição isotópica das frações da matéria orgânica acompanhou os valores encontrados no solo. No solo sob mata, as frações mostraram ser constituídas por C derivado de plantas C₃, característico de mata, com valores de $\delta^{13}\text{C}$ variando entre -26,2 ‰ e -28,2 ‰ na camada 0-5 cm. Em profundidade, até 20-30 cm, os valores tenderam a ficar mais positivos entre 1 ou 2 ‰ de $\delta^{13}\text{C}$. Na camada 20-30 cm, somente a fração areia, com -24,2 ‰, se distanciava das demais, que variavam entre -25,9 ‰ e -27,0 ‰ (Figura 5.21). Esses resultados indicaram que a composição isotópica das frações do solo sob mata pôde ser utilizada como referência representativa 100 % C₃.

Nos solos sob pastagens, verificou-se que as frações mostraram comportamento diferente. Quanto maior o tempo após a implantação das pastagens, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ ficavam mais positivos, indicando que o C derivado da gramínea estava sendo incorporado às frações. Houve diferença estatística entre época e efeito da interação entre o tipo de gramínea e a profundidade para todas as frações (Apêndice C).

No solo sob pastagem de braquiária, após 2 anos da substituição da cobertura original de floresta, as frações silte, argila e leve intra-agregado ainda possuíam valores de $\delta^{13}\text{C}$ próximos aqueles encontrados no solo sob mata, variando entre -26,6 ‰ e -27,8 ‰. As frações areia, na profundidade de 0-10 cm e a leve livre, na profundidade 0-5 cm se destacaram das demais frações, indicando que estavam sendo mais influenciadas pela nova vegetação de gramínea (Figura 5.22). Já após 4 anos de pastagem de braquiária, foi observado um aumento na composição isotópica em todas as frações. Com esse tempo, as frações tiveram um comportamento bastante semelhante, exceto a fração areia, que manteve a tendência de maior velocidade de incorporação de C derivado da braquiária. Em todas as frações, foi observada uma diminuição dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ em profundidade até 10-20 cm. Na camada superficial (0-5 cm), os valores de $\delta^{13}\text{C}$ variaram entre -21,4 ‰ e -24,5 ‰ nas frações, reduzindo até a profundidade de 10-20 cm, quando a variação foi entre -24,0 ‰ e -26,4 ‰. Já a fração areia, possuía os valores de -18,8 ‰, -21,1 ‰ e -22,4 ‰ nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm, respectivamente (Figura 5.23).

No solo após 2 anos sob capim elefante, na camada 0-5 cm, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ das frações foi mais positivo que aqueles observados no solo sob mata, indicando que houve contribuição de C da gramínea em todas as frações, sendo mais acentuada nas frações leve livre e areia. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ das frações diminuíram em profundidade, exceto na fração areia, onde foi observado um aumento, da camada 5-10 cm para a camada 10-20 cm. As frações argila, silte e leve intra-agregado apresentaram um comportamento semelhante. Na camada 0-5 cm, a variação foi entre -24,7 ‰ e -25,8 ‰, comprovando que houve adição de C derivado de gramínea, quando comparado com a composição isotópica das frações sob mata. Já nas demais camadas (5-20 cm), os valores encontrados foram semelhantes aqueles observados no solo sob mata, com variação entre -26,8 ‰ e -27,4 ‰. Na fração leve livre foi observado o valor de -22,1 ‰ na camada 0-5 cm, e reduzindo em profundidade, chegando ao valor de -25,7 ‰ na camada 10-20 cm. Na fração areia foram observados os valores mais positivos dentre as frações, com -20,1 ‰ na camada 0-5 cm, reduzindo para -22,6 ‰ na camada 5-10 cm, e depois aumentando para -18,7 ‰ na camada 10-20 cm (Figura 5.24). Após 4 anos de pastagem de capim elefante, foi observado que em todas as frações houve incorporação de C derivado da gramínea. Todas as frações tiveram um comportamento semelhante, exceto a fração areia, que se destacou das demais frações, ficando com sinal mais positivo, demonstrando assim uma maior incorporação de C novo. Na camada superficial (0-5 cm) a composição isotópica das frações variou de -21,4 ‰ a -22,8 ‰.

reduzindo em profundidade, chegando, na camada 10-20 cm, a valores entre -23,5 ‰ e -25,7 ‰. A fração areia apresentou comportamento semelhante, mas com valores mais positivos, que indicaram maior contribuição de C novo, obtendo o valor de -17,5 ‰ na camada superficial, reduzindo a -21,5 ‰ na camada 10-20 cm (Figura 5.25).

A composição isotópica das frações obtidas nesse estudo apresentou comportamento semelhante às frações analisadas no capítulo 2, principalmente em relação ao solo sob mata, indicando que provavelmente essas amostras, coletadas em diferentes anos, são representativas do mesmo sítio.

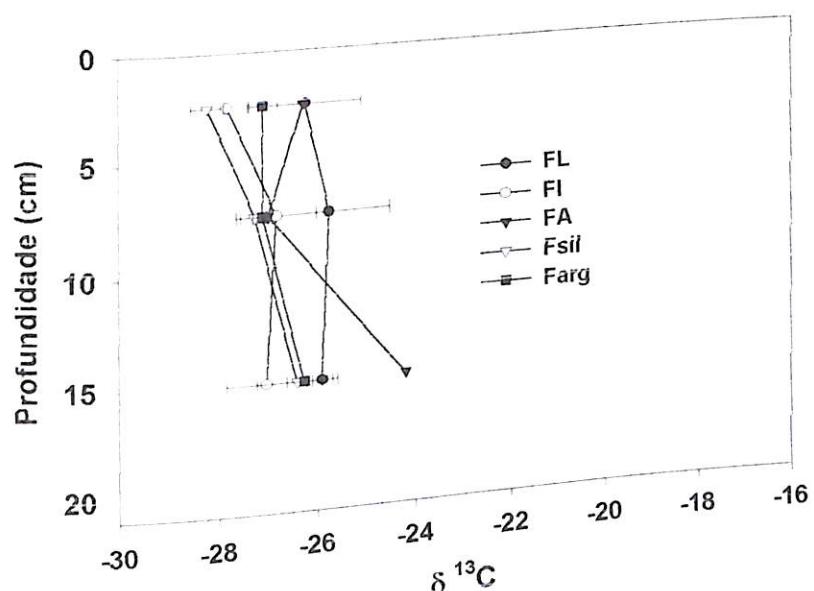


Figura 5.21- Composição isotópica de C nas frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de floresta. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

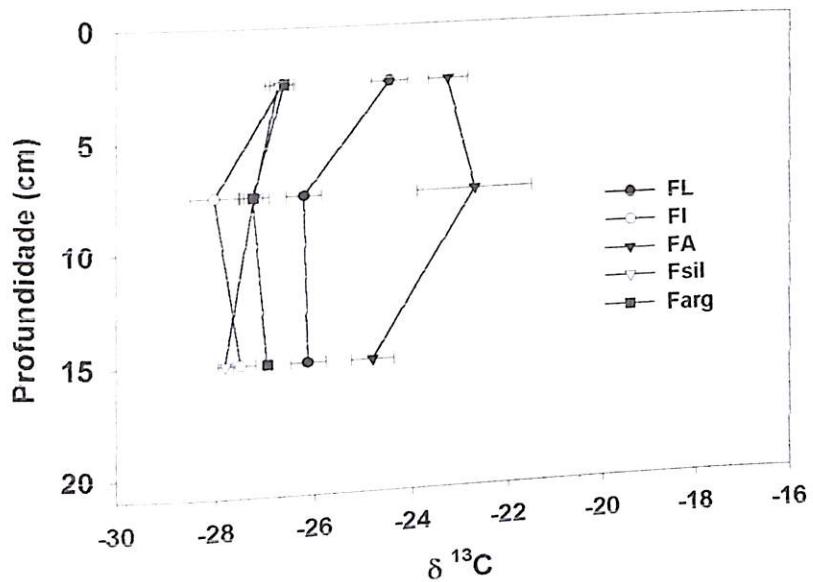


Figura 5.22- Composição isotópica de C nas frações da matéria orgânica do solo sob *Brachiaria brizantha*, após 2 anos da remoção da cobertura original de floresta. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

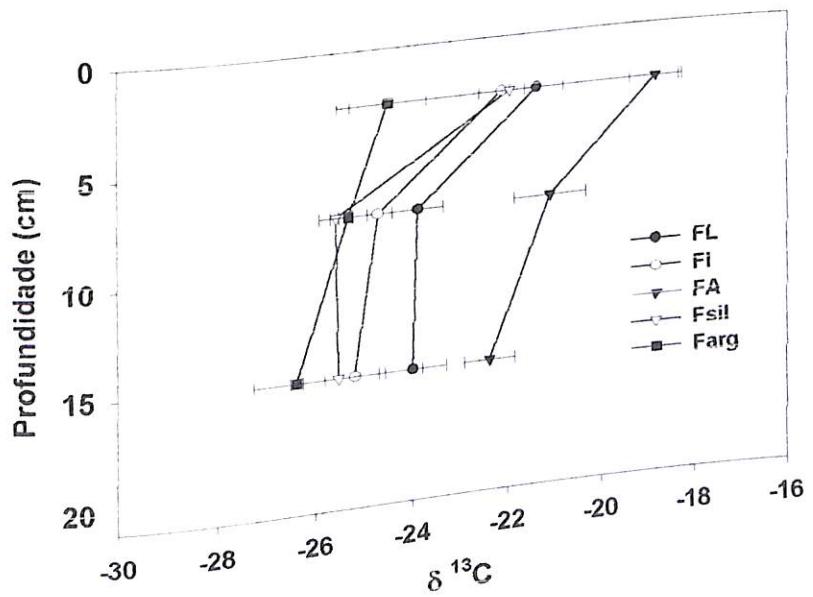


Figura 5.23- Composição isotópica de C nas frações da matéria orgânica do solo sob *Brachiaria brizantha*, após 4 anos da remoção da cobertura original de floresta. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

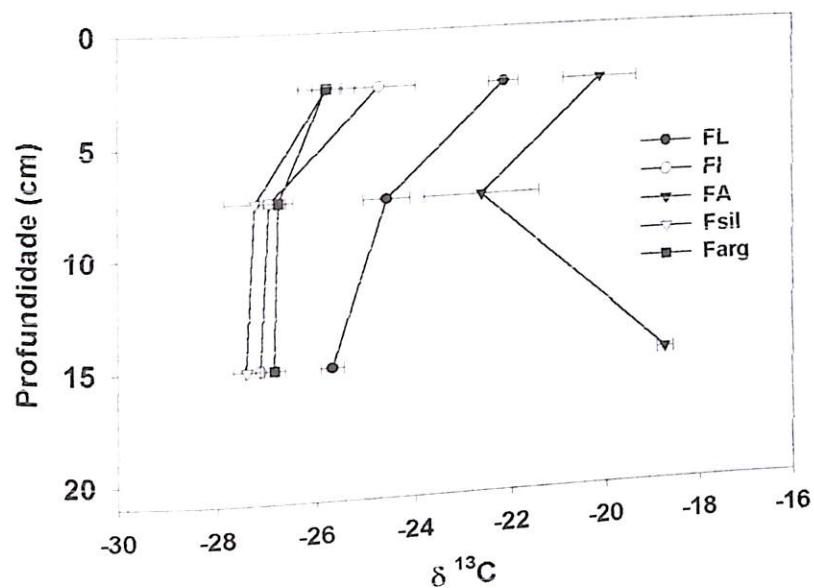
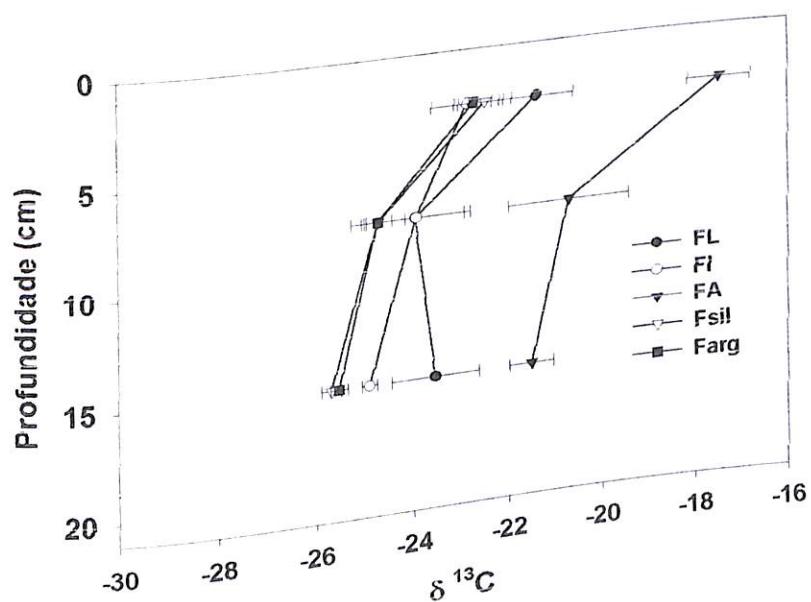


Figura 5.24- Composição isotópica de C nas frações da matéria orgânica do solo sob *Pennisetum purpureum*, após 2 anos da remoção da cobertura original de floresta. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

Figura 5.25- Composição isotópica de C nas frações da matéria orgânica do solo sob



Pennisetum purpureum, após 4 anos da remoção da cobertura original de floresta.
 (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

5.4.7- Origem do C nas frações

As proporções de C derivado das gramíneas e do C derivado da floresta foram calculadas de acordo com a equação proposta por Balesdent et al., (1987), usando a composição isotópica das frações encontradas no solo sob mata como referência 100 % C_3 .

Na camada 0-5 cm, foram encontradas as maiores proporções de C derivado das gramíneas. De uma maneira geral, a fração areia apresentou as maiores contribuições de C novo, seguida da fração leve livre. A fração argila recebeu as menores contribuições. O C derivado das gramíneas foi maior nos solos sob pastagens após 4 anos, em relação aos solos sob pastagens após 2 anos. O capim elefante contribuiu em proporções maiores que a braquiária. No solo após 2 anos sob braquiária, a proporção de $C-C_4$ variou entre 3 e 20 % nas frações. Já no solo sob capim elefante nesse mesmo período, essa proporção chegou a 43 % na fração areia, e ficou entre 8 e 29 % nas demais frações. Após 4 anos de braquiária, na fração areia foram encontrados 48 % de C derivado da gramínea. As frações leve intra-agregado, silte e leve livre obtiveram maiores proporções de C novo, com 33, 36 e 31 %, respectivamente. Já no solo após 4 anos de capim elefante, a proporção de C novo chegou a 62 % na fração areia. Nas demais frações, as proporções variaram entre 29 e 35 % (Figura 5.26).

Na camada 5-10 cm, as proporções de C derivado das gramíneas foi menor em relação à camada superior (0-5 cm). Na fração areia, foram obtidas as maiores proporções, entre 23 e 39 %. No solo após 2 anos de braquiária, só foi encontrado C derivado das gramíneas nas frações areia e silte. Após 4 anos de pastagens, as proporções de C novo na fração intra-agregado e silte foram maiores que na fração leve livre. Exceto a fração areia, após 4 anos, as proporções variaram entre 11 e 25 % (Figura 5.27).

Na camada 10-20 cm, na fração areia foram encontradas as maiores contribuições de C derivado das gramíneas. Após 4 anos de pastagens, foram observadas contribuições de C novo em todas as frações, destacando-se a fração areia, com 28 e 37 %, para a braquiária e o capim elefante, respectivamente. Dentre as demais frações, a proporção de $C-C_4$ variou entre 4 e 16 %. No solo sob capim elefante essas proporções foram maiores. Já após 2 anos de pastagens, só foram observadas proporções de C novo na fração areia, e valores menores que 1 % nas frações argila e leve livre. A fração areia apresentou uma proporção de C novo de 55 % na fração areia do solo após 2 anos de capim elefante, mas esse valor reduziu para 37 % após 4 anos da pastagem (Figura 5.28).

Esses resultados mostraram que o capim elefante, proporcionalmente, contribuiu mais na dinâmica de C no solo, que a braquiária. Como era esperado, após a remoção da cobertura original de floresta, o C do solo, derivado de plantas C_3 , vai sendo substituído gradativamente pelo C derivado das gramíneas. Em algumas frações essa substituição foi mais rápida, conforme observado na fração areia, e em outras, houve uma maior conservação do C original do solo. Um fato interessante foi observado nas frações leve intra-agregado e silte, que em algumas camadas após 4 anos de pastagem, apresentava maior proporção de C novo em comparação à fração leve livre. Na camada superficial de 0-5 cm foram encontradas as maiores proporções de C novo, reduzindo em profundidade. Isto se deve principalmente por ser a camada em contato direto com a lитеira produzida pelas pastagens.

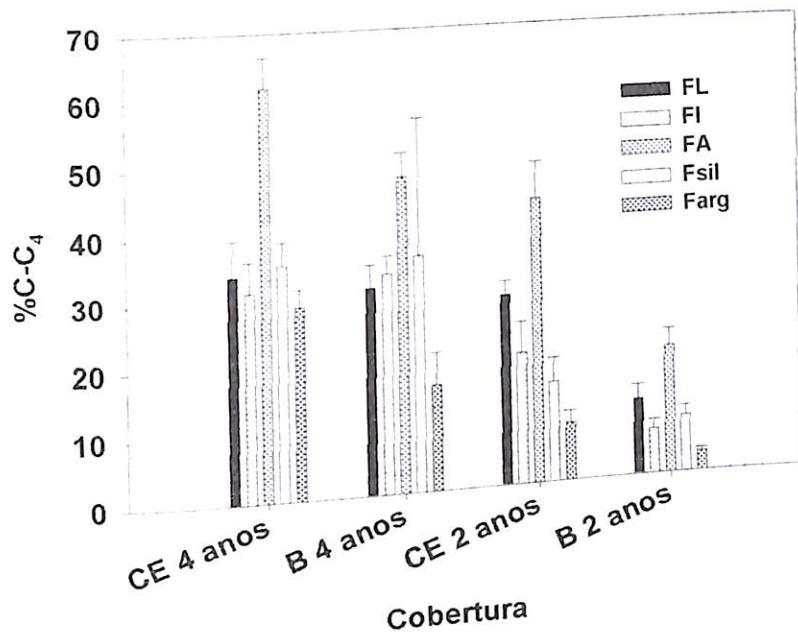


Figura 5.26- Proporção de C derivado da gramínea nas frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de pastagem, após 2 e 4 anos da remoção da cobertura original de floresta na profundidade de 0-5 cm. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

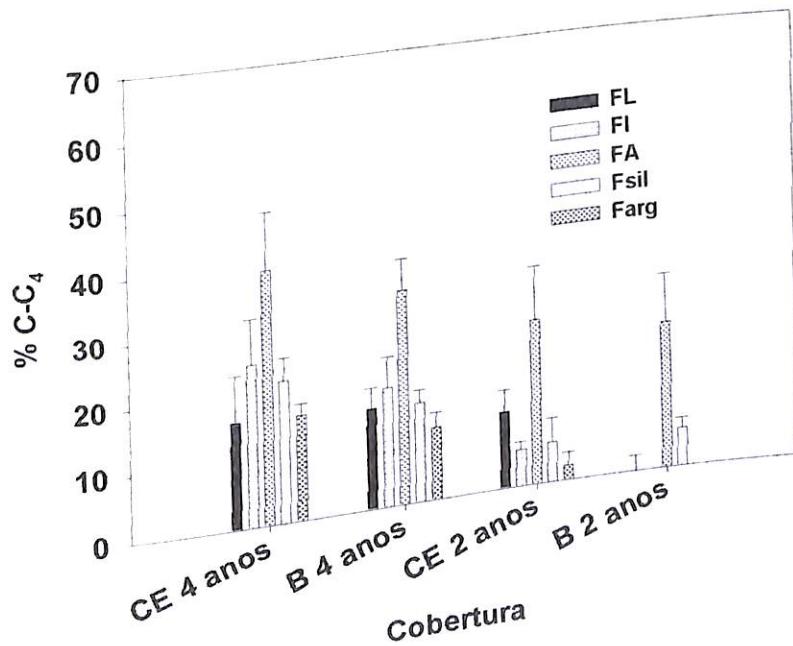


Figura 5.27- Proporção de C derivado da gramínea nas frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de pastagem, após 2 e 4 anos da remoção da cobertura original de floresta na profundidade de 5-10 cm. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

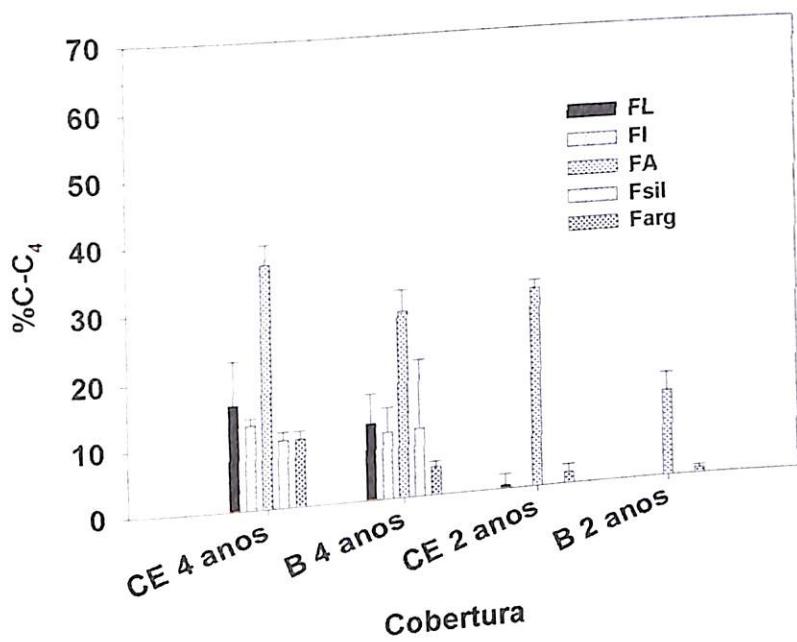


Figura 5.28- Proporção de C derivado da gramínea nas frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de pastagem, após 2 e 4 anos da remoção da cobertura original de floresta na profundidade de 10-20 cm. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

Com as proporções de C derivado das gramíneas e conhecendo-se os teores de C total nas frações, foi possível a identificar as quantidades de C de cada origem, fosse floresta ou gramínea. Na camada 0-5 cm, na pastagem de braquiária, após 2 anos da implantação, a contribuição de C derivado da gramínea foi de 0,5 a 0,3 g C kg solo⁻¹, nas frações silte, areia e leve livre. Nas frações leve intra-agregado e argila, a quantidade de C novo foi menor que 0,1 g C kg solo⁻¹ (figura 5.29). Após 4 anos, o C derivado da braquiária aumentou, mesmo assim com valores menores que 1,2 g C kg solo⁻¹, nas frações areia, silte e leve livre. Nas frações intra-agregado e argila, o C novo chegou a 0,3 e 0,4 g C kg solo⁻¹, respectivamente (Figura 5.30). De 2 a 4 anos de pastagem de braquiária, a quantidade de C na fração leve intra-agregado não se modificou. Nas frações granulométricas areia, silte e argila, o C total reduziu, o C original da floresta também reduziu, apesar do maior ingresso de C derivado da floresta na braquiária. Isto é, nesse período, cerca de 1 g C kg solo⁻¹ derivado da floresta nas frações granulométricas foram perdidas. Na fração leve livre, foi observado um aumento na quantidade de C entre 2 e 4 anos da pastagem de braquiária, que foi devido ao aumento da quantidade de C derivado da gramínea principalmente, mas também de C originário da floresta. Uma possível explicação para isso, poderia ser o fato de nesse período, ter ocorrido uma decomposição da lитеira pré-existente ainda derivada da floresta (Figuras 5.29 e 5.30).

Na pastagem de braquiária após 2 anos, na camada 5-10 cm, só foi observado C derivado da gramínea nas frações areia e silte, com aproximadamente 0,2 g C kg solo⁻¹ (Figura 5.31). Após 4 anos da pastagem de braquiária, todas as frações continham C derivado da gramínea, principalmente a fração silte, com 0,7 g C kg solo⁻¹. Nas frações argila, areia e leve livre, o C derivado da gramínea variou entre 0,3 e 0,4 g C kg solo⁻¹, enquanto na fração leve intra-agregado foi de somente 0,1 g C kg solo⁻¹ (Figura 5.32).

Entre 2 e 4 anos de pastagem de braquiária, nessa mesma camada, foi observado uma redução na quantidade de C nas frações leve intra-agregado, areia e, de forma mais acentuada, na fração argila. Essa redução da quantidade de C nessas frações, apesar do ingresso de C derivado da gramínea, foi observada também na quantidade de C derivado da floresta. Já nas frações leve livre e silte, a quantidade de C aumentou, tanto para o C derivado da gramínea quanto para o C derivado da floresta. Em relação à fração leve livre, isso só poderia ser possível com o revolvimento do solo que resultou na incorporação de C derivado da liteira original da floresta. Já na fração silte, esse aumento de C derivado da floresta tanto pode ser originado da liteira da floresta, como também pode ter sido originário da fração argila ou areia (Figuras 5.31 e 5.32). Isto é, uma parte pode ter sido mineralizada da fração areia e não foi perdida. Ficou retida na fração silte, ou então, o C da fração argila, pela atividade microbiológica, pode ter formado compostos mais estáveis, complexos organo-minerais primários do tamanho da partícula de silte.

Na pastagem de braquiária após 2 anos, na camada 10-20 cm, só foi observado C derivado da gramínea na fração areia, com $0,2 \text{ g C kg solo}^{-1}$ (Figura 5.33). Após 4 anos, foi observada quantidades de C derivado da gramínea nas frações leve livre, areia e argila, mesmo assim com valores menores que $0,2 \text{ g C kg solo}^{-1}$, e principalmente na fração silte, com $0,7 \text{ g C kg solo}^{-1}$ derivado da braquiária (Figura 5.34). Entre o período de 2 e 4 anos de braquiária, foi observado um aumento no conteúdo de C nas frações leve livre e silte. Nas demais frações, ocorreu uma redução na quantidade de C, que foi devido à perda de C original da floresta contido nas frações. Os acréscimos de C nas frações leve livre e silte foram devidos, provavelmente, ao C derivado da gramínea que foi incorporado (Figuras 5.33 e 5.34).

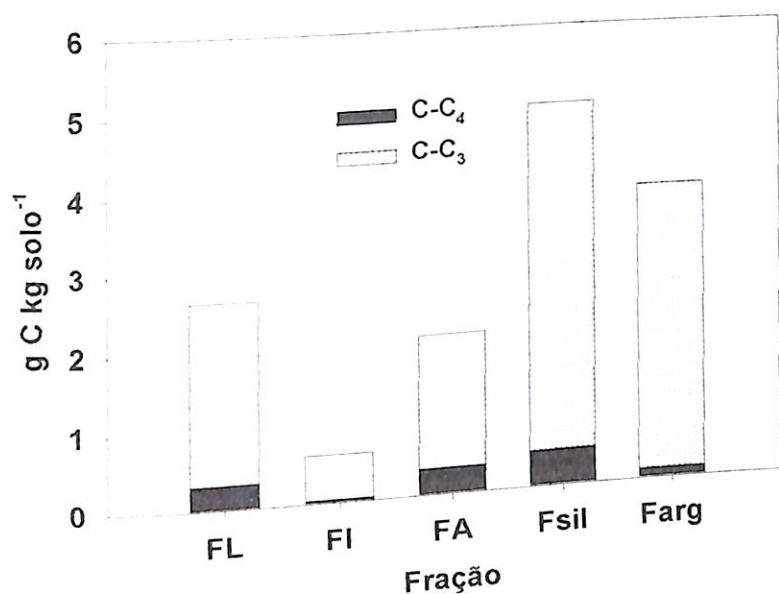


Figura 5.29- Origem do C nas frações da matéria orgânica do solo sob pastagem de *Brachiaria brizantha* após 2 anos da remoção da cobertura original de floresta, na camada de 0-5 cm.

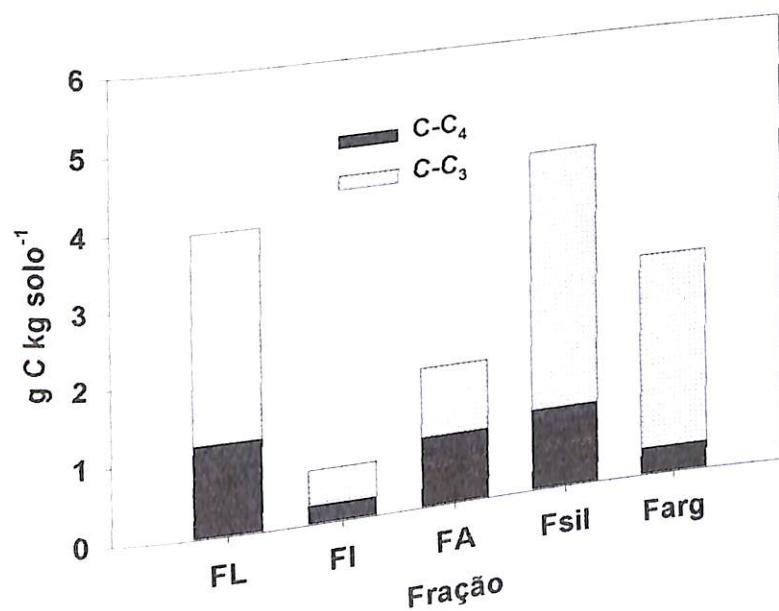


Figura 5.30- Origem do C nas frações da matéria orgânica do solo sob pastagem de *Brachiaria brizantha* após 4 anos da remoção da cobertura original de floresta, na camada de 0-5 cm.

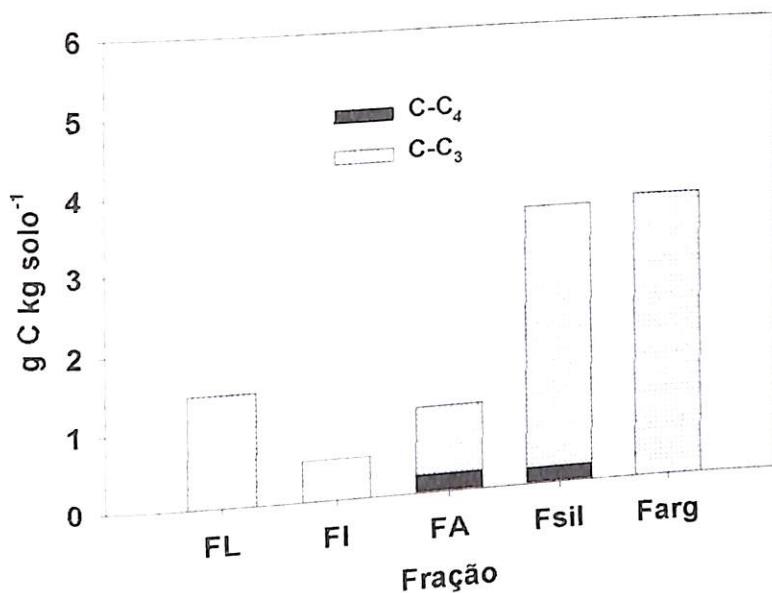


Figura 5.31- Origem do C nas frações da matéria orgânica do solo sob pastagem de *Brachiaria brizantha* após 2 anos da remoção da cobertura original de floresta, na camada de 5-10 cm.

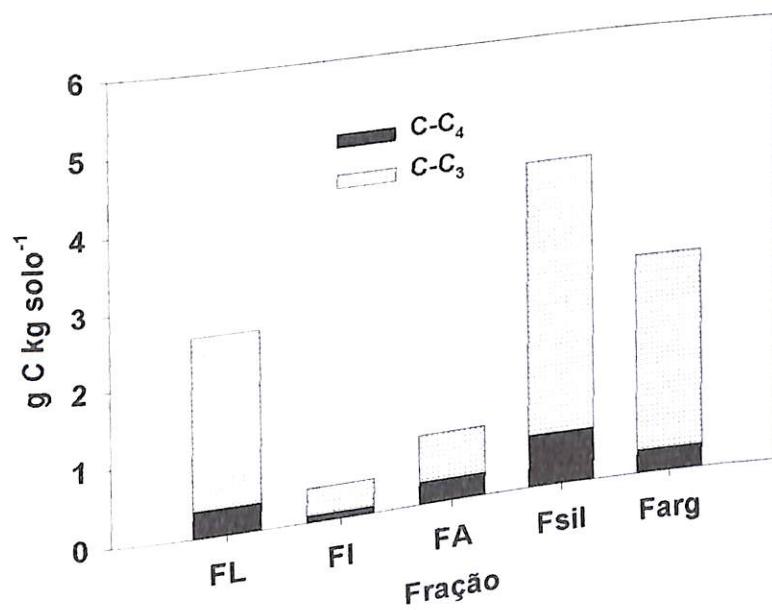


Figura 5.32- Origem do C nas frações da matéria orgânica do solo sob pastagem de *Brachiaria brizantha* após 4 anos da remoção da cobertura original de floresta, na camada de 5-10 cm.

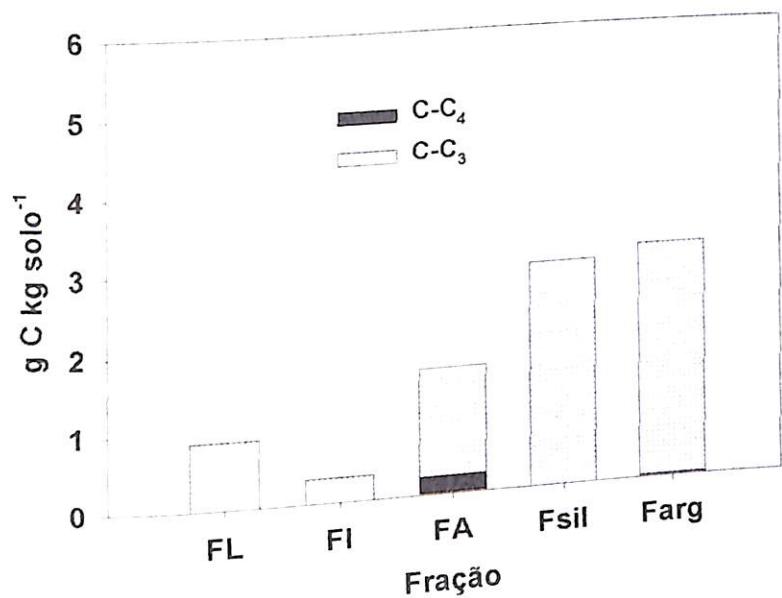


Figura 5.33- Origem do C nas frações da matéria orgânica do solo sob pastagem de *Brachiaria brizantha* após 2 anos da remoção da cobertura original de floresta, na camada de 10-20 cm.

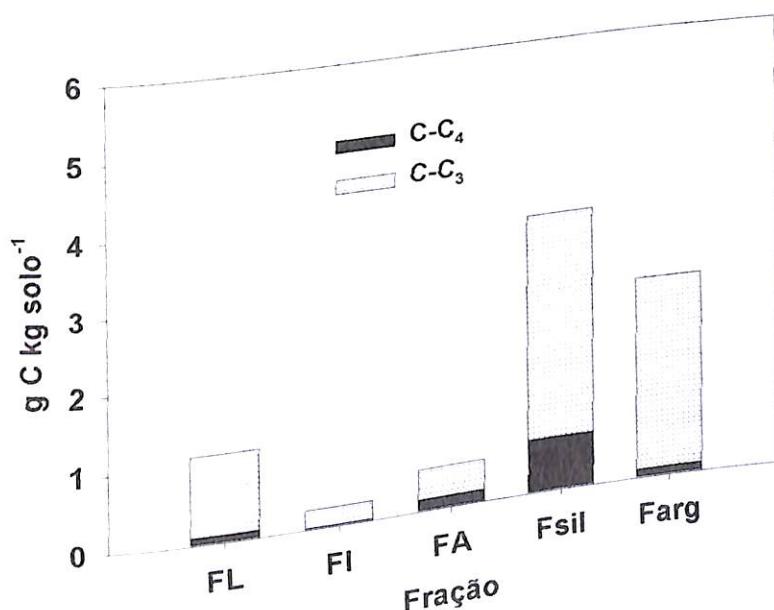


Figura 5.34- Origem do C nas frações da matéria orgânica do solo sob pastagem de *Brachiaria brizantha* após 4 anos da remoção da cobertura original de floresta, na camada de 10-20 cm.

No solo sob pastagem de capim elefante, pôde ser observada uma maior contribuição da gramínea na matéria orgânica do solo, em relação a braquiária. Na camada 0-5 cm, após 2 anos da implantação do capim elefante, a quantidade de C derivado da gramínea chegou a valores de 0,7 e 0,6 g C kg solo⁻¹, nas frações leve livre e silte, respectivamente. Nas frações leve intra-agregado, essa quantidade foi de apenas 0,1 g C kg solo⁻¹, e nas frações argila e areia, 0,4 g C kg solo⁻¹ (Figura 5.35). Após 4 anos de pastagem de capim elefante, a quantidade de C novo variou de 1,0 a 1,3 g C kg solo⁻¹, em todas as frações exceto a leve intra-agregado, com apenas 0,3 g C kg solo⁻¹ (Figura 5.36). No período entre 2 e 4 anos de pastagem de capim elefante, o C total das frações leve livre e areia aumentou, e reduziu nas frações silte e argila. Nas frações leve livre e areia aumentou, e reduziu nas frações silte e argila. Nas frações leve livre e areia, o C derivado da floresta não se alterou. Isto é, o aumento na quantidade de C nas frações foi devido ao C derivado do capim elefante. Já nas frações silte e argila, houve um aumento na quantidade de C derivado da gramínea e redução do C derivado da floresta, de cerca de 1 g C kg solo⁻¹ em cada fração (Figuras 5.35 e 5.36).

Na camada 5-10 cm, após 2 anos de manejo de capim elefante, a quantidade de C derivado da gramínea foi menor que a observada na camada superior, destacando-se as frações leve livre, areia e silte com 0,2, 0,4 e 0,3 g C kg solo⁻¹. Nas frações leve intra-agregado e argila, a quantidade de C novo não ultrapassou 1 g C kg solo⁻¹ (Figura 5.37). Após 4 anos, a quantidade de C derivado do capim elefante praticamente não se alterou nas frações leve livre e areia. Foram encontradas quantidades de C novo nas frações silte e argila iguais a 0,9 e 0,6 g C kg solo⁻¹, respectivamente (Figura 5.38). No período entre 2 e 4 anos de capim elefante, a quantidade de C total nas frações leve livre, areia e argila reduziu, na fração leve intra-agregado, a quantidade de C derivado da floresta permaneceu constante, e aumentou na fração silte. Na fração leve intra-agregado, a quantidade de C da gramínea que foi incorporada. Nas frações leve livre e areia, a quantidade de C derivado do capim elefante se manteve constante, mas cerca de 0,5 e 1 g C kg solo⁻¹ do C derivado da floresta foram perdidas. Na fração silte, a quantidade de C derivado da floresta se manteve constante. Isto é, o aumento de C observado na fração foi devido ao aumento da quantidade de C novo. Já na fração argila, foi observada uma redução do C derivado da floresta (Figuras 5.37 e 5.38).

Na camada 10-20 cm, no solo após 2 anos de pastagem de capim elefante, só foi observado C derivado da gramínea na fração areia, com 0,3 g C kg solo⁻¹, e traços na fração argila (Figura 5.39). Após 4 anos da pastagem, as maiores quantidades de C derivado do capim elefante foram encontradas nas frações pesadas areia, argila e silte com 0,2, 0,3 e 0,5 g C kg solo⁻¹, e traços na fração leve intra-agregado (Figura 5.40). No período entre 2 e 4 anos de pastagem, a quantidade de C nas frações intra-agregado e areia não se alteraram, na fração leve e argila, houve redução, e na fração silte, houve um aumento na quantidade de C. A redução da quantidade de C na fração argila foi devido à perda de C derivado da floresta. Na fração silte, houve aumento da quantidade de C derivado da gramínea e da floresta (Figuras 5.39 e 5.40).

Estes resultados demonstraram que a vegetação sobre o solo possui uma influência direta na dinâmica de C. Assim, o manejo da cobertura vegetal causa impactos diretos no conteúdo e dinâmica do C do solo. A implantação de pastagens bem manejadas pode aumentar a quantidade de C nos solos, e esse potencial precisa ser melhor estudado. As maiores quantidades de C derivado das gramíneas foram observadas nas camadas superficiais, embora tenham sido encontrados traços até 1 m de profundidade no perfil de solo. Por isso, a contribuição das raízes não pode ser menosprezada. O fracionamento físico da matéria orgânica foi uma ferramenta útil para

o estudo da dinâmica de C nos solos, indicando como as frações responderam às práticas de manejo. O caráter inédito desse trabalho mostra que é um campo com inúmeras possibilidades de estudo, que podem permitir um melhor entendimento da ciclagem de C nos solos tropicais.

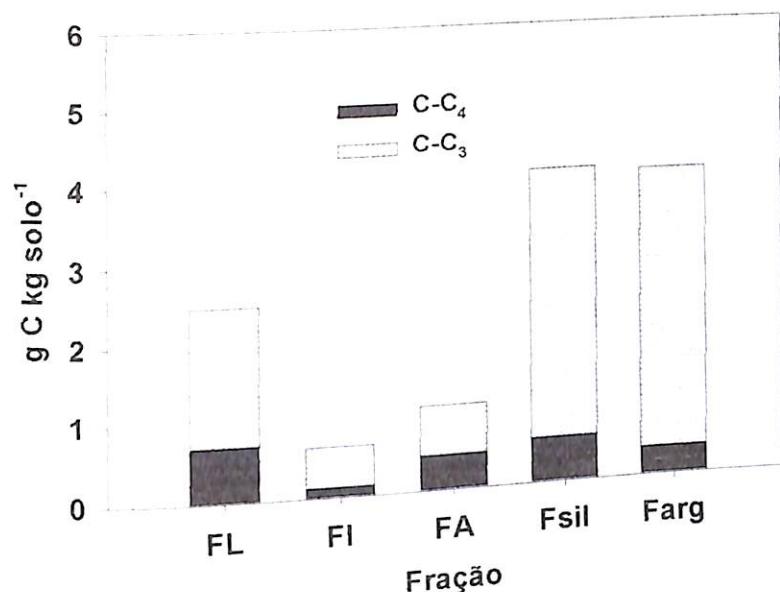


Figura 5.35- Origem do C nas frações da matéria orgânica do solo sob pastagem de *Pennisetum purpureum* após 2 anos da remoção da cobertura original de floresta, na camada de 0-5 cm.

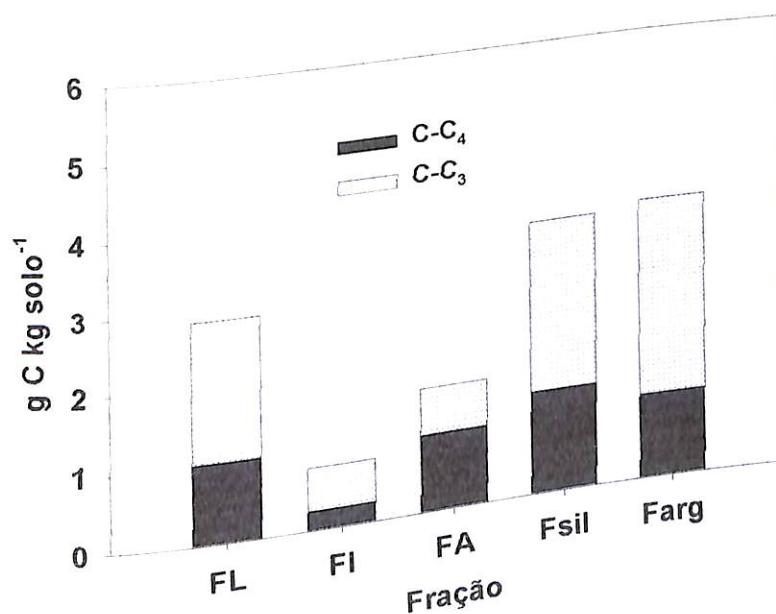


Figura 5.36- Origem do C nas frações da matéria orgânica do solo sob pastagem de *Pennisetum purpureum* após 4 anos da remoção da cobertura original de floresta, na camada de 0-5 cm.

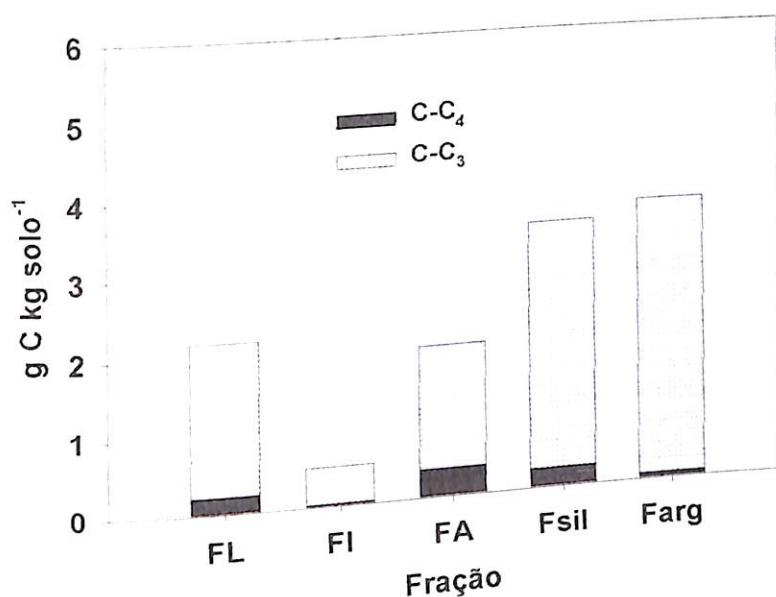


Figura 5.37- Origem do C nas frações da matéria orgânica do solo sob pastagem de *Pennisetum purpureum* após 2 anos da remoção da cobertura original de floresta, na camada de 5-10 cm.

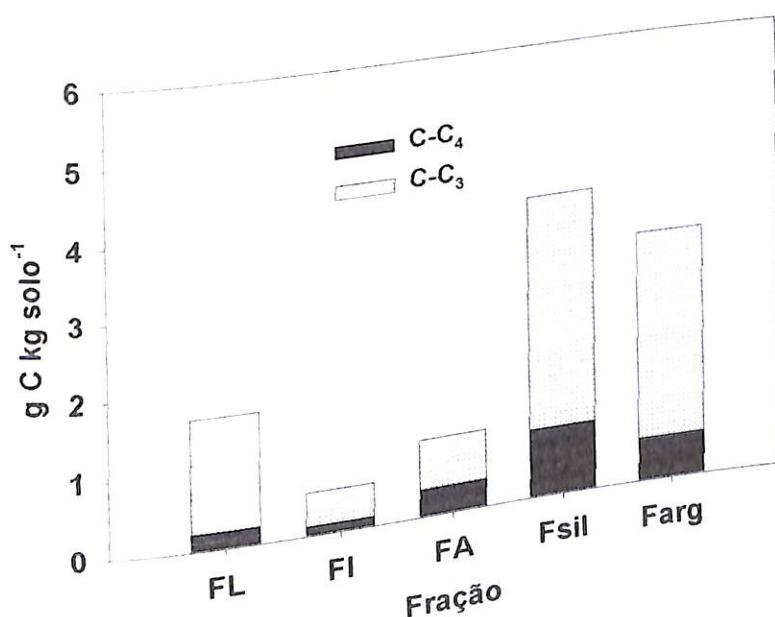


Figura 5.38- Origem do C nas frações da matéria orgânica do solo sob pastagem de *Pennisetum purpureum* após 4 anos da remoção da cobertura original de floresta, na camada de 5-10 cm.

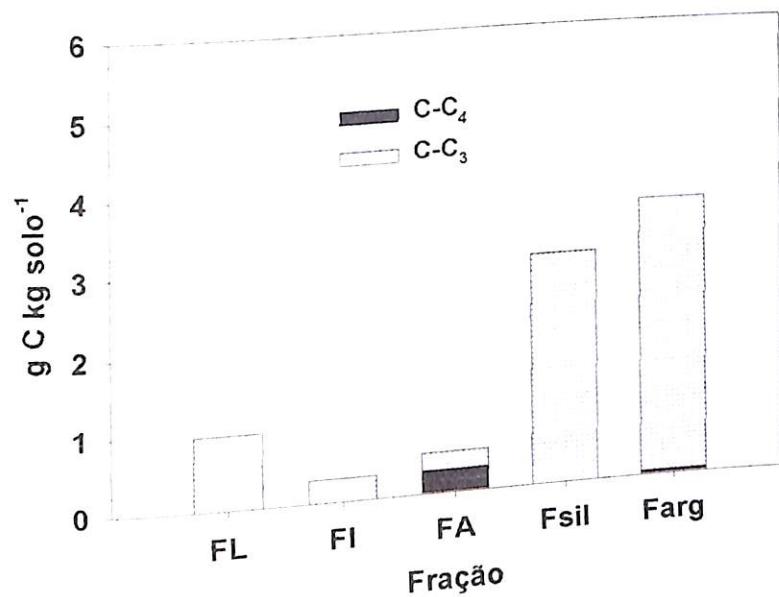


Figura 5.39- Origem do C nas frações da matéria orgânica do solo sob pastagem de *Pennisetum purpureum* após 2 anos da remoção da cobertura original de floresta, na camada de 10-20 cm.

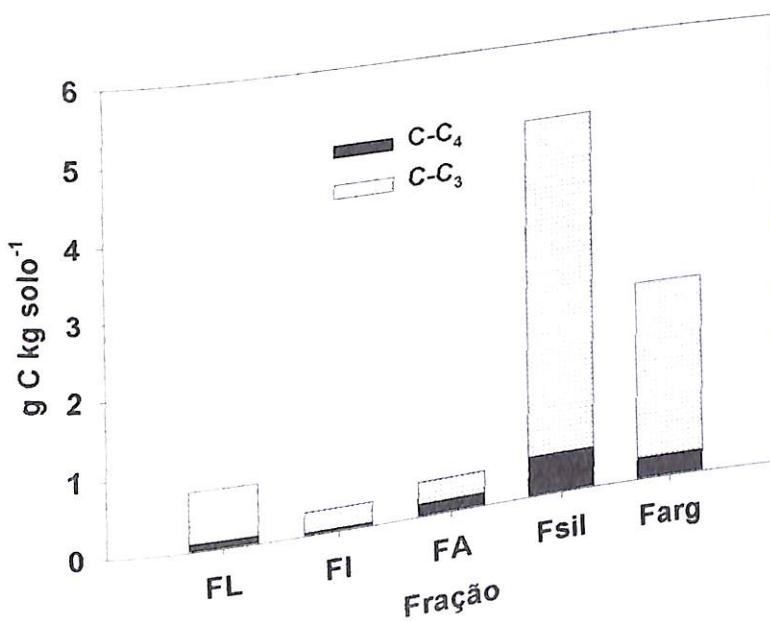


Figura 5.40- Origem do C nas frações da matéria orgânica do solo sob pastagem de *Pennisetum purpureum* após 4 anos da remoção da cobertura original de floresta, na camada de 10-20 cm.

5.5- Conclusões

- O capim elefante (*Pennisetum purpureum*) contribuiu mais para o C da matéria orgânica do solo que a braquiária (*Brachiaria brizantha*), após 4 anos de pastagem sobre solo original de floresta, o que caracteriza uma diferença dentro do próprio grupo de plantas C₄ da família das gramíneas..
- As contribuições das gramíneas no solo foram mais significativas nas camadas superficiais, embora tenha sido encontrado C novo em até 1 m de profundidade após 4 anos de pastagem de capim elefante.
- As frações areia e leve livre apresentaram as maiores proporções de C derivado das gramíneas, embora as maiores quantidades foram encontradas na fração silte.
- As frações leve intra-agregado e argila conservaram as maiores quantidades de C derivado da floresta.
- A introdução das pastagens aumentou o conteúdo de C no solo, principalmente na fração silte

CAPÍTULO 4

FRACIONAMENTO FÍSICO DA MATÉRIA ORGÂNICA E USO DE ^{13}C EM
SOLOS SOB PLANTIO DE CANA-DE-AÇÚCAR, MATA SECUNDÁRIA E
PASTAGEM NO MUNICÍPIO DE CONCEIÇÃO DE BARRA (ES).

PALAVRAS-CHAVE

Fração leve, ^{13}C , mata secundária, pastagem, cana-de-açúcar, C_3 , C_4 , Mata Atlântica,
carbono, estoque de Carbono.

6.1- Introdução

A Mata Atlântica originalmente situa-se desde a região Sudeste até a região Nordeste do Brasil. Na região localizada no norte do ES, incluindo o município de Conceição da Barra (ES), grande proporção da mata original foi derrubada, nos últimos 40 anos, para a implantação de pastagens, principalmente do gênero *Brachiaria*. A região é caracterizada por extensas áreas de relevo suave ondulado, com séries de baixos platôs, denominados de áreas de tabuleiros (Guedes, 2002).

Nos últimos 20 anos, com a instalação de usinas de açúcar e álcool, foi estimulado o plantio de cana-de-açúcar na região. Assim, na região podem ser caracterizadas, em maiores proporções do uso da terra, pastagens sub-utilizadas, plantio de cana-de-açúcar e pequenas áreas com a vegetação original de mata remanescente. A queimada é uma prática utilizada na região, principalmente na cultura de cana-de-açúcar. Na área sob cana, ela é feita com o objetivo, segundo os agrônomos da região, eliminar focos de pragas e doenças na palhada da cana e facilitar a colheita. As práticas de manejo da cana-de-açúcar atualmente tem favorecido um declínio do potencial produtivo dos solos, principalmente devido a redução dos teores de matéria orgânica, promovida pelo rigoroso revolvimento do solo no plantio e pela queima da palha (Guedes, 2002). A produtividade média da cultura da cana na região varia em torno de 75 Mg ha⁻¹, valor ligeiramente acima da média nacional, de 68 Mg ha⁻¹.

Na área sob pastagens não são conduzidas adubações de manutenção. Isto é, após a formação, onde é feita uma adubação no plantio, o único manejo dado é a queimada em período anterior à época das chuvas. Já na cana, são feitas adubações no plantio e nas canas socas, e baseado na análise de solo, em alguns casos é necessária a aplicação de calcário.

Na propriedade da usina ALCON, podem ser encontradas áreas com as três coberturas citadas (mata, cana e pastagem). Assim, pode-se avaliar o efeito da cobertura vegetal na matéria orgânica do solo.

6.2- Objetivos

- ~ Determinar a origem do carbono (C_3 ou C_4) nos perfis de solo até 1m de profundidade, e nas frações da matéria orgânica do solo até 30 cm de profundidade, através da técnica da abundância natural de ^{13}C .
- ~ Quantificar diferentes compartimentos da matéria orgânica do solo através do fracionamento físico por densidade e granulometria.

6.3- Material e Métodos

As áreas estudadas estão localizadas no município de Conceição da Barra (norte do ES), na propriedade da usina ALCON S.A.. O solo em estudo é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo, com três diferentes coberturas vegetais: floresta secundária, pastagem de braquiária (*B. brizantha*) e cana-de-açúcar (*Sacharum officinarum*).

A cultura de braquiária foi implantada após a remoção da cobertura de floresta entre 1980 e 1981, quando foi aplicado calcário e adubação de formação, sendo que não foi feita adubação de manutenção da pastagem após a implantação. A pastagem foi caracterizada como sub-utilizada, pois a taxa de lotação é reduzida.

A cana-de-açúcar foi implantada nos anos de 1990 a 1992, sobre áreas plantadas com braquiária, onde originalmente era floresta, em linhas espaçadas de 1 m. No plantio e nas canas socas foi feita adubação contendo macro e micronutrientes, além da aplicação de calcário anterior ao plantio. Desde a implantação, foram realizadas 2 renovações, nos períodos entre 1995-1996 e entre 2000 e 2001. A produtividade média variou entre 50 e 80 Mg ha⁻¹ de colmos. A queima da cana foi conduzida anualmente no dia anterior à colheita.

As três coberturas vegetais estavam localizadas em áreas adjacentes, espaçadas por aproximadamente 200 m, de relevo plano. Sob cada cobertura vegetal, foram abertas quatro trincheiras de 1,0 x 1,20 x 1,20 m em profundidade, espaçadas de aproximadamente 25 m, onde foram coletadas amostras de solo nas profundidades: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-80 e 80-100 cm, usando para isso as 4 laterais da trincheira. Em cada profundidade citada, determinou-se a densidade do solo, utilizando-se anéis de metal de 99,35 cm³, em todas as laterais da trincheira. As amostras para densidade do solo foram secas em estufa a 105 °C e posteriormente pesadas.

As amostras de solo foram secas ao ar, e depois, passadas em peneira de 2 mm, sendo posteriormente guardadas em sacos plástico. Essas amostras foram analisadas para fertilidade e granulometria, apresentando o seguinte resultado (Tabelas 6.1, 6.2 e 6.3 e 6.4).

Tabela 6.1- Análise de solo sob cobertura de floresta secundária, no município de Conceição da Barra (ES).

Mata	Profundidade	pH	P	K mg kg ⁻¹	Al cmol dm ⁻³	Ca + Mg
	cm					
	0-5	4,9	5	36	0,1	3,3
	5-10	4,9	3	27	0,2	2,0
	10-20	4,7	2	22	0,3	1,6
	20-30	4,5	1	15	0,7	1,0
	30-40	4,3	2	11	0,8	0,8
	40-50	4,3	1	9	1,1	0,7
	50-60	4,3	0	8	1,2	0,7
	60-80	4,3	0	9	1,4	0,7
	80-100	4,2	0	11	1,4	0,6

*média de 4 repetições

Tabela 6.2- Análise de solo sob cobertura de cana-de-açúcar, no município de Conceição da Barra (ES).

Cana-de-açúcar	Profundidade (cm)	pH	P mg kg ⁻¹	K	Al	Ca + Mg
						cmol dm ⁻³
	0-5	5,3	5	55	0,0	2,1
	5-10	5,1	3	31	0,0	2,3
	10-20	5,3	2	23	0,1	2,0
	20-30	5,4	1	20	0,0	2,1
	30-40	5,4	2	13	0,1	2,1
	40-50	5,6	1	11	0,1	2,2
	50-60	5,6	0	9	0,2	2,3
	60-80	5,4	0	9	0,2	2,5
	80-100	5,2	0	8	0,2	2,3

*média de 4 repetições

Tabela 6.3- Análise de solo sob cobertura de pastagem de braquiária, no município de Conceição da Barra (ES).

Braquiária	(cm)	Profundidade	pH	P mg kg ⁻¹	K	Ca + Mg	
						cmol dm ⁻³	
	0-5		5,3	2	34	0,0	2,2
	5-10		5,3	2	27	0,0	2,0
	10-20		5,3	2	23	0,0	2,4
	20-30		5,4	2	31	0,0	2,3
	30-40		5,5	1	23	0,0	2,5
	40-50		5,3	1	21	0,1	2,1
	50-60		5,0	1	16	0,4	1,5
	60-80		4,9	1	18	0,6	1,2
	80-100		4,8	2	18	0,6	1,0

*média de 4 repetições

Tabela 6.4- Análise granulométrica do solo sob plantio de cana-de-açúcar, floresta secundária e pastagem de braquiária, no município de Conceição da Barra (ES).

Cobertura	Profundidade (cm)	Areia	Argila	Silte
			g kg ⁻¹	
Cana	0 a 5	875	40	85
	5 a 10	860	55	85
	10 a 20	820	65	115
	20 a 30	770	70	160
Mata	0 a 5	900	20	80
	5 a 10	890	30	120
	10 a 20	860	20	190
	20 a 30	770	40	60
Pasto	0 a 5	890	50	85
	5 a 10	870	45	80
	10 a 20	840	80	170
	20 a 30	770	60	

As amostras de solo foram analisadas para teores de C, N e ^{13}C , através da utilização de um espectrômetro de massa (Finnigan DeltaPlus) acoplado a um analisador automático de C e N total, no laboratório de nitrogênio na Embrapa Agrobiologia, após serem moidas finamente em moinho de rolagem (Smith e Myung, 1990). Assim, foram avaliados os efeitos da implantação das gramíneas no solo, em profundidade, nos teores de C, N, relação C:N e $\delta^{13}\text{C}$.

Assim, no solo sob pastagem de braquiária, podia ser encontrado C derivado de duas fontes, da mata original e da pastagem, após 20 anos. No solo sob cana-de-açúcar, o C do solo poderia ser de três fontes, da mata, da pastagem, entre 1980 e 1990-1991, e da cana-de-açúcar, cultivada entre 1991-2002. Isto é, o solo sob cana-de-açúcar foi utilizado anteriormente por braquiária, também uma planta C_4 .

Baseado nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ encontrados nos solos sob as gramíneas e sob mata em cada camada, calculou-se a proporção de C_3 e C_4 no solo, de acordo com a equação 6.1, proposta por Balesdent et al. (1987).

Equação 6.1

$$\% \text{C-C}_4 = 100 \times (\delta_A - \delta_M) / (\delta_{\text{B lитеira}} - \delta_M)$$

Considerando-se que:

$\% \text{C-C}_4$ foi a contribuição em porcentagem de carbono de planta C_4 .

δ_A foi o valor de $\delta^{13}\text{C}$ do solo sob gramínea

δ_M foi o valor de $\delta^{13}\text{C}$ do solo sob mata (100 % C_3).

$\delta_{\text{B lитеira}}$ foi o valor de $\delta^{13}\text{C}$ da lитеira da gramínea.

Assim, o C derivado da gramínea (C-C_4) foi determinado pela equação:

$$\text{C-C}_4 = \text{C}_{\text{solo}} \times \% \text{C-C}_4 / 100$$

Considerando-se que:

C_{solo} é o valor de C total do solo na camada estudada.

O C derivado da floresta (C-C_3) no solo foi determinado por diferença:

$$\text{C-C}_3 = \text{C}_{\text{solo}} - \text{C-C}_4$$

Para o cálculo das contribuições, foram adotados os seguintes valores: -10,66 $\delta^{13}\text{C}$, para a lитеira de *Brachiaria brizantha*; e -12,00 $\delta^{13}\text{C}$, para a lитеira de cana-de-açúcar.

O estoque de C no solo foi calculado multiplicando-se a quantidade de C no solo em uma determinada camada pela sua densidade do solo, segundo a equação 6.2.

$$\text{Equação 6.2} \\ \text{Ct} (\text{Mg ha}^{-1}) = \text{C} (\text{g kg}^{-1}) \times \text{Ds} \times \text{Prof. (m)} \times 10$$

Considerando-se que:

$\text{Ct} (\text{Mg ha}^{-1})$ é o C total acumulado no solo.

$\text{C} (\text{g kg}^{-1})$ é a quantidade de C no solo

Ds é a densidade solo.

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

Assim, foram determinados os estoques de C no solo até 1 m de profundidade. Conforme recomendado por Neill et al. (1997), devido à compactação que o uso agrícola provoca em solos onde originalmente apresentavam cobertura de mata, fêz-se uma correção, de modo que a massa de solo fosse idêntica para as três coberturas vegetais. Sem essa correção, e com a profundidade fixa, os solos sob cobertura de pastagem e de cana-de-açúcar, por estarem mais adensados, iriam apresentar uma maior massa de solo no volume estudado. Assim, poderiam ter maiores quantidades de C devido à maior quantidade de solo na profundidade até 1 m.

As amostras de solo nas camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm de cada tratamento, com as 4 repetições do experimento, foram fracionadas no laboratório de análise de solo e planta (LASP), na Embrapa Solos, segundo a metodologia proposta por Sohi et al. (2001) e Machado (2002), para fracionamento densimétrico e granulométrico, pelo método da alíquota, citado no capítulo 1.

Destes solos fracionados, foram obtidas cinco frações da matéria orgânica: fração leve livre (FL), fração leve intra-agregado (FI), fração areia (FA), fração silte (Fsil) e fração argila (Farg). Essas frações foram secas em estufa a 55 °C, pesadas, moidas finamente em moinho de rolagem. As amostras das camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm foram analisadas para ^{13}C , teores de C e N, utilizando um espectrômetro de massa (Finnigan DeltaPlus) acoplado a um analisador automático de C e N total, no laboratório de nitrogênio na Embrapa Agrobiologia.

Foram calculados os teores de C, N e ^{13}C para cada fração e correlacionados com os resultados do solo total. Assim, foram determinados os teores de fração leve no solo, a relação C:N das frações, a quantidade de C e N nas frações por unidade de solo, a quantidade de C nas frações de diferentes origens (C_3 ou C_4).

O Cálculo da proporção de plantas C_3 e C_4 foi realizado de acordo com a equação 6.1, utilizando os valores de ^{13}C determinados nas frações da matéria orgânica em cada profundidade:

Considerando-se que:

$\% \text{C-C}_4$ foi a contribuição em porcentagem de carbono de planta C_4 .

δ_4 foi o valor de $\delta^{13}\text{C}$ da fração estudada.

δ_M foi o valor de $\delta^{13}\text{C}$ do fração original, sob mata (100 % C_3).

δ_B foi o valor de $\delta^{13}\text{C}$ da liteira da gramínea.

O C derivado da gramínea (C-C_4) foi determinado pela equação:

$$\text{C-C}_4 = \text{Cf} \times \% \text{C-C}_4 / 100$$

Considerando-se que:

Cf é o valor de C total na fração estudada na monocultura.

O C derivado da floresta (C-C_3) foi determinado pela equação, já que o C do solo possui somente 2 fontes (floresta e gramínea):

$$\text{C-C}_3 = \text{Cf} - \text{C-C}_4$$

Com as proporções obtidas, foi possível estimar a contribuição das diferentes fontes de C (floresta ou gramínea) no solo até 1 m de profundidade, e também nas frações, quantificando o C derivado nas frações até 30 cm de profundidade.

O estoque de C nas frações foi calculado multiplicando-se a quantidade de C no solo em uma determinada camada pela sua densidade aparente, segundo a equação 6.2.

Considerando-se que:

Ct ($Mg\ ha^{-1}$) é o C total acumulado na fração.

C ($g\ kg^{-1}$) é a quantidade de C na fração.

Dap é a densidade aparente do solo.

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

6.4- Resultados e discussão

6.4.1- Densidade do solo

A densidade solo sob todas as coberturas vegetais foi menor superficialmente, aumentando até a profundidade de 30-50 cm, e reduzindo depois até a profundidade de 1 m. Na camada 0-5 cm, a densidade aparente foi de 1,30, 1,21 e 1,40 g cm⁻³, nos solos sob cana, mata e pastagem, respectivamente. Nos solos sob cana-de-açúcar e pasto, pôde-se observar um adensamento nas profundidades de 0 a 30 cm em relação à mata. Nas profundidades de 30-40 e 40-50 cm, o solo sob pastagem apresentou densidades menores que o solo sob mata. Nas profundidades 60-80 e 80-100 cm, o solo sob cana teve menor densidade que o solo sob mata. Entre as profundidades de 20 e 60 cm, foram encontradas as maiores densidades, chegando a 1,53 g cm⁻³ na cana, 1,61 g cm⁻³, na mata e a 1,63 g cm⁻³, na pastagem (Figura 6.1).

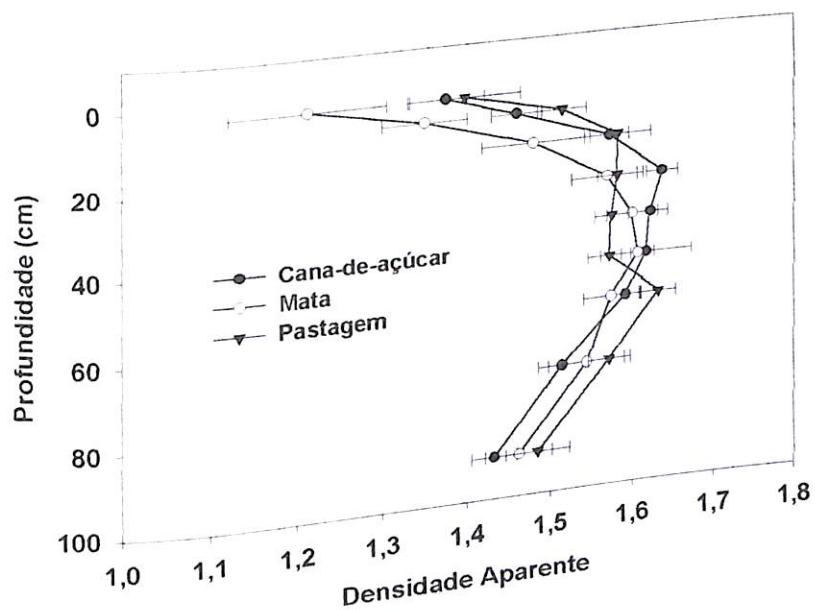


Figura 6.1- Densidade do solo em diferente profundidades sob cana-de-açúcar, mata secundária e pastagem de braquiária, em Conceição da Barra (ES). (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

6.4.2- Teores de C e N do solo

Os teores de C do solo foram mais altos nas camadas superficiais e reduziram em profundidade, até 1 m; os solo sob cana, mata e pastagem apresentaram essa mesma tendência. Na camada 0-5 cm, o teor de C na mata foi superior à cana e a pastagem, chegando a 13,3 g C kg solo⁻¹, enquanto sob as gramíneas, esses valores foram de 5,5 e 5,6 g C kg solo⁻¹ na cana e no pasto, respectivamente. Entre 5 e 100 cm de profundidade, os teores de C variaram entre 2,1 e 6,3 g C kg solo⁻¹. No solo sob cana, os teores de C foram os menores encontrados nas camadas 20-30 e 50-60 cm, com 4,1 e 0,8 g C kg solo⁻¹, respectivamente. No solo sob pastagem de braquiária, os teores de C variaram entre 2,1 e 7,5 g C kg solo⁻¹, destacando-se nas camadas abaixo de 60 cm (Figura 6.2).

Os teores de N acompanharam os de C do solo. Na camada 0-5 cm, o teor de N na mata chegou a 1,0 g N kg solo⁻¹, valor superior ao encontrado no solo sob cana e pastagem, que atingiram somente 0,4 g N kg solo⁻¹. Na camada 50-60 cm, no solo sob cana, o teor de N foi o menor encontrado, com 0,1 g N kg solo⁻¹. De uma maneira geral, os teores de N na cana e na pastagem variaram entre 0,1 e 0,5 g N kg solo⁻¹ (Figura 6.3).

A relação C:N do solo foi muito variável, com valores entre 8 e 14. No solo sob mata, na profundidade entre 0 e 60 cm, a relação C:N variou entre 10,5 e 13. Já nas camadas abaixo de 60 cm, a relação C:N reduziu a 9,7. No solo sob cana e pastagem, a relação C:N foi superior à encontrada na mata nas camadas 0-5 e 5-10 cm. Abaixo de 20 cm, no solo sob cana, a relação C:N foi inferior aos valores encontrados na mata, exceto na profundidade 80-100 cm, atingindo valores iguais a 8 na camada 50-60 cm. No solo sob pastagem, exceto na profundidade 50-60 cm, a relação C:N foi superior a da mata, chegando a 13,8 na camada 60-80 cm (Figura 6.4). Até 10 cm de profundidade, as gramíneas apresentaram comportamento semelhante, com relação C:N superior ao solo sob mata. Abaixo de 20 cm, apresentaram comportamento contrastante. No solo sob cana, a relação C:N reduziu, enquanto no solo sob pastagem a relação C:N aumentou em profundidade, em relação à mata. Isso pode ser devido à maior contribuição do sistema radicular da braquiária em profundidade.

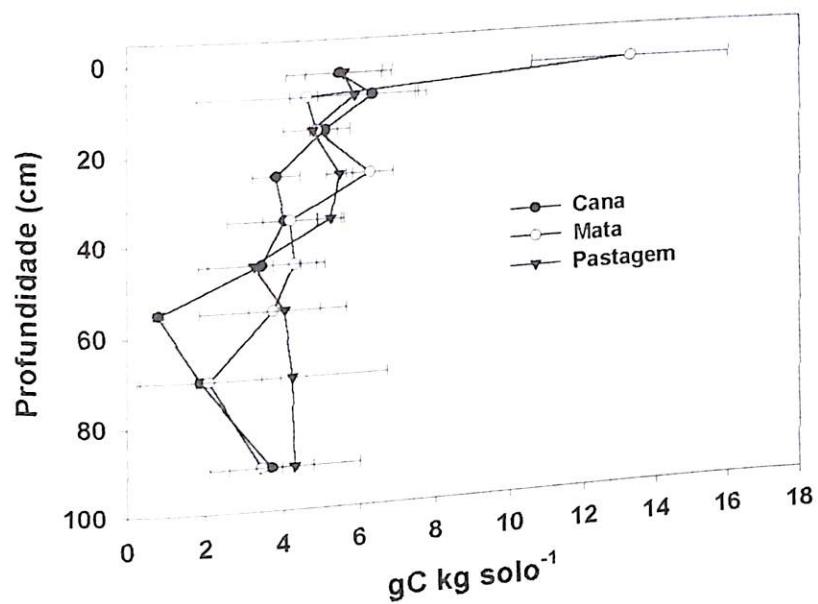


Figura 6.2- Teores de C no solo sob cobertura de cana-de-açúcar, mata secundária e pastagem de braquiaria, em Conceição da Barra (ES). (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições, de 0 a 30 cm, e 2 repetições, de 30 a 100 cm)

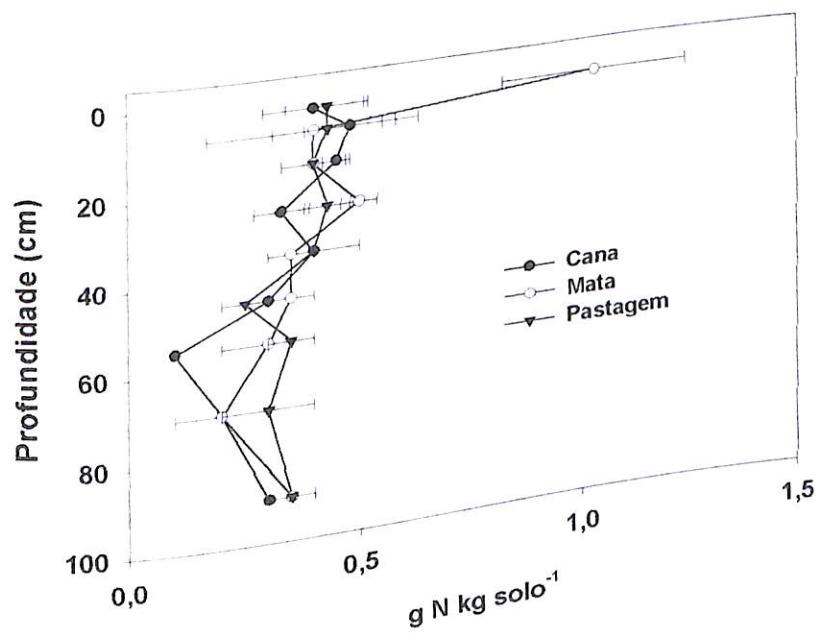


Figura 6.3- Teores de N no solo sob cobertura de cana-de-açúcar, mata secundária e pastagem de braquiaria, em Conceição da Barra (ES). (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições, de 0 a 30 cm, e 2 repetições, de 30 a 100 cm)

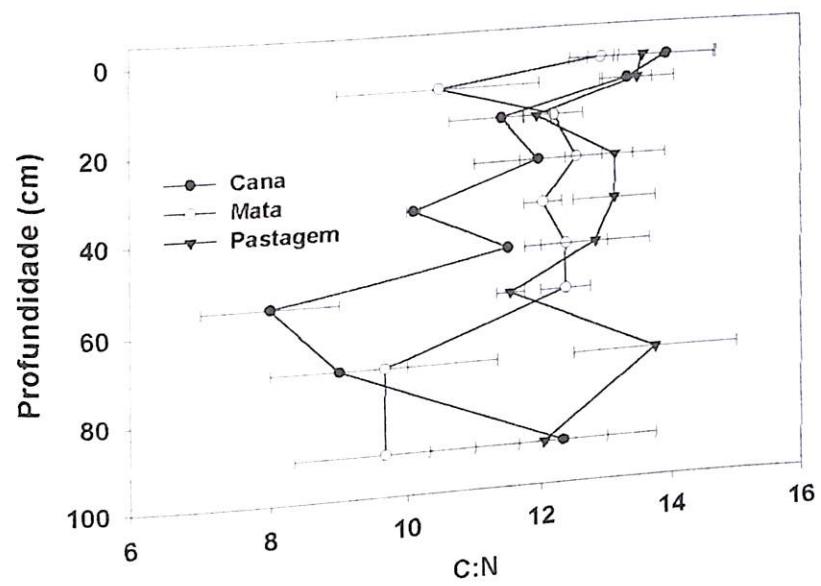


Figura 6.4- Relação C:N do solo sob cobertura de cana-de-açúcar, mata secundária e pastagem de braquiaria, em Conceição da Barra (ES). (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições, de 0 a 30 cm, e 2 repetições, de 30 a 100 cm)

6.4.3- Composição isotópica do solo

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ refletiram a vegetação instalada sobre o solo. No solo sob mata, foram encontrados sinais característicos de plantas de ciclo fotossintético C₃, com valor de $-26,8\text{‰}$ na camada 0-5 cm, aumentando em profundidade, até o valor de $-25,2\text{‰}$ na camada 80-100 cm (Figura 6.5). Essa tendência a um aumento dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ em profundidade também foi encontrada por outros autores (Balesdent et al., 1987; Tarré, 2000; Roscoe et al., 2001). Com esses valores obtidos, pôde-se afirmar que este solo é característico de cobertura de mata, representativo exclusivamente de espécies C₃. A composição isotópica do solo sob mata apresentou um comportamento semelhante aquele encontrado no capítulo 3, e também por Tarré et al. (2001). Nesse experimento, não foram coletadas amostras de solo no período anterior à introdução da pastagem e da cultura da cana-de-açúcar. Logo, a utilização do solo sob mata como referência só foi possível por não ter sido observado diferença na análise granulométrica entre as coberturas vegetais, e não houve sinal da presença de resíduos de plantas C₄. Isto é, as diferenças encontradas nos solos sob mata e cana-de-açúcar foram devidas à presença dessas gramíneas, e não à diferenças entre o conteúdo de matéria orgânica do solo antes da instalação de *Brachiaria* há 20 anos.

Os solos sob cana e pastagem apresentaram comportamento semelhante entre si e diferindo da mata, com sinal tipicamente de plantas C₄, principalmente nas camadas superficiais. Na camada 0-5 cm, no solo sob pastagem, o valor de $\delta^{13}\text{C}$ chegou a $-18,0\text{‰}$, e no solo sob cana, a $-19,3\text{‰}$. Abaixo da camada de 10-20 cm, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ da pastagem e da cana foram praticamente os mesmos, sendo observado uma redução na composição isotópica do solo. Isto é, em maior profundidade, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ do solo sob gramínea se aproximavam aos valores encontrados no solo sob mata, chegando ao valor de $-24,5\text{‰}$ na camada 80-100 cm (Figura 6.5). Assim, pôde-se verificar que as maiores contribuições de C novo derivado das gramíneas ocorreram, como esperado, próximas à superfície do solo, reduzindo em profundidade. O C derivado das gramíneas foi observado até na camada 80-100 cm.

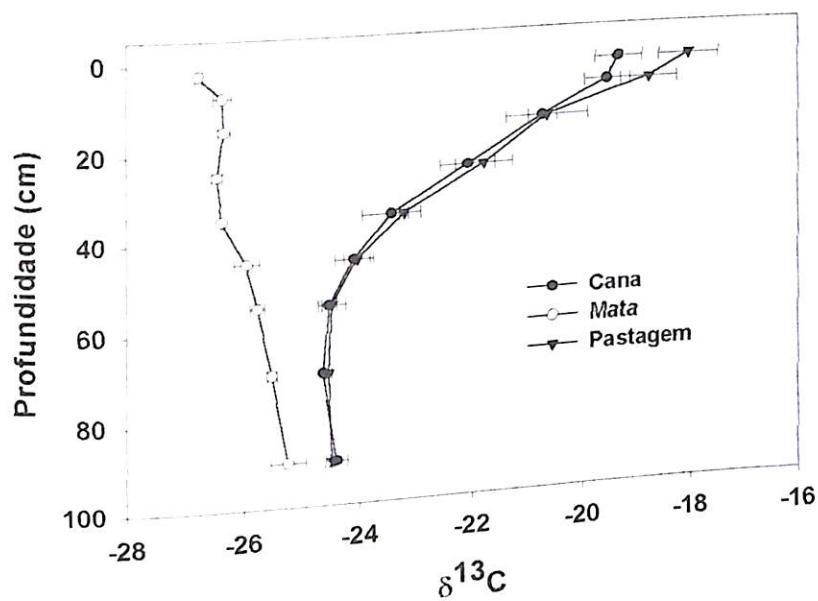


Figura 6.5- Composição isotópica de ^{13}C no solo sob cobertura de cana-de-açúcar, mata secundária e pastagem de braquiária, em Conceição da Barra (ES). (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições, de 0 a 30 cm, e 2 repetições, de 30 a 100 cm)

6.4.4- Origem do C do solo

Após 20 anos da implantação das gramíneas com a remoção da cobertura vegetal, foram encontradas contribuições de C novo em todas as profundidades estudadas. Não foi observada diferença entre o solo sob cana e sob pastagem. As proporções de C derivado das gramíneas foram mais altas na camada superior 0-5 cm, chegando a 51 e 54 % do C total, no solo sob cana e no solo sob pastagem, respectivamente. Na camada 10-20 cm, as contribuições reduziram a 39 e 36 %, respectivamente. Em profundidade, a proporção de C derivado das gramíneas reduziu, chegando a 9 % na camada 50-60 cm, nos solos sob cana e pastagem, e depois a valores menores que 6 % na camada 80-100 cm (Figura 6.6). A proporção de C derivado das gramíneas nos solos até 1 m de profundidade foi semelhante para ambas as culturas.

No solo sob cobertura de cana-de-açúcar, a quantidade de C derivado da gramínea foi maior nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm, com 2,7, 3,1 e 2,0 g C kg solo $^{-1}$, respectivamente. A quantidade de C novo reduziu em profundidade, chegando a valores menores que 0,2 g C kg solo $^{-1}$ nas profundidades abaixo de 50 cm. O C derivado da mata variou de 0,7 a 3,5 g C kg solo $^{-1}$, nas camadas estudadas (Figura 6.7).

No solo sob cobertura braquiária, a quantidade de C derivado da gramínea foi maior nas camadas superficiais, 0-5 e 5-10 cm, com 3,1 e 2,9 g C kg solo $^{-1}$, respectivamente. Em profundidade, a quantidade de C novo reduziu, chegando a 1,7 e 1,6 g C kg solo $^{-1}$, nas camadas 10-20 e 20-30cm, respectivamente. Abaixo de 40 cm, a quantidade de C derivado da braquiária foi menor que 0,4 g C kg solo $^{-1}$. A quantidade de C derivado da mata variou de 2,5 a 4,2 g C kg solo $^{-1}$ (Figura 6.8).

No solo sob cobertura de pastagem de braquiária, a quantidade de C encontrada foi superior ao solo sob cana. A quantidade de C derivado da floresta foi maior no solo sob braquiária. Isto é, após 10 anos da implantação da cana sobre o solo, houve uma

redução do C original, derivado da floresta. Mesmo com a adição de C novo derivado das gramíneas, de 2,7 e 3,1 g C kg solo⁻¹, na cana e na pastagem, respectivamente, na camada 0-5 cm, foi observada uma queda na quantidade de C derivado da floresta, de 13,3 g C kg solo⁻¹ (Figura 6.2), para 2,7 e 2,5 g C kg solo⁻¹, na cana (Figura 6.7) e na pastagem (Figura 6.8), respectivamente. Em relação à quantidade de C encontrada na mata, no perfil até 1 m de profundidade, os solos sob cobertura de pastagem e cana apresentaram comportamento contrastante em profundidades abaixo de 50 cm. No solo sob cana, a quantidade de C reduziu, enquanto no solo sob pastagem, a quantidade de C aumentou. Essas diferenças foram observadas também no C derivado da mata. Isto é, a pastagem de braquiária conservou mais o C derivado da floresta (Figuras 6.2, 6.7 e 6.8).

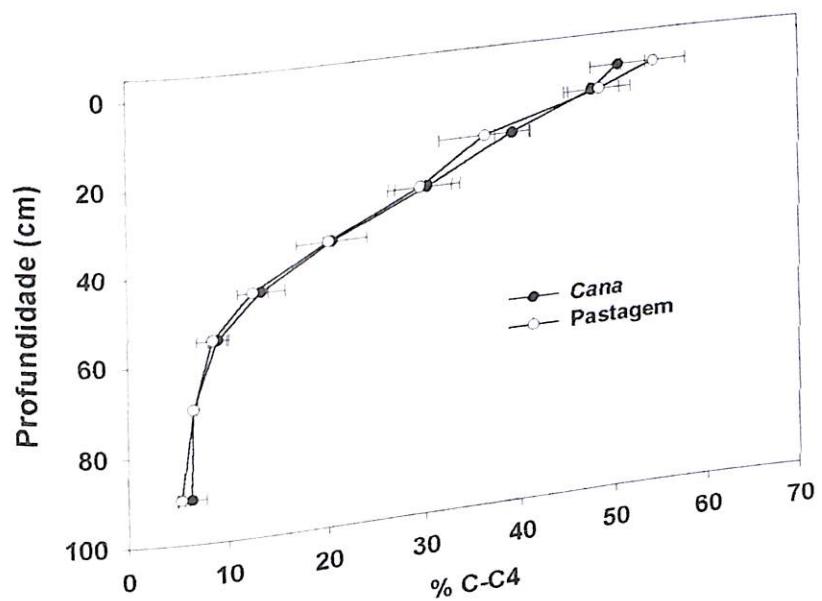


Figura 6.6- Proporção de C derivado de C₄ no solo sob cobertura de cana-de-açúcar, mata secundária e pastagem de Brachiaria, em Conceição da Barra (ES). (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições, de 0 a 30 cm, e 2 repetições, de 30 a 100 cm)

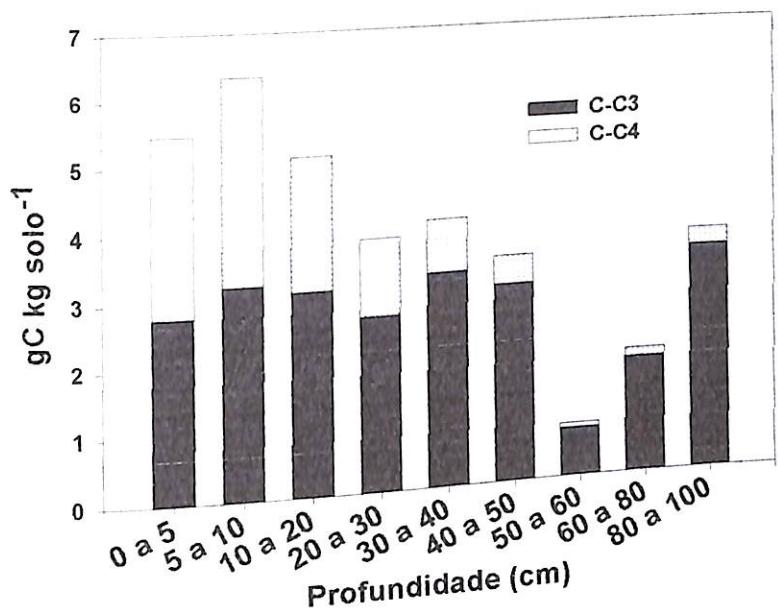


Figura 6.7- Origem do carbono do solo sob cobertura de cana-de-açúcar, no município de Conceição da Barra (ES).

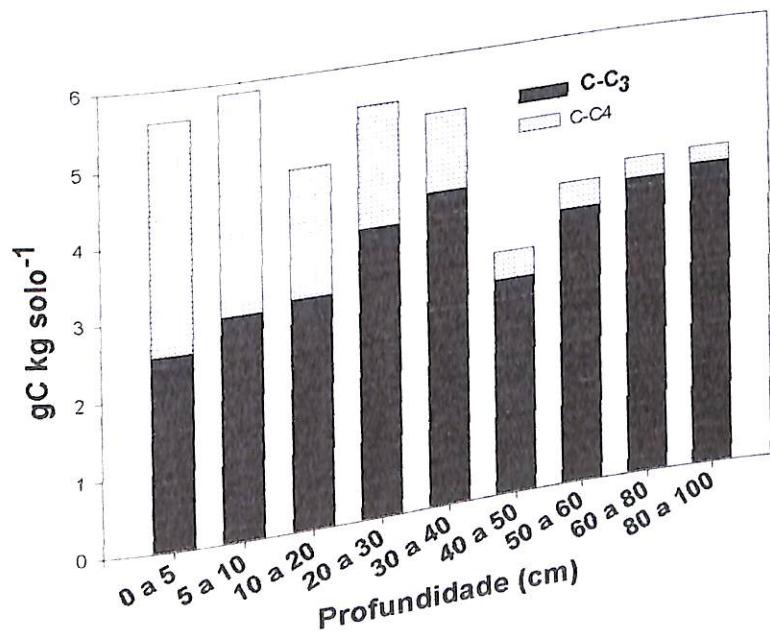


Figura 6.8- Origem do carbono do solo sob cobertura de pastagem, no município de Conceição da Barra (ES).

6.4.5- Estoque de C no solo

A quantidade de C acumulada nas camadas do solo sob mata variou entre 3,2 e 9,8 Mg C ha⁻¹, destacando-se as profundidades 0-5, 20-30 e 80-100 cm com 8,1, 9,8 e 9,7 Mg C ha⁻¹, respectivamente. No solo sob cana, a quantidade de C nas camadas foi menor em relação à mata. Na camada 50-60 cm, só foram acumulados 1,3 Mg C ha⁻¹. Foram também encontradas quantidades menores que os valores observados na mata nas camadas 0-5, 20-30, 40-50 e 60-80 cm. No solo sob braquiária, a quantidade de C acumulada foi superior ao encontrado no solo sob mata nas profundidades abaixo de 50 cm, chegando a quase 13 Mg C ha⁻¹, nas profundidades entre 60 e 100 cm (Tabela 6.5). Esses resultados confirmam que a introdução da cana ocasionou uma redução na quantidade de C acumulada no solo, principalmente em profundidades abaixo de 50 cm.

No solo sob cana, a quantidade de C derivado das gramíneas foi superior a 1,9 Mg C ha⁻¹, até 30 cm de profundidade, destacando-se a camada 10-20 cm, com 3,1 Mg C ha⁻¹. Nas camadas 60-80 e 80-100 cm, o C novo chegou a 0,4 e 0,7 Mg C ha⁻¹, respectivamente. O C derivado da floresta foi reduzido nas camadas 0-5, 5-10 e 50-60 cm, com 2,0, 2,3 e 1,1 Mg C ha⁻¹, respectivamente. Nas demais camadas, o C antigo variou entre 4,4 e 9,7 Mg C ha⁻¹ (Tabela 6.5).

No solo sob braquiária, até 40 cm de profundidade, o C acumulado derivado da pastagem variou entre 2,1 e 2,7 Mg C ha⁻¹. Já abaixo de 40 cm, a quantidade de C novo apresentou baixa variação, entre 0,6 e 0,8 Mg C ha⁻¹. O C derivado da floresta foi menor que 2,2 Mg C ha⁻¹ até a profundidade de 10 cm. Entre 10 e 60 cm, o C velho variou entre 4,4 e 6,7 Mg C ha⁻¹. Abaixo de 80 cm, o C derivado da floresta chegou a 12,1 e 12,2 Mg C ha⁻¹, nas camadas 60-80 e 80-100 cm, respectivamente (Tabela 6.5). A quantidade de C derivado da floresta no solo sob braquiária em profundidade abaixo de 60 cm foi superior ao encontrado na mata. Uma possível explicação para este fato seria a decomposição de raízes de espécies florestais, que começaram a mineralizar após a remoção da cobertura vegetal, e ficaram retidas em profundidade. No solo sob cana, na camada 80-100 cm, foi observado um maior acúmulo de C derivado da floresta em relação à mata, indicando que o solo foi manejado anteriormente com pastagem (Tabela 6.5).

Considerando os estoques de C até 1 m de profundidade, foram encontradas quantidades de C acumulado igual a 51, 62 e 71 Mg C ha⁻¹, no solo sob cana, mata e pastagem, respectivamente (Figura 6.9). Foi feita a correção devido à compactação, conforme recomendado por Neill et al. (1997). O solo sob pastagem foi o mais adensado. Então, o perfil de 0 a 100 cm na braquiária foi equivalente a 102,1 cm no solo sob cana, e no solo sob mata, equivalente a 104,9 cm. A quantidade de C novo acumulado chegou a 10,7 Mg C ha⁻¹, no solo sob cana, e a 14,5 Mg C ha⁻¹, no solo sob braquiária. A quantidade de C derivado da floresta foi igual a 40 Mg C ha⁻¹, na cana, a 62 Mg C ha⁻¹, na mata e a 56 Mg C ha⁻¹, na pastagem (Figura 6.9). A introdução da cana no solo sob cobertura de pastagem reduziu a quantidade de C novo acumulado no solo. O C acumulado sob cana foi menor que o C encontrado sob a mata. Essa redução foi devida a perda de C derivado da floresta, próxima de 22 Mg C ha⁻¹. Já na pastagem de braquiária, após 20 anos, foi observado um aumento no acúmulo de C no solo. Foi observada uma pequena redução do C derivado da floresta, menor que o equivalente a 6 Mg C ha⁻¹. Isto é, sob a braquiária, houve uma maior conservação do C antigo. Caso não fosse feita a correção da compactação, as quantidades acumuladas de C na cana e na mata, até a profundidade de 1 m, seriam equivalentes a 50 e 60 Mg C ha⁻¹, respectivamente.

Tabela 6.5- Origem e estoque de carbono do solo sob cobertura de floresta secundária, cana-de-açúcar e braquiária, no município de Conceição da Barra

Origem	Prof. cm	Mata	ep*	Cana	ep Mg C ha ⁻¹	Pastagem	
						ep	ep
floresta gramínea	0 a 5	8,13	2,02	1,96 1,90	0,54 0,50	1,75 2,10	0,25 0,35
floresta gramínea	5 a 10	3,24	2,06	2,32 2,26	0,38 0,60	2,20 2,19	0,64 0,64
floresta gramínea	10 a 20	7,06	1,07	4,87 3,14	0,33 0,21	4,80 2,74	0,38 0,35
floresta gramínea	20 a 30	9,81	0,92	4,36 1,90	0,78 0,35	6,08 2,59	0,48 0,41
floresta gramínea	30 a 40	6,68	0,49	5,21 1,28	1,42 0,07	6,71 1,69	0,26 0,01
floresta gramínea	40 a 50	6,92	0,84	4,60 0,67	1,35 0,06	4,41 0,61	1,07 0,06
floresta gramínea	50 a 60	5,80	1,96	1,14 0,11	0,13 0,00	5,98 0,58	0,93 0,20
floresta gramínea	60 a 80	6,49	4,14	5,38 0,38	3,19 0,22	12,10 0,83	4,80 0,29
floresta gramínea	80 a 100	9,59	2,25	9,69 0,67	0,65 0,20	12,16 0,67	3,27 0,14

ep* é o erro padrão da média, de 4 repetições

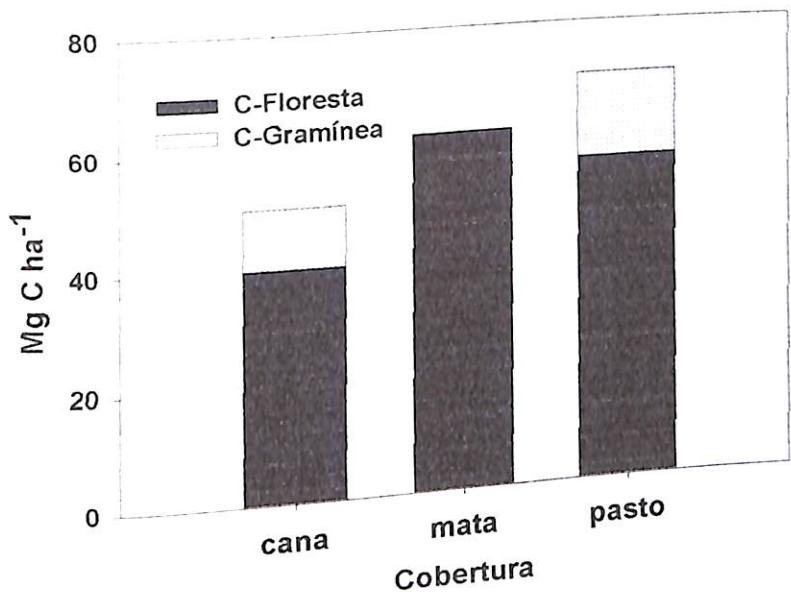


Figura 6.9- Estoque de carbono até a profundidade de 1m, em solo sob cobertura de cana-de-açúcar, mata secundária e pastagem de Brachiaria, no município de Conceição da Barra (ES).

6.4.6- Teores e estoque de fração leve no solo

Os teores de fração leve livre foram mais altos na camada superficial 0-5 cm, variando entre 5,5 e 7,5 g kg solo⁻¹, e reduziram em profundidade, até a camada 20-30 cm, chegando a valores de 4,2 e 3,7 g kg solo⁻¹, na mata e na pastagem, respectivamente. No solo sob cana, o teor de fração leve no solo na camada 20-30 cm foi menor que o encontrado na fração leve intra-agregado, com apenas 2,3 g kg solo⁻¹. Dentre as coberturas, os teores de fração leve livre na cana foram os menores observados. Na fração leve intra-agregado, não foram encontradas diferenças entre as coberturas e em profundidade. Na camada superficial os teores de fração leve intra-agregado variaram entre 3,0 e 3,7 g kg solo⁻¹. Na camada 20-30 cm, os teores variaram entre 3,2 e 3,7 g kg solo⁻¹ (Figura 6.10). A introdução da cultura da cana-de-açúcar ocasionou uma redução nos teores de fração leve livre no solo.

A quantidade de fração leve livre nas três coberturas vegetais na camada 0-5 cm variou entre 3,7 e 4,9 Mg ha⁻¹, sendo superiores as quantidades encontradas na camada 5-10 cm. Já nas demais camadas (10-20 e 20-30 cm), que possuem o dobro de espessura das camadas superficiais, as quantidades de fração leve livre foram maiores, variando entre 3,8 e 8,2 Mg ha⁻¹. Em relação à mata, a cobertura de pastagem aumentou a quantidade de fração leve em todas as profundidades, exceto na camada 20-30 cm. Já no solo sob cana a quantidade foi sempre menor que o encontrado sob a mata. Considerando a profundidade de 0 a 30 cm, no solo sob cana foram encontradas quantidades de fração leve livre equivalentes a 15,7 Mg ha⁻¹, menores que a quantidade acumulada na mata, iguais a 21 Mg ha⁻¹. No solo sob pastagem, a quantidade de fração leve livre foi superior à mata, com 23 Mg ha⁻¹ (Figura 6.11).

Analizando a fração leve intra-agregado, observou-se que o estoque de fração leve foi menor que o encontrado para a fração leve livre. Na profundidade de 0 a 10 cm, a quantidade variou entre 2,1 e 2,7 Mg ha⁻¹. Nas camadas 10-20 e 20-30 cm, a quantidade de fração leve intra-agregado variou de 5,1 a 5,8 Mg ha⁻¹. Não foi observada diferença entre as diferentes coberturas. Considerando a profundidade de 0 a 30 cm, a quantidade de fração leve intra-agregado foram próximas, equivalentes a 14,6 Mg ha⁻¹ na cana, 15,0 Mg ha⁻¹ na mata e a 15,9 Mg ha⁻¹ na pastagem (Figura 6.12).

Considerando a fração leve total no solo, nas diferentes camadas, pôde-se observar uma tendência de maior acúmulo no solo sob pastagem, em relação à mata. Já na profundidade, a quantidade de fração leve total encontrada foi equivalente a 30, 36 e 39 Mg ha⁻¹, no solo sob cana, mata e pastagem, respectivamente (Figura 6.13). Como a quantidade de fração leve intra-agregado foi pouco variável entre as coberturas, essa diferença na quantidade de fração leve total foi devida principalmente à fração leve livre. A dinâmica da fração leve intra-agregado está relacionada com o método de preparo do solo. Quando o solo é revolvido, pode-se quebrar o agregado e tornar essa fração disponível para a decomposição. No caso do solo sob cana, foram feitas somente 2 renovações em aproximadamente 10 anos. Por isso, a quantidade de fração leve intra-agregado foi semelhante sob as três coberturas vegetais. Já a dinâmica da fração leve livre é relacionada com o tipo de solo e principalmente, da composição da cobertura vegetal. Assim, pôde-se observar que a cana, no manejo realizado nesse sítio, reduziu a quantidade de fração leve livre em relação ao solo sob mata, enquanto a braquiária apresentou um potencial de aumentar a quantidade de fração leve livre. Isso foi possível pela quantidade de material (liteira e raízes) adicionado ao solo oriundo da vegetação sobre o solo, e também da sua qualidade (composição química). Os dados obtidos são assim consentâneos com o conhecimento de que uma análise acurada dos

compartimentos da matéria orgânica pode revelar informações importantes acerca da história do uso do solo.

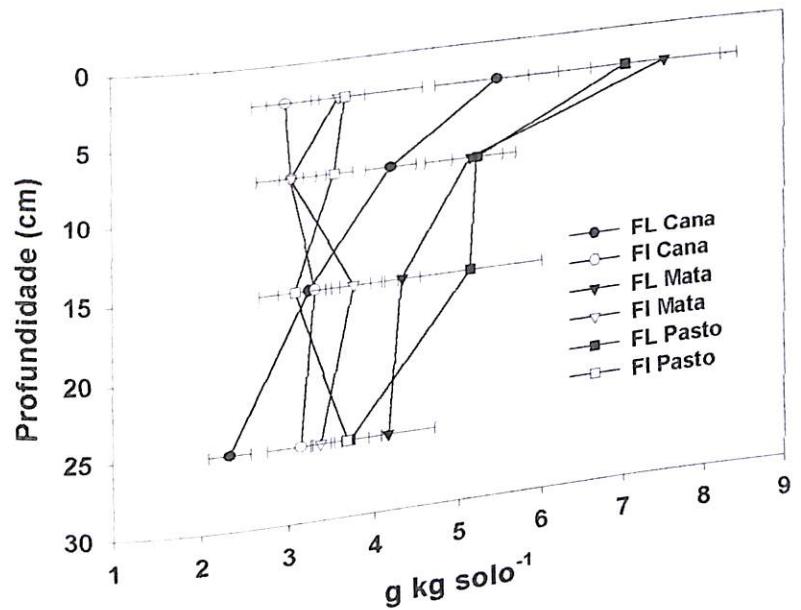


Figura 6.10- Teores de fração leve em solo sob cobertura de cana-de-açúcar, mata secundária e pastagem de braquiária, em Conceição da Barra (ES). (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

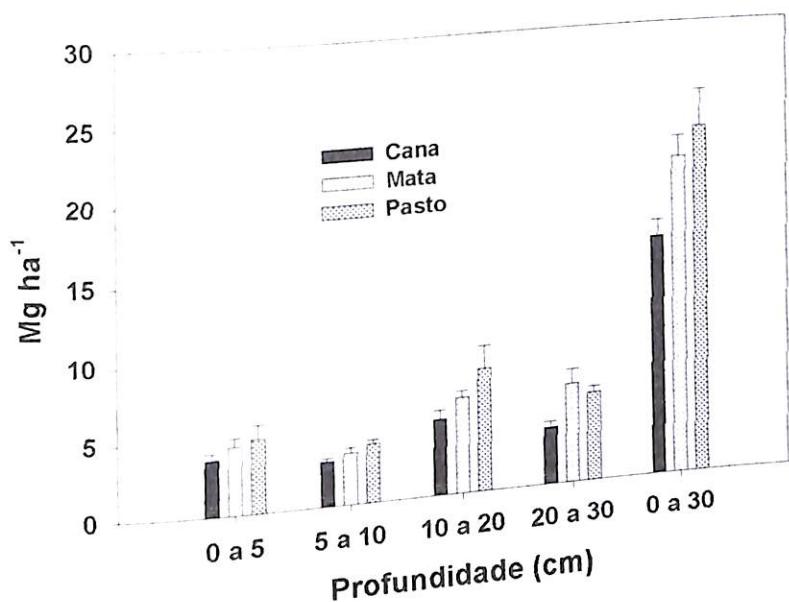


Figura 6.11- Quantidade de fração leve livre no solo sob cana-de-açúcar, mata secundária e pastagem de braquiária, em Conceição da Barra (ES). (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

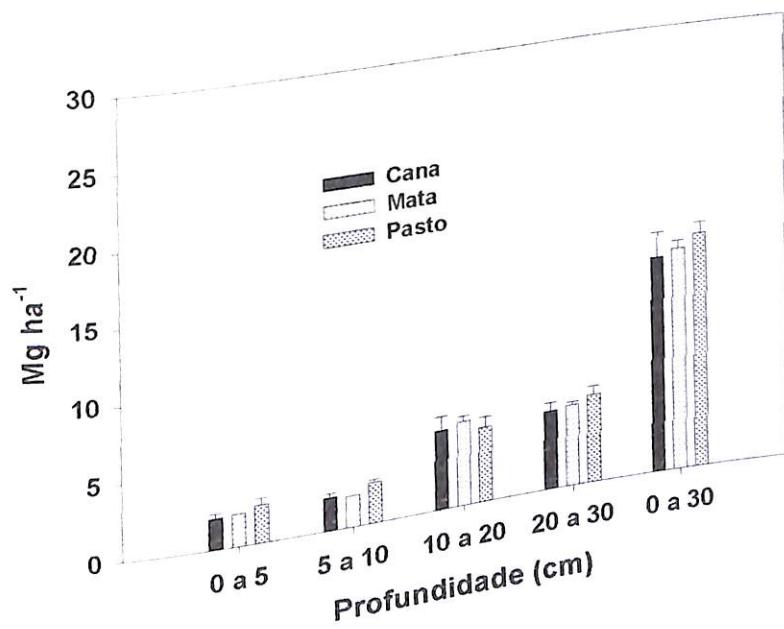


Figura 6.12- Quantidade de fração leve oclusa no solo sob cana-de-açúcar, mata secundária e pastagem de braquiária, em Conceição da Barra (ES). (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

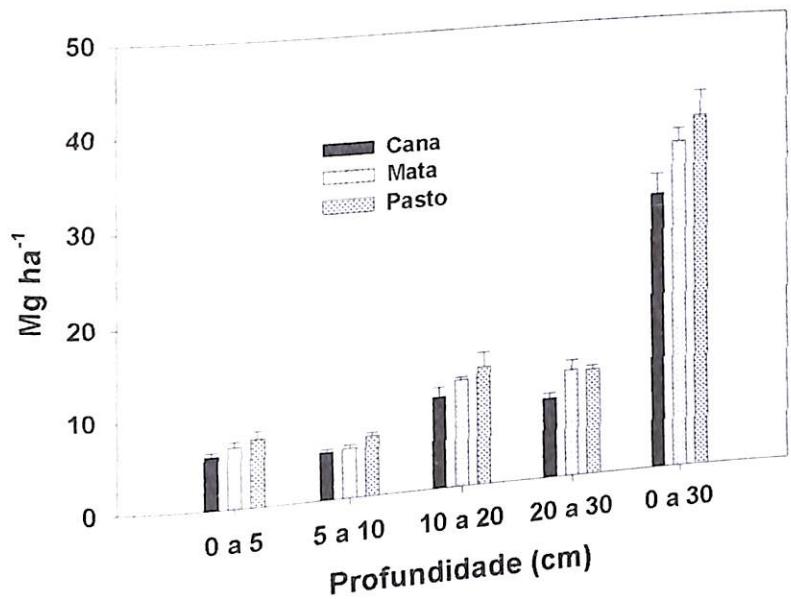


Figura 6.13- Quantidade de fração leve total no solo sob cana-de-açúcar, mata secundária e pastagem de braquiária, em Conceição da Barra (ES). (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

6.4.7- Teores de C e N nas frações

Os resultados encontrados no fracionamento da matéria orgânica apresentaram comportamento diferente do observado nos capítulos 2 e 3, em Itabela (BA).

Na camada 0-5 cm, os teores de C foram mais altos nas frações leve livre, leve intra-agregado e na fração silte. Nas frações areia e argila, os teores de C foram baixos, sendo menores que 8,4 g C kg fração⁻¹, na fração argila, e que 1,7 g C kg fração⁻¹, na fração areia. O teor de C na fração silte, no solo sob mata, foi de 68,5 g C kg fração⁻¹. Nos solos sob as gramíneas, os teores de C da fração silte reduziram a 54,1 e 37,3 g C kg fração⁻¹, nos solos sob cana e pastagem, respectivamente. Na fração leve intra-agregado, os teores de C no solo sob as coberturas de cana, mata e pastagem variaram entre 78,4 e 105,0 g C kg fração⁻¹. Na fração leve livre, o teor de C foi mais alto na mata, com 208,9 g C kg fração⁻¹, e reduziu na cana e na pastagem, chegando a 133,5 e 96,2 g C kg fração⁻¹, respectivamente (Tabela 6.6).

Na camada 5-10 cm, os teores de C nas frações apresentaram o mesmo comportamento observado na camada superior. Os teores de C foram mais altos nas frações leves e na fração silte. Os teores de C nas frações areia e argila foram similares aqueles encontrados na camada 0-5 cm. O teor de C na fração leve intra-agregado foi maior na mata, com 86,4 g C kg fração⁻¹, e reduziu nos solos sob gramíneas, a valores entre 62,3 e 64,7 g C kg fração⁻¹. O teor de C na fração leve livre sob mata foi próximo ao encontrado na pastagem, de 154,3 e 158,9 g C kg fração⁻¹, respectivamente. Já no solo sob cana, o teor caiu para 87,8 g C kg fração⁻¹ (Tabela 6.6).

Na camada 10-20, também foi observada a mesma tendência das camadas superiores, valendo ressaltar que os teores de C nas frações leves foram menores, variando entre 46,0 e 108,5 g C kg fração⁻¹. A fração leve intra-agregado sob pastagem apresentou maior teor de C em relação às demais coberturas, com 93,6 g C kg fração⁻¹. Na fração silte, em relação ao solo sob mata, os teores de C no solo sob cana e pastagem chegaram a 79,9 e 61,4 g C kg fração⁻¹, respectivamente (Tabela 6.6).

Na camada 20-30 cm, os teores de C nas frações leves foram menores que os valores encontrados nas outras profundidades, embora fosse observada a mesma tendência. Na fração leve livre do solo sob pastagem, o teor de C foi superior ao encontrado na mata e na cana, chegando a 145,3 g C kg fração⁻¹. Nas frações silte e leve intra-agregado, o teor de C foi maior no solo sob mata (Tabela 6.6).

Comparado com outros estudos, os teores de C nas frações leves foram considerados baixos em todas as coberturas vegetais. O teor de C da fração argila também foi considerado baixo, sempre abaixo do equivalente a 1 g C kg fração⁻¹. Já na fração silte, os teores de C foram mais altos que os obtidos nos outros experimentos e demais estudos de fracionamento. Isso pode ser um indicativo de que o teor de C nas frações possa ter grande influência do tipo de solo, além das características como: textura, estrutura, teor e tipo de argila, principalmente.

Tabela 6.6- Teores de carbono nas frações da matéria orgânica do solo sob cana-de-açúcar, floresta secundária e braquiária.

Cobertura	Prof.	FL	ep*	FI	ep	FA	ep	Fsil	ep	Farg	ep	g C kg fração ⁻¹
												cm
Cana	0 a 5	133,5	22,9	78,4	11,3	0,8	0,1	54,1	15,3	5,4	0,9	
	5 a 10	87,8	19,7	62,3	7,2	0,4	0,0	73,7	9,7	5,2	0,7	
	10 a 20	75,3	26,1	48,2	8,8	0,4	0,1	79,9	15,7	4,8	0,7	
	20 a 30	74,3	21,0	37,8	4,5	0,4	0,1	48,9	12,8	4,4	0,8	
Mata	0 a 5	208,9	20,3	90,9	12,4	1,7	0,7	68,5	20,1	8,4	0,7	
	5 a 10	154,3	21,0	86,4	10,2	1,2	0,5	56,8	3,9	5,7	1,2	
	10 a 20	108,5	8,2	46,0	10,0	0,6	0,2	47,8	19,6	6,8	0,4	
	20 a 30	73,0	17,1	64,5	23,0	0,4	0,0	59,4	7,5	6,3	0,5	
Pasto	0 a 5	96,2	18,6	105,0	32,8	0,6	0,1	37,3	7,0	4,8	0,4	
	5 a 10	158,9	18,3	64,7	11,0	0,8	0,1	41,4	17,9	5,5	0,9	
	10 a 20	94,4	12,3	93,6	25,3	0,6	0,2	61,4	4,8	6,7	2,0	
	20 a 30	145,3	42,4	40,5	4,4	0,5	0,1	33,8	6,3	7,0	0,5	

ep* é o erro padrão da média de 4 repetições

Os teores de N acompanharam os teores de C nas frações da matéria orgânica do solo. Na camada 0-5 cm, os teores de N foram maiores no solo sob mata em todas as frações, exceto na fração intra-agregado, que no solo sob pastagem foi ligeiramente superior, chegando a 5,0 g N kg fração⁻¹, contra 4,6 g N kg fração⁻¹, no solo sob mata. Os teores de N na fração silte variaram entre 3,0 e 6,3 g N kg fração⁻¹, e foram menores que 1,5 g N kg fração⁻¹, na fração argila. Já na fração areia, os teores de N foram inferiores a 0,1 g N kg fração⁻¹. O teor de N na fração leve livre sob mata foi equivalente a 12,5 g N kg fração⁻¹, e reduziu nas gramíneas, chegando a 5,4 e 3,9 g N kg fração⁻¹, nos solos sob cana e pastagem, respectivamente (Tabela 6.7).

Na camada 5-10 cm, foi observada a mesma tendência encontrada na camada superior, com os maiores teores encontrados no solo sob mata. Somente na fração silte sob cana, que o teor de 4,0 g N kg fração⁻¹, foi superior ao encontrado no solo sob mata, com 3,1 g N kg fração⁻¹. A fração leve livre sob mata chegou a 8,1 g N kg fração⁻¹, enquanto no solo sob cana o teor reduziu a somente 3,1 g N kg fração⁻¹ (Tabela 6.7).

Na camada 10-20 cm, os teores de N das frações leves reduziram em comparação às camadas superiores. Nos solos sob cana e pastagem, os teores de N na fração silte foram maiores que aqueles encontrados na fração leve livre, com 3,8 e 5,1 g N kg fração⁻¹, respectivamente. Na fração leve livre, o maior teor foi encontrado sob a mata, com 4,6 g N kg fração⁻¹ (Tabela 6.7).

Na camada 20-30 cm, os teores de N na fração silte no solo sob cana e mata foram superiores aos teores de N nas demais frações, chegando a 3,6 e 4,2 g N kg fração⁻¹, respectivamente, enquanto no solo sob pastagem, o teor de N foi de 3,2 g N kg fração⁻¹. O teor de N na fração leve intra-agregado foi superior às demais coberturas, com 3,2 g N kg fração⁻¹. Já em relação à fração leve livre, em comparação a mata, com 3,3 g N kg fração⁻¹, no solo sob cana o teor de N reduziu a 1,4 g N kg fração⁻¹, e no solo sob pastagem, aumentou a 4,2 g N kg fração⁻¹ (Tabela 6.7).

Tabela 6.7- Teores de nitrogênio nas frações da matéria orgânica do solo sob cana-de-açúcar, floresta secundária e braquiária.

Cobertura	Prof.	FL	ep*	FI	ep	FA	ep	g N kg fração ⁻¹			
								Fsil	ep	Farg	ep
Cana	cm										
	0 a 5	5,40	1,68	2,44	0,38	0,05	0,00	3,39	1,03	0,90	0,13
	5 a 10	3,08	1,09	1,86	0,50	0,05	0,00	3,97	0,21	0,83	0,09
	10 a 20	2,47	1,15	1,31	0,12	0,05	0,00	3,78	0,96	0,80	0,20
	20 a 30	1,39	0,52	1,11	0,08	0,05	0,00	3,61	0,70	0,73	0,10
Mata											
	0 a 5	12,53	1,26	4,55	0,75	0,05	0,00	6,32	3,54	1,35	0,09
	5 a 10	8,11	1,36	4,14	0,46	0,05	0,00	3,07	0,12	1,00	0,22
	10 a 20	4,56	0,68	2,31	0,80	0,05	0,00	3,19	0,95	1,10	0,09
	20 a 30	3,34	0,90	3,23	1,86	0,05	0,00	4,18	0,92	0,88	0,03
Pasto											
	0 a 5	3,92	0,75	4,98	1,92	0,05	0,00	3,17	0,28	0,98	0,09
	5 a 10	6,41	0,84	2,51	0,45	0,05	0,00	1,27	0,28	0,97	0,06
	10 a 20	3,21	0,52	2,48	0,60	0,05	0,00	5,12	1,21	1,08	0,31
	20 a 30	4,16	1,15	1,36	0,22	0,05	0,00	3,16	0,39	0,85	0,09

ep* é o erro padrão da média de 4 repetições

As maiores quantidades de C no solo sob mata estavam contidas nas frações silte e argila, em todas as profundidades estudadas. Na fração argila, foi encontrado o maior estoque de C em relação às demais frações, sendo na camada 0-5 cm, equivalente a 2,4 g C kg solo⁻¹. Nas camadas 10-20 e 20-30 cm, a quantidade de C nessa fração chegou a 2,3 g C kg solo⁻¹. A fração silte apresentava maior quantidade na camada superficial, com 1,9 g C kg solo⁻¹, e reduziu em profundidade, até os valores de 1,6 e 0,9 g C kg solo⁻¹, nas camadas 10-20 e 20-30 cm, respectivamente. Na fração leve intra-agregado foram encontradas as menores quantidades de C, com menor variação em profundidade, entre 0,2 e 0,3 g C kg solo⁻¹. A quantidade de C nas frações areia e leve livre na camada 0-5 cm foram equivalentes a 1,1 e 1,6 g C kg solo⁻¹, respectivamente; e reduziram em profundidade, até valores semelhantes aos encontrados na fração leve intra-agregado, abaixo de 0,3 g C kg solo⁻¹. Em profundidade, a quantidade de C nas frações diminuiu, sendo mais acentuado nas frações silte, leve livre e areia (Figura 6.14). O C contido na fração leve livre no solo sob mata representava 26 e 16 % do C total do solo, nas camadas 0-5 e 5-10 cm, respectivamente.

No solo sob cana-de-açúcar, as quantidades de C contidas nas frações foram menores que o encontrado sob mata. Na fração silte, foi observado um aumento de C em profundidade, sendo equivalente a 1,7 g C kg solo⁻¹, na camada 0-5 cm, chegando a 2,3 e 1,9 g C kg solo⁻¹, nas camadas 10-20 e 20-30 cm. O C na fração argila praticamente não se alterou, sendo aproximadamente igual a 1,7 g C kg solo⁻¹. Nas frações leve livre, areia e leve intra-agregado, as quantidades de C foram baixas, equivalentes a 0,7, 0,5 e 0,2 g C kg solo⁻¹, respectivamente, e reduziram em profundidade, até valores menores que 0,2 g C kg solo⁻¹ (Figura 6.15). Em relação ao C total do solo, o C na fração leve livre chegou a no máximo 14 % na camada superficial.

No solo sob pastagem de braquiária, nas camadas superficiais, foram encontradas menores quantidades de C em relação ao solo sob mata, mas na camada 20-30 cm, houve um maior acúmulo de C na pastagem. Nas frações leve intra-agregado, areia e leve livre, houve pouca variação em profundidade, com valores menores que 0,8 g C kg solo⁻¹. Na fração leve intra-agregado, a quantidade de C atingiu a no máximo 0,3 g C kg solo⁻¹. Na camada 0-5 cm, a maior quantidade de C foi encontrada na fração silte, com 1,9 g C kg solo⁻¹, reduzindo na camada 5-10 cm até 1,2 g C kg solo⁻¹, e depois, aumentando em profundidade até chegar a 1,5 g C kg solo⁻¹, na camada 20-30 cm. A quantidade de C na fração argila foi equivalente a 1,6 g C kg solo⁻¹, na camada 0-5 cm, e aumentou em profundidade até alcançar 2,5 g C kg solo⁻¹, na camada 20-30 cm (Figura 6.16).

Comparando-se as três coberturas vegetais, a introdução das gramíneas causou uma redução na quantidade de C nas frações leves e na fração areia, sendo mais acentuado na camada superficial. No solo sob cana, houve uma redução na quantidade de C nas frações silte e argila. No solo sob pastagem, em profundidade, houve um aumento na quantidade de C nas frações mais finas (Figuras 6.14, 6.15 e 6.16). Em relação ao C total do solo, a recuperação do C encontrado nas frações variou entre 74 e 120 %, com média de 91 %.

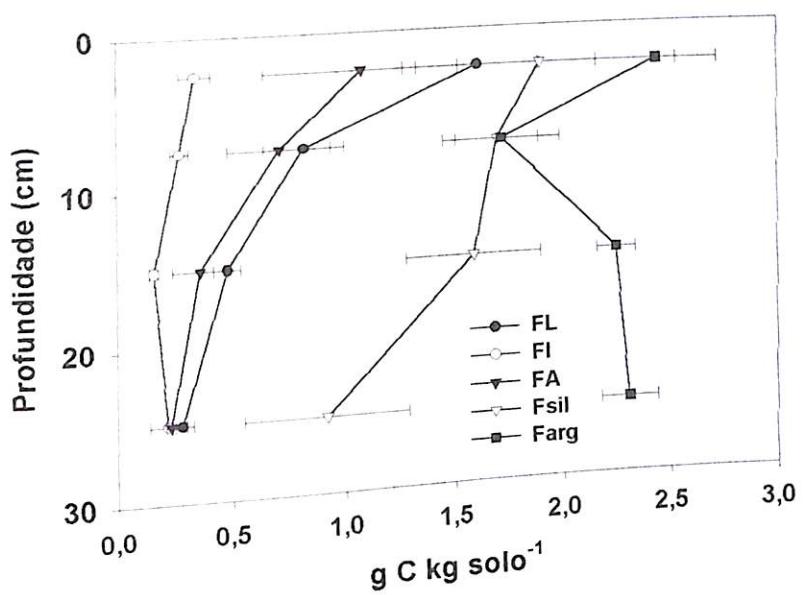


Figura 6.14- Quantidade de C nas frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de mata secundária, em Conceição da Barra (ES). (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

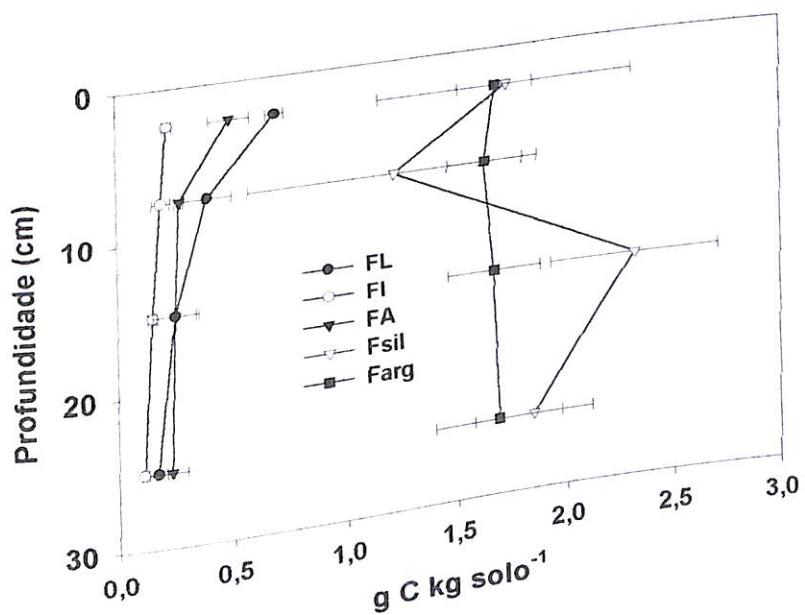


Figura 6.15- Quantidade de C nas frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de cana-de-açúcar, em Conceição da Barra (ES). (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

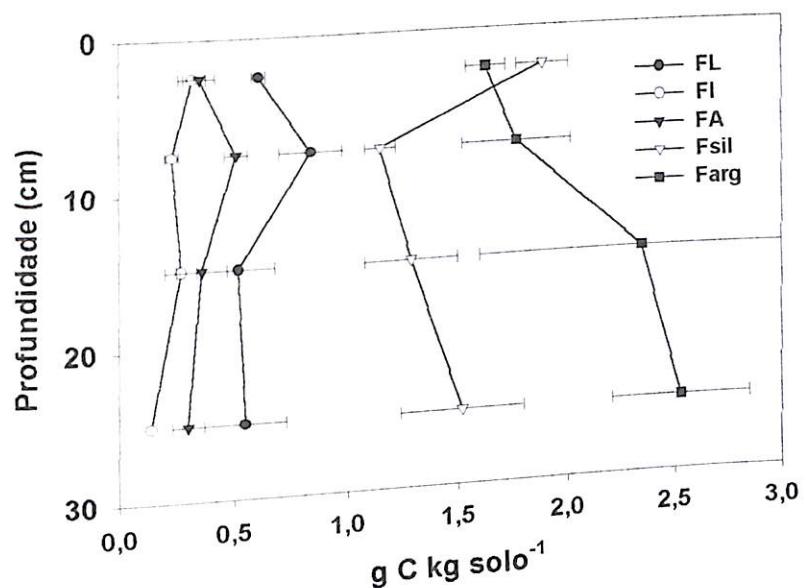


Figura 6.16- Quantidade de C nas frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de braquiária, em Conceição da Barra (ES). (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

A relação C:N é um parâmetro que pode indicar a estabilidade de uma fração. No solo sob mata, na camada 0-5 cm, a relação C:N da fração areia encontrada foi igual a 33, e com a introdução das gramíneas, reduziu a 15, na cana, e a 12, na pastagem. Isto é, havia nessa fração C que foi mais facilmente perdido. Na fração leve livre sob mata, a relação C:N foi igual a 17. Já nos solos sob gramínea, a relação C:N aumentou para 30 e 25, na cana e na pastagem, respectivamente. Isto se deveu à qualidade do material vegetal derivado das gramíneas no solo, de maior relação C:N. A fração leve livre foi um "reflexo" dos aportes orgânicos oriundos da vegetação de cobertura. A fração leve intra-agregado apresentou um comportamento semelhante à fração leve livre. Na fração silte, a relação C:N variou entre 12 e 16, enquanto na fração argila, os valores foram menores que 6,2 (Figura 6.17).

Na camada 5-10 cm, foi observado um comportamento semelhante ao encontrado na camada 0-5 cm, em relação a todas as frações. Na cana, foram encontradas as maiores relações C:N nas frações leves, chegando a 35 na leve livre, e a 39 na leve intra-agregado. A relação C:N variou entre 5,6 e 6,3 na fração argila e entre 13 e 19 na fração silte (Figura 6.18).

Em profundidade, houve um aumento na relação C:N nas frações leves, chegando a 44, 26 e 31, no solo sob cana, mata e pastagem, respectivamente, na camada 10-20 cm. Essa tendência de aumento da relação C:N sob gramíneas também foi observada nas camadas superiores. Na mata e na pastagem, a relação C:N na fração leve intra-agregado foi maior que na fração leve livre, chegando a 30 e 38, respectivamente. Na fração argila, a relação C:N foi sempre menor que 6,4, e na fração silte, variou entre 15 e 23 (Figura 6.19).

Na camada 20-30 cm (Figura 6.20), a relação C:N na fração leve livre chegou a 50 e 37, na cana e na pastagem, respectivamente, contra 23, encontrado no solo sob mata. Na fração leve intra-agregado, somente no solo sob mata foi superior à fração leve livre. Nas frações areia e argila, a relação C:N foi sempre menor que 12 e 9, respectivamente. No solo sob cana e pastagem, a relação C:N de 13 e 11, foram menores que no solo sob mata, com 17.

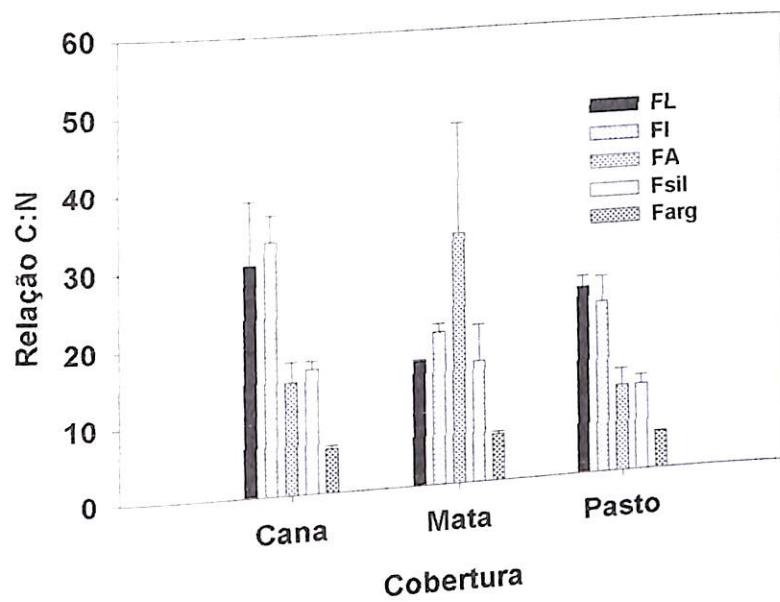


Figura 6.17- Relação C:N nas frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de cana-de-açúcar, mata secundária e pastagem de braquiária, na profundidade de 0-5 cm. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

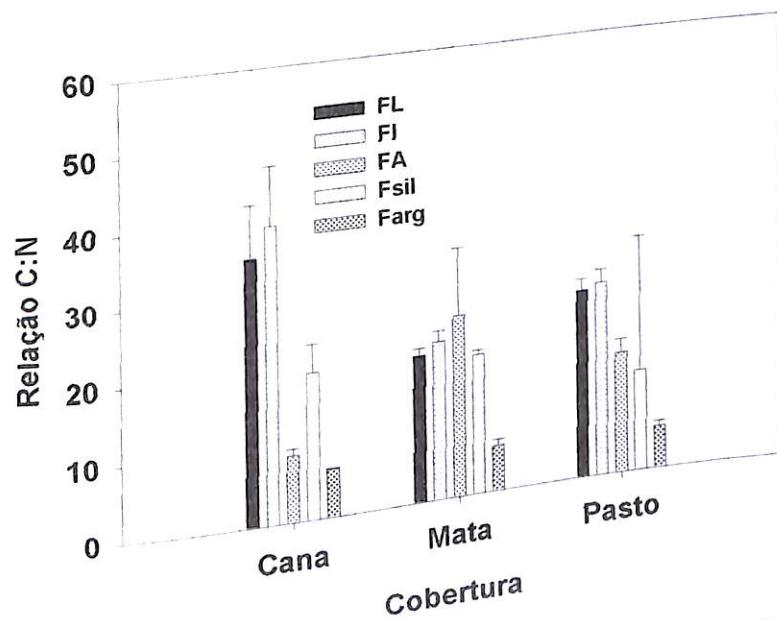


Figura 6.18- Relação C:N nas frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de cana-de-açúcar, mata secundária e pastagem de braquiária, na profundidade de 5-10 cm. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

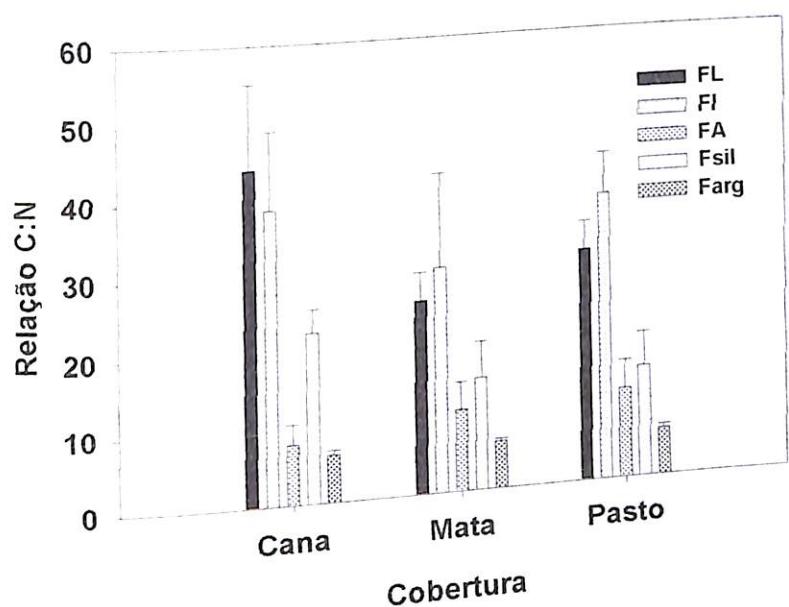


Figura 6.19- Relação C:N nas frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de cana-de-açúcar, mata secundária e pastagem de braquiária, na profundidade de 10-20 cm. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

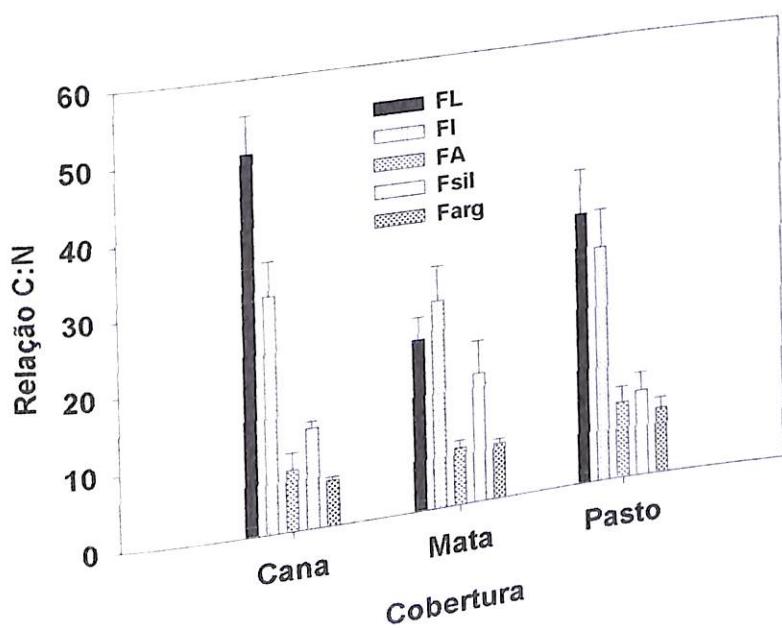


Figura 6.20- Relação C:N nas frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de cana-de-açúcar, mata secundária e pastagem de braquiária, na profundidade de 20-30 cm. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

6.4.8- Composição isotópica das frações

No solo sob mata, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ encontrados nas frações comprovaram que a matéria orgânica do solo teve como origem a cobertura de floresta, característico de plantas C_3 , variando entre $-29,0\text{ ‰}$ e $-24,3\text{ ‰}$. O C da fração leve livre foi sempre mais negativo, sendo na camada 0-5 cm, igual a $-28,1\text{ ‰}$, atingindo o valor de $-28,9\text{ ‰}$ na camada 20-30 cm. Na fração areia, o C foi sempre menos negativo, variando entre $-25,7\text{ ‰}$ e $-24,3\text{ ‰}$. As demais frações foram intermediárias, com menor variação entre elas e em profundidade, entre $-27,5\text{ ‰}$ e $-26,2\text{ ‰}$ (Figura 6.21). Assim, pôde-se observar que as frações leve livre e areia tiveram comportamentos contrastantes. Os resultados de $\delta^{13}\text{C}$ nas frações sob mata desse experimento contrastaram com os resultados obtidos sob vegetação de mata localizada em Itabela (BA), em que as frações silte e argila foram mais negativas (Capítulos 2 e 3).

No solo sob cana-de-açúcar, foi observada uma diferença maior no comportamento das frações. As frações granulométricas apresentaram os valores menos negativos, entre $-20,0\text{ ‰}$ e $-19,3\text{ ‰}$, na camada 0-5 cm. As frações areia e silte tiveram comportamento semelhante, com pouca variação em profundidade, chegando a $-20,1\text{ ‰}$ na camada 20-30 cm. Na fração argila, a composição isotópica reduziu em profundidade, chegando a $-23,0\text{ ‰}$ na camada 20-30 cm (Figura 6.22). Assim, nas frações granulométricas areia, silte e argila, houve uma maior contribuição de C derivado das gramíneas em relação às frações leves. Esses resultados contrastaram com os experimentos realizados em Itabela (BA), em que as frações mais finas (silte e argila) conservaram maior quantidade de C derivado da mata. As frações leve livre e leve intra-agregado apresentaram comportamento semelhante, com redução dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ em profundidade. Na camada 0-5 cm, os valores encontrados nas frações leve livre e intra-agregado foram $-22,0\text{ ‰}$ e $-24,2\text{ ‰}$, reduzindo em profundidade até os valores de $-27,0\text{ ‰}$ e $-31,5\text{ ‰}$, respectivamente. Exceto na fração leve intra-agregado, em todas as outras frações, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ foram mais positivos em relação à mata, que foi devido à incorporação de C novo, derivado das gramíneas. Na fração leve intra-agregado, isso só foi observado na camada 0-5 cm. Abaixo de 10 cm, os valores encontrados sob cana foram mais negativos em relação à mata (Figura 6.22).

No solo sob pastagem, o comportamento observado foi diferente ao encontrado no solo sob cana. Todas as frações encontradas eram mais positivas em relação à composição isotópica das frações sob mata, comprovando que houve incorporação de C derivado da braquiária após 20 anos de pastagem. As frações areia e leve livre se destacaram entre as demais, obtendo os valores mais positivos, chegando a $-18,1\text{ ‰}$ e $-16,4\text{ ‰}$, na camada 0-5 cm, reduzindo em profundidade, alcançando os valores de $-20,0\text{ ‰}$ e $-19,4\text{ ‰}$, respectivamente, na camada 20-30 cm. As frações leve intra-agregado e argila tiveram comportamento semelhante na profundidade entre 0 e 20 cm, com valores de $-20,6\text{ ‰}$ e $-20,3\text{ ‰}$ na camada 0-5 cm, reduzindo a $-22,8\text{ ‰}$ e $-22,0\text{ ‰}$ na camada 10-20 cm. Na camada 20-30 cm, a fração argila, chegou a valores de $-23,8\text{ ‰}$. Na fração silte, na camada 0-5 cm, a composição isotópica foi de $-21,6\text{ ‰}$, reduzindo até $-24,3\text{ ‰}$ na camada 5-10 cm, e depois aumentou até chegar a $-21,1\text{ ‰}$ na camada 20-30 cm (Figura 6.23).

Comparando-se a composição isotópica das frações sob cana com aquelas obtidas nos solos sob as demais coberturas vegetais, pôde-se observar que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ nas frações leve livre e areia foram intermediários entre o solo sob mata e pastagem, a fração argila apresentou comportamento semelhante ao encontrado na pastagem, enquanto na fração silte foi notado uma maior incorporação de C novo (Figuras 6.21, 6.22 e 6.23).

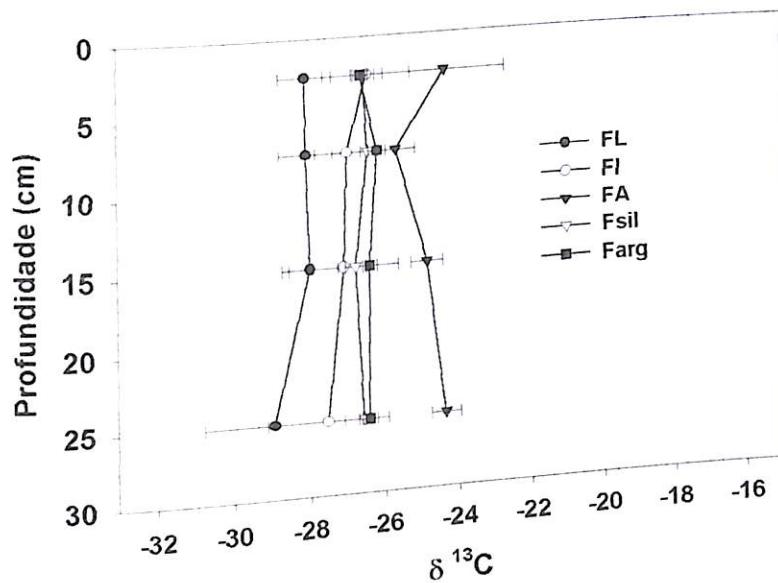


Figura 6.21- Composição isotópica de C nas frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de mata secundária, em Conceição da Barra (ES). (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

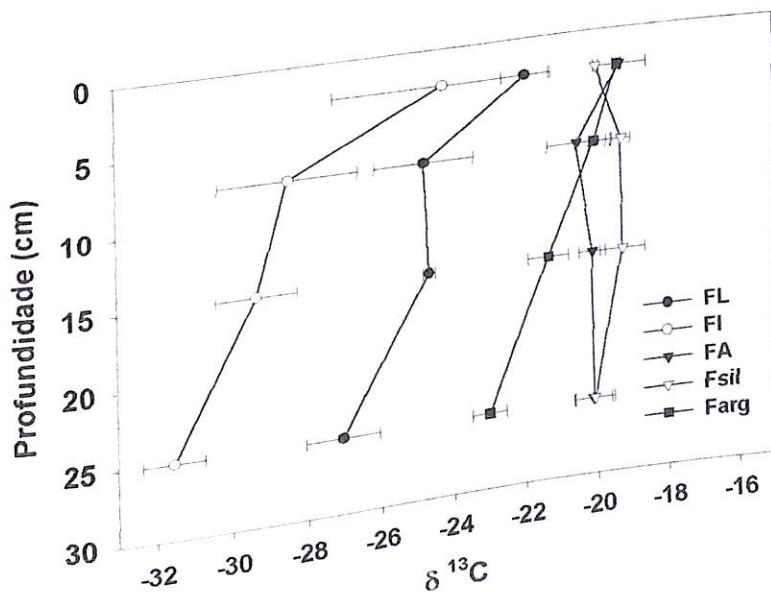


Figura 6.22- Composição isotópica de C nas frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de cana-de-açúcar, em Conceição da Barra (ES). (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

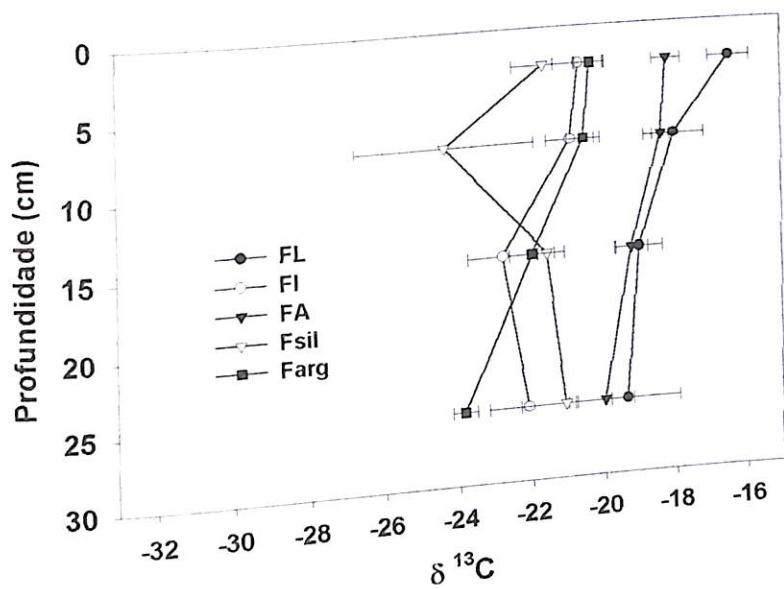


Figura 6.23- Composição isotópica de C nas frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de braquiária, em Conceição da Barra (ES). (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

6.4.9- Origem do C nas frações

Utilizando os valores de $\delta^{13}\text{C}$ encontrado nas frações sob mata e sob cana e pastagem, foram calculadas as contribuições de C derivado das gramíneas baseado na equação proposta por Balesdent et al. (1987) (equação 6.1). No solo sob cana, na camada 0-5 cm, na fração leve intra-agregado foi encontrado somente 15 % de C derivado de gramínea. Nas demais frações, as contribuições variaram entre 38 %, obtido na fração leve livre, até 49 %, na fração argila. No solo sob pastagem, na fração leve foram encontrados 67 % de C derivado da braquiária, já nas demais frações, a proporção de C novo variou entre 31 e 45 %, encontrado na fração silte. No solo sob pastagem, em relação ao solo sob cana, a proporção de C novo foi maior nas frações leves e fração areia, sendo menor nas frações mais finas (Figura 6.24).

Na camada 5-10 cm, no solo sob cana, não foi observado contribuição de C novo na fração leve intra-agregado. A menor proporção de C derivado da gramínea nas demais frações, foi encontrado na fração leve livre, com 20 %. Nas demais frações, essa proporção variou entre 38 e 49 %, na fração silte. No solo sob pastagem, as maiores proporções foram encontradas nas frações leve livre e areia, com, 58 e 49 %, respectivamente, seguido pelas frações leve intra-agregado e argila, com 37 %, sendo encontrado somente 13 % na fração silte (Figura 6.25).

Na camada 10-20 cm, o comportamento observado nas frações foi semelhante ao encontrado na camada 5-10 cm. A proporção de C novo foi de 21 % na fração leve livre, de 35 e 37 % nas frações argila e areia, e foi maior na fração silte, com 51 %. No solo sob pastagem, as maiores proporções novamente foram encontradas nas frações leve livre e areia, com 52 e 40 %, respectivamente. Nas demais frações, essa proporção variou entre 26 e 32 % (Figura 6.26).

Na camada 20-30 cm, o comportamento das frações também foi semelhante às camadas superiores, sendo que no solo sob cana as proporções de C das gramíneas diminuiu, chegando a 11 % na fração leve livre, e variou entre 24 e 45 % nas frações areia, silte e argila. Já no solo sob pastagem, a proporção de C derivado da braquiária foi de 52 % na fração leve livre, variou entre 32 e 35 % nas frações leve intra-agregado, areia e silte, e foi de apenas 16 % na fração argila (Figura 6.27).

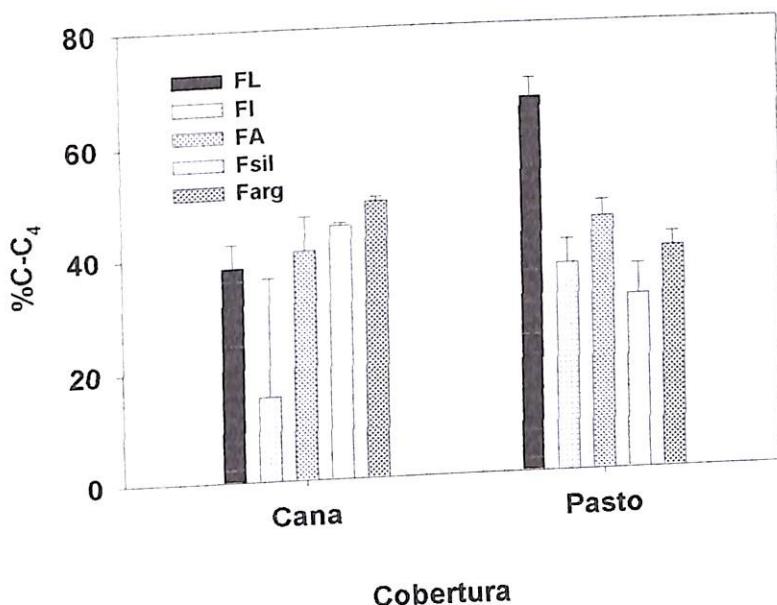


Figura 6.24- Proporção de C derivado da gramínea nas frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de cana-de-açúcar e braquiária na profundidade de 0-5 cm. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

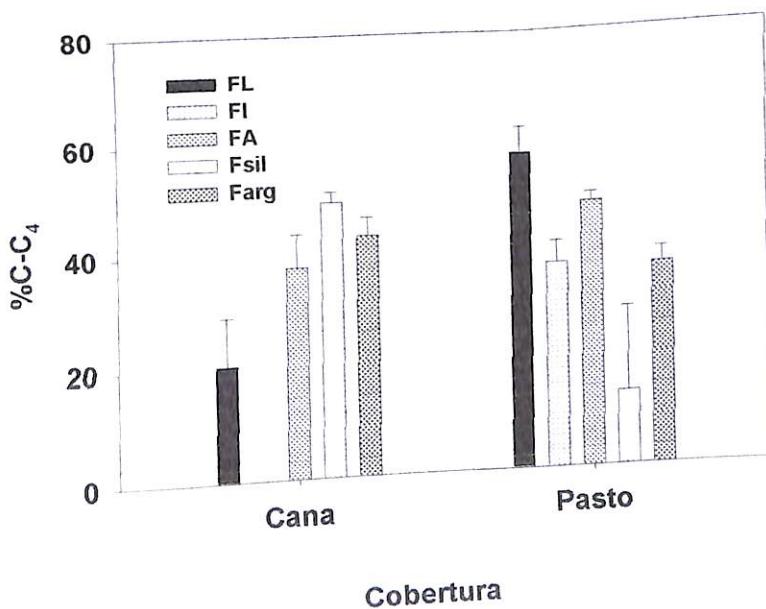


Figura 6.25- Proporção de C derivado da gramínea nas frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de cana-de-açúcar e braquiária na profundidade de 5-10 cm. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

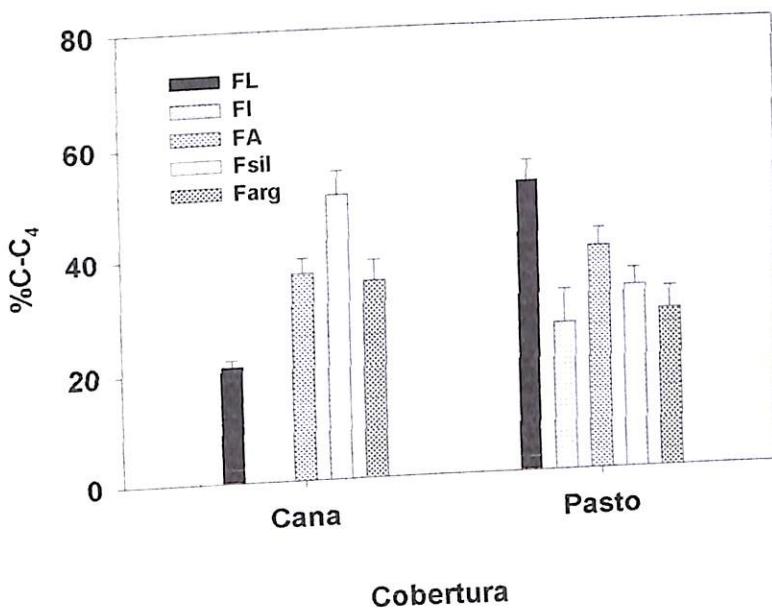


Figura 6.26- Proporção de C derivado da gramínea nas frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de cana-de-açúcar e braquiária na profundidade de 10-20 cm. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

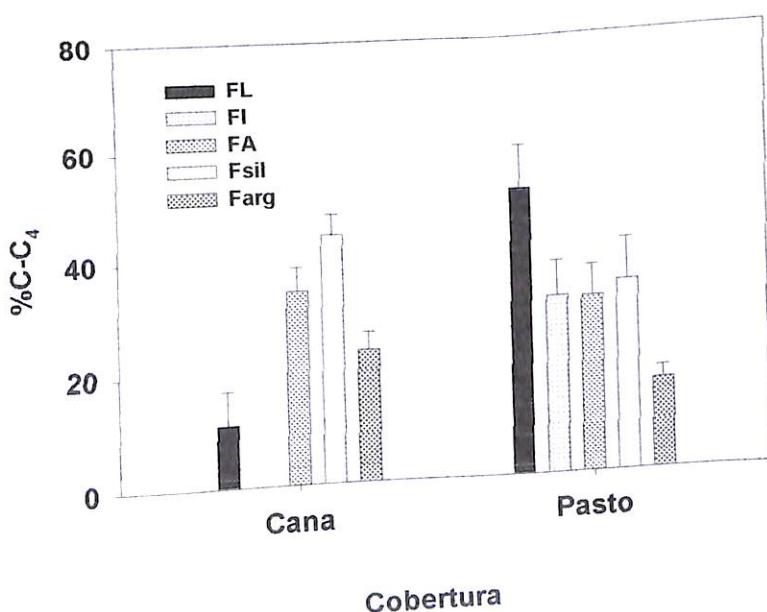


Figura 6.27- Proporção de C derivado da gramínea nas frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de cana-de-açúcar e braquiária na profundidade de 20-30 cm. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

Em relação ao C total encontrado nas frações, no solo sob cana, na camada 0-5 cm, as maiores quantidades de C derivado das gramíneas foram encontradas nas frações silte e argila, com $0,8 \text{ g C kg solo}^{-1}$, em ambas as frações, enquanto nas frações leve livre e areia foram abaixo de $0,3 \text{ g C kg solo}^{-1}$. Na fração leve intra-agregado foram encontrados traços. O C derivado da floresta foi equivalente a $1 \text{ g C kg solo}^{-1}$, na fração silte, e a $0,8 \text{ g C kg solo}^{-1}$, na fração argila. Na fração leve, foi menor que $0,4 \text{ g C kg solo}^{-1}$ (Figura 6.28).

Na camada 5-10 cm, ainda no solo sob cana, foi observado um comportamento semelhante à camada 0-5 cm. O C derivado das gramíneas foi igual a $0,1 \text{ g C kg solo}^{-1}$, nas frações silte e leve livre e areia, e chegou a $0,6$ e $0,7 \text{ g C kg solo}^{-1}$, nas frações silte e argila. Na fração leve intra-agregado não foi observado C novo. O C derivado da floresta foi maior nas frações argila e silte, com $0,9$ e $0,6 \text{ g C kg solo}^{-1}$, respectivamente (Figura 6.29).

Na camada 10-20 cm, o C derivado das gramíneas, na fração silte, foi igual a $1,2 \text{ g C kg solo}^{-1}$, e a $0,6 \text{ g C kg solo}^{-1}$, na fração argila, enquanto o C derivado da floresta foi igual a $1,1 \text{ g C kg solo}^{-1}$, em ambas as frações. Nas frações leve livre e argila, o C derivado das gramíneas foi menor que $0,1 \text{ g C kg solo}^{-1}$ (Figura 6.30).

Na camada 20-30 cm, a contribuição de C novo reduziu, chegando a $0,8 \text{ g C kg solo}^{-1}$, na fração silte, e a $0,4 \text{ g C kg solo}^{-1}$, na fração argila. Na fração areia, a quantidade de C novo foi menor que $0,1 \text{ g C kg solo}^{-1}$. O C derivado da floresta foi igual a $1,0$ e $1,3 \text{ g C kg solo}^{-1}$, nas frações silte e argila, respectivamente (Figura 6.31).

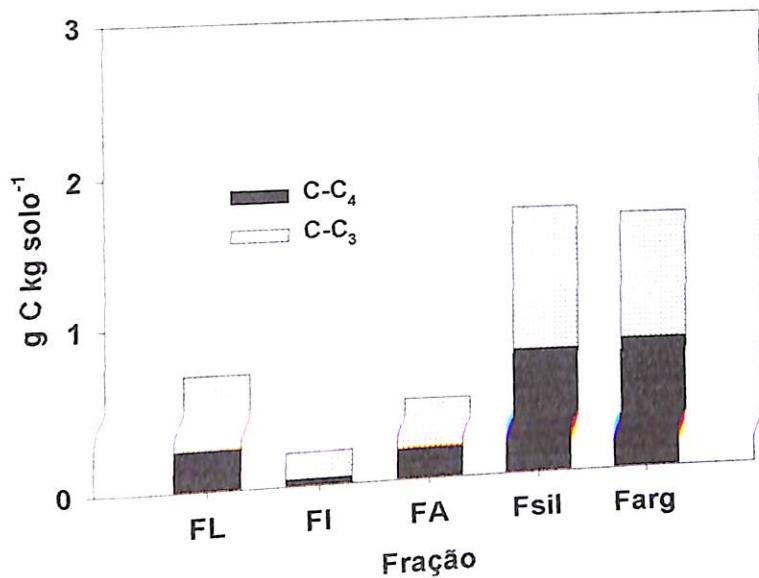


Figura 6.28- Origem do C nas frações da matéria orgânica do solo sob cultura de cana-de-açúcar, na profundidade de 0-5 cm, em conceição da Barra (ES).

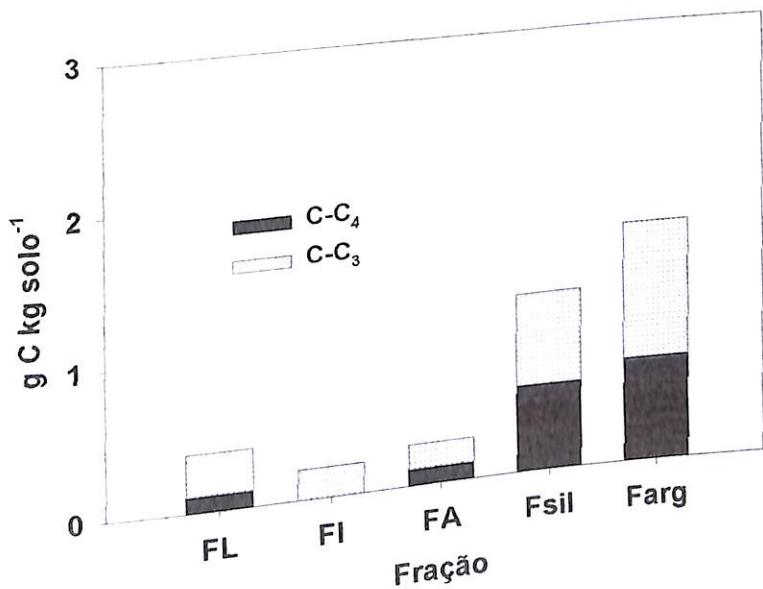


Figura 6.29- Origem do C nas frações da matéria orgânica do solo sob cultura de cana-de-açúcar, na profundidade de 5-10 cm, em conceição da Barra (ES).

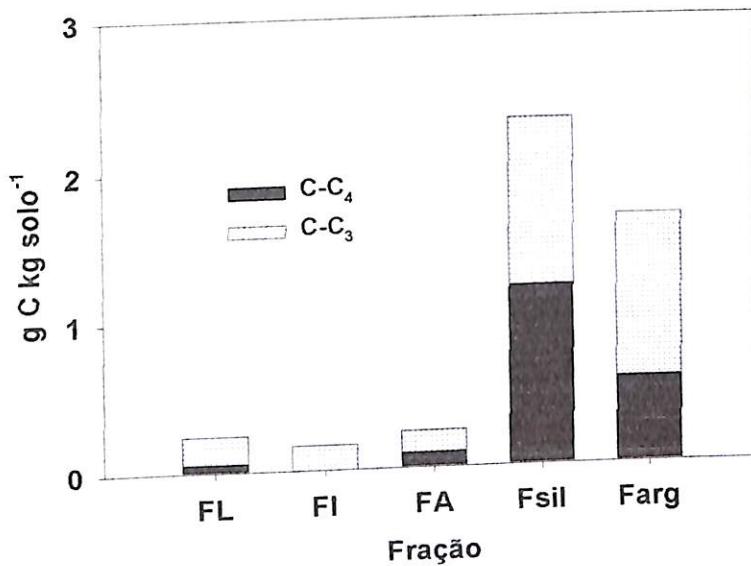


Figura 6.30- Origem do C nas frações da matéria orgânica do solo sob cultura de cana-de-açúcar, na profundidade de 10-20 cm, em conceição da Barra (ES).

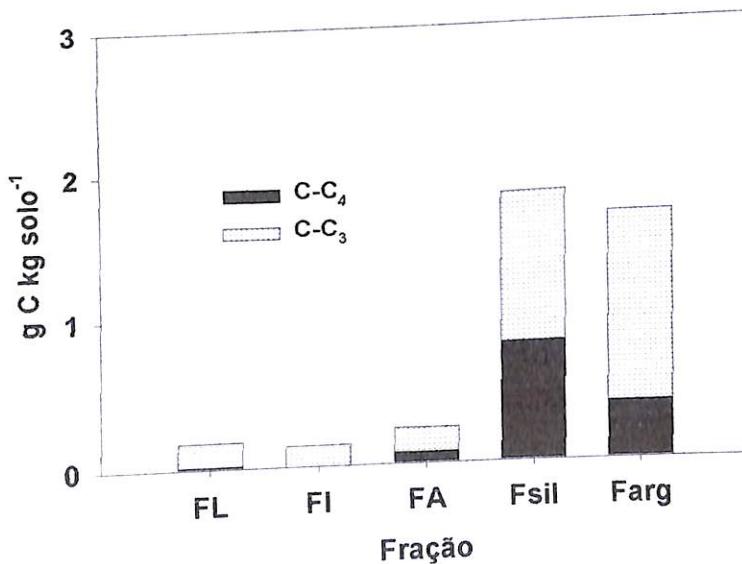


Figura 6.31- Origem do C nas frações da matéria orgânica do solo sob cultura de cana-de-açúcar, na profundidade de 20-30 cm, em conceição da Barra (ES).

No solo sob pastagem, as quantidades de C derivado da gramínea foram encontradas em todas as frações, embora fossem menores que 1 g C kg solo⁻¹. Na camada 0-5 cm, o C derivado da braquiária foi mais alto nas frações silte e argila, com 0,6 g C kg solo⁻¹. Na fração leve livre, o C novo chegou a 0,4 g C kg solo⁻¹, já nas frações areia e leve intra-agregado, foram de somente 0,2 e 0,1 g C kg solo⁻¹, respectivamente. O C derivado da floresta foi alto nas frações silte e argila, com 1,3 e 1,0 g C kg solo⁻¹ (Figura 6.32).

Na camada 5-10 cm, as quantidades mais altas de C derivado da braquiária foram encontradas nas frações leve livre e argila, com 0,5 e 0,6 g C kg solo⁻¹, respectivamente. Na fração areia, silte e leve intra-agregado, o C novo foi de apenas 0,3, respectivamente. Já o C derivado da floresta foi mais alto nas 0,2 e 0,1 g C kg solo⁻¹, respectivamente. Já o C derivado da floresta foi mais alto nas frações silte e argila, com 1,0 e 1,1 g C kg solo⁻¹, sendo somente de 0,4 e 0,2 g C kg solo⁻¹, nas frações leve livre e areia (Figura 6.33).

Na camada 10-20 cm, as quantidades de C derivado da braquiária nas frações argila e silte foram iguais a 0,7 e 0,4 g C kg solo⁻¹, respectivamente. Nas demais frações, o C novo foi menor que 0,3 g C kg solo⁻¹. Já o C derivado da floresta também foi maior nas frações mais finas, com 0,9 g C kg solo⁻¹, na fração silte, e 1,7 g C kg solo⁻¹, na fração argila. Nas outras frações, o C antigo foi menor que 0,3 g C kg solo⁻¹ (Figura 6.34).

Na camada 20-30 cm, a quantidade de C derivado da braquiária foi semelhante nas frações silte e argila, sendo de 0,5 e 0,4 g C kg solo⁻¹, respectivamente. Na fração leve livre, o C derivado da braquiária foi igual ao C derivado da floresta, de aproximadamente 0,3 g C kg solo⁻¹. Na fração argila foi encontrada a maior quantidade de C derivado da floresta, de 2,1 g C kg solo⁻¹. Na fração silte, o C antigo foi igual a 1,0 g C kg solo⁻¹. Nas frações areia e leve intra-agregado a quantidade de C novo foi menor que 0,1 g C kg solo⁻¹ (Figura 6.35).

Em relação ao solo sob mata, a introdução de pastagem e posteriormente cana causou uma redução na quantidade de C total e também, de C derivado da floresta, principalmente nas frações leve livre, argila e areia, sendo mais acentuado nas camadas superficiais. Houve maior incorporação de C novo nas frações silte e argila, também em maior intensidade nas camadas superficiais. Isto é, a redução de C total nas frações foi devido à perda de C antigo, derivado da floresta. No solo sob pastagem, foi observada uma redução no C total em todas as frações, exceto a fração leve intra-agregado, na camada 0-5 cm. Em profundidade, foi observada uma tendência de aumento de C nas frações mais finas, silte e argila. Na fração argila, foi observada uma maior conservação do C derivado da floresta, mesmo sendo observado uma maior quantidade de C derivado da braquiária nessa fração (Figuras 6.14 e 6.28 a 6.35).

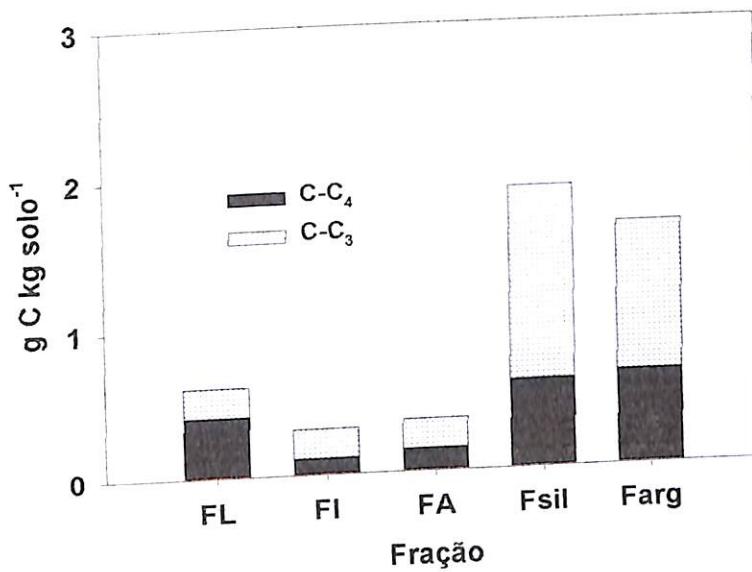


Figura 6.32- Origem do C nas frações da matéria orgânica do solo sob pastagem de braquiária, na profundidade de 0-5 cm, em conceição da Barra (ES).

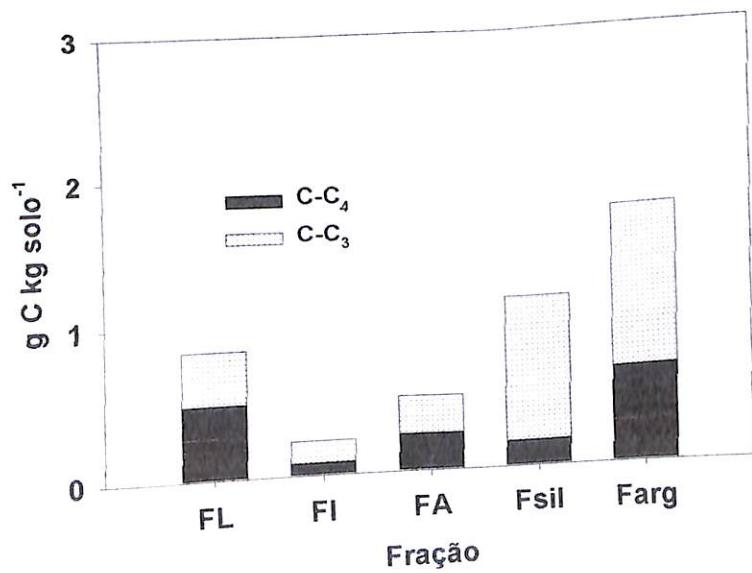


Figura 6.33- Origem do C nas frações da matéria orgânica do solo sob pastagem de braquiária, na profundidade de 5-10 cm, em conceição da Barra (ES).

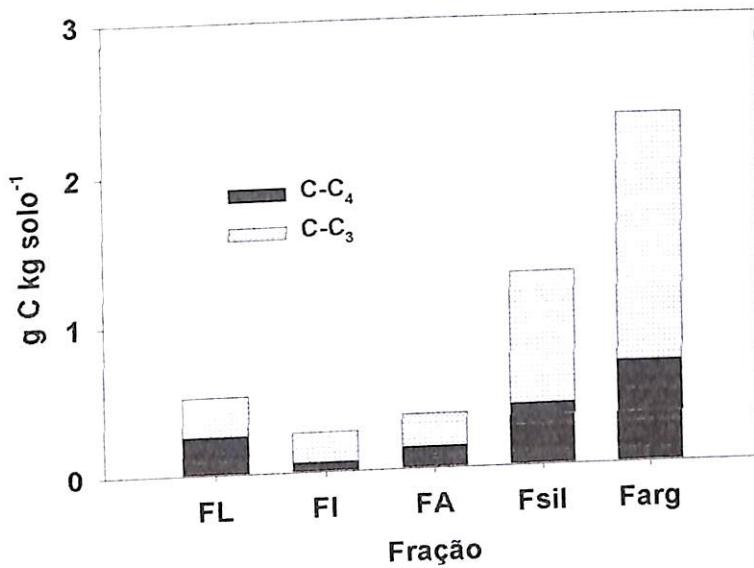


Figura 6.34- Origem do C nas frações da matéria orgânica do solo sob pastagem de braquiária, na profundidade de 10-20 cm, em conceição da Barra (ES).

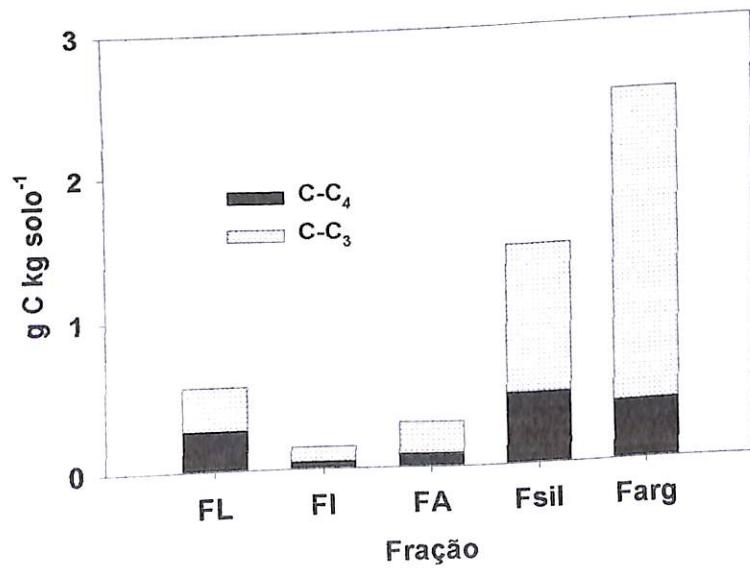


Figura 6.35- Origem do C nas frações da matéria orgânica do solo sob pastagem de braquiária, na profundidade de 20-30 cm, em conceição da Barra (ES).

6.4.10- Estoque de C nas frações

Na camada 0-5 cm, os estoques de C foram mais baixos que $1,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ nas frações da matéria orgânica, foram maiores nas frações silte e argila, e menores na fração intra-agregado, com no máximo $0,2 \text{ Mg C ha}^{-1}$. No solo sob mata, os estoques de C nas frações silte e argila foram de $1,2$ e $1,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$, respectivamente. Na fração leve livre, foi igual a $1,0 \text{ Mg C ha}^{-1}$, e na fração areia, de $0,7 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Comparados à mata, nos solos sob cana e pastagem a quantidade de C nas frações leve livre, areia e argila reduziram, chegando a valores menores que $0,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ na fração leve livre, argila reduziu, chegando a valores menores que $0,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ na fração argila. No solo sob cana, a quantidade de C na fração silte se manteve a mesma, enquanto no solo sob pastagem aumentou para $1,3 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (Tabela 6.8).

Na camada 5-10 cm, os resultados obtidos foram semelhantes àqueles encontrados na camada superior. Os maiores estoques de C foram encontrados nas frações silte e argila. No solo sob cana, foi observada uma redução em todas as frações em relação à mata, com exceção à fração argila, que manteve a quantidade de C encontrada na mata, igual a $1,1 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Nas frações leves e areia, a quantidade de C foi menor que $0,3 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Já no solo sob pastagem, o C acumulado na fração leve foi menor que $0,3 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Na fração silte, reduziu a $0,9 \text{ Mg C ha}^{-1}$, e na fração argila, aumentou para $1,3 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (Tabela 6.8).

Nas camadas 10-20 e 20-30 cm, o estoque de C nas frações silte e argila foi maior que a quantidade encontrada nas camadas superficiais, chegando até a $4,0 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Na camada 10-20 cm, no solo sob mata, enquanto nas frações leves e areia o C acumulado foi menor que $0,7 \text{ Mg C ha}^{-1}$, as frações silte e argila acumularam $2,0$ e $3,8 \text{ Mg C ha}^{-1}$, respectivamente. No solo sob cana, a quantidade de C nas frações leves e areia diminuiu a valores menores que $0,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$, redução também observada na fração argila, que chegou a $2,6 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Entretanto, foi observado um aumento na fração silte, que chegou a $3,7 \text{ Mg C ha}^{-1}$. No solo sob pastagem, foi observado um comportamento contrário nas frações finas. No silte, a quantidade de C caiu em relação à mata, chegando a $2,0 \text{ Mg C ha}^{-1}$, mas na fração argila, o estoque de C aumentou para $3,8 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Nas demais frações, houve um pequeno aumento de C, chegando a no máximo $0,9 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (Tabela 6.8).

Na profundidade 20-30 cm, foi observado um comportamento semelhante ao encontrado na camada 10-20 cm, sendo observado um aumento no conteúdo de C na fração argila sob pastagem, chegando a $4,0 \text{ Mg C ha}^{-1}$, enquanto no solo sob cana, houve uma redução até $2,8 \text{ Mg C ha}^{-1}$, contra $3,7 \text{ Mg C ha}^{-1}$ encontrado no solo sob mata. O estoque de C na fração silte aumentou tanto no solo sob cana como no solo sob pastagem, chegando a valores de $3,0$ e $2,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$, respectivamente, contra $1,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$, encontrados no solo sob mata. Nas demais frações, no solo sob cana houve uma perda de C nas frações leves, chegando a valores menores que $0,3 \text{ Mg C ha}^{-1}$, e na fração areia, não houve variação, com $0,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Já no solo sob pastagem, foi observado um aumento nas frações leve livre e areia, atingindo $0,9$ e $0,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$, respectivamente, e houve perda de C na fração leve intra-agregado, em relação à mata, restando somente $0,2 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (Tabela 6.8).

Considerando a profundidade de 0 a 30 cm, pôde-se observar que os maiores estoques de C no solo estavam contidos nas frações finas, silte e argila. No solo sob mata, o maior acúmulo de C foi encontrado na fração argila, com $9,6 \text{ Mg C ha}^{-1}$, seguido pela fração silte, com $6,2 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Na fração areia foram encontrados $2,1 \text{ Mg C ha}^{-1}$. A fração leve intra-agregado apresentou o menor acúmulo de C, com somente $1,0 \text{ Mg C ha}^{-1}$, enquanto a fração leve livre chegou a acumular $2,7 \text{ Mg C ha}^{-1}$ em

relação à mata, no solo sob cana os estoques de C reduziram nas frações leve livre, leve intra-agregado, areia e argila, chegando a 1,4, 0,7, 1,3 e 7,7 Mg C ha⁻¹, respectivamente. O maior estoque de C foi encontrado na fração silte, com 8,8 Mg C ha⁻¹, superior à quantidade encontrada nas demais coberturas. No solo sob pastagem, houve um aumento do estoque de C nas frações, com exceção da fração areia, em relação à mata, chegando a acumular 2,8 Mg C ha⁻¹ na fração leve livre, 1,1 Mg C ha⁻¹ na fração leve, 6,6 Mg C ha⁻¹ na fração silte e a 10,3 Mg C ha⁻¹ na fração argila. Na fração areia, foi observada uma redução da quantidade de C, chegando a 1,7 Mg C ha⁻¹ (Figura 6.36).

No solo sob cana-de-açúcar, na camada 0-5 cm, a quantidade de C derivado das gramíneas foi maior nas frações silte e argila, com aproximadamente 0,6 Mg C ha⁻¹. Nas demais frações, o C novo chegou a no máximo 0,2 Mg C ha⁻¹, sendo menor que 0,1 Mg C ha⁻¹, na fração leve intra-agregado. O C derivado da floresta foi maior nas frações silte e argila, com 0,7 e 0,6 Mg C ha⁻¹, respectivamente (Tabela 6.8). Em relação ao solo sob mata, foi observada uma perda de C derivado da floresta em todas as frações, exceto na fração silte. Isto é, o C derivado da mata perdido foi substituído pelo C das gramíneas. Na fração argila, apesar do acréscimo de C derivado das gramíneas, foram perdidos 0,9 Mg C ha⁻¹ do C antigo, em que somente 0,6 Mg C ha⁻¹ foram substituídos pelo C novo (Tabela 6.8).

Na camada 5-10 cm, as quantidades de C derivado das gramíneas foram menores em relação à camada superior, chegando a 0,4 e 0,5 Mg C ha⁻¹, nas frações silte e argila, respectivamente. Nas demais frações, as quantidades de C novo foram inferiores a 0,2 Mg C ha⁻¹. Na fração leve intra-agregado, não foi encontrado C derivado das gramíneas a partir dessa profundidade (Tabela 6.8). Em relação à mata, o C derivado da floresta foi perdido, em todas as frações. Na fração argila, o C total da fração praticamente se manteve. Isto é, o C antigo perdido foi substituído pelo C derivado das gramíneas. Já na fração silte, o C derivado da mata que foi perdido não foi completamente trocado pelo C novo, reduzindo a quantidade de C total na fração. O mesmo foi observado na fração leve livre e areia (Tabela 6.8).

No solo sob cana, na camada 10-20 cm, a quantidade de C derivado das gramíneas foi mais alta nas frações mais finas, principalmente na fração silte, com 1,9 Mg C ha⁻¹. Na fração argila, o C novo chegou a 0,9 Mg C ha⁻¹. Nas frações leve livre e areia, o C novo foi menor que 0,2 Mg C ha⁻¹. Já o C derivado da floresta foi alto também nas frações silte e argila, com 1,8 e 1,7 Mg C ha⁻¹, respectivamente, chegando no máximo a 0,3 Mg C ha⁻¹, nas demais frações (Tabela 6.8). Comparado ao solo sob mata, o C da fração leve intra-agregado não se alterou, e houve perda de C derivado da floresta nas frações leve livre e areia, além de pouco acréscimo de C novo, resultando em menores quantidades de C acumuladas nessas frações. Na fração argila, a quantidade de C total reduziu em relação à mata, apesar da incorporação de 0,9 Mg C ha⁻¹ de C derivado das gramíneas. Isto porque houve perda de aproximadamente 1,6 Mg C ha⁻¹ de C derivado da floresta. Na fração silte, houve uma redução do C derivado da floresta, de aproximadamente 0,6 Mg C ha⁻¹, mas houve um aumento de 1,9 Mg C ha⁻¹ de C derivado das gramíneas, resultando assim em um maior acúmulo de C na fração em relação à mata (Tabela 6.8).

Na camada 20-30 cm, foi observado um comportamento semelhante à camada 10-20 cm, embora as quantidades de C derivado das gramíneas fosse menor. Nas frações silte e argila, o C novo acumulado chegou a 1,3 e 0,6 Mg C ha⁻¹, enquanto o C derivado da floresta foi de 1,7 e 2,2 Mg C ha⁻¹, respectivamente. Na fração areia, o C derivado das gramíneas foi de apenas 0,1 Mg C ha⁻¹, enquanto o C antigo foi de 0,3 Mg C ha⁻¹. Na fração leve livre a quantidade de C novo foi menor que 0,1 Mg C ha⁻¹.

(Tabela 6.8). Em comparação ao solo sob mata, houve perda de C nas frações leves e na fração argila, aumento de C na fração silte e na fração areia, não houve alteração. Isto é, na fração areia, o C derivado da floresta perdido foi substituído pelo C novo. Nas frações leves, houve redução da quantidade de C antigo. Na fração silte, o aumento de 1,5 Mg C ha⁻¹ foi devido ao C derivado das gramíneas incorporado. Na fração argila, apesar da quantidade de C derivado das gramíneas, igual a 0,6 Mg C ha⁻¹, encontrada nessa camada, houve uma redução do C total, devido à perda de 1,4 Mg C ha⁻¹ derivado da floresta (Tabela 6.8).

No solo sob pastagem, na camada 0-5 cm, o C derivado da braquiária acumulado nas frações leve intra-agregado e areia foram baixos, aproximadamente 0,1 Mg C ha⁻¹, respectivamente. Na fração leve livre, o C novo foi igual a 0,3 Mg C ha⁻¹. O C derivado da floresta nessas frações foi menor que 0,2 Mg C ha⁻¹. Nas frações silte e argila foram encontradas as maiores quantidades de C derivado da braquiária, igual a 0,4 Mg C ha⁻¹, e também de C antigo, derivado da floresta, com valores iguais a 0,9 e 0,7 Mg C ha⁻¹, respectivamente. Comparado ao solo sob mata, foi observada uma perda de C em todas as frações, exceto nas frações leve intra-agregado, em que o C não se alterou, e na fração silte, onde houve um aumento do C. Na fração leve intra-agregado, a quantidade de C derivado da floresta perdida foi substituída em igual quantidade por C derivado da gramínea. Na fração areia, houve perda de C derivado da mata, de 0,5 Mg C ha⁻¹, enquanto na fração leve livre, a perda de C antigo foi de 0,7 Mg C ha⁻¹, com um acréscimo de C da braquiária de apenas 0,2 Mg C ha⁻¹. Na fração silte, houve uma perda de C antigo de aproximadamente 0,3 Mg C ha⁻¹, mas houve a incorporação de 0,4 Mg C ha⁻¹ de C derivado da pastagem. Na fração argila, houve perda de C de 0,4 Mg C ha⁻¹, resultado do balanço da entrada de 0,4 Mg C ha⁻¹ de C derivado da gramínea e perda de 0,8 Mg C ha⁻¹ do C derivado da floresta (Tabela 6.8).

Na camada 5-10 cm, as maiores quantidades de C derivado da gramínea foram observadas nas frações leve livre e argila, com 0,4 e 0,5 Mg C ha⁻¹, respectivamente. Nas outras frações, o C derivado da braquiária foi menor que 0,2 Mg C ha⁻¹. O C derivado da floresta, nas frações leve livre, leve intra-agregado e areia, foi de apenas 0,3, 0,1 e 0,2 Mg C ha⁻¹, respectivamente. Nas frações finas, o C antigo acumulado chegou a 0,8 Mg C ha⁻¹ na fração silte e a 0,9 Mg C ha⁻¹ na fração argila (Tabela 6.8). Comparado ao solo sob mata, não houve alteração na quantidade de C na fração leve intra-agregado, isto é, a quantidade de C antigo perdida foi substituída por C novo, da braquiária. Na fração leve livre houve um pequeno aumento de C total, apesar da perda de C derivado da floresta de 0,3 Mg C ha⁻¹, mas com acréscimo de 0,4 Mg C ha⁻¹ de C derivado da braquiária. Na fração areia, houve perda de 0,1 Mg C ha⁻¹, devido à perda de C derivado da floresta, já que foram adicionados à fração 0,2 Mg C ha⁻¹ de C derivado da pastagem. Na fração silte, foi observada uma redução do C derivado da floresta de 0,3 Mg C ha⁻¹, e com a incorporação de somente 0,1 Mg C ha⁻¹ de C novo, houve perda de C na fração. Já na fração argila, a perda de C antigo foi de apenas 0,2 Mg C ha⁻¹, e com o acréscimo de 0,5 Mg C ha⁻¹ de C derivado da braquiária, o C total a fração aumentou (Tabela 6.8).

Na camada 10-20 cm, a quantidade de C derivado da braquiária foi maior em relação às camadas superiores. Na fração leve intra-agregado somente 0,1 Mg C ha⁻¹ foram adicionados no solo. Na fração leve livre, a quantidade de C derivado da braquiária e da floresta foram aproximadamente iguais, com 0,4 Mg C ha⁻¹ pra cada fonte. Na fração areia, o C novo foi igual a 0,2 Mg C ha⁻¹, com 0,3 Mg C ha⁻¹ ainda originários da floresta. Na fração silte, o C derivado da pastagem chegou 0,7 Mg C ha⁻¹, e na fração argila foi encontrada a maior quantidade de C novo, igual a 1,1 Mg C ha⁻¹. O C derivado da mata foi alto nas frações mais finas, chegando a acumular 1,4 e 2,7 Mg C

ha^{-1} , nas frações silte e argila, respectivamente (Tabela 6.8). Quando comparado à mata, foi observado um aumento de C nas frações leves e na fração argila, uma redução de C na fração silte e sem alteração na fração areia. Na fração leve livre, houve perda de C derivado da mata, mas houve um aumento de C derivado da gramínea, resultando em um balanço positivo de $0,1 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Na fração leve intra-agregado houve um acréscimo de C derivado da pastagem e manutenção do C antigo. Na fração areia, a quantidade de C derivado da mata perdida foi reposta com C derivado da pastagem. Na fração silte, houve uma perda de C de $0,3 \text{ Mg C ha}^{-1}$, resultado da redução de C derivado da floresta de $1,0 \text{ Mg C ha}^{-1}$, com o acréscimo de $0,7 \text{ Mg C ha}^{-1}$ de C derivado da braquiária. Já na fração argila foi observado um aumento no acúmulo de C total, de $0,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Mesmo assim, foi observada uma perda de $0,6 \text{ Mg C ha}^{-1}$ de C derivado da floresta, com reposição de $1,1 \text{ Mg C ha}^{-1}$ de C derivado da pastagem (Tabela 6.8).

Na camada 20-30 cm, o C derivado da braquiária foi igual a $0,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$ na fração leve livre, a $0,6 \text{ Mg C ha}^{-1}$ na fração argila, e igual a $0,8 \text{ Mg C ha}^{-1}$ na fração silte. Nas frações areia e leve intra-agregado, o C novo foi menor que $0,2 \text{ Mg C ha}^{-1}$. O C derivado da floresta foi maior nas frações silte e argila, com $1,6$ e $3,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$, respectivamente (Tabela 6.8). Em relação ao solo sob mata, foi observado um aumento de C em todas as frações, com exceção para a fração leve intra-agregado, onde houve perda de C derivado da mata e incorporação de apenas $0,1 \text{ Mg C ha}^{-1}$ de C novo, resultando em uma perda de $0,1 \text{ Mg C ha}^{-1}$ na fração. Na fração areia, houve o acréscimo de $0,1 \text{ Mg C ha}^{-1}$, devido à incorporação, em igual quantidade, de C derivado da pastagem. Isso também foi observado nas frações leve livre e silte, onde o C derivado da mata foi mantido, com adição de $0,4$ e $0,8 \text{ Mg C ha}^{-1}$ de C derivado da gramínea nas frações, respectivamente. Na fração argila, o aumento de C acumulado, de $0,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$, foi devido à incorporação de $0,6 \text{ Mg C ha}^{-1}$ de C derivado da braquiária, com perda de apenas $0,2 \text{ Mg C ha}^{-1}$ de C derivado da floresta (Tabela 6.8).

Tabela 6.8- Estoque de carbono nas frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de cana-de-açúcar, braquiária e floresta secundária em Conceição da Barra (ES).

Cobertura	Prof. cm	FL	ep*	FI	ep	FA	ep	Fsil	ep	Farg	ep
		Mg C ha ⁻¹									
Cana-de-açúcar											
floresta gramínea	0 a 5	0,29 0,18	0,01 0,03	0,12 0,03	0,02 0,04	0,20 0,14	0,04 0,03	0,65 0,54	0,22 0,18	0,58 0,57	0,03 0,05
	5 a 10	0,20 0,08	0,04 0,04	0,14 0,00	0,02 0,01	0,12 0,07	0,01 0,02	0,46 0,43	0,25 0,23	0,67 0,51	0,06 0,06
floresta gramínea	10 a 20	0,30 0,08	0,11 0,03	0,26 0,00	0,03 0,00	0,23 0,16	0,08 0,07	1,78 1,89	0,32 0,41	1,72 0,90	0,28 0,12
	20 a 30	0,25 0,03	0,07 0,01	0,22 0,00	0,02 0,00	0,26 0,12	0,10 0,02	1,69 1,34	0,29 0,19	2,15 0,62	0,44 0,06
Pastagem											
floresta gramínea	0 a 5	0,14 0,28	0,01 0,02	0,15 0,08	0,04 0,01	0,14 0,11	0,03 0,02	0,91 0,41	0,09 0,08	0,69 0,44	0,07 0,02
	5 a 10	0,27 0,38	0,05 0,07	0,11 0,06	0,02 0,01	0,20 0,19	0,02 0,02	0,75 0,13	0,11 0,13	0,86 0,49	0,14 0,08
floresta gramínea	10 a 20	0,42 0,41	0,16 0,11	0,34 0,10	0,11 0,00	0,34 0,23	0,11 0,07	1,37 0,65	0,21 0,09	2,68 1,09	0,88 0,44
	20 a 30	0,45 0,42	0,21 0,09	0,15 0,07	0,01 0,02	0,34 0,14	0,09 0,02	1,63 0,76	0,38 0,11	3,39 0,63	0,52 0,09
Mata											
	0 a 5	0,96	0,17	0,20	0,03	0,69	0,32	1,18	0,42	1,49	0,23
	5 a 10	0,56	0,13	0,18	0,02	0,48	0,16	1,14	0,14	1,14	0,13
	10 a 20	0,72	0,09	0,24	0,03	0,55	0,20	2,36	0,45	3,33	0,17
	20 a 30	0,44	0,07	0,36	0,14	0,36	0,05	1,47	0,61	3,62	0,12

ep* é o erro padrão da média de 4 repetições

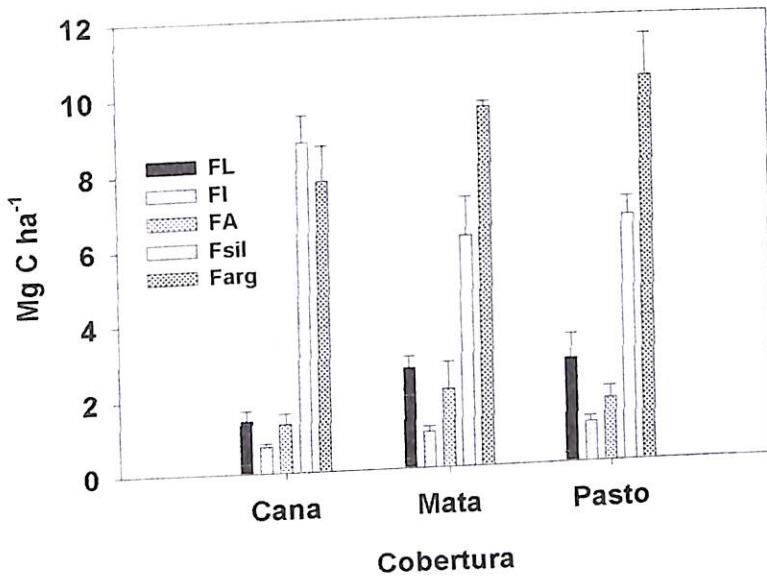


Figura 6.36- Quantidade de C nas frações da matéria orgânica do solo sob cobertura de cana-de-açúcar, mata secundária e pastagem de braquiária, na profundidade de 0-30 cm. (barras de erros indicam o erro padrão da média, de 4 repetições)

Com base nesses resultados, evidenciou-se que, mesmo sendo espécies de gramíneas do grupo C₄, houve diferença entre a cana-de-açúcar e a pastagem de braquiária na dinâmica da matéria orgânica do solo. Sabendo-se que o solo sob cobertura de cana foi cultivado anteriormente por igual período sob braquiária, o manejo da cobertura atual de cana alterou a acumulação de C no solo. No solo sob a cana-de-açúcar, na profundidade de 0 a 30 cm, a quantidade de C derivado das gramíneas chegou a 7,7 Mg C ha⁻¹, enquanto no solo sob braquiária, o C novo chegou a 7,1 Mg C ha⁻¹. Por outro lado, na mata, considerando essa mesma profundidade, foi encontrado um estoque de 21,5 Mg C ha⁻¹, em que após 10 anos de manejo de braquiária e 10 anos sob cobertura de cana-de-açúcar sobre ele, restaram 12,3 Mg C ha⁻¹ do C de floresta original. Já no solo sobre somente braquiária, no mesmo período, ainda foram encontrados 15,3 Mg C ha⁻¹ do C derivado da mata. Isto é, no solo sob braquiária, maior quantidade de C original da mata foi conservada. No solo sob cana, a quantidade de C total encontrada foi menor em relação à mata, com 19,9 Mg C ha⁻¹, enquanto no solo sob braquiária, houve maior acúmulo de C, chegando a 22,4 Mg C ha⁻¹. Assim, pôde-se verificar que o manejo da cultura da cana após a braquiária aumentou a contribuição de C novo na matéria orgânica do solo, mas também, contribuiu para a maior decomposição do C original da mata, na profundidade entre 0 e 30 cm.

6.5- Conclusões

- Houve um maior acúmulo de C no solo após 20 anos sob braquiária, em relação ao solo sob mata e ao solo com manejo de 10 anos de braquiária e 10 anos sob a cultura da cana-de-açúcar.
- As maiores contribuições de C derivado das gramíneas no solo foram encontradas nas camadas superficiais (0-20 cm), embora foram observadas contribuições de carbono derivado das gramíneas até 1 m de profundidade.
- A introdução da cultura da cana-de-açúcar no solo reduziu a quantidade de fração leve, enquanto a introdução da pastagem aumentou essa fração, em relação à mata.
- Na fração leve intra-agregado, a incorporação de C derivado das gramíneas foi reduzida.
- No solo sob cana-de-açúcar, houve maior incorporação de C derivado das gramíneas na fração silte, enquanto no solo sob pastagem, o maior acúmulo de C derivado da braquiária foi nas frações leve livre e argila.
- No solo sob braquiária, houve uma maior conservação do C derivado da floresta nas frações da matéria orgânica em relação ao solo sob cobertura de cana-de-açúcar.
- Na fração leve intra-agregado sob cobertura de cana-de-açúcar houve maior conservação do carbono derivado da floresta, em relação à cobertura de braquiária.

8- Discussão geral

A abordagem apresentada nesse trabalho possui grande importância porque engloba um tema atual, que é relacionado com a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e com o seqüestro de carbono. Com o fracionamento físico é possível conhecer em quais compartimentos está sendo adicionado C, ou qual compartimento está sendo influenciado negativamente pelo manejo adotado. Em muitos casos, somente a análise de C total de um solo não dá a noção exata da dinâmica do C em um sistema. Conhecendo-se a distribuição da matéria orgânica nos compartimentos, pode-se avaliar a velocidade da ciclagem de C no solo. Outras metodologias podem e devem ser usadas buscando-se um estudo mais detalhado da qualidade da matéria orgânica dos solos, principalmente aquelas relacionadas aos estudos de caracterização e microscopia das frações. Assim, para estudos futuros, seriam recomendados métodos de caracterização química e espectroscópica nas frações da matéria orgânica.

Outro fato importante a considerar é o caráter inédito desse estudo, pois apesar de os estudos de fracionamento terem iniciado no século XVIII, com o uso do ^{13}C puderam ser determinadas às diversas origens do C nas frações, e a quantificação dessas contribuições, em cada fração, em estoques de C por hectare, informações que não foram ainda citadas em literatura científica. Esses resultados podem, no futuro, ser aproveitados para o estudo de modelagem dos compartimentos da matéria orgânica do solo.

A principal questão nos estudos de fracionamento é a falta de uma metodologia padrão, o que dificulta a comparação entre os resultados obtidos por diferentes autores. A metodologia utilizada nesse estudo foi desenvolvida pelo pesquisador Saran Sohi (IACR – Rothamsted, Inglaterra) e colaboradores, sendo difundida e empregada pelos principais pesquisadores que atuam na área de fracionamento da matéria orgânica atualmente, no Brasil e no exterior. Atualmente, só no Brasil, tem sido empregada em pelo menos 6 instituições de pesquisa, destacando-se a Embrapa Solos e a UFRRJ. Essa metodologia apresenta a vantagem de na mesma amostra, ser conduzido o fracionamento densimétrico e o granulométrico, o que permite a identificação dos compartimentos de C no solo mais conhecidos e estudados, que formam as unidades básicas da matéria orgânica do solo.

Segundo Feller e Beare (1997), as maiores quantidades de C no solo estariam contidas nos compartimentos de maiores proporções no solo. Isto é, em solos de textura mais arenosa, a maior quantidade de C estaria contida na fração areia, enquanto nos solos de textura argilosa, na fração argila. Os solos em estudo, tanto no município de Itabela (Sul da Bahia) quanto no município de Conceição da Barra (ES) apresentaram textura arenosa. Entretanto, as maiores quantidades de C foram encontradas nas frações mais finas, associadas ao silte e à argila. As maiores proporções de C derivado das gramíneas foram encontradas, de uma maneira geral, nas frações leve livre e areia. Entretanto, as maiores contribuições em quantidade estavam contidas na fração silte. Vale ainda ressaltar que nos estudos conduzidos por Feller e Beare (1997) foram feitos fracionamentos granulométricos. Assim, o C que estaria contido na fração leve foi somado ao C na matéria orgânica particulada (C associado à fração areia).

Dentre as frações da matéria orgânica do solo, a fração areia foi a única que apresentou problemas, em algumas amostras, na determinação dos teores de C e N total. Isso porque os conteúdos de C e N encontrados foram baixos, e em alguns casos, menores que os níveis de detecção da metodologia, principalmente em relação ao conteúdo de N.

Os teores de C na fração leve livre e leve intra-agregado encontrados no município de Conceição da Barra (ES) foram menores que o esperado, em todas as coberturas vegetais, quando comparados com os dados obtidos em Itabela (BA) e também com os valores encontrados na literatura. Outra observação importante está relacionada com a relação C:N nas frações mais finas. A relação C:N na fração argila foi menor que os valores observados em Itabela (BA) e também aos valores citados na literatura. Já na fração silte, foi observado o contrário. A relação C:N foi mais alta que o normalmente esperado. Essas diferenças podem ser devidas às características intrínsecas do solo, relacionadas ao tipo de argila e a estrutura do solo.

Uma das características favoráveis do experimento conduzido no capítulo 3 (remoção da floresta e introdução de capim elefante e braquiária) é que as coletas de solo foram realizadas no mesmo local. Isto é, foram coletadas amostras no período inicial do experimento (tempo zero), e pôde-se fazer um acompanhamento ao longo nas mesmas parcelas. Já no capítulo 2 (comparação entre pastagem consorciada e em monocultura) e no capítulo 4 (comparação entre cobertura de cana-de-açúcar e pastagem), foram coletadas amostras de solo sob mata em áreas adjacentes aos estudos. Isto é, não se tem a informação desses solos na época da introdução das gramíneas. Assim, para a validade dos solos sob cobertura de mata nesses estudos, foi necessária uma avaliação da análise granulométrica entre os solos de área próxima, onde observou-se que as quantidades das frações granulométricas (areia, silte e argila) foram semelhantes. Outro fator importante para a validade da cronossequência foi a análise da composição isotópica das frações e do solo sob mata, o que comprovou que o C contido nesses materiais se originou exclusivamente de plantas C₃, como era esperado para solos sob floresta.

No estudo realizado em Conceição da Barra (ES), embora na profundidade entre 0 e 30 cm, tenha sido encontrado maior quantidade de C derivado das gramíneas no solo sob cana-de-açúcar, considerando-se o solo até a profundidade de 1 m, foi encontrado maior quantidade de C novo no solo sob braquiária. Isso foi devido a maior conservação de C original da floresta em profundidades menores que 60 cm. No solo sob cana, houve uma maior perda de C derivado da mata. Uma possível explicação para isso seria que as raízes de braquiária tem um enraizamento mais profundo que a cana-de-açúcar, e mesmo o solo sob cana foi plantado anteriormente por 10 anos de pastagem. Assim, na renovação e na colheita da cana sobre o solo, foi favorecida a mineralização e decomposição do C derivado da floresta.

Vitorello et al. (1989) compararam os valores de $\delta^{13}\text{C}$ obtidos em frações da matéria orgânica sob floresta (composta exclusivamente com vegetação C₃) com o valor encontrado no solo total, em que as frações associadas a areia foram mais negativas, e as frações mais finas, mais positivas, concluindo que nas frações mais humificadas os valores de $\delta^{13}\text{C}$ tendem a aumentar. É bastante citado na literatura, que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ em uma fração (ou material) tendem a aumentar (ficar mais positivo) devido à humificação (Vitorello et al., 1989). Assim, a diferença de composição isotópica entre as frações na mesma profundidade deveria indicar quais as frações seriam mais humificadas. Baseado nessa relação entre humificação e composição isotópica nas frações no solo sob mata, poderia-se chegar a resultados errôneos, como por exemplo, no município de Conceição da Barra, afirmar que a matéria orgânica associada à fração areia seria a mais humificada, ou então, no município de Itabela, afirmar que as frações leves seriam mais humificadas, e que as frações silte e argila seriam as menos estáveis, leves seriam mais humificadas, e que as frações mais finas seriam as mais humificadas. As frações leves e as frações mais finas (silte e argila) apresentam composição, comportamento e dinâmicas diferentes, não devendo ser comparadas entre si em relação

à humificação e composição isotópica. Em seu trabalho, Vitorello et al. (1989) citaram que existe uma tendência geral de aumento dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ com o aumento do grau de humificação. Volkoff et al. (1978), em um dos trabalhos citados por Vitorello et al. (1989), chegaram a essa conclusão estudando latossolos na Bahia, embora só foram utilizadas frações humificadas na comparação. Os ácidos húmicos e a maioria das frações huminas chegaram a valores de $\delta^{13}\text{C}$ iguais a -29‰ . Nissenbaum e Schallinger (1974), comparando frações húmicas, encontraram que os ácidos fúlvicos eram mais enriquecidos em $\delta^{13}\text{C}$ do que os ácidos húmicos, e é conhecido que os ácidos fúlvicos são precursores dos ácidos húmicos.

A relação entre humificação e a composição isotópica das frações da matéria orgânica do solo necessita ser melhor estudada. E só a análise da composição isotópica entre as frações da matéria orgânica do solo não é indicadora do grau de humificação. Estudos por fracionamento químico e análises espectroscópicas podem contribuir na elucidação dessa questão.

9- Literatura citada:

- ALVES, B.J.R.; OLIVEIRA, O.C.; BODDEY, R.M. e URQUIAGA, S. Métodos isotópicos. In: SANTOS, G.A. e CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais. Genesis, 337-358, 1999.** Porto Alegre, RS: 337-358, 1999.
- ANDERSON, D.W.; SAGGAR, S.; BETTANY, J.R. and STEWART, J.W.B. Particle size fractions and their use in studies of soil organic matter: I. The nature and distribution of forms of carbon, nitrogen and sulfur. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 45: 767-772, 1981.
- BALESSENT, J.; MARIOTTI, A. and GUILLET, B. Natural ^{13}C abundance as a tracer for studies of soil organic matter dynamics. **Soil Biol. Biochem.**, V 19(1): 25-30, 1987.
- BALESSENT, J.; WAGNER, G.H.; MARIOTTI, A. Soil organic matter turnover in long term field experiments as revealed by carbon-13 natural abundance. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 52: 118-124, 1988.
- BATJES, N.H. Management options for reducing CO₂-concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil. Report 410-200-031, Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change & Technical Paper 30, International Soil Reference and Information Centre, Wageningen, 1999.
- BAVAGE, A.; DAVIES, I.G.; ROBBINS, M.P. and MORRIS, P. Progress and potential for genetic manipulation of plant quality. In: CADISCH, G.; GILLER, K.E. **Driven by nature. Plant litter quality and decomposition**, CABI, 201-211, 1997.
- BAYER, C; MARTIN-NETO, L.; DICK, D.P.; MILORI, D.M.B.P.; MIELNICZUK, J.; MELLO, N.C.; COLNAGO, L.A.; SANDRI, G.R. Caracterização espectroscópica de ácidos húmicos de um latossolo roxo submetido durante 17 anos a diferentes sistemas de manejo. **Resumo**. In: 3º Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas, Santa Maria-RS, 1999.
- BOLIN, B. The carbon cycle. In: BOLIN, B.; COOK, R.B. eds. **The major biogeochemical cycles and their interactions**. Chichester, UK: J. Wiley, SCOPE 21: 41-45, 1983.
- BONDE, T.B.; CHRISTENSEN, B.T. and CERRI, C.C. Dynamics of soil organic matter as reflected by natural ^{13}C abundance in particle size fractions of forested and cultivated oxisols. **Soil Biol. Biochem.** Short communication, V 24, n° 3, p-275-277, 1992.
- BOUTTON, T.W. Stable carbon isotope ratios of natural materials: I. Sample preparation and mass spectrometric analysis. In: COLEMAN, D.C.; FRY, B. **Carbon isotope techniques**, AP, capítulo 10: 155-171, 1991.

CADISCH, G. and GILLER, K.E. Estimating the contribution of legumes to soil organic matter build up in mixed communities of C₃/C₄ plants. Short Communication, *Soil Biol. Biochem.*, 28, n. 6: 823-825, 1996.

CADISCH, G.; OLIVEIRA, O.C.; CANTARUTTI, R.; CARVALHO, E. and URQUIAGA, S. The role of legume quality in soil carbon dynamics in savannah ecosystems. In: **Carbon and nutrient dynamics in natural and agricultural tropical ecosystems**. Eds: BERGSTROM, L. KIRCHMANN, H. CABI, p: 47-70. 1998

CAMARGO, F.A.O.; SANTOS, G.A.; GUERRA, J.G.M. Macromoléculas e substâncias húmidas. In: SANTOS, G.A. e CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Genesis, Porto Alegre, RS: 27-39, 1999.

CAMPOS, D.V.B.; MACHADO, P.L.O.A.; PINHEIRO, E.F.M.; SILVA, C.A.; TARRÉ, R.; MACEDO, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S; BODDEY, R.M. Teores de carbono e nitrogênio em frações da matéria orgânica do solo sob pastagem de capim elefante (*Pennisetum purpureum*). **Resumo**. In: 4º Encontro Brasileiro de Substâncias Húmidas, Viçosa-MG, 2001a.

CAMPOS, D.V.B.; MACHADO, P.L.O.A.; PINHEIRO, E.F.M.; SILVA, C.A.; TARRÉ, R.; MACEDO, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. and SANTOS, G.A. Use of the ¹³C to trace the substitution of forest derived C in organic matter fractions of soil under an elephant grass (*Pennisetum purpureum*) pasture. **Abstracts**, ICLD3, International Conference on Land Degradation, p: 36, Rio de Janeiro, Brasil, 2001b.

CAMPOS, D.V.B.; BRAZ, S.P.; SÁ, T.F.L.; MACHADO, P.L.O.A.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; LIMA, E. e SANTOS, G.A. Fração leve da matéria orgânica do solo mantido sob cana-de-açúcar, mata nativa e pastagem, no município de Conceição da Barra (ES). **Resumo**. FERTBIO 2002, Setembro, Rio de Janeiro-RJ, 2002.

CANELLAS, L.P.; MORAES, A.A.; RUMJANEK, V.M.; SANTOS, G.A. Métodos complementares. In: SANTOS, G.A. e CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Genesis, Porto Alegre, RS: 413-436, 1999b.

CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A. e SOBRINHO, N.M.B.A. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. e CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Genesis, Porto Alegre, RS: 69-90, 1999.

CARTER, M.R. Organic matter and sustainability. In: REES et al. (ed) **Sustainable management of soil organic matter**. CABI Publishing, 9-22., 2001.

CARVALHO, M.C.S.; CERRI, C.C.; MELFI, A.J. Composição isotópica de frações da matéria orgânica do solo numa cronosequência de floresta-pastagens na Amazônia. FERTBIO 2002, resumos, p. 34, RJ, 2002.

CERETA, C.A.; BAYER, C.; DICK, D.P.; MARTIN-NETO, L. E COLNAGO, L.A. Métodos espectroscópicos. In: SANTOS, G.A. e CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais.** Genesis, Porto Alegre, RS: 293-336, 1999.

CERETA, C.A. Uso agronômico de resíduos orgânicos e impacto ambiental. In: CERETA, C.A. **Resumo. 4º Encontro Brasileiro de Substâncias Húmidas, Viçosa-MG, p: 18-20, 2001.**

CERRI, C.C.; FELLER, C.; BALESIDENT, J.; VICTORIA, R. and PLENACASSAGNE, A. Application du traçage isotopique naturel en ^{13}C à l'étude de la dynamique de la matière organique dans le sols. **Comptes Rendus de l'academie des Sciences de Paris**, 300, 423-428, 1985.

CRISTENSEN, B.T. Decomposability of organic matter in particle size fractions from field soils with straw incorporation. **Soil Biol. Biochem.** 19, n° 4: 429-435, 1987.

CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advanced in Soil Science**, 20: 1-90, 1992.

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. 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: SSSA, no 5, p. 3-21, 1994.

DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.W. Soil organic matter as source and sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G., EDS. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems.** Honolulu: Univ. of Hawaii, 33-67, 1989.

FEIGL, B.J.; MELILLO, J. and CERRI, C.C. Changes in the origin and quality of soil organic matter after pasture introduction in Rondônia (Brazil). **Plant and Soil** 175: 21-29, 1995.

FELLER, C. Organic inputs, soil organic matter and functional soil organic compartments in low-activity clay soils in tropical zones. In: MULONGOY, K.; MERCKX, R. **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture.** Leuven: Willey-Sayce, 77-88, 1993.

FELLER, C.; BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, 79: 69-116, 1997.

FELLER, C. The concept of soil humus in the past three centuries. **Advanced in GeoEcology**, 29: 15-46. 1997.

FELLER, C. Organo-mineral interactions in tropical soils. In search of "functional" organic matter pools: the particle-size fractionation approach. In: *Anais, 3º Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas*, Santa Maria-RS, 104-124, 1999.

FELLER, C.; MANLAY, R. Humus, fertility and sustainability of cropping systems: concepts over the past three centuries. *Abstracts, ICLD3, International Conference on Land Degradation*, p: 2, Rio de Janeiro, Brasil, 2001.

FERNANDES, E.C.M.; MOTAVALLI, P.P.; CASTILLA, C. & MUKURUMBIRA, L. Management control of soil organic matter dynamics in tropical land-ultrasome systems. *Geoderma* 79: 49-67. 1997.

FERREIRA, E. *O destino do nitrogênio derivado da ligeira de plantas forrageiras e das excretas de bovinos em sistemas de pastagens tropicais*. Tese de Doutorado em agronomia, RJ, UFRRJ.

FREIXO A.A. *Caracterização da matéria orgânica de latossolos sob diferentes sistemas de cultivo através de fracionamento físico e espectroscopia de infravermelho*. Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo, UFRRJ, 86p, 2000.

FREIXO, A.A.; CANELLAS, L.P. & MACHADO, P.L.O.A. Propriedades espetrais da matéria orgânica leve livre e leve intra-agregado de dois latossolos sob plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26: 445-453, 2002a.

FREIXO, A.A.; MACHADO, P.L.O.A.; GUIMARÃES, C.M.; SILVA, C.A. & FADIGAS, F.S. 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: 425-434, 2002b.

GAVINELLI, E.; FELLER, C.; LARRÉ-LARROUY, M.C.; BACYE, B.; DJEEGUI, N. and NZILA, J. D. A routine method to study soil organic matter by particle-size fractionation: examples for tropical soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 26 (11&12), 1749-1760, 1995

GUEDES, C.A.B. Volatilização de N e Alterações Químicas do Solo Sob Cultivo de Cana-de-Açúcar com Aplicação de Vinhaça e Diferentes Formas de Colheita. *Tese de mestrado*, UFRRJ, RJ, 2002.

GUERRA, J.G.M. e SANTOS, G.A. Métodos químicos e físicos. In: SANTOS, G.A. e CAMARGO, F.A.O. *Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais*. Genesis, Porto Alegre, RS: 267-292, 1999.

GREGORICH, E.G.; KACHANOSKI, R.G. and VORONEY, R.P. Ultrasonic dispersion of aggregates: distribution of organic matter in size fractions. *Canadian Journal of Soil Science*, 68: 395-403, 1988.

GROOT, T.T. Trace gas exchange by rice, soil and pears. A study based on lazer photoacoustic detection. **Tese de doutorado**. Tradução para o inglês, 147p. Universiteit Nijmegen, Holanda.

HANDAYANTO, E.; CADISCH, G. and GILLER, K.E. Regulating N mineralization form plant residues by manipulation of quality. In: CADISCH, G.; GILLER, K.E. **Driven by nature. Plant litter quality and decomposition**, CABI, 175-186, 1997.

HAYES, M.H.B.; SWIFT, R.S. The chemistry of soil organic colloids. In: GREENLAND, D.J.; HAYES, M.H.B., ed. **The chemistry of soil constituents**. Chichester, UK: 179-320, 1978.

HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M. and SWIFT, M.J. Plant litter quality and decomposition: an historical overview. In: CADISCH, G.; GILLER, K.E. **Driven by nature. Plant litter quality and decomposition**, CABI, 3-32, 1997.

JEFFÉ L., Efeito de diferentes manejos sobre indicadores da qualidade do solo. **Tese de mestrado**, UFRRJ, RJ, 2002.

KONONOVA, M.M.; DOKUCHAYEV, V.V. Organic matter and soil fertility. **Pochvovedeniye**, 4: 6-20, tradução, 1984.

LEAL, M.A.A. e DE-POLLI, H. Aplicação de modelos ao estudo da matéria orgânica In: SANTOS, G.A. e CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Genesis, Porto Alegre, RS: 245-266, 1999.

LUDLOW, M.M.; TROUGHTN, J.H.; JONES, R.J. A technique for determining the proportion of C₃ and C₄ species in plant samples using stable natural isotopes of carbon. **Journal of Agriculture Science**, 87: 625-632, 1976.

MACEDO, M.C.M. Pastagens no ecossistema cerrados: pesquisa para o desenvolvimento sustentável. In: ANDRADE, R.P.; BARCELLOS, A.O.; ROCHA, C.M.C. Pastagens nos ecossistemas brasileiros: pesquisas para o desenvolvimento sustentável. **Anais**, SBZ, UFV, Viçosa-MG, p: 28-62, 1995.

MACHADO, P.L.O.A. Método para a extração de substâncias húmicas do solo. Ácido húmico e ácido fúlvico. **Comunicado técnico**. Embrapa Solos, no. 1, p:1-4, 1999.

MACHADO, P.L.O.A. Fracionamento físico do solo por densidade e granulometria para a quantificação de compartimentos da matéria orgânica do solo – Um procedimento para a estimativa pormenorizada do sequestro de carbono pelo solo. **Comunicado técnico**. Embrapa Solos, no. 1, p:1-4, 2002.

MARTINS, J.P.S. **A década desperdiçada. O Brasil, a Agenda 21 e a Rio + 10**. ed: Komedi, 200p., Campinas, 2002.

MATTEUCCI, S.D. Fisiología vegetal y agronomía. **Interciencia**, 13, n.2: 87-89, 1988.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; MELO, V.P. Resíduos urbanos e industriais e qualidade do ambiente. In: **Anais**, 3º Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas, Santa Maria-RS, 49-64, 1999.

MENDONÇA, J.R. Fotointerprete, fotografias aéreas, recobrimento trimetrogon e imagem do sistema landsat. In: **Calendário anual**, CEPLAC-CEPEC, p.3, 1994.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A. e CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Genesis, Porto Alegre, RS: 1-8, 1999.

MILORI, D.M.B.P.; BAYER, C.; BAGNATO, V.S.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Determinação do grau de humificação de ácidos húmicos de solo através de fotoluminescência. In: **Anais**, 3º Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas, Santa Maria-RS, p: 207-209, 1999.

NEILL, C.; MELILLO, J.; STEUDLER, P.A.; CERRI, C.C.; MORAES, J.F.L.; PICCOLO, M.C. & BRITO, M. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. **Ecology Applic.** v.7, p. 1216-1225, 1997.

NISSENBAUM, A. & SCHALLINGER, K.M. The distribution of the stable carbon isotope in fractions of soil organic matter. **Geoderma** 11: 137-145, 1974.

PARTON, W.J.; STANFORD, R.L. SANCHEZ, P.A.; STEWART, W.B. Modeling soil organic matter dynamics in tropical soils. COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G., EDS. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: Univ. of Hawaii, 153-171, 1989.

PARTON, W.J.; WOOMER, P.L. and MARTIN, A. Modeling soil organic matter dynamics an plant productivity in tropical ecosystems. In: WOOMER, P.L. and SWIFT, M.J. **The biological management of tropical soil fertility**. WILEY, Chapter 7: 171-188, 1994.

PEREIRA, J.M. Avaliação de pastagens de *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickt, em monocultura ou consorciado com leguminosas e submetidas a diferentes taxas de lotação, na região Sul da Bahia. Viçosa, UFV, 232p., Tese de doutorado, 1991.

PEREIRA, J.M.; BODDEY, R.M. & REZENDE, C.P. Pastagens no ecossistema Mata Atlântica: Pesquisa para o desenvolvimento sustentável. Anais. In: ANDRADE, R.P.; BARCELLOS, A.O. & ROCHA, C.M.C. Sociedade Brasileira de Zootecnia, UFV, Viçosa, MG, p. 94-146, 1995.

PICCOLO, A. Atmospheric CO₂ and alteration of global climate.. In: **Anais**, 3º Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas, Santa Maria-RS, p: 145, 1999.

PINHEIRO, E.F.M. Frações orgânicas e agregação do solo sob cultivo de oleráceas em Paty dos Alferes (RJ). Tese de mestrado, UFRRJ, 2002.

REICOSKY, D.C. Soil management and CO₂ sequestration. In: *Anais, 3º Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas*, Santa Maria-RS, 135-144, 1999.

REZENDE, C.P.; CANTARUTTI, R.B.; BRAGA, J.M.; GOMIDE, J.A.; PEREIRA, J.M.; FERREIRA, E.; TARRÉ, R.; MACEDO, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; CADISCH, G.; GILLER, K.E.; BODDEY, R.M. Litter deposition and disappearance in *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. *Nutrient Cycling in Agrosystems*, 54: 99-12, 1999.

ROSCOE, R; BUURMAN, P.; VELTHORST, E.J.; PEREIRA, J.A.A. Effects of fire on soil organic matter in a cerrado sensu-stricto form Southeast Brazil as revealed by changes in d¹³C. *Geoderma*, 95: 141-160, Amsterdam, 2000.

ROSCOE, R; BUURMAN, P.; VELTHORST, E.J. Disruption of soil aggregates by varied amounts of ultrasonic energy in fractionation of organic matter of a clay latosol: carbon, nitrogen and ¹³C distribution in particle-size fractions. *European Journal of Soil Science*, 51: 445-454, 2000.

ROSCOE, R; BUURMAN, P.; VELTHORST, E.J.; VASCONCELLOS, C.A. Soil organic matter dynamics in density and particle size fractions as revealed by the ¹³C/¹²C isotopic ratio in a cerrado's oxisol. *Geoderma* 104: 185-202, 2001.

ROSCOE, R. Abundância natural do ¹³C em estudos da dinâmica da matéria orgânica do solo: Limitações e fontes de erro. Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas, Abstracts. Viçosa-MG, 2001.

SANCHEZ, P.A.; PALM, C.A.; SZOTT, L.T.; CUEVAS, E. & LAL, R. Organic input management in tropical agrosystems. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G., ed. *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu: Univ. of Hawaii, 125-152, 1989.

SANCHEZ, P.A. Changing tropical soil fertility paradigms: from Brazil to Africa and back. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; SCHAFFERT, R.E.; FAGERIA, N.K.; ROsolem, C.A.; CANTARELLA, H. eds. *Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production*. SBCS, p:19-28, 1997.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. *Biologia dos solos dos cerrados*, capítulo 9: 467-524, EMBRAPA, 1997.

SKJEMSTAD, J.O.; CLARKE, P.; GOLCHIN, A.; OADES, J.M. Characterization of soil organic matter by solid-state ¹³C NMR spectroscopy. In: CADISCH, G.; GILLER, K.E. *Driven by nature. Plant litter quality and decomposition*. CABI, 253-272, 1997.

SMITH, J.L. and MYUNG, M.H. Rapid procedures for preparing soil and KCl extracts for ^{15}N analysis. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, 21, n. 17 & 18: 2173-2180, 1990.

SOHI, S.P.; MAHIEU, N.; ARAH, J.M.R.; POWLSON, D.S.; MADARI, B. & GAUNT, J.L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modelling. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 65: 1121-1128, 2001.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry. Genesis, composition reactions.** Wiley Interscience. 1982.

TAIZ, L & ZEIGER, E. **Plant Physiology.** Sinauer Associates, Inc., Publishers. Sunderland, Massachusetts, 792 p., 1998.

TARRÉ, R.M. Efeito da introdução da leguminosa *Desmodium ovalifolium* cv. Itabela CIAT 350 na ciclagem de nutrientes em pastagens de *Brachiaria humidicola* Rendel no Extremo Sul da Bahia. **Tese de mestrado.** 135p., UFRRJ, 2000.

TARRÉ, R.; MACEDO, R.; CANTARUTTI, R.M.; REZENDE, C.P.; PEREIRA, J.M.; FERREIRA, E.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. **Plant and Soil** 234: 15-26, 2001.

TEDESCO, M.J.; SELBACH, P.A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F.A.O. Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente. In: SANTOS, G.A. e CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais.** Genesis, Porto Alegre, RS: 159-196, 1999.

TIESSEN, H. and STEWART, W.B. Particle size fractions and their use in studies of soil organic matter: II. Cultivation effects on organic matter composition in size fractions. **Soil. Sci. Soc. Am. J.** 47: 509-514, 1983.

TIESSEN, H.; KARAMANOS, R.E.; STEWART, J.W.B. and SELLES, F. Natural nitrogen-15 abundance as an indicator of soil organic matter transformations in native and cultivated soils. **Soil. Sci. Soc. Am. J.** 48: 312-315, 1984.

THENG, B.K.G.; TATE, K.R.; SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G., ed. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems.** Honolulu: Univ. of Hawaii, 5-32, 1989.

VELDKAMP, E. Soil organic carbon dynamics in pastures established after deforestation in the humid tropics of Costa Rica. **Tese de doutorado.** Wageningen University, Holanda, 1993.

VELDKAMP, E. and WEITZ, A.M. Uncertainty analysis of $\delta^{13}\text{C}$ method in soil organic matter studies. **Soil Biol. and Biochem.** 26 (2): 153-160, 1994.

VITORELLO, V.A.; CERRI, C.C., ANDREUX, F.G.; FELLER, C.; VICTORIA, R.L. Organic matter and carbon-13 distribution in forested and cultivated oxisols. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 53: 773-778, 1989.

VOLKOFF, B.; FLEXOR, J.M.; SANTA ISABEL, L.; SANTA ISABEL, M. Natureza do húmus nos latossolos distróficos da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 2: 59-63, 1978.

ZOTARELLI, L.; FERREIRA, E.; OLIVEIRA, O.C.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. & ALVES, B.J.R. Limitação de nitrogênio na decomposição da matéria orgânica do solo de uma pastagem degradada de *Panicum maximum*. In: III SINRAD - Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradas. **Abstracts**: 118-124, Ouro Preto, MG.

ZOTARELLI, L. **Balanço de nitrogênio na rotação de culturas em sistema de plantio direto e convencional na região de Londrina-PR**. Tese de mestrado em agronomia- Ciência do Solo, 133p, 2000.

10- Apêndice

Apêndice A- Valores calculados de F para as frações da matéria orgânica do solo sob pastagem em monocultura e consorciada com leguminosa.

Causa da variação	FL	FI	FA	Fsil	Farg
g C kg fração ⁻¹	1,04 ns	0,02 ns	0,25 ns	0,05 ns	1,56 ns
g N kg fração ⁻¹	15,16*	0,35 ns	nd	0,01 ns	2,50 ns
g C kg solo ⁻¹	4,07 ns	0,15 ns	0,09 ns	0,00 ns	0,09 ns
relação C:N	6,50 ns	2,50 ns	nd	0,00 ns	0,98 ns
$\delta^{13}\text{C}$	5,98 ns	0,00 ns	0,93 ns	0,99 ns	0,39 ns
g fração kg solo ⁻¹	13,35*	0,06 ns			

ns não significativo

* nível de significância de 5 %

Apêndice B- Valores calculados de F para os solos sob cobertura de capim elefante e pastagem de braquiária, após 2 e 4 anos da remoção da cobertura vegetal.

Causa da variação	g C kg ⁻¹	C:N	$\delta^{13}\text{C}$	% C4	g C C ₄	g FL kg ⁻¹	g FI kg ⁻¹
Ano	38,6*	1,2 ns	82,7*	86,2*	41,7*	1,4 ns	42,5*
Cobertura	0,7 ns	2,1 ns	7,4*	15,4*	1,4 ns	0,6 ns	4,8*
Profundidade	22,2*	1,8 ns	47,3*	69,1*	29,5*	50,5*	20,4*
Ano x cobertura	1,4 ns	0,1 ns	1,4 ns	1,0 ns	0,9 ns	3,1 ns	1,8 ns
Cobertura x profundidade	1,1*	0,1 ns	2,0 ns	2,9*	0,2 ns	0,5 ns	0,1 ns

ns não significativo

* nível de significância de 5 %

Apêndice C- Valores calculados de F para as frações da matéria orgânica do solo sob capim elefante e pastagem de braquiária, após 2 e 4 anos da remoção da cobertura vegetal.

Causa da variação	FL	FI	FA	Fsil	Farg
Ano g C kg fração ⁻¹	1,1 ns	21,8*	3,5 ns	0,1 ns	9,5*
Cobertura	0,2 ns	0,1 ns	0,9 ns	0,2 ns	0,0 ns
Profundidade	0,9 ns	0,8 ns	0,1 ns	0,7 ns	13,2*
Ano x cobertura	4,4*	4,9*	0,4 ns	0,2 ns	0,0 ns
Cobertura x profundidade	1,7 ns	3,4*	7,7*	2,2 ns	6,3*
Ano g N kg fração ⁻¹	0,0 ns	24,7*	nd	0,0 ns	7,5*
Cobertura	0,0 ns	0,0 ns	nd	0,6 ns	0,1 ns
Profundidade	1,5 ns	2,3 ns	nd	0,3 ns	5,7*
Ano x cobertura	0,1 ns	3,6 ns	nd	0,0 ns	0,0 ns
Cobertura x profundidade	4,9*	9,1*	nd	1,3 ns	4,2*
Ano g C kg solo ⁻¹	3,0 ns	0,2 ns	3,4 ns	1,3 ns	8,0*
Cobertura	1,3 ns	0,9 ns	1,6 ns	0,1 ns	2,1 ns
Profundidade	4,9*	5,0*	0,1 ns	1,0 ns	1,2 ns
Ano x cobertura	4,5*	0,8 ns	0,8 ns	0,1 ns	0,1 ns
Cobertura x profundidade	20,3*	17,2*	10,3*	0,5 ns	1,8 ns
Ano relação C:N	2,0 ns	0,0 ns	nd	0,3 ns	0,0 ns
Cobertura	0,0 ns	3,9*	nd	0,0 ns	0,8 ns
Profundidade	1,6 ns	1,0 ns	nd	0,7 ns	2,7 ns
Ano x cobertura	4,7*	1,1 ns	nd	0,4 ns	0,3 ns
Cobertura x profundidade	5,9*	6,2*	nd	1,5 ns	1,0 ns

ns não significativo

* nível de significância de 5 %

nd não determinado

Apêndice C- Valores calculados de F para as frações da matéria orgânica do solo sob capim elefante e pastagem de braquiária, após 2 e 4 anos da remoção da cobertura vegetal (continuação).

Causa da variação	FL	FI	FA	Fsil	Farg
Ano $\delta^{13}\text{C}$	29,1*	63,9*	13,3*	15,0*	86,5*
Cobertura	5,4*	2,9 ns	18,2*	0,1 ns	14,9*
Profundidade	4,7*	2,0 ns	9,7*	0,9 ns	7,6*
Ano x cobertura	4,0*	2,0 ns	5,7*	0,1 ns	2,2 ns
Cobertura x profundidade	17,4*	11,5*	1,8 ns	3,5*	14,9*
Ano % C ₄	25,6*	57,6*	12,7*	16,7*	88,3*
Cobertura	6,9*	4,0 ns	26,5*	0,2 ns	20,5*
Profundidade	6,0*	4,2*	8,2*	1,1 ns	9,3*
Ano x cobertura	2,3 ns	0,7 ns	4,6*	0,1 ns	4,1 ns
Cobertura x profundidade	20,4*	17,3*	1,7 ns	5,9*	15,0*
Ano g C-C ₄	14,5*	32,8*	7,4*	12,2*	68,3*
Cobertura	0,4 ns	3,5 ns	2,1 ns	0,2 ns	38,6*
Profundidade	9,2*	6,8*	4,8*	0,6 ns	15,4*
Ano x cobertura	3,8 ns	0,4 ns	0,1 ns	0,0 ns	11,0*
Cobertura x profundidade	28,5*	24,7*	19,2*	2,8 ns	19,7*

ns não significativo

* nível de significância de 5 %