

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE AGRONOMIA**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**CIÊNCIA DO SOLO**

**DISSERTAÇÃO**

**Estoques de Carbono e Emissão de N<sub>2</sub>O no Sistema  
Solo-Planta em Região da Mata Atlântica**

**Rodolfo Pellegrini Coutinho**

**2009**



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

**ESTOQUES DE CARBONO E EMISSÃO DE N<sub>2</sub>O NO SISTEMA SOLO-  
PLANTA EM REGIÃO DA MATA ATLÂNTICA**

**RODOLFO PELLEGRINI COUTINHO**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Segundo Urquiaga**

*e Co-orientação da Pesquisadora*  
**Claudia Pozzi Jantalia**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo.

Seropédica, RJ  
Abril de 2009

631.46  
C871e  
T

Coutinho, Rodolfo Pellegrini, 1983-

Estoques de carbono e emissão de N<sub>2</sub>O no sistema solo-planta em região da Mata Atlântica / Rodolfo Pellegrini Coutinho – 2009.  
57 f. : il.

Orientador: Segundo Sacramento Urquiaga Caballero.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia.

Bibliografia: f. 46-54.

1. Solo - Teses. 2. Solo - Uso - Teses. 3. Húmus - Teses. 4. Solos – Teor de Nitrogênio – Teses. 5. Efeito estufa (Atmosfera) – Teses. I. Urquiaga Caballero, Segundo Sacramento, 1983-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte

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

**RODOLFO PELLEGRINI COUTINHO**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 01/04/2009

---

Segundo Sacramento Urquiaga Caballero. Dr. Embrapa Agrobiologia.  
(Orientador)

---

Alcides Gatto Dr. MMA

---

Marcos Bacis Ceddia Dr. UFRRJ

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que existe.

Aos meus pais, irmãos e familiares pelo apoio constante.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, em especial ao Instituto de Agronomia, pela chance concedida.

A Embrapa Agrobiologia, pela oportunidade e apoio no desenvolvimento dos trabalhos.

Ao CNPQ, pela concessão da bolsa de estudo.

A todos da coordenação do Curso de Pós Graduação em Agronomia - Ciência do solo.

Aos Pesquisadores Segundo Urquiaga, Claudia Pozzi Jantalia, Bruno José Rodrigues Alves, pela orientação, apoio, ensinamentos, amizade, confiança e compreensão.

Aos meus pais, Izabel e Mauricio, e minha irmã Regina, pelo apoio nas coletas de campo.

Aos ajudantes de campo Laércio, Émerson, José e Sebastião pela amizade, ajuda nos trabalhos, pela paciência e dedicação.

Ao Instituto Ambiental Vale, em nome de Renato Moraes de Jesus e Samir Gonçalves Rolim, pelo apoio e compreensão das idas à UFRRJ, para terminar o mestrado.

Aos colegas do grupo de ciclagem de nutrientes pelo apoio e amizade.

Ao Anderson, Anatoly, Michelle, Caroline e Ana Paula, pela ajuda nas análises de laboratório.

Ao Pessoal do Laboratório de Nitrogênio (Altiberto, Roberto Grégio e Roberto Andrade), de Solos (Pricíla, Monalisa, Selmo, Flávio e Vinícios) da Embrapa Agrobiologia.

A todos novos amigos do Instituto Ambiental Vale.

Aos membros da banca Alcides Gatto e Marcos Bacis Ceddia, pelas correções e sugestões.

Aos organizadores da comemoração Ednaldo, Marcelo e Patric, pela força.

Aos companheiros de república Adierison, Milton e Orlando, pela amizade e apoio.

Aos amigos Graciano, Cludinei e Rafael, pela ajuda nas partes burocráticas.

Aos companheiros do M 326 e do laboratório de Pesquisa em reflorestamento, pela amizade.

Aos Professores do Instituto de Florestas Paulo Sergio dos Santos Leles, Silvio Nolasco Oliveira Neto e Hugo Barbosa Amorim, pela amizade, apoio e orientação.

A todos os amigos (2007-I) do curso de Pós Graduação em Ciência do Solo (Patric, Hugo, Valdemir, Juliano, Celeste, Anita, Andréa, Rosa, Ana, Fabio, Natália e Mirian).

A todos que fizeram parte deste caminho, mesmo não estando aqui presente.

**A todos que torceram por mim e me apoiaram...  
Dedico.**

## **BIOGRAFIA**

Rodolfo Pellegrini Coutinho, quinto filho do casal Mauricio Carlos Coutinho e Izabel Pellegrini Ribeiro Coutinho, nasceu em Cruzeiro-SP, no dia 8 de outubro de 1983. No Sítio Dom Bosco, desde a infância teve contato com as atividades rurais e com a floresta. cursou o ensino fundamental e médio no Colégio Cristo Rei. Em 2002 ingressou no curso de graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, graduando-se em 2007. Durante esse período foi estagiário do LAPER (Laboratório de Pesquisa em Reflorestamento) sob a orientação dos Professores Paulo Sergio dos Santos Leles e Silvio Nolasco de Oliveira Neto. Foi monitor da disciplina de Inventário Florestal, sob orientação do Prof. Hugo Barbosa Amorim. Em março de 2007 ingressou no curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo (UFRRJ), como bolsista do CNPq, sob a orientação dos Pesquisadores da Embrapa Agrobiologia Segundo Urquiaga, Claudia Pozzi Jantalia e Bruno José Rodrigues Alves, defendendo sua dissertação em 01 de abril de 2009.

## RESUMO GERAL

COUTINHO, Rodolfo Pellegrini. **Estoques de carbono e emissão de N<sub>2</sub>O no sistema solo-planta em Região da Mata Atlântica**. 57f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009.

As atividades antrópicas levaram ao aumento na concentração dos gases de efeito estufa, com conseqüências danosas ao clima global, como por exemplo, a elevação da temperatura média do planeta. Este aquecimento está causando impactos socioeconômicos e ambientais em todo o globo. Atualmente existe uma busca por alternativas que contribuam para mitigar as emissões dos gases de efeito estufa. Destacando-se, como alternativas a substituição de áreas com baixa produção de fitomassa ou degradadas, por plantios florestais, seja com espécies nativas ou exóticas. Este trabalho teve como objetivo geral avaliar o impacto da substituição de pastagem pelo reflorestamento com eucalipto e pela regeneração natural de espécies nativas na dinâmica do carbono e na emissão de N<sub>2</sub>O no sistema solo-planta, em região da Mata Atlântica. As áreas avaliadas pertencem a uma propriedade localizada no município de Cruzeiro, SP. O histórico de uso da terra foi comum nas três áreas, sendo inicialmente ocupadas por pastagem desde a década de 20. Há 35 anos uma parte desta área foi reservada para regeneração de Mata Secundária, outra parte ocupada há 4 anos com plantio de Eucalipto, e na área restante foi mantido o Pasto, que hoje esta com idade aproximada de 90 anos. Foram quantificados os estoques de carbono nos diferentes compartimentos da vegetação, e os estoques de C e N e emissões de N<sub>2</sub>O no solo nessas três áreas. A fitomassa dos diferentes compartimentos foi determinada por método direto para o Pasto e Eucalipto, e indireto e direto na Mata. As amostras de solo foram retiradas até a profundidade de 1 m, em trincheiras próximas às áreas de coleta da fitomassa. Foram determinadas características químicas e físicas do solo. O estoque de carbono e nitrogênio foi calculado na mesma massa de solo. A emissão de N<sub>2</sub>O foi avaliada ao longo do ano, com câmaras estáticas. A emissão acumulada foi convertida em CO<sub>2</sub> equivalente. As três áreas não apresentaram diferenças significativas no estoque de C no sistema radicular, enquanto nos demais compartimentos constataram-se diferenças. Descontando-se o estoque de C observado no Pasto (9,65 Mg C ha<sup>-1</sup>), os ganhos líquidos de carbono no Eucalipto e Mata, foram de 24,4 e 54,3 Mg C ha<sup>-1</sup>, com incremento médio de carbono de 6,1 e 1,6 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. No solo estoques de C e N foram de 110,7 e 9,8 Mg C ha<sup>-1</sup>, respectivamente para pasto, 97,7 e 10,2 Mg C ha<sup>-1</sup> para Eucalipto 101,3 e 10,6 Mg C ha<sup>-1</sup> para Mata, sem diferenças significativas entre as áreas avaliadas. Após 35 anos, a Mata, aparentemente, substituiu todo carbono fornecido pela pastagem cultivada anteriormente. Na área de Pasto, a taxa de renovação do C foi de 0,32 Mg C ha ano<sup>-1</sup> até 40 cm. As emissões de N<sub>2</sub>O observadas na Mata foram significativamente maiores apenas em relação ao Pasto. Apesar da maior perda de N na forma de N<sub>2</sub>O nas coberturas florestais, essas foram irrelevantes em relação ao incremento nos estoques de carbono acumulados na fitomassa, confirmando que a substituição da pastagem pelo Eucalipto e Mata podem contribuir para a mitigação do efeito estufa.

**Palavras-chave:** Mudanças de uso do solo. Matéria orgânica do solo. Fitomassa. Gases de efeito estufa.

## ABSTRACT

COUTINHO, Rodolfo Pellegrini. **Carbon stock and N<sub>2</sub>O emission in soil-plant system in a region of the Atlantic Forest**. 57p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science) Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2009.

The anthropic activities increased the greenhouse gases concentration, with harmful consequences for global climate, such as elevation of the planet average temperature. This warming is causing socioeconomic and environmental impacts all around the globe. Currently, there is a search for alternatives that may contribute to mitigate the emission of these gases. One of the alternatives would be substitution of degraded areas or land masses with low biomass production, by forests, with exotic or native species. The general aim of this research was to evaluate impact of substitution of pasture land by forest cover: reforestation with Eucalyptus, and natural regeneration of native species; and to evaluate carbon dynamics and emission of N<sub>2</sub>O in the soil-plant system, in an Atlantic Forest region. The evaluated areas belong to a farm located in Cruzeiro municipality, São Paulo State (Brazil). The historical of the soil usage was common in the three areas. They were used, at first, as pasture land, since the years 20 of last century (1920). Thirty five years ago, part of the area was reserved for regeneration of secondary forest, another part was planted 4 years ago with eucalyptus, and the remaining was kept as pasture for the last 90 years. The carbon stocks were quantified in different compartments of vegetation and in the soil. The N stocks were calculated in the soil, with N<sub>2</sub>O emissions, on all three areas. The phytomass of the different compartments was determined by direct method, for pasture and eucalyptus, and indirect and direct in the forest. Samples were taken from soil layers down to one meter depth, using trenches next to the sites of phytomass collection. Chemical and physical soil characteristics were determined. The supplies of carbon and nitrogen were calculated based on the soil mass. The emission of N<sub>2</sub>O was evaluated over the year, using static chambers. The accumulated emission was converted into equivalent CO<sub>2</sub>. The three areas did not show significant differences on C stock in the root system, while there were differences in the other compartments. By deducting the C stock observed in the pasture (9.65 Mg C ha<sup>-1</sup>), the final profits of carbon in the eucalyptus and forest were 24.4 and 54.3 Mg C ha<sup>-1</sup>, with IMC of 6.1 and 1.6 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectively. In the soil, the stocks of C and N were of 110.7 and 9.8 Mg C ha<sup>-1</sup> for pasture, 97.7 and 10.2 Mg C ha<sup>-1</sup> for eucalyptus, and 101.3 and 10.6 Mg C ha<sup>-1</sup> for forest, without significant differences between the areas. After 35 years, the forest apparently substituted all carbon supplied by the pasture cultivated before regeneration. In the pasture area the renewal rate of C reached 0.32 Mg C ha per year<sup>-1</sup> up to 40 cm. The emissions of N<sub>2</sub>O in the forest were only significantly higher than those in the pastures. Despite the highest loss of N as N<sub>2</sub>O in the forest, they were irrelevant compared to the increase of carbon stocks accumulated in the phytomass, confirming that substitution of pasture for eucalyptus and forest may contribute on mitigation of the greenhouse effect.

**Key words** : Land use change. Soil organic matter. Phytomass. Greenhouse effect gases.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>1</b>
<b>2. CAPÍTULO I ESTOQUE DE CARBONO NA FITOMASSA EM ÁREA DE PASTAGEM, REFLORESTAMENTO COM EUCALIPTO E REGENERAÇÃO NATURAL DE ESPÉCIES NATIVAS, EM REGIÃO DA MATA ATLÂNTICA.....</b>	<b>3</b>
2.1. RESUMO.....	4
2.2. ABSTRACT.....	5
2.3. INTRODUÇÃO.....	6
2.4. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
2.4.1. Fitomassa Seca da Parte Aérea.....	9
2.4.2. Manta Orgânica.....	10
2.4.3. Estimativa da Fitomassa no Sistema Radicular.....	10
2.4.4. Determinação do Estoque de Carbono na Fitomassa.....	10
2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
2.5.1. Estimativa da Fitomassa Total na Área de Pasto.....	11
2.5.2. Estimativa da Fitomassa Total na Área de Mata.....	12
2.5.3. Estimativa da Fitomassa Total na Área de Eucalipto.....	14
2.5.4. Estoque de Carbono na Fitomassa nas Três Coberturas Vegetais.....	16
2.6. CONCLUSÕES.....	20
<b>3. CAPÍTULO II AVALIAÇÃO DOS ESTOQUES DE CARBONO, NITROGÊNIO E EMISSÕES DE N<sub>2</sub>O DO SOLO APÓS A SUBSTITUIÇÃO DA PASTAGEM POR PLANTIO DE EUCALIPTO E FLORESTA SECUNDÁRIA, EM REGIÃO DA MATA ATLÂNTICA ....</b>	<b>21</b>
3.1. RESUMO.....	22
3.2. ABSTRACT.....	23
3.3. INTRODUÇÃO.....	24
3.3.1. Fixação de Carbono no Solo.....	24
3.3.2. Emissão de Gases de Efeito Estufa do Solo.....	27
3.4. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.4.1. Análise Física e Química do Solo das Áreas.....	28
3.4.2. Estimativa da Proporção de Carbono do Solo Derivado da Vegetação Nativa Original.....	29
3.4.3. Estimativa dos Estoques de Carbono e Nitrogênio no Solo nas Áreas.....	29
3.4.4. Metodologia Utilizada para Medição de N <sub>2</sub> O.....	29
3.4.5. Determinação da Temperatura do Solo, Percentual de Espaço Poroso do Solo Ocupado com Água e Te <sub>or</sub> de Nitrato do Solo.....	29
3.4.6. Equivalência em Carbono.....	30
3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
3.5.1. Características Químicas e Físicas do Solo sob Pasto, Mata e Eucalipto.....	31
3.5.2. Teores e Estoques de Carbono e Nitrogênio Totais do Solo sob Pasto, Mata e Eucalipto ..	33
3.5.3. Abundância Natural de d <sup>13</sup> C do Carbono da Matéria Orgânica do Solo e Estimativa da Proporção de Carbono de Plantas C <sub>3</sub> e C <sub>4</sub> no Estoque e Carbono do Solo.....	36
3.5.4. Emissão de Óxido Nitroso do Solo sob Pasto, Mata e Eucalipto.....	39
3.6. CONCLUSÕES.....	44
<b>4. CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>45</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>46</b>
<b>6. ANEXOS.....</b>	<b>55</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento das civilizações no mundo acarretou grandes mudanças nos ambientes naturais, onde a ação antrópica adaptou esses espaços a atividades agropecuárias, urbanização e industrialização. Atualmente, em muitos países em desenvolvimento como no Brasil, a substituição ou mudança dos ambientes nativos continua a ocorrer, como pode ser observado principalmente na Região Amazônica e nos Cerrados, em decorrência do aumento da fronteira agrícola. Essa ocupação, na maioria das vezes, é feita sem planejamento e de forma predatória, resultando em diversos impactos negativos no ambiente, destacando, o desmatamento, queimadas, assoreamento dos cursos d'água, perda do potencial produtivo do solo e da floresta, diminuição dos recursos hídricos, da qualidade do ar e da biodiversidade.

Os impactos negativos no ambiente como os desmatamentos, as queimadas, as práticas agrícolas inadequadas, somadas ao uso de combustíveis fósseis (CF), nos últimos 100 anos, principalmente, elevaram a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera de 280 ppm, antes da época pré-industrial, para cerca de 379 ppm em 2005. Se as condições de desmatamento e incremento no uso de combustíveis fósseis continuarem, esse nível pode chegar a 970 ppm em 2100 (IPCC, 2007). Este significativo aumento na concentração de CO<sub>2</sub> e de outros gases causadores de efeito estufa (N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, HFC, PFC) na atmosfera, já é responsável pelas mudanças no clima do planeta que estão acarretando impactos diretos sobre os sistemas ecológicos, econômicos e sociais (MARENGO, 2006).

Existe, desta forma, a necessidade de se tomar medidas urgentes que promovam a diminuição das emissões e que retirem parte da quantidade já emitida dos gases causadores de efeito estufa, contribuindo, assim, para reduzir o impacto sobre o clima. Para isso é de vital importância estudos que avaliem o potencial das terras, para estocar, drenar e diminuir as emissões de gases de efeito estufa.

A nível mundial, as emissões provenientes da queima de CF respondem por cerca de 75 % das emissões de CO<sub>2</sub> e as demais formas de emissão pelos 25 % restantes. No Brasil, o manejo e a mudança no uso da terra respondem por 75 % das emissões de CO<sub>2</sub> e a queima de CF por 25 % (CERRI & CERRI, 2007).

Das regiões Brasileiras, aquela compreendida no domínio do Bioma Mata Atlântica foi a mais alterada. Em sua condição original, este bioma ocupava 15 % do território brasileiro, tendo-se reduzido a cerca de 1 % de área com fragmentos remanescentes (SOS Mata Atlântica, 2007). Esta região tornou-se assim prioritária para conservação, sendo considerado o segundo bioma mais ameaçado de extinção do mundo (APREMAVI, 2007), sendo também classificado como um "hotspot", ou seja, uma área de elevada biodiversidade, que teve mais de 70% de sua cobertura original devastada (MYERS et al. 2000).

A colonização do Brasil teve início por essa Região, com a exploração do Pau-brasil, passando posteriormente pelos ciclos econômicos da mineração, pecuária, cana-de-açúcar, café, urbanização e industrialização, que levaram a grande redução da vegetação original (TANIZAKI & MOULTON, 2000; SCHÄFFER & PROCHNOW, 2002).

Entre as Regiões pertencentes ao Bioma Mata Atlântica encontra-se o Vale do Paraíba, englobando parte dos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Essa região foi historicamente de grande importância para o desenvolvimento econômico do país, abrigando inúmeras indústrias. A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul localiza-se nessa região e fornece água a cerca de 14 milhões de pessoas, em 180 municípios. A região apresenta aptidão para silvicultura e conservação em decorrência do relevo ondulado que predomina, dificultando em muitos casos a atividade agrícola e a pecuária. No entanto, observa-se em levantamento realizado, que no Estado de São Paulo a Bacia Hidrográfica desse rio é ocupada

principalmente por pastagens e campos (57,6 %), florestas (15,6 %), florestas secundárias (12,3 %), áreas agrícolas (4,5 %) e reflorestamentos (4,4 %). A maior parte das pastagens encontra-se degradadas e sem uso, sendo freqüentemente queimadas (AIA, 2005). Mas, nos últimos anos, os reflorestamentos comerciais de eucalipto estão ocupando muitas das áreas de pastagem no Vale do Paraíba e programas de recuperação de matas ciliares vem tendo incentivo dos órgãos públicos e da sociedade civil (BARBOSA et al. 2003).

Até o momento são raros os trabalhos, em todo o território nacional, que avaliaram os efeitos da mudança do uso da terra, sobre a dinâmica do carbono e dos gases de efeito estufa no Bioma Mata Atlântica (MADDOCK et al. 2001; CAMPOS et al. 2004), no Bioma Amazônico (MELLO, 2003; NEVES et al. 2007; SALIMOM et al. 2007), no Bioma Cerrado (ROSCOE et al. 2001; ANDRÉA et al. 2004; NEVES et al. 2004; NETO, 2006; SISTI et al. 2004; MONTERO, 2008). Este trabalho teve como objetivo geral avaliar o impacto da substituição de pastagem pelo reflorestamento com eucalipto e pela regeneração natural de espécies nativas na dinâmica do carbono e na emissão de N<sub>2</sub>O no sistema solo-planta, em região da Mata Atlântica.

O presente trabalho foi dividido em dois capítulos, cujos assuntos são abordados da seguinte maneira: Capítulo 1 - Estoque de Carbono na fitomassa aérea e de raízes em área de pastagem, reflorestamento com eucalipto e regeneração natural de espécies nativas, em região da Mata Atlântica; e o Capítulo 2 - Avaliação dos estoques de carbono, nitrogênio e emissões de N<sub>2</sub>O do solo após a substituição da pastagem por plantio de eucalipto e mata secundária, em região da Mata Atlântica.

## **2. CAPÍTULO I**

# **ESTOQUE DE CARBONO NA FITOMASSA EM ÁREA DE PASTAGEM, REFLORESTAMENTO COM EUCALIPTO E REGENERAÇÃO NATURAL DE ESPÉCIES NATIVAS, EM REGIÃO DA MATA ATLÂNTICA**

## 2.1. RESUMO

O Brasil apresenta um grande potencial para o desenvolvimento de projetos de mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL), como tentativa de mitigar o aquecimento global. Os projetos de MDL por atividade agrícola incluem apenas projetos de florestamento/reflorestamento, pelo acúmulo da biomassa que estes promovem. Assim, existe a necessidade de estudos que quantifiquem o potencial efetivo destes sistemas de promoverem a fixação de carbono (C) nas condições brasileiras. O objetivo deste estudo foi quantificar o estoque líquido de C na fitomassa após a substituição de uma área de pastagem pelo plantio de eucalipto e regeneração natural de espécies nativas, em região da mata atlântica. As áreas avaliadas pertencem a uma propriedade localizada no município de Cruzeiro, SP. O histórico de uso da terra foi comum nas três áreas, sendo inicialmente ocupadas por pastagem desde a década de 20. Há 35 anos uma parte desta área foi reservada para regeneração de mata secundária, outra parte ocupada há 4 anos com plantio de eucalipto, e na área restante foi mantido o pasto, que serviu de referência. Foram quantificados os estoques de carbono nos diferentes compartimentos da vegetação nestas áreas, e o incremento médio de C (IMC) total destas áreas. Na área de Pasto, a quantificação da fitomassa foi pelo método direto. A parte aérea e a manta orgânica foram amostradas em sete parcelas de 1 x 1 m. O sistema radicular foi coletado com auxílio de um monólito (0,5 dm<sup>3</sup>) em três trincheiras, até a profundidade de 1 m. Na área de Eucalipto foi utilizado o método direto/indireto para quantificação da fitomassa. Para isso mensuraram-se seis parcelas de 20 x 18 m. Os indivíduos foram distribuídos em oito classes diamétricas, de cada classe foram abatidos três indivíduos, que foram separados em fuste, galhos, casca e folhas. Com o peso seco destes compartimentos testaram-se três modelos para relações alométricas, sendo escolhido aquele com melhor ajuste para estimar a quantidade de fitomassa. Foram amostradas as raízes laterais até 60 e pivotante até 150 cm de profundidade. A manta orgânica foi coletada em 15 parcelas de 1 x 1 m. Na área de Mata a fitomassa aérea e raízes foram estimados por método indireto em seis parcelas de 10 x 25 m. A manta orgânica foi amostrada da mesma forma que no eucalipto. A fitomassa de árvores mortas e do sub-bosque foram amostrados por método direto em seis sub-parcelas de 3 x 4 m. Os estoques totais de carbono dos compartimentos foram obtidos multiplicando-se a fitomassa seca por 0,5. Os maiores estoques de C na parte aérea e a manta orgânica foram observados nas áreas com cobertura florestal. As três áreas não apresentaram diferenças significativas no estoque de C no sistema radicular. Descontando-se o estoque de C total observado no pasto (referência), os ganhos líquidos de carbono no eucalipto e mata, foram de 24,4 e 54,3 Mg C ha<sup>-1</sup>, com IMC de 61 e 1,6 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Esses incrementos da fitomassa aérea pelas coberturas florestais confirmam potencial destes plantios na mitigação do efeito estufa.

**Palavras-chave:** Mudança de uso da terra. Fixação de C. Biomassa vegetal.

## 2.2. ABSTRACT

Brazil has a great potential to the development of projects using the Clean Development Mechanisms rules (MDL), as an option for mitigating global warming. The agricultural MDL projects only include projects of reforestation/reforestation, due to accumulation of biomass that they promote. Therefore, there is a need to study the real possibilities of these systems to promote the carbon sequestration in Brazilian conditions. The aim of this study was to quantify carbon stock in the phytomass after substitution of a pasture area for eucalyptus plantation, and natural regeneration of native species, in a region of Atlantic Forest. The evaluated areas belong to a farm located in Cruzeiro municipality, São Paulo State (Brazil). All the studied area had been occupied by pasture since approximately 1920. Thirty five years ago, part of the area was reserved for regeneration of secondary forest, another part became a eucalyptus plantation (4 years ago), and remaining area was left for pasture, which worked as a base line. The carbon stocks were quantified in the different vegetation compartments, and also average total increase of C (IMC) in these areas. In the pasture area, the quantification of phytomass was made by the direct method. The aerial and litterfall parts were sampled in seven parcels of 1x1m. The root system was collected with the help of a monolith (0.5 dm<sup>3</sup>) in three trenches down to 1 meter of depth. In the eucalyptus plantation the direct method was also used for phytomass quantification. Measurements were carried out on 60 plants in 6 parcels. The plants were then distributed in eight diametrical classes. Three plants were sampled by class and divided into bole, twigs, rind and leaves. Considering the dry weight of these compartments, three models were tested for allometric relations, being chosen the one with best adjustment in stimulating the growth of the total phytomass. Lateral roots of 60 to 150 of depth were sampled. The litterfall was collected in 15 parcels of 1x1 m<sup>2</sup>. In the forest aerial phytomass and roots were estimated by indirect method. The litterfall was sampled with the same procedures adopted on eucalyptus plantation, and phytomass of dead trees and understory were sampled by direct method. The carbon stocks of the compartments were obtained by multiplying the dry phytomass for 0.5. The highest supplies of C in the aerial and litterfall part were observed in the areas with forest covering. These three areas did not show significant differences on the C stock in the root system. After deducting the C total supply observed in the pasture (baseline), the final yield of carbon in eucalyptus and forest were of 24.4 and 54.3 Mg C ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, with IMC of 6.1 e 1.6 Mg C ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, respectively. This increase on aerial phytomass by the forest coverage's confirms the potential of these plantations in the mitigation of greenhouse effect.

**Key words:** Land use change. Phytomass. C fixation.

### 2.3. INTRODUÇÃO

A fitomassa seca apresenta em sua composição entre 45 e 50 % de carbono (BRADY, 1989; DEWAR & CANNELL, 1992; CARVALHO et al. 1995; HIGUCHI et al. 1998). Em decorrência disso, sua queima representa uma importante fonte de CO<sub>2</sub> e outros gases causadores de efeito estufa (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>). Nos países em desenvolvimento, estima-se que 40 % dos resíduos agrícolas produzidos sejam queimados anualmente, emitindo cerca de 77 Tg C ano<sup>-1</sup> (LIMA et al., 2001), mas grande parte do carbono perdido é recuperado nos plantios seguintes, dessa forma o carbono é apenas renovado. O grande impacto das queimadas no ciclo do carbono ocorre com a queima das florestas nativas, para o plantio de culturas anuais. O estoque de carbono na fitomassa de culturas anuais é menor e efêmero quando comparado com o da floresta nativa, ficando o carbono, antes armazenado na floresta, livre na atmosfera, contribuindo para o aumento do efeito estufa.

No Brasil, as emissões de carbono devido à queima de florestas nativas foram estimadas em 251 Tg C ano<sup>-1</sup>. Desse total, 54 Tg C ano<sup>-1</sup> são retiradas pelo processo de regeneração natural de áreas abandonadas. O Bioma Amazônico é responsável por 59 % das emissões líquidas, o Cerrado por 28 %, a Mata Atlântica por 6 %, a Caatinga por 5 % e o Pantanal por 4 % (MCT, 2004). Essas emissões hoje ocorrem principalmente no Bioma Amazônico e Cerrado, devido ao desmatamento ocasionado pelo avanço da fronteira agrícola nesses Biomas.

O crescimento vegetal é um excelente dreno de carbono atmosférico, já que por meio do processo fotossintético as plantas retiram o CO<sub>2</sub> da atmosfera transformando em fitomassa. Entre as diversas espécies vegetais, as arbóreas, principalmente as de rápido crescimento, apresentam alta capacidade em acumular carbono em sua fitomassa (TEIXEIRA & OLIVEIRA, 1997; BALBINOT et al., 2003; WATZLAWICK et al., 2003; CARMO et al., 2006; LIMA et al., 2006; PAIXÃO et al., 2006). Algumas espécies de gramíneas também são excelentes seqüestradoras de CO<sub>2</sub>, devido ao metabolismo C<sub>4</sub> que possuem (MORAIS, 2008). Essas por sua vez apresentam um menor acúmulo de fitomassa por unidade de área quando comparado com espécies arbóreas. Desse modo, estudos vêm sendo realizados para quantificar qual a capacidade das espécies vegetais em fixar e estocar carbono da atmosfera na fitomassa, contribuindo para mitigação do efeito estufa. A região do Vale do Paraíba tem um longo histórico de mudanças no uso da terra, sendo atualmente ocupada com vastas áreas de pastagens que, em muitos casos, encontram-se em diferentes estágios de degradação. A implantação de projetos de reflorestamento na região é considerada como uma alternativa que pode acarretar benefícios à renda dos agricultores e também ao ambiente.

Nos últimos anos, os reflorestamentos comerciais de eucalipto estão ocupando muitas das áreas de pastagem no Vale do Paraíba e programas de recuperação de matas ciliares vêm tendo incentivo dos órgãos públicos e da sociedade civil (BARBOSA et al. 2003).

Até o momento, são raros os trabalhos no Bioma Mata Atlântica que avaliaram os efeitos da mudança do uso do solo, sobre os estoques de C na fitomassa aérea. Em estudo avaliando o estoque de carbono em povoamento de *Eucalyptus grandis*, no município de Viçosa-MG, aos 72 meses de idade, com espaçamento de plantio de 3 x 2 m, PAIXÃO et al., (2006) encontraram 47,7 Mg C ha<sup>-1</sup>, na parte aérea, distribuídos 81,8 % no fuste, 8,1 % na casca, 7,7 % nos galhos e 2,6 % nas folhas. O estoque de carbono calculado na serrapilheira e nas raízes foi de 8,7 e 14,7 Mg C ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Somando-se os totais observados nos diferentes compartimentos encontra-se um estoque de carbono total de 71,7 Mg C ha<sup>-1</sup>, com um incremento médio de carbono (IMC) de 11,8 Mg C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. WATZLAWICK et al., (2003) quantificando a fitomassa em povoamento de *Araucaria angustifolia*, com 30 anos, em

espaçamento de plantio de 2,5 x 2 m, no município de General Carneiro, PR, encontraram 54,6 Mg C ha<sup>-1</sup> no fuste, 29,0 Mg C ha<sup>-1</sup> na casca, 9,2 Mg C ha<sup>-1</sup> nos ramos aciculados, 14,8 Mg C ha<sup>-1</sup> nos galhos vivos, 1,5 Mg C ano<sup>-1</sup> nos galhos mortos e 23,4 Mg C ano<sup>-1</sup> na raiz, o que resulta em um total de 132,8 Mg C ha<sup>-1</sup> e um IMC de 4,4 Mg C ha<sup>-1</sup>. BALBINOT et al., (2003) ao quantificar o estoque de carbono, em povoamento de *Pinus taeda*, com cinco anos de idade e espaçamento de plantio de 3 x 2 m No município de Cambará do Sul, RS, encontraram um estoque de carbono total de 18,8 Mg C ha<sup>-1</sup> e IMC de 3,8 Mg C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, distribuídos em 17,5 % nas acículas, 13,1 % nos galhos, 5,6% na casca, 44,8 % no fuste e 19 % nas raízes.

Avaliando o estoque de carbono em povoamento clonado de *Hevea brasiliensis*, no município de Oratórios, MG, com idade de 20 anos, CARMO et al., (2006) obtiveram 117,2 Mg C ha<sup>-1</sup>, distribuídos 57,5 % nos galhos grossos, 23,4 % no caule, 12,1 % nos galhos finos e 7 % nas folhas. No sistema radicular encontraram uma alocação de 22,0 Mg C ha<sup>-1</sup>, sendo a contribuição da raiz pivotante de 82 % e das laterais de 18 %. Considerando esses números, o povoamento apresentou um estoque de carbono total de 138,2 Mg C ha<sup>-1</sup>, e um IMC de 6,9 Mg C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>.

Na Região Amazônica, TEIXEIRA & OLIVEIRA (1997) avaliaram a fitomassa vegetal em sistemas agroflorestais (SA) com 20 anos de idade, capoeiras de 14 anos e pastagem de *Brachiaria humidicola* com 10 anos. Encontraram valores de fitomassa seca somando-se parte aérea, sistema radicular e serrapilheira, para o SA de seringueira com cacauero de 180 Mg ha<sup>-1</sup> e para o SA de castanheira com cacauero de 190,5 Mg ha<sup>-1</sup>. Convertendo-se esses valores para carbono, os SA tiveram um IMC de 4,0 e 4,3 Mg C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Os valores de fitomassa seca para as capoeiras, somando-se parte aérea e raízes laterais, foram de 72,3 e 69,9 Mg ha<sup>-1</sup>, e IMC de 2,3 e 2,2 Mg C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. A fitomassa seca da pastagem foi estimada em 20,3 Mg ha<sup>-1</sup>, incluindo parte aérea e sistema radicular, apresentando um estoque de carbono de 9,1 Mg C ha<sup>-1</sup>.

Este capítulo teve como objetivo quantificar o estoque líquido de carbono na fitomassa após a substituição de uma área de pastagem pelo plantio de eucalipto e regeneração natural de espécies nativas, no município de Cruzeiro, SP.

## 2.4. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Sítio Dom Bosco, (latitude 22°44'38''S e longitude 44°57'31''W), localizado no Município de Cruzeiro, Estado de São Paulo, entre as Serras da Mantiqueira e da Bocaina, na porção geográfica do Médio Paraíba do Sul, a uma altitude aproximada de 700 m.

De acordo com a classificação de Köpen, o clima da região é do tipo Cwa, indicando um clima quente e úmido, com inverno seco; sendo a temperatura média anual de 20°C, a média do mês mais frio inferior a 18°C e a do mês mais quente superior a 22°C, e a precipitação média de 1.500 mm. A classe de solo predominante na região pertence a dos Latossolos Vermelho-Amarelo (MARTINS et. al., 2002). O histórico de uso do solo desta propriedade representa uma situação comum da região, por isso apresenta condições ideais para o estudo.

O estudo foi desenvolvido em três áreas de encosta adjacentes (Anexo A). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. O histórico de uso da terra foi comum nas três áreas. O desmatamento de toda a área ocorreu por volta de 1880, para o plantio de café. Após 1920, as diferentes áreas da propriedade foram sendo convertidas em pastagem. Há 35 anos, uma parte desta área foi reservada para regeneração de mata secundária (Mata), outra parte é ocupada há 4 anos com plantio de *Eucalyptus urograndis* (Eucalipto), e na área restante foi mantido o pasto (Pasto).

A área que permaneceu como pastagem para pastoreio possui 3,0 ha, com predomínio de grama batatais (*Paspalum notatum*). O único manejo realizado nesta área é uma roçada ocasionalmente, não recebendo nenhuma outra forma de manejo nesses anos. Esta área foi escolhida para ser considerada como a (referência) linha de base (Souza, 2005) do presente estudo, para avaliar os efeitos na mudança do uso do solo com o plantio de eucalipto e sob a regeneração de mata secundária. Para discussão dos resultados, esta área será denominada de Pasto.

O plantio de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) ocorreu em janeiro de 2004, de mudas provenientes de semente, e ocupa uma área de 3,5 ha. O preparo da área foi realizado por meio de roçada, coroa e abertura de covas manuais, obedecendo-se o espaçamento de 3 x 2 m. No plantio aplicou-se 200 g de superfosfato simples por cova, foram realizadas duas adubações de cobertura, com 80 g do adubo composto de NPK (20-05-20), uma aos 90 dias e outra, um ano após o plantio. Para discussão dos resultados esta área será denominada de Eucalipto.

A partir de 1973, uma área de 40 ha deixou de receber qualquer tipo de manejo, e por meio do processo de regeneração natural, formou-se uma Mata secundária. Em estudo realizado por MARTINS et al. (2000), nesta área encontrou-se grande predomínio de espécies pioneiras e secundárias iniciais. Na amostragem realizada, foram encontrados 864 indivíduos, pertencentes a 49 gêneros e 66 espécies, das quais 71 % foram classificadas como pioneiras e secundárias iniciais. Dos indivíduos amostrados, aproximadamente 75 % pertenciam ao grupo das pioneiras e secundárias iniciais. As espécies de maior densidade na área foram *Machaerium aculeatum*, *Machaerium nyctitans*, *Piptadenia gonoacantha*, *Casearia silvestris*, *Aloysia virgata* e *Siparuna guianensis*, típicas do estágio inicial de sucessão. O índice de Shannon-Weaver (H') encontrado foi de 3,39, considerado pelos autores como médio, se comparado com outros estudos realizados em Florestas Estacionais Semi Deciduais, com mesmo histórico de uso. A equabilidade de Pielou encontrada foi de J = 0,82, em decorrência dessas características, essa Mata secundária encontra-se em estágio inicial a médio de sucessão. Para discussão dos resultados esta área será denominada de Mata.

#### 2.4.1. Fitomassa Seca da Parte Aérea

A amostragem de fitomassa nas três áreas foi avaliada em janeiro de 2008, no terço médio da encosta. Em decorrência das diferentes características de cada cobertura vegetal, foram adotados os procedimentos descritos a seguir para a estimativa da fitomassa (Fs).

**a) Pasto-** A estimativa da fitomassa seca aérea na área de Pasto foi realizada coletando-se sete amostras espaçadas 10 m uma da outra. A unidade amostral foi de 1 m<sup>2</sup>, delimitada por um quadrado de madeira de 1 x 1 m, onde as plantas foram cortadas rente ao solo. As amostras foram pesadas no campo com balança (Gehaka-BG 4400) com precisão de duas casas decimais e dessas foram retiradas amostras de 200 g, para secagem em estufa a 65°C até peso constante, para determinação do teor de umidade e posterior cálculo da fitomassa seca. O mesmo procedimento para a determinação da umidade foi realizada em todas as coberturas vegetais e compartimentos.

A partir da média das sete amostras de Fs, o valor encontrado foi extrapolado para um hectare (10.000 m<sup>2</sup>).

**b) Eucalipto-** Para estimativa da fitomassa aérea na área de Eucalipto, foram mensuradas seis linhas de plantio, cada linha composta por 60 covas, onde foram mensuradas a circunferência a altura do peito (CAPs - circunferência a 1,3 m do solo) com fita métrica e a altura total, com hipsômetro, de todas as árvores com CAP = a 15 cm. As 360 covas foram divididas em seis parcelas de 60 covas, cada parcela formada por seis linhas de 10 covas. A CAP foi transformada em DAP e os indivíduos foram distribuídos em classes diamétricas de 2 cm e, a partir desses dados, foram escolhidos três indivíduos de cada classe que apresentavam diâmetro próximo ao intervalo de classe. No total foram abatidos 24 indivíduos.

Os indivíduos abatidos tiveram sua fitomassa separada em folhas, galhos verdes (incluindo ponta), galhos secos, casca e fuste. Cada compartimento foi pesado separadamente no campo com auxílio de uma balança (Líder - PR 30/500) e amostras de 200 g foram retiradas para determinação da umidade, com exceção do fuste, que teve dois discos de 3 cm de espessura retirados.

A área de cada parcela foi determinada com base no espaçamento médio que foi calculado medindo-se seis distâncias entre 15 indivíduos dentro da linha e seis distâncias da primeira a sexta fila, calculando-se então a área amostral de cada parcela (360 m<sup>2</sup>). Com os dados obtidos desses 24 indivíduos, pelo método da regressão linear simples e múltipla, foram testados três modelos propostos na literatura, sendo dois simples e um múltiplo (Spurr, Hush e Schumacher-Hall), utilizados para relações alométricas. A escolha do modelo de regressão utilizado foi baseada nas seguintes estatísticas: Coeficiente de determinação ajustado (R<sup>2</sup> ajust), Erro-Padrão da Estimativa (Syx), Coeficiente de Variação (CV%) e distribuição gráfica dos resíduos.

**c) Mata-** Para a Mata secundária foram mensuradas seis parcelas de 10 x 25 m (250 m<sup>2</sup>). Dentro de cada parcela, mensurou-se as CAPs e as alturas (vara graduada) de todos os indivíduos com CAP = 15 cm, que foram chamados de adultos. A CAP foi transformada em DAP, para ser utilizada no modelo. Com esses dados, estimou-se a fitomassa seca pelo modelo,  $P_s(\text{kg}) = \text{Exp}\{-3,3012 + 0,9439 \ln(\text{DAP}^2 * H)\}$ , proposto por BROWN (1989). Nessas parcelas os indivíduos mortos em pé e caídos foram pesados, e amostras foram retiradas para determinação da umidade e posterior cálculo da fitomassa seca dos indivíduos mortos.

Dentro de cada uma das seis parcelas, no canto inferior esquerdo foi instalada uma subparcela de 4 x 3 m (12 m<sup>2</sup>), onde se determinou a fitomassa do sub-bosque, sendo incluídos nessa classe todos os indivíduos com Caps < 15 cm. Todos os indivíduos dentro da subparcela foram abatidos e pesados no campo em balança (Líder - PR 30/500) e foram retiradas seis amostras representativas de aproximadamente 300 g (Gehaka-BG 4400) de cada subparcela, que foram levadas ao laboratório para determinação do teor de umidade. A

estimativa da Fs do sub-bosque foi extrapolada para hectare com base na média das seis subparcelas.

#### **2.4.2. Manta Orgânica**

Em todas as áreas também foi quantificada a manta orgânica e, para isso, foram amostradas sete parcelas na área de Pasto, 15 na área de Eucalipto e de Mata. Cada parcela foi delimitada por um quadrado de 1 x 1 m (1 m<sup>2</sup>), o material foi pesado em balança com precisão de duas casas decimais (Gehaka-BG 4400). Amostras de aproximadamente 250 g pesadas no campo de cada ponto foram levadas ao laboratório para determinação do teor de umidade.

#### **2.4.3. Estimativa da Fitomassa no Sistema Radicular**

Em decorrência das diferentes características de cada cobertura vegetal, foram adotados os procedimentos descritos a seguir para a estimativa da fitomassa no sistema radicular.

**a) Pasto-** Para a área de Pasto, foram realizadas amostragens nas seguintes profundidades 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90 e 90-100 cm, para isso foram abertas três trincheiras de 2 x 1 x 1,2 m (comprimento, largura, profundidade), onde foi realizado duas amostragens por camada, em cada trincheira, com auxílio de um monólito de 10 cm de altura, 5 cm de largura e 10 cm de comprimento (0,5 dm<sup>3</sup>). As raízes foram separadas do solo e secas em estufa a 65 °C para determinação da massa seca, sendo obtida a média das seis repetições por camada, para extrapolação para o hectare (1 x 10<sup>6</sup> dm<sup>3</sup>), com base na relação de volume.

**b) Eucalipto-** Na área de Eucalipto, a estimativa da fitomassa seca de raízes foi determinada com a escavação de um quarto da área útil ocupada por cada planta em três indivíduos que apresentaram diâmetro próximo ao médio. A escavação e coleta de raízes laterais (RL) foi realizada nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, e a raiz pivotante (RP) foi escavada até 1,5 m de profundidade. As raízes retiradas foram separadas em pivotante e laterais, sendo as laterais separadas por camada. A RP foi pesada no campo e duas amostras de 3 cm de espessura foram retiradas de cada raiz, para determinação do teor de umidade. As fitomassas médias das RP e RL consistiram dos três indivíduos coletados multiplicada pela densidade atual de árvores por hectare do plantio de eucalipto.

**c) Mata-** Na área de Mata, a fitomassa seca de raiz foi estimada considerando-se que o sistema radicular seja em média 30 % da fitomassa encontrada na parte aérea dos indivíduos vivos (CAIRNS et al., 1997; LIMA et al., 2006).

#### **2.4.4. Determinação do Estoque de Carbono na Fitomassa**

O estoque de carbono total na fitomassa foi estimado convertendo-se a Fs por hectare, para as três áreas e compartimentos, com base no fator de conversão de 0,50, pela seguinte equação  $EC = Fs \times 0.50$ , onde: EC- estoque de carbono. Disto deduz-se que 50% da fitomassa seca corresponde ao conteúdo de C total contido na fitomassa.

Os valores encontrados foram submetidos ao teste de normalidade de Cochran e Bartlett, utilizando o programa SAEG 5.0 (RIBEIRO JÚNIOR, 2001). Depois à análise de variância (teste F) e posteriormente, comparados pelo Teste “t” (Bonferroni), ao nível de 5% de significância, utilizando o programa SISVAR (FERREIRA, 2003).

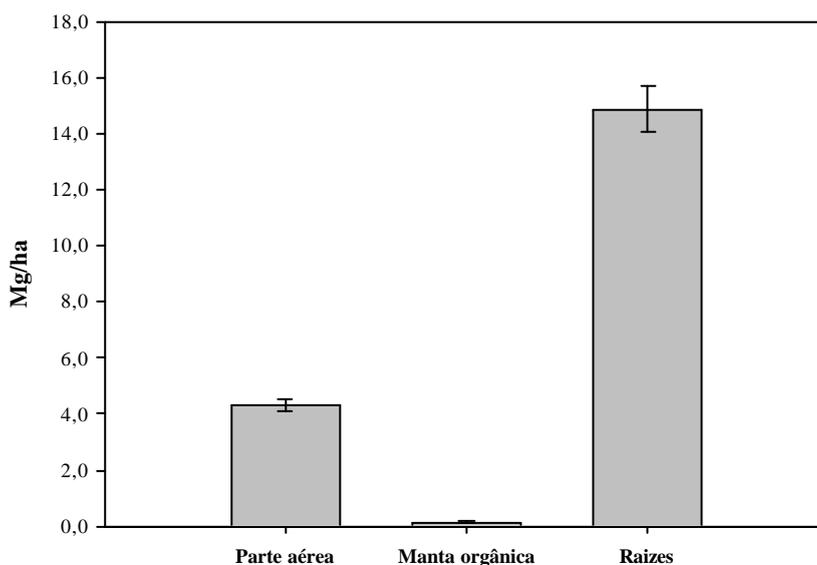
## 2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.5.1. Estimativa da Fitomassa Total na Área de Pasto

Na área de Pasto, observou-se que a maior quantidade de matéria seca foi encontrada no sistema radicular, seguido pela fitomassa aérea e manta orgânica, respectivamente (Figura 1). A fitomassa seca total média nessa área foi de  $19,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Deste total 77 % é composto pela fitomassa radicular, 22,3 % parte aérea e 0,7 % manta orgânica.

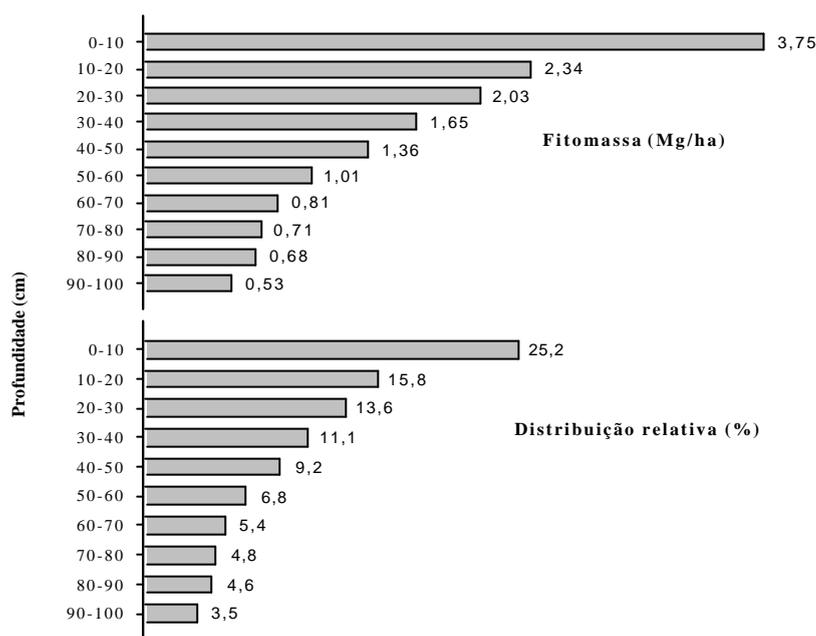
A relação raiz parte aérea obtida foi de 3,5. Esse resultado evidencia a grande capacidade das gramíneas em alocar fotoassimilados no sistema radicular, fato observado por diversos autores (BLUE, 1988a; BLUE, 1988b; URQUIAGA et al., 1998; GRISE, 2005). GRISE (2005), avaliando a partição da biomassa em pastagens de *Paspalum notatum* Flüggé var. *saurae* Parodi Flüggé, na região Centro-Norte da Flórida, sob diferentes densidades de pastejos e doses de nitrogênio, encontrou relação raiz parte aérea variando de 4 a 12. Observou-se que, à medida que se aumentava a densidade de pastejo, ocorria à diminuição da relação raiz / parte aérea. Com o pastoreio, ocorre a diminuição da superfície fotossintetizante e conseqüentemente da produção de fotoassimilados, diminuindo também a fitomassa radicular. Os valores encontrados de fitomassa seca de raízes + rizoma, nos 20 primeiros centímetros de solo, variaram de  $24,3 \text{ Mg ha}^{-1}$  a  $12,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ , e para parte aérea os valores variaram de  $3,6 \text{ Mg ha}^{-1}$  a  $1,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ , dependendo esses valores da época do ano e do sistema de manejo (GRISE, 2005).

Avaliando a produção de fitomassa de *Paspalum notatum* Flüggé (grama batatais) em Seropédica, RJ, ALMEIDA et al., (2006) encontraram no mês de janeiro  $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de matéria seca aérea, 30 dias após o corte com roçadeira mecânica. O resultado encontrado no presente trabalho foi de  $4,29 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Esse maior valor pode ser em decorrência de características do sítio, altura de corte e tempo de repouso.



**Figura 1.** Fitomassa seca dos diferentes compartimentos de uma pastagem de *Paspalum notatum*, no Município de Cruzeiro, SP.

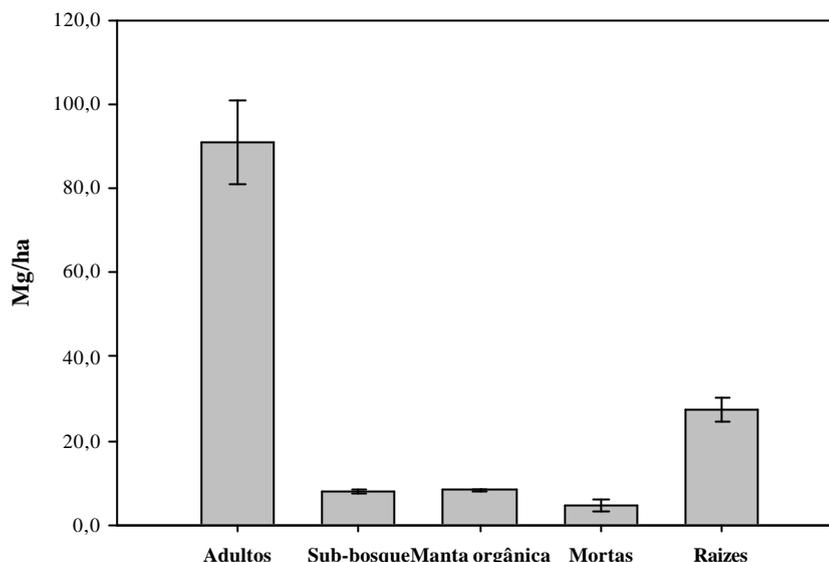
Na Figura 2, é apresentada a quantidade e a distribuição relativa no perfil do solo da fitomassa do sistema radicular da pastagem. Aproximadamente 65 % da fitomassa total de raízes foi encontrada nos primeiros 40 cm de profundidade, sendo que a fitomassa total média do perfil do solo (até 100 cm de profundidade) foi de 14,9 Mg ha<sup>-1</sup>. SANTOS et al. (2007), avaliando a fitomassa aérea e radicular em pastagens de *Brachiaria* ssp. em Goiânia-GO, sob diferentes idades após a renovação, encontraram que 73 a 82 % do sistema radicular concentrou-se nos primeiros 40 cm de profundidade. A fitomassa encontrada até 100 cm de profundidade foi de 4,7 Mg ha<sup>-1</sup>, 9,1 Mg ha<sup>-1</sup>, 4,9 Mg ha<sup>-1</sup> e 2,9 Mg ha<sup>-1</sup>, para as idades de 1, 7, 9 e 20 anos, respectivamente. Muito provavelmente, estes valores foram afetados pela intensidade de pastejo, entre outros fatores.



**Figura 2.** Fitomassa seca e distribuição relativa do sistema radicular de *Paspalum notatum*, no perfil do solo sob pastagem, no Município de Cruzeiro, SP.

### 2.5.2. Estimativa da Fitomassa Total na Área de Mata

Os resultados da estimativa da fitomassa seca da floresta secundária em estudo, distribuída nos diferentes compartimentos da floresta, estão representados na Figura 3. A floresta apresenta uma área basal média de 20,97 m<sup>2</sup>/ha e densidade média de 1580 indivíduos ha<sup>-1</sup> (CAP = 15), a fitomassa seca total média encontrada foi de 138,9 Mg ha<sup>-1</sup>. Esse total foi composto por 65,7 % pelos indivíduos adultos; 5,6 % pelo sub-bosque; 5,9 % pela manta orgânica; 3,3 % por indivíduos mortos e 19,5 % pelo sistema radicular.



**Figura 3.** Estimativa da fitomassa seca dos diferentes compartimentos de uma Mata secundária aos 35 anos de idade, no Município de Cruzeiro, SP.

Ao quantificar a fitomassa LIMA et al., (2006), em fragmentos florestais em regeneração na Mata Atlântica (Oratórios-MG), com 34 anos, e outro que há pelo menos 80 anos, não sofre intervenção antrópica, encontraram na parte aérea 64,0 e 172,7 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente de fitomassa. No sistema radicular do fragmento de 34 anos, a fitomassa foi de 38 Mg ha<sup>-1</sup>, distribuídos 65 % nas raízes laterais e 35 % na raiz pivotante. Somando-se a parte aérea e o sistema radicular, do fragmento de 34 anos, o valor encontrado foi de 102,0 Mg ha<sup>-1</sup>; valor que pode ser considerado semelhante ao encontrado neste trabalho (118,2 Mg ha<sup>-1</sup>), considerando que a estimativa da fitomassa varia entre regiões e modelos. Na serrapilheira dos mesmos fragmentos citados, KINDEL et al. (2006) encontraram valores aportados de serrapilheira de 3,8 e 5,0 Mg ha<sup>-1</sup>, para o fragmento de 38 anos e 80 anos, respectivamente. Na área de estudo, do presente trabalho, encontrou-se 8,22 Mg ha<sup>-1</sup>. Em uma compilação de trabalhos realizada por GOMES (2006), com estudos avaliando o aporte de serrapilheira em Floresta Atlântica, observaram-se valores que variaram de 4,7 a 25,0 Mg ha<sup>-1</sup>. Essas diferenças na quantidade de serrapilheira são freqüentes, mesmo se tratando da mesma fitofisionomia, já que a quantidade de serrapilheira sofre influência de fatores edafoclimáticos, fisiográficos e fisiológicos, que são peculiares de cada área de estudo (Kindel, 2001).

Estimando a fitomassa com base em estudos florísticos e fitossociológicos, realizados na Floresta Atlântica ao Sul do Brasil, BRITZ (2006), utilizou-se o modelo proposto por BROWN (1997), para estimar a fitomassa da parte aérea em diferentes estágios de sucessão. O autor encontrou para o estágio inicial de sucessão 52 Mg ha<sup>-1</sup> de fitomassa, estágio médio 164 Mg ha<sup>-1</sup> e estágio avançado 238 Mg ha<sup>-1</sup>. A floresta secundária avaliada no presente estudo apresenta 103,4 Mg ha<sup>-1</sup> na fitomassa, podendo ser classificada entre os estágios de sucessão inicial a médio, confirmando o estudo realizado por MARTINS et al. (2000), em outra área dessa mesma floresta. Considerando que esta floresta encontra-se em estágio de sucessão de inicial a médio, essa apresenta uma capacidade de acúmulo de fitomassa de quase quatro vezes a encontrada atualmente, que deve ser atingida nos próximos 200 anos (BROWN & LUGO, 1990; VANDERMEER et al., 1997; TABARELLI & MANTOVANI, 1999).

### 2.5.3. Estimativa da Fitomassa Total na Área de Eucalipto

Nas Tabelas 1, 2, 3 e 4, estão apresentados os modelos alométricos testados para a estimativa de cada componente no plantio de *Eucalyptus urograndis*, e os parâmetros estatísticos utilizados para escolha do modelo a ser utilizado. No Anexo B, estão apresentadas as distribuições gráficas dos resíduos.

**Tabela 1.** Parâmetros dos modelos testados para estimativa da fitomassa presente no fuste de *Eucalyptus urograndis*, aos 4 anos de idade, no município de Cruzeiro, SP

Modelo	b0	b1	b2	R <sup>2</sup> ajust	Syx	CV%	F
LnY = b0 + b1LnDap (Hush)	-2,734*	2,487*		98,8	0,110	3,13	1837
LnY = b0 + b1LnDap + b2Ln Ht (Schumacher-Hall)	-4,428*	2,051*	0,844 <sup>ns</sup>	99,0	0,100	2,79	1110
LnY = b0 + b1 LnDap <sup>2</sup> Ht (Spurr)	-4,282*	2,051*		99,0	0,098	2,85	2309

\* significativo a 95 % de probabilidade <sup>ns</sup> não significativo

Y = Fitomassa seca, Dap = Diâmetro a 1,3 m do solo e Ht = Altura total.

**Tabela 2.** Parâmetros dos modelos testados para estimativa da fitomassa presente na casca de *Eucalyptus urograndis*, aos 4 anos de idade, no município de Cruzeiro, SP

Modelo	b0	b1	B2	R <sup>2</sup> ajust	Syx	CV%	F
LnY = b0 + b1LnDap (Hush)	-4,979*	2,557*		98,5	0,123	8,54	1543
LnY = b0 + b1LnDap + b2Ln Ht (Schumacher-Hall)	-4,776*	2,622*	-0,126 <sup>ns</sup>	98,5	0,125	8,73	739
LnY = b0 + b1 LnDap <sup>2</sup> Ht (Spurr)	-6,539*	1,013*		98,1	0,140	9,74	1183

\* significativo a 95 % de probabilidade <sup>ns</sup> não significativo

Y = Fitomassa seca, Dap = Diâmetro a 1,3 m do solo e Ht = Altura total.

**Tabela 3.** Parâmetros dos modelos testados para estimativa da fitomassa presente nos galhos (secos + verdes) de *Eucalyptus urograndis*, aos 4 anos de idade, no município de Cruzeiro, SP

Modelo	b0	b1	b2	R <sup>2</sup> ajust	Syx	CV%	F
LnY = b0 + b1LnDap (Hush)	-4,450*	2,401*		91,7	0,283	18,02	255
LnY = b0 + b1LnDap + b2Ln Ht (Schumacher-Hall)	-2,432 <sup>ns</sup>	3,063*	-1,285 <sup>ns</sup>	92,0	0,279	17,77	132
LnY = b0 + b1 LnDap <sup>2</sup> Ht (Spurr)	-5,889*	0,947*		90,5	0,303	19,30	220

\* significativo a 95 % de probabilidade <sup>ns</sup> não significativo

Y = Fitomassa seca, Dap = Diâmetro a 1,3 m do solo e Ht = Altura total.

**Tabela 4.** Parâmetros dos modelos testados para estimativa da fitomassa presente nas folhas de *Eucalyptus urograndis*, aos 4 anos de idade, no município de Cruzeiro, SP

Modelo	b0	b1	b2	R <sup>2</sup> ajust	Syx	CV%	F
LnY = b0 + b1LnDap (Hush)	-5,516*	2,550*		87,2	0,383	43,66	157
LnY = b0 + b1LnDap + b2Ln Ht (Schumacher-Hall)	-5,498 <sup>ns</sup>	2,556*	-0,012 <sup>ns</sup>	86,6	0,393	44,69	75
LnY = b0 + b1 LnDap <sup>2</sup> Ht (Spurr)	-7,081*	1,010*		86,8	0,389	44,20	152

\* significativo a 95 % de probabilidade <sup>ns</sup> não significativo

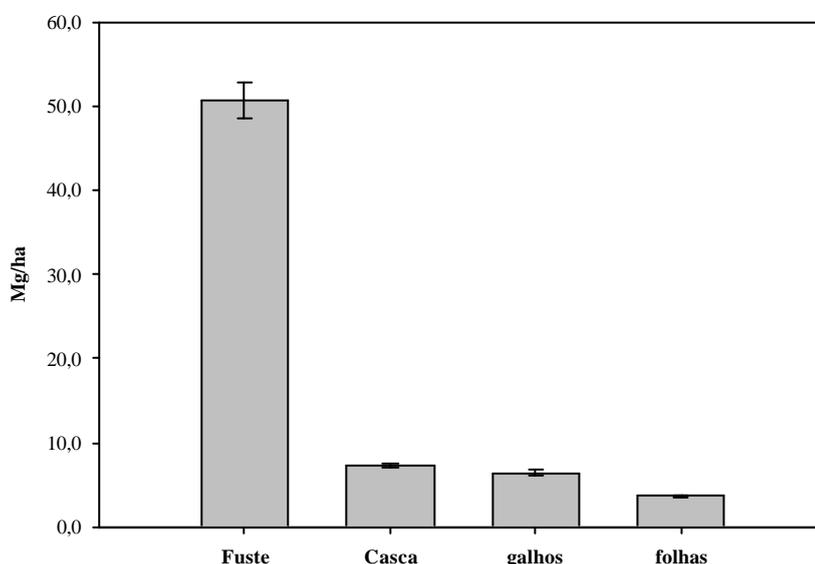
Y = Fitomassa seca, Dap = Diâmetro a 1,3 m do solo e Ht = Altura total.

Analisando os resultados estatísticos e os gráficos de dispersão dos resíduos, os modelos de Hush e Spurr explicam bem a fitomassa seca nos diferentes compartimentos em

função das variáveis dependentes avaliadas. Para todos os compartimentos o modelo de Schumacher-Hall, não foi significativo para a variável Ht a 95 % de probabilidade, e para o coeficiente b0 para os compartimentos galhos e folhas. Por essa razão, o modelo escolhido para estimativa da fitomassa nos diferentes compartimentos foi de Husch ( $\text{Ln}Y = b_0 + b_1\text{Ln Dap}$ ), pelo fato de apresentar um  $R^2$  maior para três dos compartimentos avaliados.

O compartimento com maior variação foi o de folhas (43,66 %), seguido pelos galhos (18,02 %), casca (8,54 %) e fuste (3,13 %). SOARES & OLIVEIRA (2002), ajustando a equação de Schumacher-Hall para estimar o estoque de carbono, no município de Viçosa-MG, em povoamento de *Eucalyptus grandis*, aos 77 meses de idade, também encontraram maior variação nas folhas (57,33 %), seguidas pelos galhos (39,37 %), fuste sem casca (17,30 %) e fuste com casca (14,98 %).

Os valores estimados de fitomassa para os diferentes compartimentos da parte aérea estudados, pelo modelo ajustado de Hush, no reflorestamento com eucalipto, encontram-se na Figura 4. O compartimento que apresentou a maior quantidade de fitomassa foi o fuste  $50,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ , seguido pela casca  $7,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ , galhos  $6,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  e folhas  $3,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ , resultando em uma fitomassa seca total acumulada, na parte aérea, até os quatro anos de idade de  $68,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ . O fuste foi responsável por 74,4 % do total, a casca por 10,7 %, os galhos por 9,5 % e as folhas por 5,5 %. Outros estudos avaliando a fitomassa em florestas nativas e povoamentos plantados têm encontrado resultados semelhantes, quanto à contribuição dos diferentes compartimentos na fitomassa total (TEIXEIRA & OLIVEIRA, 1997; SOARES & OLIVEIRA, 2002; BALBINOT et al., 2003; WATZLAWICK et al., 2003; GATTO, 2005; CARMO et al., 2006; LIMA et al., 2006; PAIXÃO et al., 2006), apresentando na maior parte das espécies o fuste a maior proporção.

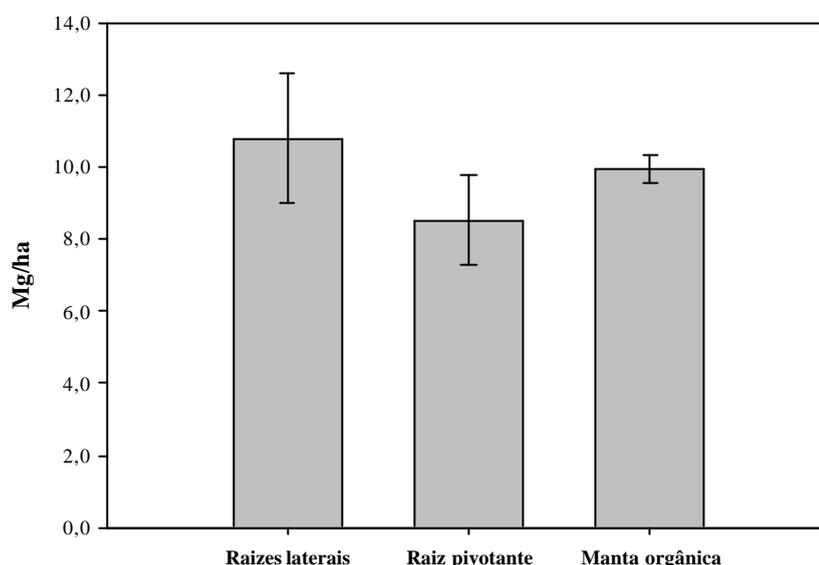


**Figura 4.** Fitomassa seca total média dos diferentes compartimentos da parte aérea, de um povoamento de *Eucalyptus urograndis*, aos 4 anos de idade, no município de Cruzeiro, SP.

Na Figura 5, é apresentada a fitomassa seca de raízes laterais, pivotante e serrapilheira. Aos quatro anos de idade a quantidade de fitomassa seca total acumulada nas raízes foi de  $19,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ . As raízes laterais contribuíram com 55,9 % e a raiz pivotante com 44,1 % da fitomassa seca total de raízes. Da fitomassa seca de raízes laterais avaliadas até 60 cm de profundidade 69,3 % encontram-se até os 20 primeiros centímetros de profundidade, 19,4 % de 20 - 40 cm e 11,3 % de 40 - 60 cm. A maior concentração de raízes laterais nos primeiros

centímetros está relacionada principalmente a maior disponibilidade e ciclagem de nutrientes encontrada nas camadas superficiais (GONÇAVES & MELLO, 2000). A quantidade de raízes varia em função das características genéticas da espécie, em função das características físicas, químicas e biológicas dos solos, da disponibilidade de água, entre outros fatores (GONÇAVES & MELLO, 2000). Nos plantios de eucalipto em sítios de menor fertilidade a relação parte aérea / raiz, varia entre 1,7 a 2,5, já em sítios mais férteis, varia entre 4,0 e 6,6 (REIS et al., 1985). Assim em sítios de menor fertilidade o investimento de fotoassimilados no sistema radicular é maior para uma maior exploração do solo em busca nutrientes e/ou água.

No presente trabalho a relação parte aérea/raiz encontrada foi de 3,5, sugerindo sob esse aspecto que a área tenha uma fertilidade intermediária. O incremento médio de fitomassa total até os quatro anos de idade foi de  $21,9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , REIS et al., (1985), em um sítio de maior fertilidade encontrou incremento médio aos 38 meses de  $17,7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , já em sítio de menor fertilidade aos 43 meses  $9,1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .



**Figura 5.** Fitomassa seca presente no sistema radicular e na manta orgânica, em um povoamento de *Eucalyptus urograndis*, aos quatro anos de idade, no município de Cruzeiro, SP.

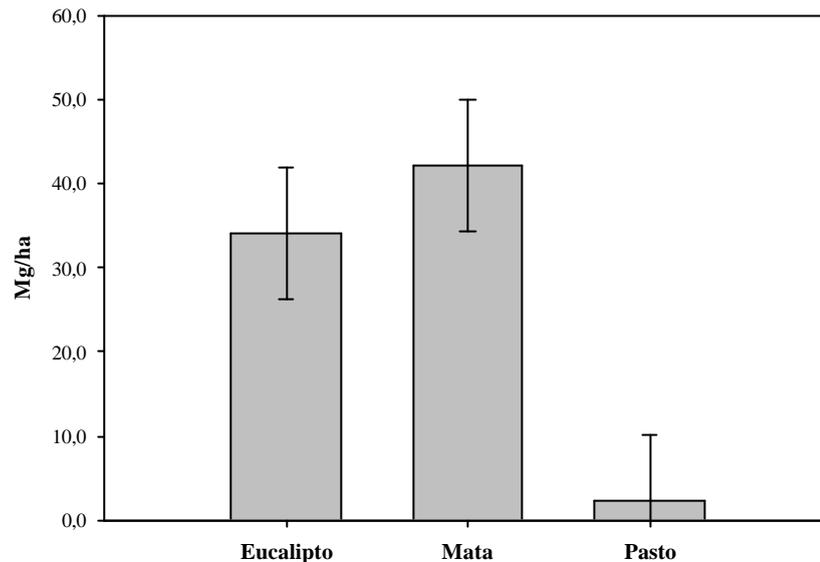
A quantidade de fitomassa encontrada na manta orgânica foi de  $9,93 \text{ Mg ha}^{-1}$ . PAIXÃO et al., (2006), encontrou  $17,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ , em um povoamento de *Eucalyptus grandis*, no município de Viçosa-MG, aos 72 meses de idade, GATTO (2005) encontrou valor estimado médio de  $6,83 \text{ Mg ha}^{-1}$ , aos 84 meses.

Da fitomassa total encontrada no povoamento do presente estudo, a contribuição da parte aérea foi de 70 %, as raízes contribuíram com 19,8 % e a manta orgânica com 10,2 %. Se o povoamento fosse explorado nessa idade com utilização apenas do fuste, das  $97,7 \text{ Mg ha}^{-1}$  de fitomassa total,  $46,7 \text{ Mg ha}^{-1}$  ficariam no campo, ou seja, com a exploração apenas do fuste 48 % da fitomassa total ficaria na área.

#### 2.5.4. Estoque de Carbono na Fitomassa nas Três Coberturas Vegetais

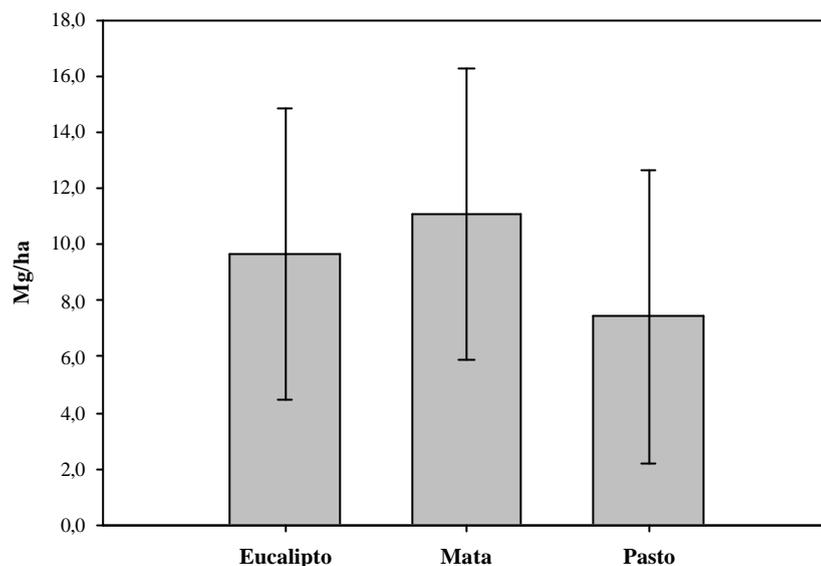
Na Figura 6, estão representados os valores do estoque de carbono na parte aérea das diferentes coberturas vegetais em estudo. A diferenças significativas no estoque de carbono na parte aérea, pelo teste t (Bonferroni). O estoque de carbono na área de Mata após

aproximadamente 35 anos de regeneração foi de  $45,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , superior à área do Eucalipto ( $34,1 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) e a do Pasto ( $2,2 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ). Essa maior quantidade de carbono na área de Mata já era esperada, visto que essa é muito mais antiga que a de Eucalipto, mas quando se compara o incremento médio anual de carbono (IMC) a área de Mata apresenta um IMC de  $1,3 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , menor que a área de Eucalipto que apresentou IMC de  $8,5 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . No caso do Pasto, os baixos valores de fitomassa aérea também já eram esperados em consequência da característica da espécie, além disso, o pastejo ocasional diminui ainda mais a fitomassa seca.



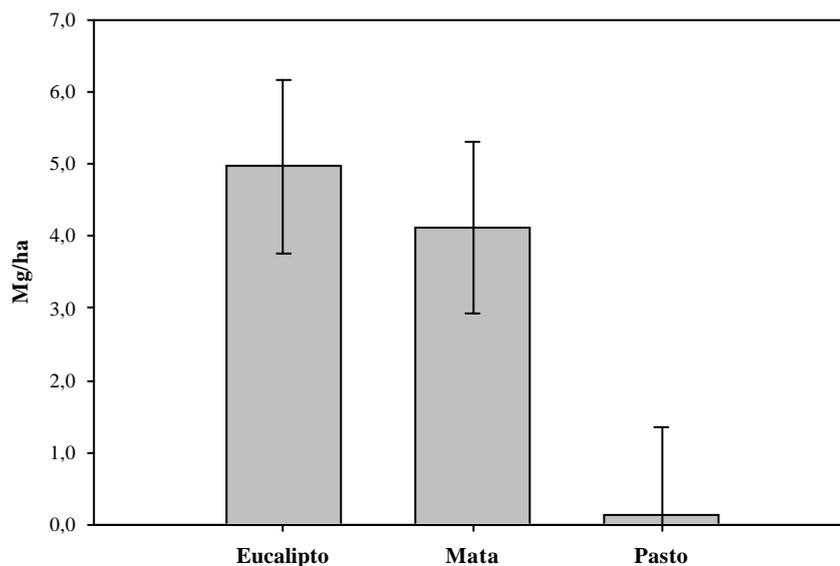
**Figura 6.** Estoque de carbono presente na parte aérea das diferentes coberturas vegetais, no Município de Cruzeiro, SP. As barras de desvio representam a diferença mínima significativa para serem considerados diferentes, pelo teste de t (Bonferroni;  $P < 0,05$ ).

Os estoques de carbono no sistema radicular não apresentaram diferenças significativas pelo teste t (Bonferroni). Os valores estão apresentados na Figura 7, na Mata o estoque foi de  $11,07 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , no Pasto de  $7,43 \text{ Mg C ha}^{-1}$  e no Eucalipto foi de  $9,65 \text{ Mg C ha}^{-1}$ .



**Figura 7.** Estoque de carbono presente no sistema radicular de diferentes coberturas vegetais, no Município de Cruzeiro, SP. As barras de desvio representam a diferença mínima significativa para serem considerados diferentes, pelo teste de t (Bonferroni;  $P < 0,05$ ).

No estoque de carbono presente na manta orgânica, há diferenças significativas entre as coberturas vegetais, pelo teste t (Bonferroni). Os valores do estoque de carbono presente na manta orgânica estão apresentados na Figura 8. A maior quantidade foi encontrada na área de Eucalipto ( $4,96 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ), não diferindo da Mata ( $4,11 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ). No Pasto o valor foi de  $0,14 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , o que mostra que a substituição da pastagem pelas coberturas florestais promoveu um aumento aproximado de 30 vezes na quantidade de carbono estocado na manta orgânica.



**Figura 8.** Estoque de carbono presente na manta orgânica de diferentes coberturas vegetais, no Município de Cruzeiro, SP. As barras de desvio representam a diferença mínima significativa para serem considerados diferentes, pelo teste de t (Bonferroni;  $P < 0,05$ ).

Tendo como referência a pastagem, ou seja, descontando-se do estoque de carbono total das coberturas florestais e a quantidade inicial presente na pastagem, os ganhos líquidos totais de carbono na Mata foram de 54,3 Mg C ha<sup>-1</sup> e para o Eucalipto de 24,4 Mg C ha<sup>-1</sup>, com IMC de 1,6 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e 6,1 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente para cada cobertura vegetal.

O uso futuro da madeira proveniente do reflorestamento determinará a real quantidade de carbono fixada e por qual período de tempo, já que esse pode ser usado para múltiplos fins e ter diferentes ciclos de corte. Variando seu uso desde a queima imediata da madeira até o uso na indústria moveleira, no primeiro caso, o carbono retornará de imediato à atmosfera e, no segundo, ficará por mais tempo fixado na madeira. Na floresta nativa sua capacidade em estocar carbono vai depender principalmente da conservação e da proteção realizada, já que essa, em princípio, não pode ser explorada para fins madeireiros.

É importante que outros compartimentos como o solo e a emissão de gases de efeito estufa do solo também sejam quantificados, para um balanço mais amplo, já que o uso do solo terá influência direta sobre estes. Nos capítulos seguintes essas avaliações serão apresentadas.

## 2.6. CONCLUSÕES

Nas condições avaliadas a substituição da pastagem pelo reflorestamento com eucalipto e regeneração natural, promoveram um ganho líquido de carbono de 24,4 e 54,3 Mg C ha<sup>-1</sup> respectivamente, indicando que a substituição da pastagem por esses usos, pode contribuir para mitigação do efeito estufa.

O estoque de carbono no eucalipto e na mata encontra-se em maior quantidade na parte aérea, já na pastagem ocorre no sistema radicular.

A exploração apenas do fuste na área de reflorestamento, na idade avaliada, deixaria 48 % da biomassa total do sistema passível de ser transformada em matéria orgânica do solo.

### **3. CAPÍTULO II**

## **AVALIAÇÃO DOS ESTOQUES DE CARBONO, NITROGÊNIO E EMISSÕES DE N<sub>2</sub>O DO SOLO APÓS A SUBSTITUIÇÃO DA PASTAGEM POR PLANTIO DE EUCALIPTO E FLORESTA SECUNDÁRIA, EM REGIÃO DA MATA ATLÂNTICA**

### 3.1. RESUMO

A mudança no uso da terra acarreta alterações no ambiente, influenciando diferentes parâmetros físicos, químicos e biológicos. Uma destas alterações é a mudança do estoque de carbono do sistema solo-planta. Este capítulo tem o objetivo avaliar o impacto na dinâmica da matéria orgânica e na emissão de  $N_2O$  do solo pela substituição de pastagem pelo reflorestamento com eucalipto e pela regeneração natural de espécies nativas, em área representativa da Mata Atlântica. As áreas avaliadas pertencem a uma propriedade localizada no município de Cruzeiro, SP. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. O histórico de uso da terra foi comum nas três áreas, sendo inicialmente ocupadas por pastagem desde a década de 20. Há 35 anos atrás uma parte desta área foi reservada para regeneração de mata secundária (Mata), outra parte ocupada há 4 anos com plantio de eucalipto (Eucalipto), e na área restante foi mantido o pasto (Pasto). Estas três situações são predominantes nesta região do Vale do Paraíba. Para quantificar o estoque de carbono e nitrogênio do solo, foram abertos três perfis de solo até 1,1 m de profundidade nestas áreas, na mesma cota de altitude. Nestes perfis foram retiradas amostras para determinação de características físicas e químicas do solo. As camadas amostradas foram de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. A emissão de  $N_2O$  foi avaliada nas áreas ao longo do ano utilizando-se seis câmaras estáticas. Foram avaliados também o teor de  $NO_3^-$ , a umidade e temperatura do solo, na profundidade de 0-10 cm. A quantidade acumulada de N- $N_2O$  emitido foi convertido em  $CO_2$  equivalente. Os resultados de fertilidade química, densidade do solo e textura indicaram semelhança dos solos nas três áreas. Os valores encontrados para os estoques de C e N foram de 110,7 e 9,8  $Mg\ C\ ha^{-1}$ , respectivamente para pasto; 97,7 e 10,2  $Mg\ C\ ha^{-1}$  para Eucalipto; 101,3 e 10,6  $Mg\ C\ ha^{-1}$  para Mata. Não foram observadas diferenças significativas nos estoques de C e N do solo nas áreas avaliadas. Após 35 anos, a Mata, aparentemente, substituiu todo carbono fornecido pela pastagem cultivada anteriormente à regeneração. Na área de Pasto houve a substituição de 53 % do estoque de carbono original do solo até a profundidade de 20 cm, após 88 anos. A taxa de renovação nesta condição foi de 0,32  $Mg\ C\ ha\ ano^{-1}$  até a profundidade de 40 cm. As emissões de  $N_2O$  na área de Mata foram significativamente maiores em relação ao Pasto. A emissão acumulada foi de 878,7, 664,2 e 351,4  $g\ N-N_2O\ ha\ ano^{-1}$  na Mata, Eucalipto e Pasto, respectivamente. Em  $CO_2$  equivalente foram de 116,7, 88,3 e 46,6  $kg\ CO_2\ ha\ ano^{-1}$ . Nas condições avaliadas a substituição do Pasto pela Mata e Eucalipto não alterou o estoque total de C e N, mas foi observada uma elevação nas emissões de  $N_2O$  nestas áreas.

**Palavras-chave:** Manejo do solo. Matéria orgânica do solo. Abundância natural de  $^{13}C$ .

### 3.2. ABSTRACT

The change of land usage causes environment alterations, influencing different physical, chemical and biological parameters. One of these alterations is modification in the carbon stock of the soil-plant system. The objective of this chapter was to evaluate the impact on the organic substance dynamics and on soil N<sub>2</sub>O emission due to substitution of pasture land for the reforestation with eucalyptus, and natural regeneration of native species in a substantial area of Atlantic Forest. The evaluated areas belong to a farm located in Cruzeiro municipality, São Paulo State (Brazil). The soil was classified as a Udox. All the studied area had been occupied by pasture since 1920. Thirty five years ago, part of the area was reserved for regeneration of secondary forest, another part became eucalyptus plantation (4 years ago), and remaining area was left as pasture. These three situations are predominant in the Vale do Paraíba region. To quantify stocks of carbon and nitrogen in soil, three profiles down to 1.1 m depth were open on the area, in the same altitude. Samples were taken from the profile trenches for determining physical and chemical characteristics. The sampled layers depths were: 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm. The emission of N<sub>2</sub>O was evaluated during the year using six static chambers. The content of NO<sup>-3</sup>, the humidity and the temperature of soil at 0-10 cm depth were also evaluated. The accumulated amount of emitted N-N<sub>2</sub>O was converted into equivalent CO<sub>2</sub>. The data on chemical fertility, soil density and texture showed the soil was similar in all three areas. The contents of C and N were of 110.7 and 9.8 Mg C ha<sup>-1</sup>, respectively for pasture; 99.7 and 10.2 Mg C ha<sup>-1</sup> for eucalyptus; and 101.3 and 10.6 Mg C ha<sup>-1</sup> for forest. No significant differences were observed in the C and N stocks of studied areas. After 35 years, the forest, apparently, substituted all the carbon supplied by the pasture which was cultivated before the regeneration. In the pasture area there was a substitution of 53% of original carbon stock up to 20 cm soil depth, after 88 years. The rate of renewal in this condition was of 0.32 Mg C ha year<sup>-1</sup> to the 40 cm depth. Emissions of N<sub>2</sub>O in the forest area were significantly higher only in relation to the pasture. The accumulated emission was of 878.7, 664.2 and 351.4 g N-N<sub>2</sub>O ha ano<sup>-1</sup> in the forest, eucalyptus and pasture, respectively. In terms of CO<sub>2</sub> equivalent, they were of 116.7, 88.3 and 46.6 kg CO<sub>2</sub> ha year<sup>-1</sup>. In the evaluated conditions, the substitution of pasture for forest and eucalyptus plantation did not alter total stock of C and N; however an increase in the N<sub>2</sub>O emission was observed in these areas.

**Key words :** Soil management. Soil organic matter. <sup>13</sup>C natural abundance.

### 3.3. INTRODUÇÃO

O homem por meio do manejo e uso do solo pode influenciar na formação ou destruição dos agregados do solo, protegendo ou expondo os compostos orgânicos do solo (COS), em decorrência do sistema de preparo e uso deste, afetando as propriedades químicas e biológicas com a aplicação de fertilizantes e agrotóxicos; a qualidade e quantidade de biomassa, dependendo da espécie e do número de espécie que utilizar; e o micro clima em um pequeno intervalo de tempo, influenciando na umidade e temperatura do solo. Essas alterações podem contribuir para o agravamento do efeito estufa, pois dependendo do sistema adotado, o solo pode atuar como dreno de C, ou negativamente atuando como fonte de C. Mas essas alterações não afetam somente o ciclo do C, afetam também a emissão de outros gases de efeito estufa, sendo importante à quantificação dessas emissões, já que parte do carbono fixado no solo, pode ser anulado pela emissão desses gases (SISTI, 2004). Este capítulo tem como objetivo avaliar qual o impacto causado no estoque de carbono do solo e na emissão de N<sub>2</sub>O, com a substituição de área de pastagem, por reflorestamento com eucalipto e floresta secundária.

#### 3.3.1. Fixação de Carbono no Solo

A fixação de carbono no solo (FCS) é um processo natural que envolve a transferência do carbono atmosférico para o solo, via humificação da biomassa morta. De 5 a 15% da biomassa total depositada é humificada, dependendo das características físicas, químicas e biológicas do solo, clima, qualidade e quantidade do material depositado e do manejo e uso do solo (LAL, 2006). As características do solo primeiramente irão influenciar na quantidade de biomassa produzida e posteriormente na decomposição da biomassa e proteção dos COS. Em geral, nos solos mais argilosos, a proteção dos COS é maior devido à mineralogia constituinte resultando em maior CTC total e maior interação entre esses. Já em solos arenosos a proteção dos compostos orgânicos é menor devido a constituição mineralógica, que é constituída principalmente por minerais de quartzo, refletindo numa baixa CTC total, conseqüentemente refletindo na estrutura; a estrutura do solo também exerce grande papel na proteção dos COS, por diminuir a exposição ao oxigênio e dificultar o acesso de microorganismos (DIECKOW et al., 2004). A condição química do solo, principalmente a quantidade de nitrogênio, é importante na transformação da biomassa em COS, já que os microorganismos durante o processo de decomposição retiram parte dos nutrientes que necessitam do solo (BRADY, 1989). Os microorganismos do solo são os responsáveis pela transformação da biomassa morta em COS e quanto maior a diversidade de microorganismos no solo, maior será a transformação pois a biomassa é composta por diferentes compostos químicos (lignina, celulose, suberina, etc), necessitando assim de diversos tipos de microorganismos para sua degradação completa (FOX et al., 2006).

Em climas áridos e semi-áridos estima-se que o FCS pode ser da ordem de 0 a 250 kg C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Em climas tropicais, a quantidade estimada é de 300 a 1000 kg C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> devido a maior disponibilidade de água, crescimento vegetal e maior atividade biológica (LAL, 2006). A maior parte do carbono fixado provém da humificação, mas em climas áridos e semi-áridos o carbono que é liberado na forma de CO<sub>2</sub> durante a decomposição, pode reagir com íons de Ca e Mg formando carbonatos secundários, e estima-se que esse processo contribua com 5 a 15 kg C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> (LAL, 2006).

A qualidade da biomassa irá influenciar na taxa de humificação. Materiais com maior relação C:N e menor quantidade de nutrientes irão demorar mais para se decomporem e

formarem os COS, e quanto maior a quantidade de biomassa maior poderá ser o FCS (BRADY, 1989; AITA & GIACOMINI, 2006).

Em estudo avaliando a dinâmica do carbono na conversão de floresta em pastagens em dois Argissolos, no estado do Acre, SALIMONI et al. (2007), encontraram maior estoque de carbono no solo, nos cinco primeiros centímetros sob pastagem com idades de 13 e 14 anos. Após essa profundidade não foram observadas mais diferenças em relação ao solo sob floresta. O maior estoque nos primeiros centímetros, ressaltam esses autores, pode ser em decorrência de uma maior quantidade de raízes finas na amostra analisada e a presença de carvão, não sendo assim um ganho de carbono efetivo no solo. FEIL (1994) avaliou a dinâmica da matéria orgânica do solo na sucessão floresta / pastagem, em Porto Velho-RO, em uma cronosseqüência de pastagens com idades de 2, 4, 6, 8, 12, 20 e 80 anos, onde o teor de carbono sob floresta foi de 12 g C/Kg e 12, 17, 15, 14, 16 e 21 g C/Kg (0-10 cm) para as pastagens, respectivamente. Observou-se, assim, um maior teor de carbono no solo (0-10 cm) sobre pastagem e um incremento médio de carbono de 0,15 Mg C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, tomando como referência a pastagem de 80 anos.

Avaliando o estoque de carbono em um Latossolo submetido a diferentes sistemas de manejo, com diferentes idades, no município de Morrinhos-GO, ANDRÉA et al. (2004) não encontraram diferença significativa no teor e estoque de carbono (0-40 cm) para os sistemas: pastagem com mais de 15 anos, plantio direto e convencional sob diferentes manejos e idades, em comparação com uma área nativa de cerrado. Já FERNANDES et al., (1999) ao avaliarem a substituição do cerrado nativo, no Pantanal Mato-Grossense, em um Podzol hidromórfico, por pastagens, encontraram menor estoque de carbono (0-40 cm) nas pastagens com idades de 10 (19 Mg C ha<sup>-1</sup>) e 20 (15,7 Mg C ha<sup>-1</sup>) anos, ao comparar com cerrado nativo (21,8 Mg C ha<sup>-1</sup>), a substituição da vegetação nativa pela pastagem levou a uma perda de carbono média de 0,3 Mg C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>.

Ao comparar o estoque de carbono em sistemas agrossilvopastoral (SA), pastagem e eucalipto sob cultivo convencional, na profundidade de 0-40 cm, em um Latossolo, no município de Paracatu-MG, NEVES et al., (2004), encontraram menores estoques de carbono nos SA implantados, atuando como fonte de C até a idade avaliada, com uma perda chegando a 18 Mg C após um ano da implantação, que tende a diminuir com o passar dos anos. Tal perda foi atribuída pelos autores ao forte revolvimento do solo. Ao comparar o estoque de carbono do cerrado nativo com plantio de eucalipto convencional (10 anos), esses mesmos autores, observaram perdas apenas para camada de 5–20 cm de profundidade. Já em comparação com a pastagem de longa duração, os estoques de carbono no cerrado nativo foram superiores em todas as profundidades avaliadas.

Em estudo realizado por CANELLAS et al, (2003) ao avaliarem quatro sistemas de manejo na cultura da cana-de-açúcar, em um Cambissolo, no município de Campos dos Goytacazes-RJ, encontraram um aumento no teor de carbono de 70 % e 77 % para as profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm respectivamente, ao comparar uma área manejada com cana sem queima por 55 anos, com uma área manejada com queima antes da colheita de mesma idade. Já comparando a aplicação de vinhaça em uma área após 35 anos, observaram que a vinhaça promoveu aumento no teor de carbono de 17 % e 12 % para as camadas de 0-20 cm e 20-40 cm, respectivamente, em relação a área sem adição do material orgânico.

Comparando o estoque de carbono em cultivo convencional com duas araões e gradagens por ano, com uma área de mata nativa (Floresta Atlântica), em um Latossolo, no município de Chapecó-SC. BAYER et al., (2003) encontraram perda aproximada de 50 % no estoque de carbono no cultivo convencional, com uma taxa média de perda de carbono (0-20 cm) em torno de 2,2 Mg C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Os mesmos autores, ao avaliarem o efeito de plantas estivais de cobertura, no aumento de carbono e nitrogênio no solo, observaram aumento de ambos no solo, quando comparado com o tratamento onde não se utilizou plantas de

cobertura. TARRÉ et al., (2001) encontrou influência positiva no uso de leguminosas forrageiras, no aumento do teor de carbono no solo, em pastagens no sul do Estado da Bahia, fato atribuído pelos autores ao aumento do nitrogênio no solo promovido pela fixação biológica de nitrogênio nas leguminosas. A influência do nitrogênio no acúmulo COS, também foi observada por SISTI et al. (2004), no município de Passo Fundo-PR, encontrando um aumento de aproximadamente 10 Mg C ha<sup>-1</sup>, em 13 anos sob plantio direto, ao avaliar a influência da adubação verde na rotação de culturas.

BAYER et al., (2002) ao avaliarem o reflexo do plantio direto sobre o acúmulo de carbono no solo, em um Argissolo, no município de Eldorado do Sul-RS, obtiveram, após nove anos de cultivo, para os primeiros 17,5 cm de profundidade 36 % a mais de carbono quando comparado com o plantio convencional. Esse aumento é atribuído ao menor revolvimento do solo, permitindo a manutenção da estrutura do solo, possibilitando um incremento médio anual de carbono em torno de 0,4 Mg C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>.

Em estudo realizado por CAMPOS et al., (2004) em um Argissolo, no município de Conceição-da-Barra-ES, comparando o estoque de carbono de uma área de Floresta Atlântica, pastagem com 20 anos de implantação e cana-de-açúcar (queimada para colheita) com 10 anos de implantação, com duas renovações, verificou-se que o estoque de carbono no solo, até a profundidade de 1 m, na área de pastagem foi superior à área de floresta e cana, sendo estes de 71, 62 e 51 Mg C ha<sup>-1</sup> respectivamente. Comparando-se a área de pastagem com a de floresta o incremento médio de carbono foi de 0,45 Mg C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, já comparando a área de pastagem com a de cana a perda média de carbono foi de 2 Mg C ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. A perda de carbono é atribuída pelo autor à queima dos resíduos e ao preparo do solo para implantação da cana e as renovações do canavial. PINHEIRO (2007), avaliando o efeito da queima no estoque de carbono no solo na cultura da cana-de-açúcar, em Argissolo, no município de Linhares-ES, obteve após 14 anos de cultivo um estoque de carbono no solo, de 0-10 cm, para área manejada sem queima de 3,9 Mg C ha<sup>-1</sup> maior que à área manejada com queima. Abaixo dessa profundidade, não foi encontrada diferença estatística no estoque de carbono do solo.

Alguns estudos vêm utilizando a técnica isotópica do <sup>13</sup>C, como complemento, para avaliar a influência da vegetação na fixação de carbono no perfil do solo, possibilitando identificar de qual espécie vegetal é proveniente a matéria orgânica presente no solo e qual a taxa de substituição, tornando-se uma ferramenta de grande utilidade. Por um lado, baseia-se no fato que a grande maioria das florestas nativas são de metabolismo C3, com composição isotópica de <sup>13</sup>C (-28 a -32 deltas) muito diferente das plantas C4 (-12 a -14 deltas), tornando possível distinguir a origem do carbono orgânico do solo. Por outro lado, esta técnica ajuda na seleção de áreas ou sítios experimentais que apresentam a mesma origem, pelo menos quanto ao tipo original de C orgânico do solo, essencial para estudos comparativos na avaliação do impacto dos sistemas de manejo na fixação de C no perfil do solo (URQUIAGA et al., 2006).

Em estudo realizado por ROSCOE et al. (2001), no município de Sete Lagoas, MG, em região de cerrado, avaliando a contribuição de plantas C3 e C4 no estoque de carbono do solo, em área de pastagem e cerrado nativo, encontraram contribuição de 36 % de carbono de plantas C<sub>4</sub> na área de pastagem, após 23 anos da substituição do cerrado pela pastagem, para camada de 0-10 cm de profundidade e de 34 % e 19 %, para as camadas de 10-25 cm e 75-110 cm. Nesse mesmo estudo, a substituição do cerrado pela pastagem não promoveu mudanças significativas no estoque de carbono no solo.

Os resultados das pesquisas realizadas mostram que podemos transformar o solo em fonte ou dreno de carbono. É importante ressaltar também que cada solo apresenta um valor assintótico para acumular COS, não sendo esse acúmulo linear com o passar do tempo (ALVES et al., 2008).

### 3.3.2. Emissão de Gases de Efeito Estufa do Solo

Entre os gases causadores de efeito estufa o mais destacado é o  $\text{CO}_2$ , devido a grande quantidade emitida à atmosfera, mas existem outros gases emitidos em menores quantidades que também são de grande importância no aumento do efeito estufa. Devido ao maior potencial que esses gases apresentam em causar tal fenômeno. Entre esses se destacam o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ ), que a exemplo do  $\text{CO}_2$  no Brasil, são emitidos principalmente devido às práticas agrícolas (PA) e as mudanças no uso da terra devido ao desmatamento (MT). A nível mundial as PA e as MT são responsáveis por 55 e 80 % das emissões de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ , respectivamente. Já no Brasil essas fontes são responsáveis por 91 e 94 % (CERRI & CERRI, 2007). As concentrações de  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$ , na atmosfera, aumentaram cerca de 30 e 160 %, respectivamente, pois a concentração estimada de  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$ , em 1800, eram em torno de 270 e 750 ppb, e no ano 2000 estavam em torno de 310 e 1750 ppb, respectivamente (RASCHKE, 2001).

No Brasil a principal fonte emissora de  $\text{CH}_4$  é a pecuária, devido ao processo de fermentação entérica e a fermentação dos dejetos produzidos. O cultivo do arroz irrigado e a queima de resíduos agrícolas também são fontes importantes de  $\text{CH}_4$ . O alagamento de áreas para o cultivo de arroz promove a decomposição das substâncias orgânicas por bactérias metanogênicas liberando grande quantidade de  $\text{CH}_4$  (LIMA et al., 2001; BAYER et al., 2007; GRAUPE et al., 2007), em pastagens, florestas naturais ou plantadas, as emissões de  $\text{CH}_4$ , podem ser consideradas desprezíveis, já que sua emissão no solo ocorre em ambientes altamente reduzidos que dificilmente são encontrados nessas áreas (LIMA et al., 2001; CARVALHO et al. 2007; ESCOBAR, 2008).

A emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  ocorre devido ao processo de nitrificação e desnitrificação, controlados pela disponibilidade de nitrogênio, oxigênio, água, temperatura e atividade biológica do solo (JANTALIA et al., 2006), sendo a principal via devido a desnitrificação. A principal fonte de  $\text{N}_2\text{O}$  são os solos agrícolas, devido ao vasto uso de fertilizantes nitrogenados, e outra fonte de  $\text{N}_2\text{O}$  é a mineralização dos resíduos orgânicos adicionados aos sistemas agrícolas (LIMA et al., 2001) e a queimada de florestas.

Estudos vêm sendo realizados em sistemas agrícolas para avaliar a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  (BAGGS et al., 2000; DAVIDSON et al., 2001; JANTALIA, 2005; COSTA et al., 2007, ESCOBAR, 2008).

Avaliando a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  na Região do Cerrado, VARGAS et al., (1997) encontraram que as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  na estação úmida em área sob pastagem, pastagem consorciada e agrícola cultivada com milho e soja, foram 90, 95 e 124 %, respectivamente, superiores comparado com área de cerrado nativo. Já CARVALHO et al. (2007), avaliando a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$ , na Região Amazônica, comparando áreas de plantio convencional com um (PC1) e dois (PC2) anos após o desmatamento, e áreas de plantio direto com um (PD1), dois (PD2) e três (PD3) anos após a utilização da área com plantio convencional por dois anos, com área de cerrado. As emissões médias de  $\text{N}_2\text{O}$  foram superiores na área de cerrado, PC1 e PD3, e menores nas áreas de PC2, PD1 e PD3, na estação seca. Na estação chuvosa, as médias foram negativas na área de cerrado e maiores nas áreas de PD, principalmente na área PD3. A emissão de  $\text{CH}_4$  foi negativa tanto na estação seca como na chuvosa, com valores mais negativos na estação seca. A área de cerrado e PC1 apresentaram maiores consumos de  $\text{CH}_4$ , evidenciando que esses sistemas não contribuem para o aumento do efeito estufa, no que se refere a emissão de  $\text{CH}_4$ . Em áreas de reflorestamento e ambientes naturais, os estudos são escassos.

### 3.4. MATERIAL E MÉTODOS

A descrição do histórico de ocupação e manejo das áreas avaliadas encontra-se detalhado no item 2.4 do capítulo 1 deste documento.

#### 3.4.1. Análise Física e Química do Solo das Áreas

Ao avaliar a influência de diferentes sistemas de manejo no estoque de carbono do solo é de vital importância que as áreas sejam próximas e o solo seja o mesmo em sua origem e logicamente semelhante quanto às características físicas, químicas e biológicas, visto que diferentes fatores influenciam no acúmulo ou na perda de carbono no solo. Para isso em cada área foram abertas três trincheiras, em junho de 2007, de aproximadamente 2 m (comprimento) x 1,0 m (largura) x 1,1 m (profundidade).

Em cada trincheira foram coletadas amostras com o anel de Kopeck, para determinação da densidade do solo, das seguintes profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm, com quatro repetições por trincheira. As amostras retiradas para determinação da densidade do solo foram secas em estufa a 105°C por 48 horas e pesadas em balança de duas casas decimais. Retirou-se também uma amostra composta de cada profundidade, formada por seis amostras simples, para determinação da textura e das características químicas do perfil do solo.

As amostras compostas foram secas ao ar por três dias, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm. Parte da amostra foi encaminhada ao Laboratório de Solos e Nitrogênio da Embrapa Agrobiologia para análise química, e outra parte encaminhada ao Laboratório de Física do Solo da Embrapa Solos para análise granulométrica. As análises químicas e granulométricas foram realizadas segundo metodologia da EMBRAPA (1997).

Para análise de carbono orgânico total (C), nitrogênio total (N) e  $\delta^{13}\text{C}$  foram retiradas sub-amostras das amostras previamente peneiradas e este material foi triturado em moinho de rolagem até a pulverização, seguindo metodologia descrita por SMITH & MYUNG (1990).

A concentração de carbono orgânico total do solo foi determinada pelo método de combustão a seco. Pesou-se aproximadamente 300 mg de cada amostra de solo com precisão de 4 casas decimais em cápsulas de estanho e analisadas em um auto-analisador de carbono, a 900°C (modelo CHN-600, LECO Corp., St. Joseph, MI, USA), no laboratório de solos da Embrapa Agrobiologia. O teor de carbono foi medido a partir da absorção de radiação infravermelha pelo  $\text{CO}_2$  liberado na combustão. Os resultados são impressos ao final da análise e expressados em percentual de carbono da amostra. A cada 10 amostras o aparelho foi calibrado com amostras-padrão do laboratório.

A concentração de nitrogênio do solo foi determinada em alíquotas de 1000 mg de solo utilizando-se o método de digestão semi-micro Kjeldahl (BREMNER & MULVANEY, 1982), digerindo-se as amostras com ácido sulfúrico concentrado e catalisadores ( $\text{CuSO}_4/\text{K}_2\text{SO}_4$  / Se, na proporção de 100:10:1) a 150 °C por 1 hora e depois 300 °C por mais 3 horas (ou até o clareamento da solução). Após a digestão, as amostras foram alcalinizadas com 20 ml de NaOH 50%, destiladas em arraste a vapor e tituladas com uma solução alcoólica de ácido bórico + azul metil + vermelho metil em um destilador automático Kjeltac Auto-analyzer modelo 1030 (TECATOR, Höganäs, Sweden), obtendo-se então o teor total de nitrogênio da amostra. Em cada bloco digestor contendo 40 amostras foram analisadas duas amostras em branco e duas amostras-padrão (padrões de Laboratório) de solo para calibração da análise (LIMA et al., 1987).

A abundância isotópica de  $^{13}\text{C}$  do solo foi determinada em alíquotas contendo entre 200 e 400  $\mu\text{g}$  de carbono total, utilizando um espectrômetro de relação de massa isotópica de

fluxo contínuo (espectrômetro de massa Finnigan DeltaPlus acoplado em um auto-analisador de C e N total Carlo Erba EA 1108 – Finnigan MAT, Bremen, Alemanha).

### **3.4.2. Estimativa da Proporção de Carbono do Solo Derivado da Vegetação Nativa Original**

A proporção de carbono do solo na área de Pasto (C<sub>4</sub>), que ingressou no solo após a substituição da floresta e a abundância isotópica de <sup>13</sup>C original do solo foi calculada pela técnica desenvolvida por BALESIDENT et al. (1988). Para isso também foi determinada a abundância natural de <sup>13</sup>C do sistema radicular e da manta orgânica. Para os cálculos foi utilizada a média destes dois valores, uma vez que esses componentes são os principais precursores da matéria orgânica do solo. Das mesmas amostras usadas para a estimativa da matéria seca no sistema radicular e na manta orgânica nas diferentes áreas (Ver cap.1), foram retiradas amostras que depois de moídas finamente e pesadas, foram analisadas no espectrômetro de massa.

### **3.4.3. Estimativa dos Estoques de Carbono e Nitrogênio no Solo nas Áreas**

A quantidade de carbono e nitrogênio nas áreas foi estimada associando-se a massa de solo de cada camada com seu respectivo teor. A massa de solo foi corrigida com base no perfil de referência, como proposto por NEILL et al. (1997). Os valores de estoques de carbono e nitrogênio encontrados foram submetidos ao teste de normalidade de Cochran e Bartlett, utilizando o programa SAEG 5.0 (RIBEIRO JÚNIOR, 2001). Depois à análise de variância e comparadas pelo Teste “t” (Bonferroni), ao nível de 5% de significância, utilizando o programa SISVAR (FERREIRA, 2003).

### **3.4.4. Metodologia Utilizada para Medição de N<sub>2</sub>O**

A estimativa da emissão de N<sub>2</sub>O foi avaliada utilizando-se seis câmaras estáticas em cada área de estudo. Cada câmara é composta por uma base retangular de 40 x 60 cm de metal, com altura de 15 cm, inserida ao solo até 5 cm de profundidade, permanecendo no local durante todo período das avaliações. Durante o período de incubação esta base era tampada com uma chapa metálica de 45 x 65 cm, circundada por uma borracha pressionada contra a base com auxílio de quatro grampos de madeira. A amostragem foi realizada às oito horas da manhã, sendo o tempo de incubação de 40 minutos, a coleta do gás foi realizada com auxílio de uma bomba de vácuo. As amostras foram encaminhadas para determinação da concentração de N<sub>2</sub>O por cromatografia gasosa em um cromatógrafo a gás (Perkin Elmer, Autosystem), no laboratório de nitrogênio da Embrapa Agrobiologia.

As amostragens foram realizadas semanalmente, com intervalo médio de sete dias. Os resultados encontrados foram submetidos ao teste de normalidade de Cochran e Bartlett, utilizando o programa SAEG 5.0 (RIBEIRO JÚNIOR, 2001). Depois à análise de variância e comparadas pelo Teste “t” (Bonferroni), ao nível de 5% de significância, utilizando o programa SISVAR (FERREIRA, 2003).

### **3.4.5. Determinação da Temperatura do Solo, Percentual de Espaço Poroso do Solo Ocupado com Água e Teor de Nitrato do Solo.**

Desde o início do experimento, foram monitoradas a umidade gravimétrica e a temperatura do solo, nas diferentes áreas estudadas, para camada de 0-10 cm. Com os dados de densidade e porosidade do solo, calculou-se a saturação do espaço poroso com água, ou %EPSA, no período de amostragem, pela seguinte equação  $\%EPSA = (D_p / ((1 - D_s) / D_p)) * 100$ ,

onde:  $\theta$ = umidade gravimétrica,  $D_s$ = densidade do solo e  $D_p$ = densidade das partículas ( $2,65 \text{ kg dm}^{-3}$ ).

A extração do N mineral foi realizada pesando-se 25 g de solo úmido em frascos de vidro, contendo 100 ml de KCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$ . Após agitação, por 30 minutos, e repouso, determinou-se separadamente o teor de nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ). O nitrato foi determinado após o resfriamento, adicionado-se 0,2 g de liga Devarda (EMBRAPA, 1999). Todos os resultados relativos ao N mineral foram expressos em relação ao solo seco a  $105^\circ\text{C}$ .

#### **3.4.6. Equivalência em Carbono**

Os resultados de emissão de  $\text{N-N}_2\text{O}$  foram convertidos em  $\text{N}_2\text{O}$  e sua equivalência em termos de unidades de  $\text{C-CO}_2$  foi obtida para um intervalo de 100 anos, multiplicando-se a quantidade de  $\text{N}_2\text{O}$  por 310 (ROBERTSON & GRACE, 2004).

Os resultados encontrados foram submetidos ao teste de normalidade de Cochran e Bartlett, utilizando o programa SAEG 5.0 (RIBEIRO JÚNIOR, 2001). Depois à análise de variância e comparados pelo Teste “t” (Bonferroni), ao nível de 5% de significância, utilizando o programa SISVAR (FERREIRA, 2003).

### 3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.5.1. Características Químicas e Físicas do Solo sob Pasto, Mata e Eucalipto

Nas três áreas avaliadas observa-se uma baixa fertilidade química do solo, ao longo de todo o perfil, típica dos solos tropicais (NOVAIS & SMYTH, 1999), evidenciando haver similaridade entre os solos (Tabela 5). O solo sob Mata apresentou os maiores valores de pH,  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ , e conseqüentemente os menores valores de  $\text{Al}^{+3}$  em relação as demais áreas até os 40 cm de profundidade. Isso se deve provavelmente a maior ciclagem de nutrientes (GAMA-RODRIGUES et al. 2008) e a manutenção dos nutrientes na área, nos últimos 35 anos. Fato que não ocorre na área de Pasto devido a continua retirada da fitomassa aérea da pastagem pelo gado, ocasionando exportação de nutrientes para fora do sistema, sem a reposição de nutrientes via adubação, ocorrendo desse modo um empobrecimento do solo com o passar do tempo. No caso do Eucalipto a adubação para a implantação da área não ocasionou diferença em relação ao Pasto em decorrência da adubação ser localizada na cova de plantio. GAMA-RODRIGUES et al. (1999) avaliaram a fertilidade do solo em plantios florestais puros e mistos, em Porto Seguro-BA, e observaram com o estudo que nos plantios mistos a fertilidade do solo foi superior a dos plantios puros, atribuindo tal fato a diversidade de espécies do plantio misto que, por apresentarem diferentes exigências nutricionais, produzem uma serrapilheira de melhor qualidade. Observaram também diferenças na fertilidade do solo sob as diferentes espécies. Dessa forma a fertilidade é influenciada pela cobertura vegetal presente na área, já que cada espécie tem sua própria exigência nutricional.

**Tabela 5.** Fertilidade do solo ao longo do perfil, sob as diferentes áreas avaliadas, no município de Cruzeiro, SP

Prof. (cm)	Local	pH* Em H <sub>2</sub> O	Al <sup>+3</sup> * -----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----	Ca <sup>+2</sup> * -----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----	Mg <sup>+2b</sup> * -----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----	P* -----mg/dm <sup>3</sup> -----	K <sup>+</sup> * -----mg/dm <sup>3</sup> -----
0-20	Eucalipto	4,6	1,0	0,4	0,3	0,2	37,2
	Pasto	4,4	1,2	0,4	0,0	0,6	47,9
	Mata	5,2	0,5	2,2	0,5	0,1	44,9
20-40	Eucalipto	4,5	0,9	0,3	0,0	0,0	18,6
	Pasto	4,4	1,2	0,1	0,0	0,0	15,3
	Mata	5,0	0,5	1,5	0,4	0,0	19,9
40-60	Eucalipto	4,7	0,7	0,4	0,1	0,3	28,9
	Pasto	4,5	1,1	0,0	0,0	0,0	11,3
	Mata	4,6	0,7	0,2	0,2	0,0	20,0
60-80	Eucalipto	4,8	0,7	0,5	0,1	0,0	12,2
	Pasto	4,5	1,1	0,0	0,0	0,0	10,3
	Mata	4,8	0,9	0,1	0,1	0,0	19,3
80-100	Eucalipto	4,9	0,5	0,5	0,2	0,0	10,9
	Pasto	4,6	1,1	0,0	0,0	0,0	10,0
	Mata	4,8	0,6	0,3	0,1	0,0	19,6

\* valores médios de três repetições

Os valores de densidade do solo nas áreas de estudo estão apresentados na Tabelas 6. Entre as áreas, os valores de densidade do solo foram significativamente diferentes pelo teste

't' (Bonferroni) apenas nas duas camadas superficiais (0-5 e 5-10 cm). Nas demais camadas não foram observadas diferenças significativas, sendo que variações de densidade na camada superficial do solo são normais devido à influência de operações agrícolas, pisoteio animal, etc. As mínimas variações da densidade do solo nas camadas abaixo de 10 cm de profundidade são um indicativo de que as áreas de estudo estão localizadas em solos semelhantes, corroborando com os resultados da fertilidade.

**Tabela 6.** Densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) no perfil do solo (0-100 cm) sob as diferentes áreas avaliadas, no Município de Cruzeiro, SP

Prof. (cm)	Pasto	Mata ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	Eucalipto
0-5	1,31 a	1,17 b	1,35 a
5-10	1,37 a	1,25 b	1,36 a
10-20	1,37 a	1,33 a	1,41 a
20-40	1,44 a	1,43 a	1,51 a
40-60	1,47 a	1,45 a	1,52 a
60-80	1,36 a	1,41 a	1,48 a
80-100	1,34 a	1,40 a	1,42 a

\*Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste T (Bonferroni;  $P < 0,05$ ).

Os menores valores de densidade do solo foram observados na área de floresta. Este resultado era esperado, pois esta área não sofreu nenhum manejo do solo, bem como tráfego de máquina e animais, durante 35 anos. Juntamente com este aspecto, a maior diversidade da vegetação acarreta um aumento na atividade biológica e na diversidade dos organismos do solo, o que promove a descompactação do solo (ROSSI et al., 2006).

Na área de Pasto, o pastejo pode ter acarretado o aumento da densidade do solo nas camadas superficiais (VZZOTTO et al. 2000) e o plantio de eucalipto por quatro anos não modificou esse efeito.

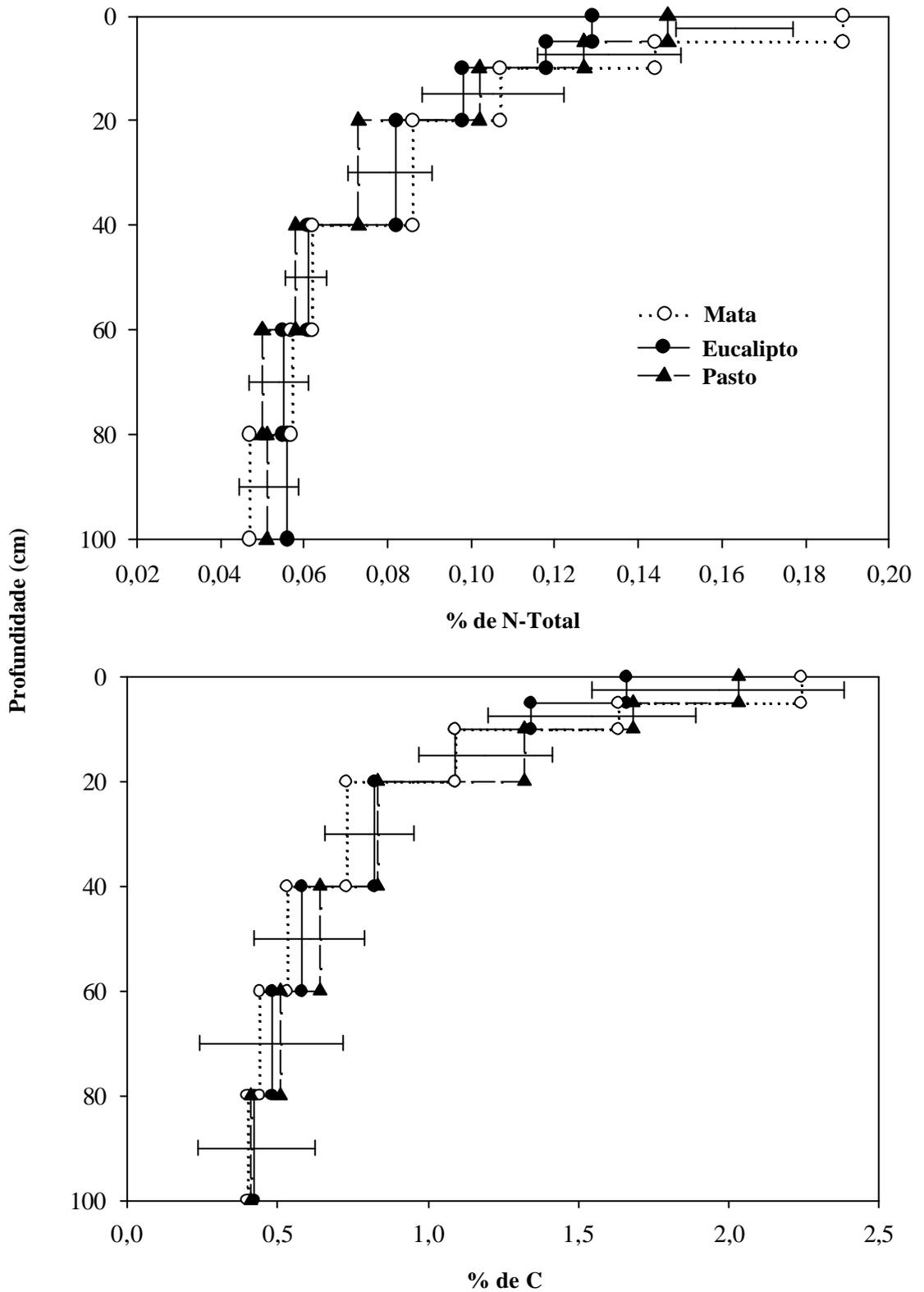
Nas áreas de estudo, a textura do solo é semelhante ao longo do perfil, aumentando gradualmente o teor de argila com a profundidade (Tabela 7). Observa-se assim que a textura do solo nas diferentes áreas corrobora com os resultados de densidade e fertilidade, indicando a semelhança do solo sob as três áreas de estudo, condição essencial para este tipo de estudo. Esta confirmação permite a comparação segura dos estoques de carbono e nitrogênio entre as três áreas avaliadas.

**Tabela 7.** Textura do perfil solo (0-100 cm) as diferentes áreas avaliadas, no município de Cruzeiro, SP

Prof. (cm)	Argila			Areia			Silte		
	Pasto	Mata	Eucalipto	Pasto	Mata	Eucalipto	Pasto	Mata	Eucalipto
	----- (g/kg) -----								
0-5	353	293	307	492	515	549	155	144	193
5-10	360	293	333	487	511	526	153	141	193
10-20	360	307	353	491	509	514	149	133	187
20-40	427	320	380	435	509	491	139	129	169
40-60	480	353	413	416	482	466	124	121	167
60-80	530	407	487	364	441	421	109	93	153
80-100	547	433	540	350	419	372	103	88	141

### **3.5.2. Teores e Estoques de Carbono e Nitrogênio Totais do Solo sob Pasto, Mata e Eucalipto**

Os teores de Carbono (C) e nitrogênio total (N-Total) do solo decresceram em profundidade, como esperado (Figura 9). Não houve diferenças significativas entre as áreas quanto aos teores de carbono do solo, porém foram observados maiores teores de N na área de Mata na camada de 0-5 cm. Essa maior concentração de nitrogênio provavelmente se deve ao fato da maior ciclagem de nutrientes na área de Mata, em decorrência da maior quantidade e menor relação C/N da manta orgânica. A área de Eucalipto apresentava uma quantidade de manta orgânica igual a da Mata, porém os menores teores de N do solo se devem, provavelmente, ao efeito de imobilização de N em sua serrapilheira, que segundo ANTUNES (2007), tem relação C/N maior que a da Mata. Em um estudo semelhante, na região de Butiá, RS, esse autor também verificou maiores teores de N no solo da Mata, na camada de 0-5 cm, em comparação as áreas de Eucalipto e Pasto. De fato, variações no tipo de solo e clima exercem efeito sobre a decomposição de resíduos vegetais. Em área de Cerrado, ADREÁ et al. (2004) não encontraram diferenças nos teores de C e N do solo comparando áreas de eucalipto, pasto e Cerrado nativo.



**Figura 9.** Concentração de Carbono (% C) e nitrogênio total (% N-Total) no perfil do solo em área de Mata, Eucalipto e Pasto, no município de Cruzeiro, SP. Barras horizontais representam a diferença mínima significativa para serem consideradas diferentes, pelo teste 't' (Bonferroni;  $P < 0,05$ ).

Os estoques de carbono, nitrogênio e a relação C/N, para as áreas de estudo são apresentados na Tabela 8. Para estes parâmetros não foram observadas diferenças significativas entre as áreas, tanto na camada superficial de 0-40 cm, como para todo o perfil (0-100 cm). Independente da área avaliada, aproximadamente 60% do estoque de carbono encontrava-se até a profundidade de 0-40 cm. Isso é decorrente da maior quantidade de resíduos, nutrientes e atividade biológica nas camadas superficiais. SOLIMONI et al. (2007) não observaram alterações nos estoques de carbono de camadas do solo entre 5 e 60 cm de profundidade em pastagens de 13 e 14 anos, em comparação a uma área de floresta, na Amazônia, sendo observada somente uma diferença na camada de 0 – 5 cm.

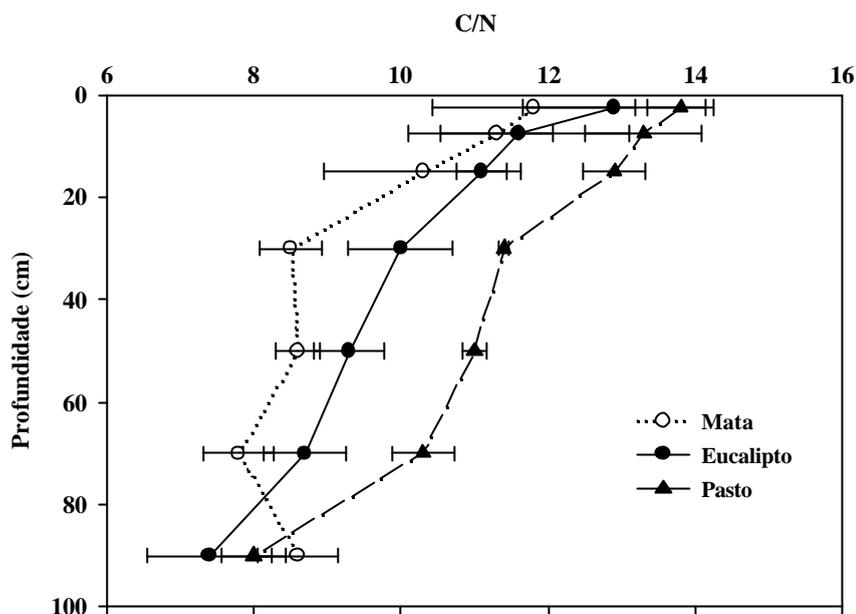
**Tabela 8.** Estoques de carbono, nitrogênio e relação C/N, no solo em área de Pasto, Eucalipto e Mata, para as camadas de 0-40 e 0-100 cm, no município de Cruzeiro-SP

Área	C (Mg ha <sup>-1</sup> )		N (Mg ha <sup>-1</sup> )		Relação C/N	
	0-40	0-100	0-40	0-100	0-40	0-100
Pasto	67,0 a	110,7 a	6,3 a	9,81 a	11	11
Eucalipto	60,7 a	97,7 a	5,7 a	10,23 a	11	10
Mata	58,7 a	101,3 a	5,9 a	10,61 a	10	10

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste t (Bonferroni; P < 0,05).

As quantidades observadas nos estoques de carbono dos sistemas avaliados são semelhantes aos estoques encontrados em outros trabalhos realizados em Latossolos. GATTO (2005), avaliando o estoque de carbono em cinco regiões do estado de Minas Gerais, encontrou estoques até 1 m de profundidade variando entre 95,1 e 183,7 Mg ha<sup>-1</sup>, em Latossolo Vermelho Amarelo, em áreas com reflorestamento com eucalipto. RANGEL & SILVA (2007), no município de Lavras, MG, encontraram estoques até 40 cm de profundidade, em um Latossolo Vermelho, sob diferentes usos, que variaram de 62,4 a 105,3 Mg ha<sup>-1</sup>. Essas variações são normais, já que como visto a fixação de carbono no solo depende de vários fatores, que são intrínsecos de cada local.

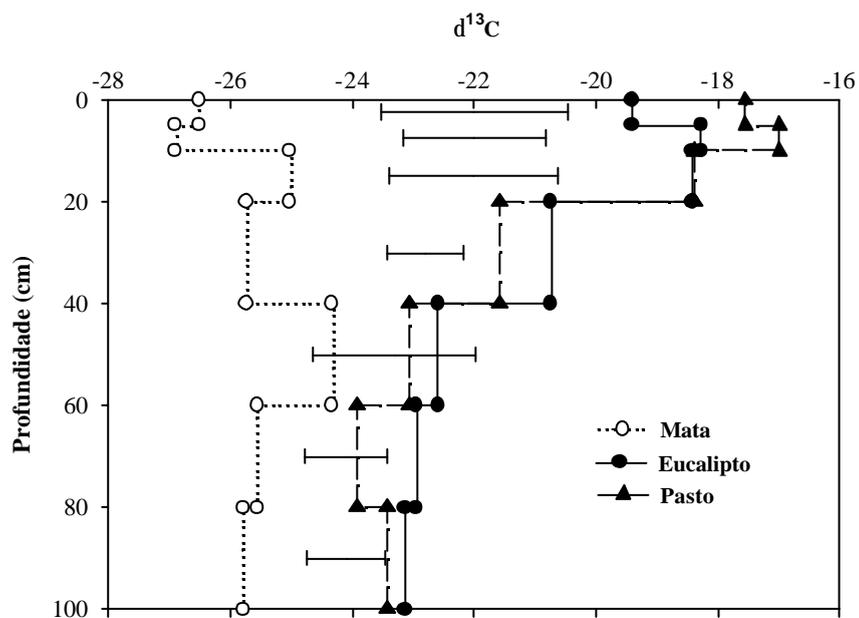
A relação C/N do solo, para a camada de 0-100 cm, variou entre 10 e 11, considerando-se os diferentes usos de solo. No entanto observa-se na Figura 10, que existe um decréscimo da relação C/N em profundidade, em função da existência da chamada fração leve da matéria orgânica, constituída por resíduos menos decompostos (BRADY, 1989). Entre as áreas estudadas, a relação C/N indica que a maior contribuição da fração leve ocorreu no pasto, provavelmente pela grande quantidade de liteira (REZENDE et al., 1999) e raízes (TRUJILLO et al., 2006) que são recicladas ao longo do ano.



**Figura 10.** Relação C/N ao longo do perfil do solo em área de Mata, Eucalipto e Pasto, no município de Cruzeiro, SP.

### 3.5.3. Abundância Natural de $d^{13}C$ do Carbono da Matéria Orgânica do Solo e Estimativa da Proporção de Carbono de Plantas C3 e C4 no Estoque e Carbono do Solo

Na Figura 11 é apresentado o resultado da abundância natural de  $d^{13}C$  do carbono da matéria orgânica (MO) do solo. Com exceção da camada de 40 – 60 cm, há diferenças significativas na abundância natural de  $d^{13}C$  entre as áreas. O solo sob floresta apresenta menores valores de delta, indicando que a contribuição de plantas  $C_3$  é maior.



**Figura 11.** Abundância natural de  $d^{13}C$  da matéria orgânica do solo nas áreas de estudo, no município de Cruzeiro, SP. Barras horizontais representam a diferença mínima significativa para serem consideradas diferentes, pelo teste t (Bonferroni;  $P < 0,05$ ).

Na área de Pasto os valores de  $d^{13}C$  são maiores nas camadas mais superficiais, indicando a contribuição de plantas C4 na MO do solo (SMITH & EPSTEIN, 1971). O valor médio da abundância natural de  $d^{13}C$  entre a manta orgânica e sistema radicular, para a área de Pasto foi de -11,7 e para Mata de -24,7, comprovando que a pastagem forneceu uma matéria orgânica mais enriquecida em  $^{13}C$  que a floresta secundária. Esse resultado é uma prova de que os resíduos do Pasto foram se decompondo, e o carbono derivado desta vegetação foi sendo incorporado ao solo com o passar dos anos, substituindo o C originário derivado de plantas C3. Mesmo nas camadas mais profundas houve um enriquecimento de  $^{13}C$ , menor que nas camadas superiores, já que a quantidade de biomassa de raízes, como observado no Capítulo 1 é menor nessas camadas. Além disso, o teor de argila aumenta em profundidade, considerando que o C associado à fração argila está fortemente aderido, a substituição do C natural do solo, será menor em camadas mais argilosas.

Para verificar a relação entre a composição isotópica do solo e a quantidade de matéria seca de raízes e teor de argila, foi feita uma análise de regressão linear múltipla, com os valores de delta, argila e matéria seca de cada camada, onde o delta (Y) foi a variável dependente, teor de argila (X1 - %) e matéria seca (X2 - Mg ha<sup>-1</sup>), as variáveis independentes. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 7. A análise mostrou que as variáveis independentes explicam grande parte do valor da composição isotópica do carbono do solo, sendo a variável argila significativa a 95 % de probabilidade e matéria seca do sistema radicular a 85 %. Com esse resultado sugere-se que a quantidade de argila no solo tem maior influência que a quantidade de matéria seca do sistema radicular, na mudança da composição isotópica do solo e que realmente em solos mais argilosos a substituição do carbono do solo seja menor. Esse resultado também foi observado por SOLIMON et al (2007), avaliando a substituição de áreas de floresta na Amazônia por pastagem em argissolos. Para o solo mais argiloso a substituição do carbono original do solo foi menor, a regressão entre teor de argila e  $^{13}C$  do solo foi significativa.

**Tabela 7.** Parâmetros do modelo, testado na análise de regressão múltipla, entre teor de argila, quantidade de matéria seca do sistema radicular e  $^{13}C$  do solo, na área de pastagem no município de Cruzeiro, SP

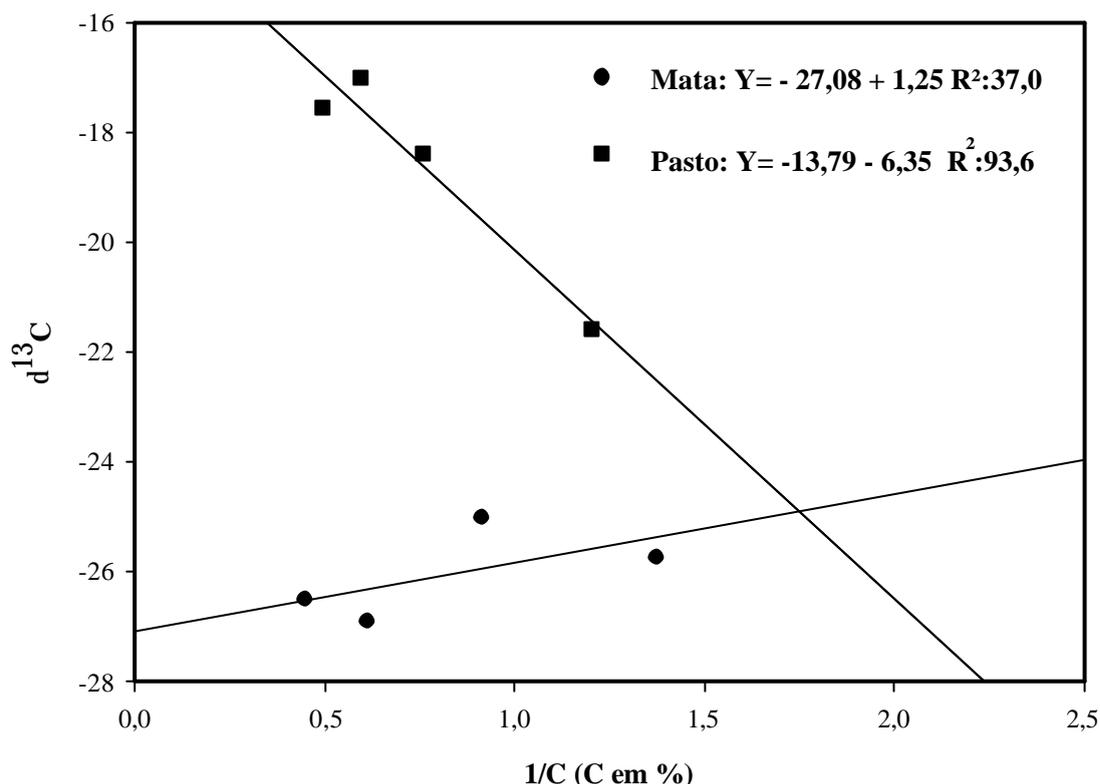
Modelo	b0	b1	b2	R <sup>2</sup>	CV(%)	F
Y=b0+b1X1+b2X2	-11,87*	-0,23*	0,48 <sup>⊗</sup>	80,2	5,68	35

\* Significativo a 95 % de probabilidade; <sup>⊗</sup> significativo a 85 % de probabilidade.

Na área de Eucalipto, a marcação de  $^{13}C$  não apresenta diferenças significativas da área de pastagem. Como sua implantação é recente (4 anos), o C da MOS ainda é composto em grande parte pelo C derivado da pastagem, que foi a cultura anterior nessa área. Já na área de Mata, a composição isotópica do carbono do solo parece ter voltado ao original, pois os valores de  $d^{13}C$  estão tendendo a valores observados em plantas C3, ao longo de todo o perfil. Considerando que o solo na área de floresta partiu de uma composição isotópica semelhante ao da pastagem, já que essa foi pasto por pelo menos 40 anos, o solo voltou ao seu delta original em 35 anos sob floresta.

O delta original da composição isotópica do solo foi estimado em -25 deltas pelo método de BALESIDENT et al. 1988 (Figura 12). Utilizando-se este valor como referência foi possível estimar que a incorporação do carbono derivado da pastagem na composição do estoque de carbono do solo foi de 53,5 %, 57,5 %, 47,5 % e 24,6 %, para as camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade. Observa-se uma diminuição da contribuição do estoque em profundidade, fato explicado anteriormente, em grande parte pelo teor de argila, que aumenta em profundidade; e a quantidade de matéria seca do sistema radicular, que

diminui em profundidade. Baseando-se em resultados e na literatura existente, ALVES et al. (2008) observaram que a substituição do carbono original do solo em solos de textura argilosa, ricos em óxidos de ferro e alumínio, é mais lenta principalmente em sistemas de manejo que revolvam pouco o solo. Uma grande parte do carbono original fica complexado nesses óxidos e protegido dentro dos agregados. SOLIMON et al (2007) encontraram contribuições das pastagens no estoque de carbono do solo em torno de 45 % (0-5 cm), 20 % (5-10 cm) e 10 % a 55 cm de profundidade, mesmo padrão de contribuição encontrado no presente trabalho.



**Figura 12.** Regressões do inverso dos teores de carbono total (% C) versus a abundância de <sup>13</sup>C das amostras de solo de Mata e Pasto, nas diferentes camadas entre 0-40 cm de profundidade, no município de Cruzeiro, SP.

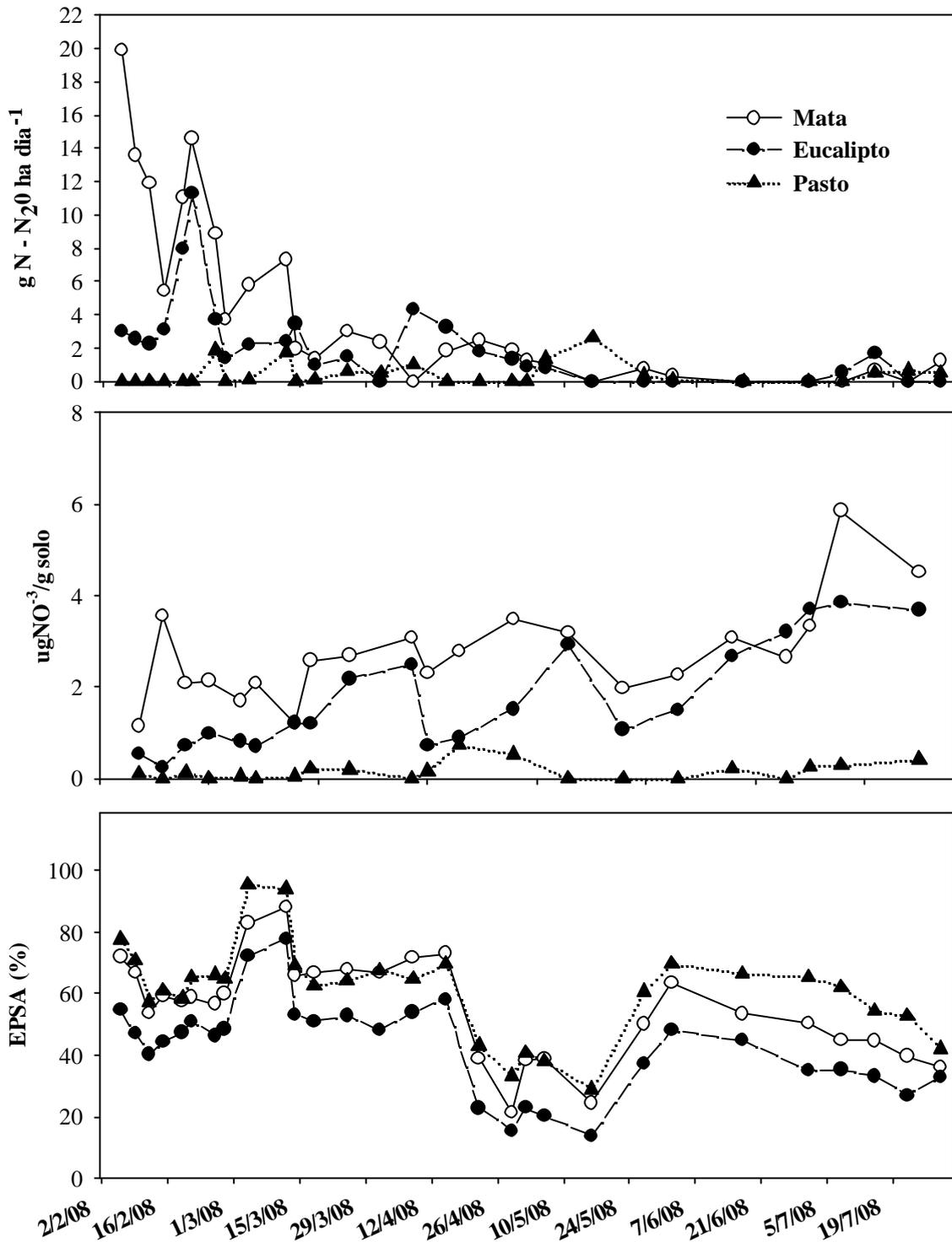
As contribuições do Pasto no estoque de carbono do solo são apresentadas na Tabela 9, considerando que o Pasto ocupa a área há 88 anos, a taxa média de substituição da matéria orgânica foi de 0,32 Mg ha ano<sup>-1</sup>, até a profundidade de 40 cm, vale lembrar que esse valor não é linear. Até os 20 cm de profundidade aproximadamente 53 % do estoque de carbono do solo pode ser renovado, ou seja, está mais facilmente passível de sofrer alterações. Desse modo, em sistemas pouco conservacionistas, 50 % do estoque de carbono pode ser mais facilmente perdido até essa profundidade, que é a parte mais influenciada pelas práticas de manejo. Neste estudo onde os sistemas manejo empregados foram de baixo impacto, não houve perdas de carbono até o momento, ocorrendo apenas a renovação de parte do estoque de carbono do solo.

**Tabela 9.** Composição isotópica, estoque de carbono e contribuição no estoque de carbono de uma pastagem no solo, até a profundidade de 40 cm, no município de Cruzeiro, SP

Intervalo (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ do solo (‰)	Total C (Mg ha <sup>-1</sup> )	Mg C ha <sup>-1</sup> derivado	
			C3	C4
0 – 5	-17,55	13,57	6,31	7,26
5 – 10	-16,99	11,56	4,91	6,65
10 – 20	-18,39	18,07	9,49	8,57
20 – 40	-21,58	24,01	18,12	5,90
<b>Total</b>		<b>67,20</b>	<b>38,83</b>	<b>28,37</b>

### 3.5.4. Emissão de Óxido Nitroso do Solo sob Pasto, Mata e Eucalipto.

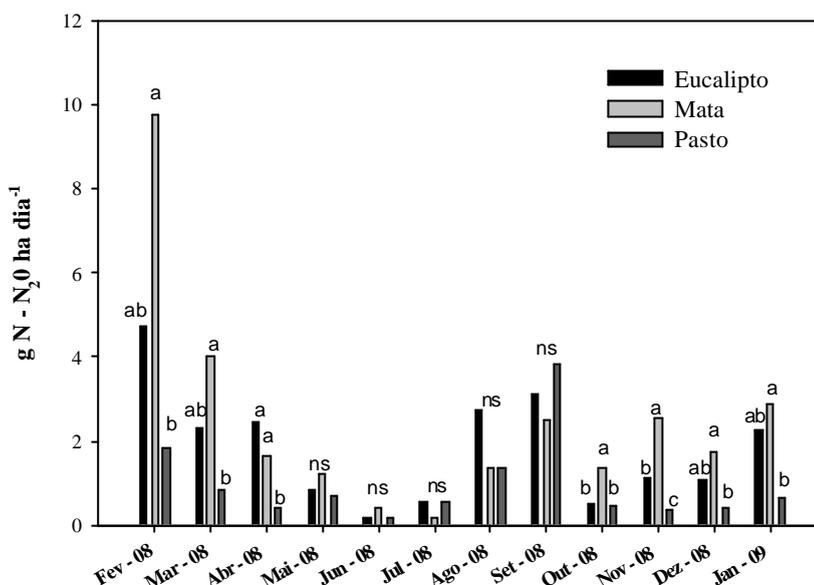
Na Figura 13 são apresentados os resultados dos fluxos de N<sub>2</sub>O, espaço poroso do solo ocupado com água (EPSA), teores de nitrato no solo, para as áreas de Pasto, Mata e Eucalipto, no período de 06/02/08 a 16/05/08. Observa-se na figura que os maiores fluxos são na área de Mata, onde também são encontrados os maiores teores de NO<sup>-3</sup>. As emissões na área de Eucalipto foram intermediárias às áreas de Mata e de Pasto, já que os teores de NO<sup>-3</sup> foram intermediários e EPSA foi a menor das três áreas. As menores emissões foram encontradas na área do Pasto, onde os teores de NO<sup>-3</sup> foram mais baixos, próximo à zero. Até o dia 24/05/08, observa-se que as emissões nas áreas acompanham os teores de NO<sup>-3</sup> do solo. A partir desse ponto, os teores aumentam, mas as emissões são menores, o que pode ser explicado em decorrência da diminuição da umidade do solo, e conseqüentemente de uma menor EPSA, e também observa-se a diminuição da temperatura (Figura 15) pela chegada do inverno reduzindo assim a atividade microbiana (VELTHOF & ONEMA, 1995; DAVIDSON & VERCHOT, 2000; DOBBIE & SMITH, 2001; JANTALIA, 2005). Como comentado, as emissões N<sub>2</sub>O são muito dependentes dos teores NO<sup>-3</sup> do solo e da umidade, já que a redução do NO<sup>-3</sup> a N<sub>2</sub>O ocorre principalmente em ambientes com pouca disponibilidade de O<sub>2</sub>, que levam os microorganismos do solo a utilizarem o O<sub>2</sub> do NO<sup>-3</sup>, como fonte de O<sub>2</sub>.



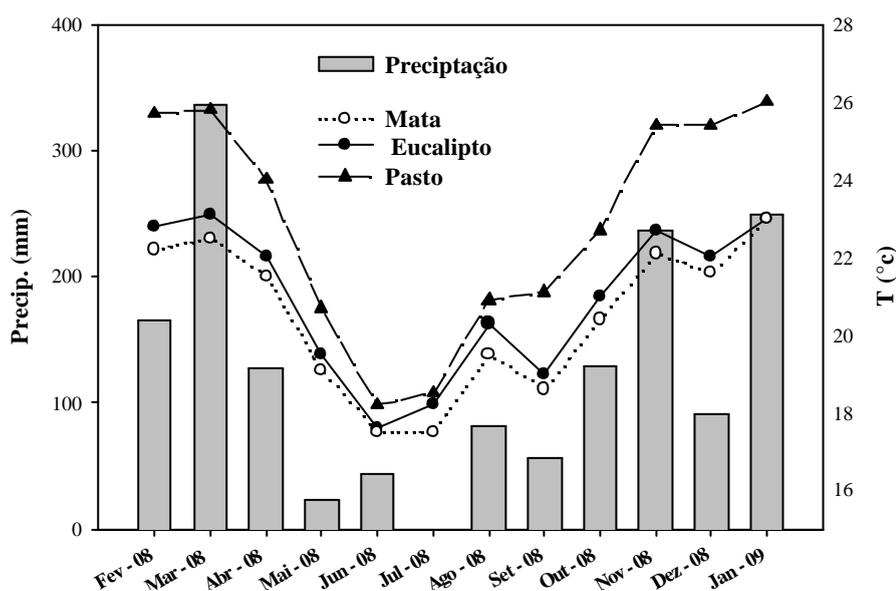
**Figura 13.** (a) Emissão de  $N_2O$ , (b) teores de  $NO_3^-$  e (c) EPSA do solo, em área de Mata, Eucalipto e Pasto, no município de Cruzeiro, SP.

Nos meses de fevereiro a abril (Figura 14), as maiores emissões médias foram observadas em área de Mata. Essas não diferem significativamente da área de Eucalipto, mas são superiores a área de Pasto. O Eucalipto, por sua vez, nesses três meses só apresentou diferença para área de Pasto no mês de abril. Entre maio e setembro, não há diferenças

significativa nas emissões médias entre as áreas, onde os fluxos mais baixos ocorreram no mês de junho e julho, fato explicado pela baixa disponibilidade de água no solo, já que esses meses são os de menor precipitação e de temperatura mais baixa (Figura 15) (DOBBIE et al., 1999; SKIBA & SMITH, 2000; DAVIDSON et al., 2001; JANTALIA, 2005). Em agosto e setembro se observa um aumento na emissão, explicado pelo aumento da temperatura e precipitação (Figura 15). De outubro a janeiro, volta-se a observar diferenças significativas entre as áreas, com o mesmo padrão observado no início de 2008.



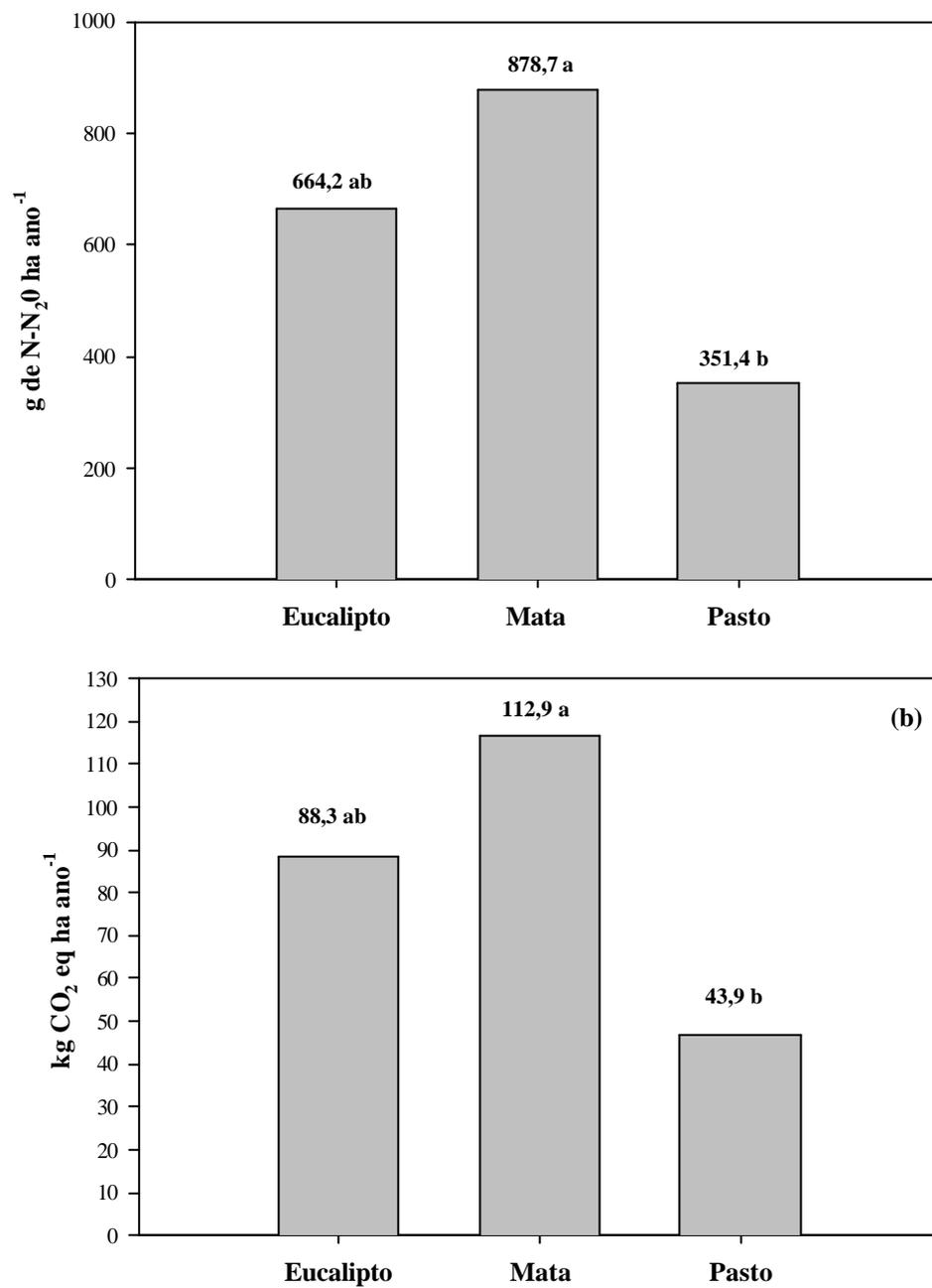
**Figura 14.** Emissão média mensal de N<sub>2</sub>O em área de Eucalipto, Mata e Pasto, no município de Cruzeiro, SP. Colunas no mesmo mês com letras iguais não diferem entre si pelo teste t (Bonferroni; P < 0,05).



**Figura 15.** Precipitação mensal na cidade de Cruzeiro – SP (Fonte: INPE) e temperatura do solo na profundidade de 0-10 cm, em área de Mata, Eucalipto e Pasto, no município de Cruzeiro, SP.

Na Figura 16, estão apresentadas as emissões anuais em g N-N<sub>2</sub>O ha e kg de C -CO<sub>2</sub> equivalente, o maior valor foi encontrado na área de Mata, mas esse difere apenas da área de Pasto. O Eucalipto apresentou valor intermediário que não diferiu das demais áreas. Os valores de 878,7 g N - N<sub>2</sub>O ha ano<sup>-1</sup> na Mata, 664,2 g no Eucalipto e 351,4 g no Pasto, estão na faixa encontradas em outros trabalhos. JANTALIA, (2005) encontrou emissão de 671 e 630 g N - N<sub>2</sub>O ha ano<sup>-1</sup>, para os anos de 2003 e 2004, em uma área de floresta nativa, em Passo Fundo, RS. DAVIDSON et al.,(2001) revisando trabalhos sobre emissão de N<sub>2</sub>O do solo, observou que em florestas primárias da Amazônia as emissões ficam entre 1,4 e 2,4 kg N - N<sub>2</sub>O ha ano<sup>-1</sup>, em nível mundial as emissões em florestas tropicais variam de 0,3 a 6,7 kg N - N<sub>2</sub>O ha ano<sup>-1</sup>. Em pastagem na região Amazônica as emissões ficam entre 0,2 e 3 kg N - N<sub>2</sub>O ha ano<sup>-1</sup>.

Esses valores de emissão encontrados representam uma emissão C-CO<sub>2</sub> equivalente de 112,9, 88,3 e 43,9 kg ha, para a Mata, Eucalipto e Pasto, respectivamente. Com esses resultados observa-se que a mudança no uso do solo alterou a emissão de N<sub>2</sub>O nas áreas. Já no estoque de carbono do solo não ocorreram mudanças, mas é importante que esse compartimento seja avaliado, como visto, em sistemas menos conservacionistas as alterações podem ser significativas. No Capítulo. 1 observou-se que as áreas de Mata e Eucalipto apresentam um ganho de carbono significativo em sua fitomassa, que neutralizam as perdas de N<sub>2</sub>O, diminuindo pouco o ganho obtido na fitomassa. Já o Pasto por ter uma fitomassa estável, não consegue neutralizar essa emissão, atuando como fonte de C.



**Figura 16.** Emissão anual em g de N – N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (a) e em kg de C equivalente ha<sup>-1</sup>(b), em área de Eucalipto, Mata e Pasto, no município de Cruzeiro, SP. Barras seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste t (Bonferroni; P < 0,05).

### 3.6. CONCLUSÕES

Nas áreas avaliadas aproximadamente 60 % do estoque de carbono do solo encontra-se nos primeiros 40 cm de profundidade.

Nas condições avaliadas não ocorreram mudanças significativas no estoque de C e N do solo após 35 anos da regeneração da mata e 4 anos do plantio de eucalipto em substituição a área de pasto.

Em 35 anos de regeneração natural, a floresta secundária substituiu todo carbono fornecido pela pastagem.

A mudança de uso do solo alterou as emissões de  $N_2O$  do solo. A maior emissão foi observada na área de mata, com a perda de  $878,7 \text{ g N} - N_2O \text{ ha ano}^{-1}$ , seguida da área de Eucalipto com  $664,2 \text{ g N} - N_2O \text{ ha ano}^{-1}$  e Pasto  $351,4 \text{ g N} - N_2O \text{ ha ano}^{-1}$ .

#### 4. CONCLUSÕES GERAIS

Com o objetivo de interpretar e buscar um entendimento global dos resultados obtidos nos dois capítulos desta dissertação foi confeccionada a Tabela 10. São apresentados os resultados em ganho/perda líquido no estoque de carbono na fitomassa e no solo, bem como as perdas de N<sub>2</sub>O convertidas em C-CO<sub>2</sub> equivalente observadas em cada área. Para obter estes valores nas áreas florestais foi descontada a quantidade de C estocada em cada compartimento da área de Pasto, que serviu como referência. Esses valores mostram que a principal mudança no estoque de carbono ocorre na fitomassa. Para as condições avaliadas, não ocorreram mudanças nos estoques de carbono e nitrogênio do solo, até o momento. Provavelmente a taxa de deposição e decomposição líquida de resíduos nas áreas de mata e pasto são semelhantes, já que os estoques de carbono no solo não foram diferentes.

As emissões de N<sub>2</sub>O no solo sob Mata são superiores a área de Pasto, mas quando comparada à quantidade de N<sub>2</sub>O perdida em C equivalente, esse valor é muito baixo comparado à quantidade de C fixada na fitomassa da Mata. Porém, com o avanço do estado sucessional da Mata para clímax, ela funcionará como fonte de emissora de N<sub>2</sub>O. Se essa Mata com apenas 35 anos de regeneração fosse queimada hoje e substituída por uma pastagem, por exemplo, seriam necessários aproximadamente 800 anos para que o Pasto neutraliza-se as 56 Mg de C da fitomassa, com sua menor emissão de N<sub>2</sub>O. Só a partir daí o Pasto começaria a atuar como dreno de C, desse modo não se justifica a substituição da Mata por pastagem.

As emissões na área de Eucalipto foram intermediárias, sugerindo que a substituição de uma pastagem por eucalipto não traz impacto na emissão de N<sub>2</sub>O do solo e seu plantio fixa grande quantidade de carbono na fitomassa.

**Tabela 10.** Balanço de C considerando os diferentes componentes avaliados, em área de Mata, Eucalipto e Pasto, no município de Cruzeiro, SP

Local	Ganho Líquido	Ganho Líquido no	Perdas por emissão de	Saldo
	Fitomassa	Solo	N <sub>2</sub> O	
	-----Mg C ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> -----			
<b>Mata</b>	1,6	0	0,113	1,487
<b>Eucalipto</b>	6,1	0	0,088	6,012
<b>Pasto</b>	0	0	0,044	-0,044

A pequena idade do reflorestamento com eucalipto e mesmo a área de regeneração natural mostra que a mudança do uso da terra contribui para a mitigação do efeito estufa, retirando da atmosfera e incorporando na fitomassa grande quantidade de carbono. Considerando os usos da terra mais frequentes no Vale do Paraíba, suas extensões e os resultados aqui encontrados, essa região apresenta grande potencial para abrigar projetos de MDL ou outros tipos que permitam o comércio de créditos de carbono.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIA. Avaliação ambiental integrada dos aproveitamentos hidrelétricos da bacia do rio Paraíba do Sul, 2005. Disponível em: <http://epe.gov.br/Lists/MeioAmbiente/Attachments/7/TR%20AAI%20Rio%20Doce.pdf>  
Acesso em: 20 agosto 2007.
- AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Plantas de cobertura em sistemas agrícolas. In: ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; AITA, C. BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; CAMARGO, F.O. (Eds). **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no seqüestro de carbono e nas emissões de gases de efeito estufa**. Genesis, Porto Alegre, 2006. 216p.
- ALMEIDA, J.C.C.; PÁDUA, F.T.; ROCHA, N.S.; SILVA, T.O.; NEPOMUCENO, D.D.; CHAVES, P.L. Produção e Composição químico-bromatológica da grama-batatais (*Paspalum notatum* Flüggé) dos gramados do Campus da UFRRJ. **Rev. Univ. Rural**, Sér. Ci. da Vida, v. 26, n. 2, p. 00-00, 2006.
- ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C.P.; BODDEY, R. Dinâmica do carbono em solos sob pastagens. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L S.; CANELLAS, L P.; CAMARGO, F. A.O. (Org.). **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. 2 ed. Porto Alegre: Metropole, 2008, v. 1, p. 561-569.
- ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p179-186, 2004.
- ANTUNES, L.O. **Estoque e labilidade da matéria orgânica em um argissolo sob sistemas de produção de eucalipto**. 2007. 84f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, 2007.
- APREMAVI. Mata Atlântica. Disponível em: <http://www.apremavi.org.br/pmatatlantica.htm>  
Acesso em: 12 março. 2007.
- BAGGS, E.M.; WATSON, C.A. The fate of nitrogen from incorporated crop and green manure residues. **Nutr. Cycl. Agroecos.**, v.56, p.153-163, 2000.
- BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M.V.; WATZLAWICK, L.F.; SANQUETTA, C.R. Inventário do carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.5, n.1, p.59-68, 2002.
- BALESDENT, J.; WAGNER, G.H.; MARIOTTI, A. Soil organic matter turnover in long-term field experiments as revealed by carbon-13 natural abundance. **Soil Science Society American Journal**, v. 52, p. 118-124, 1988.
- BARBOSA, L.M.; BARBOSA, J.M.; BARBOSA, K.C.; POTOMATI, A.; MARTINS, S.E.; ASPERTI, L.M.; MELO, A.C.G.; CARRASCO, P.G.; CASTANHEIRA, S.A.; PILIACKAS, J.M.; CONTIERI, W.A.; MATTIOLI, D.S.; GUEDES, D.C.; SANTOS JÚNIOR, N.; SILVA, P.M.S.; PLAZA, A.P. Recuperação florestal com espécies nativas no Estado de São Paulo: pesquisas apontam mudanças necessárias. **Florestar Estatístico**, v. 6, n. 14, p. 28-34, 2003.

- BAYER, C.; COSTA, F.S.; GOMES, J.; LIMA, M.A.; FRIGHETTO, R.T.; MACEDO, V. Mitigação das emissões de metano em lavouras de arroz irrigado. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo., 2007, Gramado-RS. **Anais...CD-ROM**.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J; NETO-MANTIR, L.; ERNANI, P.R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on subtropical soil. **Plant and Soil**, v.238, p.133-140, 2002.
- BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDNER, L.P.; ERNANI, P.R.; ALBURQUEQUE, J.A. Incremento de carbono e nitrogênio num latossolo pelo uso de plantas estivas para cobertura do solo. **Ciência Rural**, v. 33, n. 3, p.469-475, 2003.
- BERNOUX, M.; CARVALHO, M.C.S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. Brazil's Soil Carbon Stocks. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p. 888-896, 2002.
- BLUE, W.G. Response of pensacola Bahiagrass (*Paspalum notatum* Flüggé) to fertilizer nitrogen on an Entisol and Spodosol in North Florida. **Soil and Crop Sci. Soc. Fla. Proc**, v.47, p. 135-139, 1988 a.
- BLUE, W.G. Response of pensacola Bahiagrass on Florida Spodosol to nitrogen sources and times of application. **Soil and Crop Sci. Soc. Fla. Proc**, v.47, p. 139-142, 1988 b.
- BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. Freitas Bastos, Rio de Janeiro, 1989. 898 p.
- BREMNER J. M. AND MULVANEY C. S. Nitrogen - Total. In: A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney. **Methods of Soil Analysis, Part 2**. Chemical and microbiological Properties., Madison:American Society of Agronomy, Inc., 1982, p. 595-641
- BRITEZ, R.M.; BORGIO, M.; FERRETTI, A.; CALMON, M.; HIGA, R. **Estoques e incremento de carbono em florestas e povoamentos de espécies arbóreas com ênfase na Floresta Atlântica do Sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006, 165 p.
- BROWN, S., GILLESPIE, A.J.R. & LUGO, A.E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, v.35, p.881-902, 1989.
- BROWN, S. & LUGO, A. E. Tropical secondary forests. **J. Trop. Ecol**, v.6, p.1-32. 1990.
- BURGER, D.M. **Fitomassa e mineralomassa da Mata Ciliar do Rio Mogi Guaçu, Itapira**. 1997. 125f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Instituto de Biociências. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- BUSTAMANTE, M.M.C.; CORBEELS, M.; SCOPEL, E.; ROSCOE, R. Soil carbon storage and sequestration potential in the Cerrado Region of Brazil. In: In:LAL, R.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, E. (eds). **Carbon sequestration in soil of Latin America**. FPP, New York, 2006. 554p.
- CAIRNS, M.A; BROWM, S; HELMER, E.H.; BAUMGARDNER, G. A. Root biomass allocation in the world's upland forests. **Oecologia**, Berlin, v. 111, n. 1, p.1-11, 1997.
- CAMPOS, D.V.B.; BRAZ, S.P.; SANTOS, G.A.; LIMA, E.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. Mudança no conteúdo de matéria orgânica do solo sob a cultura de cana-de-açúcar e pastagem em argissolo de Conceição da Barra – ES. . Seropédica: EMBRAPA-CNPBS, 2004. 4p. (**Circular Técnica, 10**).

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p.935-944, 2003.

CARMO, C.A.F.S., MANZATTO, C.V.; ALVARENGA, A.P.; TOSTO, S.G.; LIMA, J.A.S.; KINDEL, A.; MOTTA, F. Biomassa e estoque de carbono em seringais implantados na Zona da Mata de Minas Gerais. In: ALVARENGA, A.P.; CARMO, C.A.F.S. **Seqüestro de carbono: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural**. UFV, Viçosa, 2006, 352p.

CARVALHO JR, J.A.; SANTOS, J.M.; SANTOS, J.C.; LEITÃO, M.M.; HIGUCHI, N. A Tropical Rainforest Clearing Experiment by Biomass Burning in the Manaus Region. **Atmospheric Environment**, v.29, n.17, p. 2301-2309, 1995.

CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C.; FEIGL, B.J.; PÍCCOLO, M.C.; GODINHO, V.P. Emissão de Gases do Efeito Estufa em Áreas sob Cultivo na Amazônia. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo., 2007, Gramado-RS. **Anais...CD-ROM**.

CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C.; FEIGL, B.J.; PÍCCOLO, C.; GODINHO, V.P. CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Aquecimento na agricultura. Disponível em:<[http://arruda.rits.org.br/oeco/reading/oeco/reading/pdf/agricultura%20 e aquecimento%20global.pdf](http://arruda.rits.org.br/oeco/reading/oeco/reading/pdf/agricultura%20e%20aquecimento%20global.pdf)>. Acesso em: 20 agosto 2007.

CERRI, C. C., CERRI, C. E. P. Agricultura e Aquecimento Global. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 32 (1), p. 40-44, 2007.

CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; RONDÓN, M.A. Potential of soil carbon sequestration in the Amazonian Tropical Rainforests. In:LAL, R.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, E. (Eds). **Carbon sequestration in soil of Latin America**. FPP, New York, 2006. 554p.

COSTA, A.R.; MADARI, B.E; MACHADO, P.L.A.O.;JANTALIA, C.P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R. Emissão de óxido nitroso derivada da cultura de arroz de terras altas sob plantio direto em um latossolo dos Cerrados de Goiás. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 2007, Gramado-RS. **Anais...CD-ROM**.

DAVIDSON, E.A.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PINTO, A.S. Emissions of nitrous oxide and nitric oxide from soils of native and exotic ecosystems of the Amazon and Cerrado regions of Brazil. **The Scientific World**, v.1, p.312-319. 2001.

DAVIDSON, E.A.; VERCHOT, L.V. Testing the hole in the pipe model of nitric and nitrous oxide emissions from soils using the TRAGNET database. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 14, p.1035-1043. 2000.

DEWAR, R.C.; CANNELL, M.G.R. Carbon sequestration in the trees, products and soils of forest plantations: an analysis using UK examples. **Tree Physiology**, v.11, n.1, p.49-71, 1992.

DIECKOW, J.; BAYER, C.; NETO-MANTIR, L.; MIELNICZUK, J. Sistemas conservacionistas de preparo do solo e implicações no ciclo do carbono. São Carlos: EMBRAPA-CNPDA, 2004. 17p, (**Documentos, 12**).

DOBBIE K. E.; SMITH K. A. The effects of temperature, water-filled pore space and land use on N<sub>2</sub>O emissions from an imperfectly drained gleysol. **European Journal of Soil Science**, v.52, p.667 –673. 2001.

DOBBIE, K.E.; MCTAGGART, I.P.; SMITH, K.A. Nitrous oxide emission from intensive agricultural systems: variations between crops and seasons, key driving variables, mean emission factors. **Journal of Geophysical Research**, v.104, p.26891-26899, 1999.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 212p., 1997.

ESCOBAR, L.F. **Emissão de gases de efeito estufa em sistemas de manejo em solo do planalto médio do Rio Grande do Sul**. 2008. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Santa Maria, 2008.

FEIGL, B.J. **Dinâmica da matéria orgânica do solo na sucessão floresta/pastagem na Amazônia (Rondônia)**. 1994. 68f. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

FERNADES, F.A.; CERRI, C.C.; FERNANDES, A.H.B.M Alterações na matéria orgânica de um podzol hidromórfico pelo uso com pastagens cultivadas no Pantanal Mato-Grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.1943-1951, 1999.

FERREIRA, D. F. SISVAR 4. 6 **Sistema de Análises Estatísticas**. Lavras: UFLA, 2003. n.p.

FOX, O.; VETTER, S.; EKSCHMITT, K.; WOLTERS, V. Soil fauna modifies the recalcitrance-persistence relationship of soil carbon pools. **Soil Biology & Biochemistry**, v.38, p.1353-1363, 2006.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F.; MENDONÇA, E.S. Alterações edáficas sob plantio puros e misto de espécies florestais nativas do sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.581-592, 1999.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F. Balanço de carbono e nutrientes em plantio puro e misto de espécies florestais nativas no Sudeste da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1165-1179, 2008.

GATTO, A. **Estoques de carbono no solo e na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do Estado de Minas Gerais**. 2005. 73f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

GOÇALVES, J.L.M.; MELLO, S.L.M. O sistema radicular das árvores. In: GOÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Eds). **Nutrição e fertilização florestal**. IPEF, Piracicaba, 2000, p.427.

GOMES, J.M. **Aporte de serrapilheira e nutrientes em fragmentos florestais da Mata Atlântica, Rio de Janeiro**. 2006, 55p. Monografia de Conclusão (Curso em Engenharia Florestal). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

GRAUPE, F.A.; SILVA, L.S.; BAYER, C.; BUNDT, A.C.; LIMA, M.A.; POCOJESKI, E. Efluxo de metano (CH<sub>4</sub>) em dois solos do RS sob cultivo de arroz irrigado por alagamento. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo., 2007, Gramado-RS. **Anais...CD-ROM**.

GRISE, M.M. **Partição da biomassa e de nutrientes na pastagem de *Bahiagrass cv. Pensacola* em diferentes sistemas de manejo com novilhos**. 2005. 150f. Tese (Doutorado

em Agronomia. Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

GUARINO, E.S.; MEDEIROS, M.B. Levantamento da fitomassa arbórea e herbáceo-arbustiva da área de influência direta do aproveitamento hidrelétrico Corumbá IV (GO). Brasília: **EMBRAPA-CENARGEN**, 2005. 20p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 84).

HIGUCHI, N.; SANTOS, J. DOS; RIBEIRO, R. J.; MINETTE L. E BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. **Acta Amazônica**, v.28, n.2, p.153-166, 1998.

IPCC. Cambio climático: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suíça, 104 p, 2007.

JANTALIA, C.P. **Estudo de sistemas de uso do solo e rotações de culturas em sistemas agrícolas brasileiros: dinâmica de nitrogênio e carbono no sistema solo - planta - atmosfera**. 2005. 137f. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Instituto de Fitotecnia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2005.

JANTALIA, C.P.; ZOTARELLI, L.; SANTOS, H.P.; TORRES, E.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R. Em busca da mitigação da produção de óxido nitroso em sistemas agrícolas: avaliação das práticas usadas na produção de grãos no Sul do país. In: ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; AITA, C. BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; CAMARGO, F.O. (Eds). **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no seqüestro de carbono e nas emissões de gases de efeito estufa**. Genesis, Porto Alegre, 2006. 216p.

KINDEL, A. A fragmentação real: heterogeneidade de remanescentes florestais e valor indicador das formas de húmus. Rio de Janeiro: UFRJ. 2001. 188 f, (**Tese de Doutorado**).

KINDEL, A.; CARMO, C.A.F.S.; LIMA, J.A.S.; SIMÕES, B.; ALVARENGA, A.P.; PÉREZ, D.V. Ciclagem de nutrientes e estoques de carbono na serrapilheira de seringueira e fragmentos da Mata Atlântica. **Seqüestro de carbono: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural**. UFV, Viçosa, 2006, 352p.

LAL, R. Soil carbon sequestration in Latin America. In:LAL, R.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, E. (eds). **Carbon sequestration in soil of Latin America**. FPP, New York, 2006. 554p.

LIMA E, BODDEY R M, Quantification of biological nitrogen fixation associated with sugar cane using a <sup>15</sup>N aided nitrogen balance, **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, p.165-170. 1987.

LIMA, M.A.; BOEIRA, R.C.; BARRETO, A.J.; CASTRO, V.L.S.S.;LIGO, M.A.V.; CABRAL, O.M.R.; VIEIRA, R.F. Estimativas das emissões de gases de efeito estufa provenientes de atividades agrícolas no Brasil. In: LIMA, M.A.; CABRAL, O.M.R.; MIGUEZ, J.D.G. (eds) **Mudanças climáticas globais e a agropecuária Brasileira**. EMBRAPA, Jaguariúna-SP, 2001. 397p.

LIMA, J.A.S.; KINDEL, A.; CARMO, C.A.F.S.; MOTTA, P.E.F. Composição, estrutura e biomassa de fragmentos florestais. **Seqüestro de carbono: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural**. UFV, Viçosa, 2006, 352p.

MADDOCK, J.E.L.; SANTOS, M.B.P.; PRATA, K.R. Nitrous oxide emission from soil of the Mata Atlântica, Rio de Janeiro State, Brasil. **Journal of Geophysical Research**, v. 106, n. 106, p.23,055-23,060, 2001.

MARENGO, J.A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. MMA, Brasília, 2006. 212p.

MARTINS, S.V.; COUTINHO, M.P.; MARAGON, L.C. Composição florística e estrutura de uma floresta secundária no município de Cruzeiro-SP. **Revista Árvore**, v.26, n.1, p.35-41, 2002.

MCT. Emissões e remoções de dióxido de carbono por conversão de florestas e abandono de terras cultivadas, 2004. Disponível em: [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8851.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8851.pdf)  
Acesso em: 20 agosto 2007.

MELLO, F.F.C. **Avaliação do estoque e composição isotópica do carbono do solo no Acre**. 2003. 73f. Dissertação. (Mestrado) - Piracicaba:Esalq/USP, São Paulo. 2003.

MELLO, F.F.C.; CERRI, C.E.P.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. Potential of soil carbon sequestration for the Brazilian Atlantic Region. In: In:LAL, R.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, E. (eds). **Carbon sequestration in soil of Latin America**. FPP, New York, 2006. 554p.

MONTERO, L.L. Carbono em solos do cerrado: efeitos do uso florestal (vegetação nativa de cerradão, versus plantio de *Eucalyptus* e *Pinus*). São Paulo:USP, 2008, 130p. **Tese de Doutorado**.

MORAIS, R.F. **Potencial produtivo e eficiência da fixação biológica de nitrogênio de cinco genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), para uso como fonte alternativa de energia, RJ**. 2008. 73f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B. & KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v.403, p. 853-858, 2000.

NEILL, C. et al. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. **Ecological Applications**, v.7, n.4, p.1216-1225, 1997.

NETO, M.S. **Estoque de carbono e nitrogênio do solo com diferentes usos no Cerrado em Rio Verde (GO), SP**. 2006. 159f. Tese (Doutorado em CIÊNCIAS (ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA) - Piracicaba:Esalq/USP, São Paulo, 2006.

NEVES, C.M.N.; CERRI, C.C.; CARVALHO, J.L.N; CERRI, C.E.P. Estoque de carbono em solo em sucessão floresta-pastagem-agricultura no sudoeste da Amazônia. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 2007, Gramado-RS. **Anais...CD-ROM**.

NEVES, C.M.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; MACEDO, R.L.G.; TOKURA, A.M. Estoque de carbono em sistemas agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na Região Nordeste do Estado de Minas Gerais. **Ciências Agrotécnica**, v.5 p.1038-1046, 2004.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

PAIXÃO, F.A.; SOARES, C.P.B.; JACOVINE, L.A.G.; SILVA, M.L.; LEITE, H.G.; SILVA, G.F. Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto. **Revista Árvore**, v.30, n.3, p.411-420, 2006.

PINHEIRO, EF.M. **Fracionamento físico e caracterização da matéria orgânica do solo sob diferentes coberturas vegetais**, RJ. 2007. 101f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

QUEIROZ, D.S.; CARMO, C.A.F.S.; TOSTO, S.G.; ALVARENGA, A.P. Quantificação da biomassa e o carbono orgânico em pastagens naturais na Zona da Mata-MG. In: ALVARENGA, A.P.; CARMO, C.A.F.S. **Seqüestro de carbono: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural**. UFV, Viçosa, 2006, 352p.

RANGEL, O.J.P & SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.1609-1623, 2007.

RASCHKE, E. Is the additional greenhouse effect already evident in the current climate?. **Fresenius J Anal Chem**, v.371, p.791-797, 2001.

REIS, M.G.F.; KIMMINS, J.P.; REZENDE, G.C. DE; BARROS, N.F. DE. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idades de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, v.9, p.149-162, 1985.

REZENDE, C. D. P.; CANTARUTTI, R. B.; BRAGA, J. M.; GOMIDE, J. A.; PEREIRA, J. M.; FERREIRA, E.; TARRÉ, R. M.; 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. **Dordrecht. Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 54, n. 1, p. 99-112, 1999.

ROBERTSON, G.P.; GRACE, P.R. Greenhouse gas fluxes in tropical and temperate agriculture: the need for a full-cost accounting of global warming potentials. **Environment, Development and Sustainability**, v.6, p.51–63. 2004.

ROSCOE, R; BUURMAN, P; VELTHORST, E J; VASCONCELLOS, C A. Soil organic matter dynamics in density and particle size fractions as revealed by the  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  isotopic ratio in a Cerrado's oxisol. **Geoderma**, v.104, p.185-202. 2001.

ROSSI, J. P.; MATHIEU, J. COOPER, M.; GRIMALDI, M. Soil macrofaunal biodiversity in Amazonian pastures: Matching sampling with patterns. **Soil Biology & Biochemistry**, v.38, p.2178-2187, 2006.

SALIMON, C.I.; WADT, P.G.S.; MELO, A.W.F. Dinâmica do carbono na conversão de floresta para pastagens em argissolos da formação geológica Solimões, no Sudoeste da Amazonônia. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.7, p.29-38, 2007.

SANTOS, R.S.M.; OLIVEIRA, I.P.; MORAIS, R.F.; URQUIAGA, S.C.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R. Componentes da parte aérea e raízes de pastagens de *Brachiaria* spp. em diferentes idades após a reforma, como indicadores de produtividade em ambiente de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, n.2, p.119-124, 2007.

SCHÄFFER, W. B.; PROCHNOW, M. Mata Atlântica. In: SCHÄFFER, W. B.; PROCHNOW, M. (Ed.) **Mata Atlântica e você: como preservar, recuperar e se beneficiar da mais ameaçada floresta brasileira**. Brasília: APREMAVI, 2002, p.12-46.

SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEYB, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil Tillage Research**, v. 76, p.39-58, 2004.

SKIBA, U.; SMITH, K.A. The control of nitrous oxide emission from agricultural and natural soils. *Chemosphere*. **Global Change Science**, v.2, p.379-386, 2000.

SMITH B.N.; EPSTEIN S. Two categories of  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios for higher plants. **Plant Physiology**, v.47, p.380-384. 1971.

SMITH J. L.; MYUNG H U. Rapid procedures for preparing soil and KCl extracts for  $^{15}\text{N}$  analysis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v.21, p.2273-2279. 1990.

SOARES, C.P.B.; OLIVEIRA, M.L.R. Equações para estimar a quantidade de carbono presente na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p.533-539. 2002.

SOS Mata Atlântica. Sala de Notícias. Disponível em: <http://www.sosmatatlantica.org.br/index.php?section=press&action=listData>> Acesso em: 12 mar. 2007.

TABARELLI, M.; MANTOVANI, W. A regeneração de uma Floresta Tropical Montana após corte e queima (São Paulo – Brasil). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 59, n. 2, p. 239-250. 1999.

TANIZAKI, K.; MOULTON, T.P. A fragmentação da Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro e a perda de biodiversidade. In: BERGALLO, H.G., ROCHA, C.F.D; ALVES, M.A.S; VANSUYS, M. (Org). **A fauna ameaçada de extinção do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2000, p. 23-35.

TARRÉ, R.M.; MACEDO, R.; CANTARUTTI, R.B.; RESENDE, 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**, v.234, p.15-26, 2001.

TEIXEIRA, L.B.; OLIVEIRA, R.F. Biomassa vegetal e carbono orgânico em capoeiras e agroecossistemas no Nordeste do Pará. Belém: EMBRAPA-CPATU. 1997, 21p. (**Boletim de Pesquisa, 6**).

URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; CAMPOS, D.V.B.; BODDEY, R.M. Aplicação de técnicas de  $^{13}\text{C}$  em estudos de seqüestro de carbono em solos agrícolas In: ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; AITA, C. BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; CAMARGO, F.O. (Eds). **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no seqüestro de carbono e nas emissões de gases de efeito estufa**. Genesis, Porto Alegre, 2006. 216p.

URQUIAGA, S.; CADISCH, G.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; GILLER, K.E. Influence of decomposition of roots of tropical forage species on the availability of soil nitrogen. **Soil Biol. And Biochemistry**, v. 30, n.14, p. 2099-2106, 1998.

VANDERMEER, J., de la CERDA, I. G. & BOUCHER, D. Contrasting growth rate patterns in eighteen tree species from a post-hurricane forest in Nicaragua. **Biotropica**, v.29, p.151-16, 1997.

VELTHOF, G.L.; OENEMA, O. Nitrous oxide fluxes from grassland in the Netherlands, II, Effects of soil type, nitrogen fertilizer application and grazing. **European Journal**, v.54, p. 1602-1608, 1990.

VZZOTTO, V.R.; MARCHEZAN, E.; SEGABINAZZI, T. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo de várzea. **Ciência Rural**, v.30, n.6, p.965-969, 2000.

WATZLAWICK, L.F.; SANQUETTA, C.R.; ARCE, J.E.; BALBINOT, R. Quantificação de biomassa total e carbono orgânico em povoamentos de *Araucária angustifolia* (BERT.) O. Kuntze no Sul do Estado do Paraná, Brasil. **Revista Acadêmica**, v.1, n.2, p.63-68, 2003.

## 6. ANEXOS

### ANEXO A: Fotografias da área de estudo ao longo do tempo.



**Figura 1.** Foto da área de estudo no ano 1973, onde se vê a pastagem cobrindo a área, no município de Cruzeiro, SP.

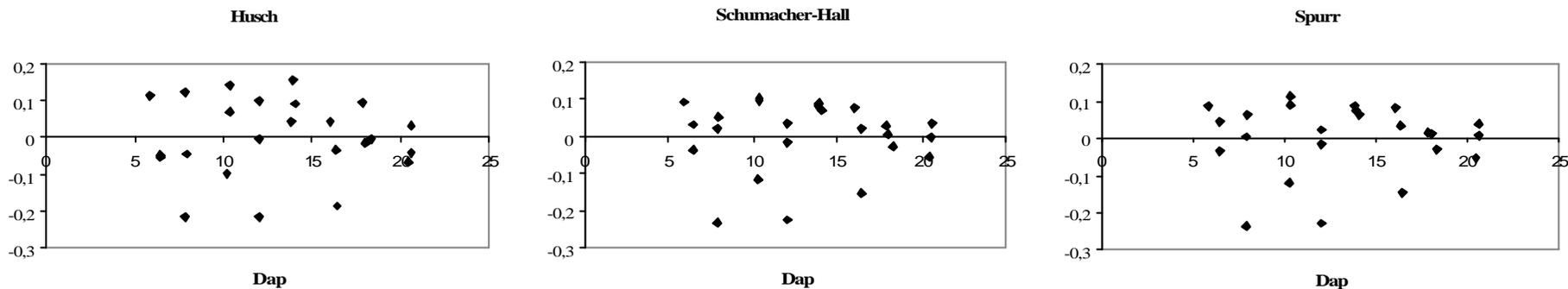


**Figura 2.** Foto da área de estudo no ano 2008, onde se vê a Mata na maior parte da área (a), o Eucalipto (b) e o Pasto (c), no município de Cruzeiro, SP.

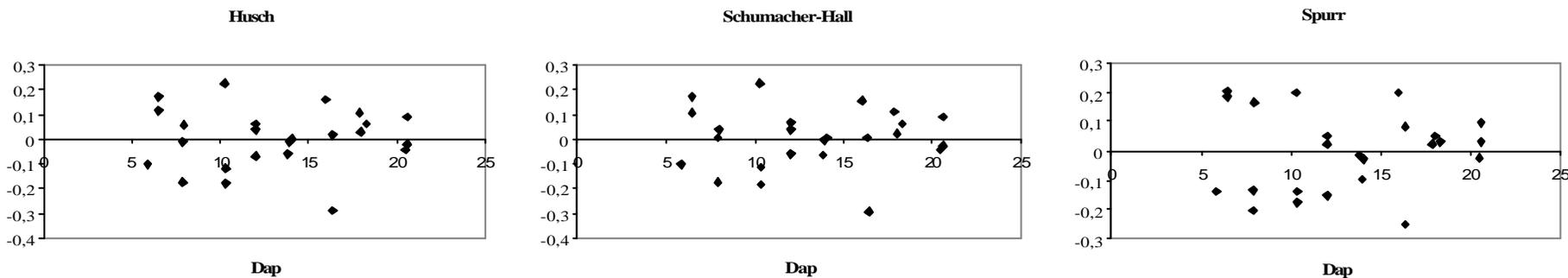


**Figura 3.** Foto das três áreas avaliadas, Mata (a), Eucalipto (b) e Pasto (c), no município de Cruzeiro, SP.

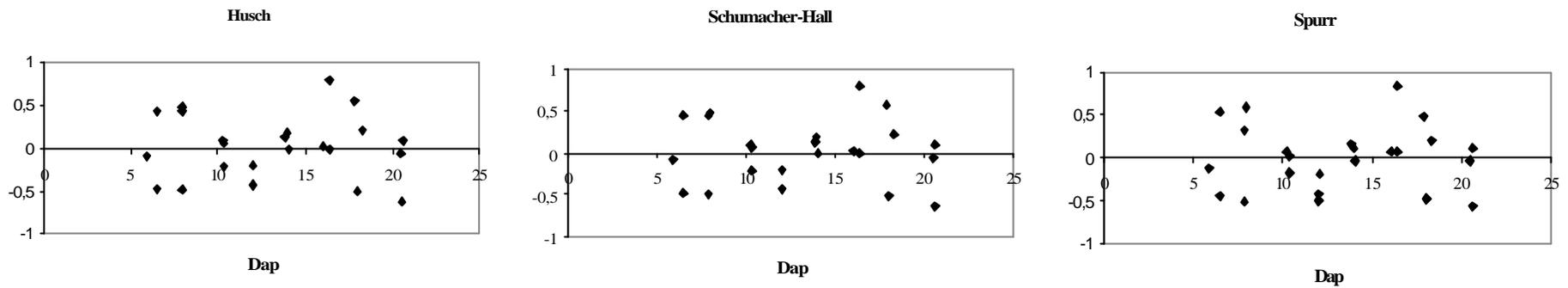
**ANEXO B. Distribuições gráficas dos resíduos para os três modelos testados para estimativa da fitomassa, nos diferentes compartimentos do plantio de *Eucalyptus urograndis*, aos 4 anos de idade, no município de Cruzeiro, SP.**



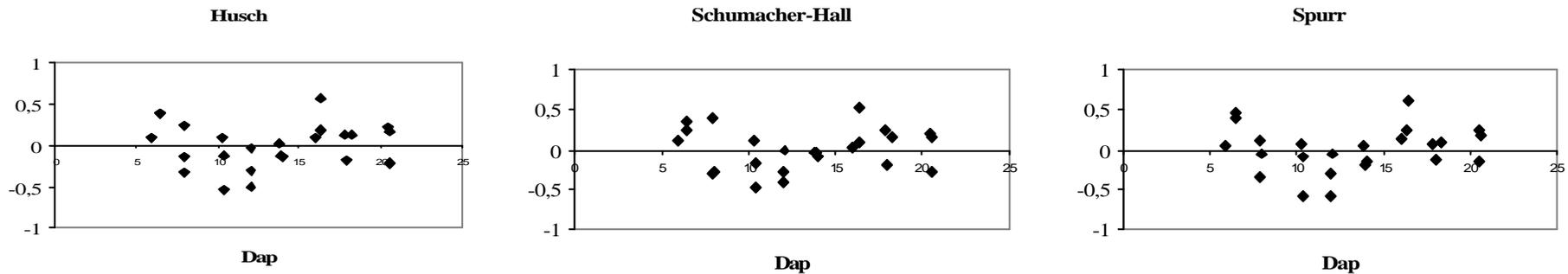
**Figura 1.** Distribuição gráfica dos resíduos para os três modelos testados para estimativa da fitomassa no fuste de *Eucalyptus urograndis*, aos 4 anos de idade, no município de Cruzeiro, SP.



**Figura 2.** Distribuição gráfica dos resíduos para os três modelos testados para estimativa da fitomassa na casca de *Eucalyptus urograndis*, aos 4 anos de idade, no município de Cruzeiro, SP.



**Figura 3.** Distribuição gráfica dos resíduos para os três modelos testados para estimativa da fitomassa nas folhas de *Eucalyptus urograndis*, aos 4 anos de idade, no município de Cruzeiro, SP.



**Figura 4.** Distribuição gráfica dos resíduos para os três modelos testados para estimativa da fitomassa nos galhos de *Eucalyptus urograndis*, aos 4 anos de idade, no município de Cruzeiro, SP.

