

EVERALDO DOS SANTOS

**CARBONO, NITROGÊNIO E RELAÇÃO C/N EM GLEISSOLO  
E CAMBISSOLO SOB DIFERENTES TIPOLOGIAS VEGETAIS  
NA ÁREA DE OCORRÊNCIA DA FLORESTA OMBRÓFILA  
DENSA, ANTONINA - PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do título em Ciência do Solo, Área de Concentração: Química e Biologia do Solo e Nutrição de Plantas.

Orientador:

Prof. Dr. Renato Marques

Co-Orientador:

Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Celina Wisniewski

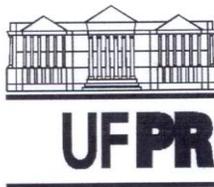
Curitiba

2007

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO)  
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-3350-5648  
Página: [www.pgcsolo.agrarias.ufpr.br/](http://www.pgcsolo.agrarias.ufpr.br/)  
E-mail: [pgcsolo@ufpr.br](mailto:pgcsolo@ufpr.br)

## PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **EVERALDO DOS SANTOS**, sob o título: "**Carbono, nitrogênio e relação C/N em Gleissolo e Cambissolo, sob diferentes tipologias vegetais, na área de ocorrência da Floresta Ombrófila Densa, Antonina-PR**", requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Concentração: Química e Biologia do Solo e Nutrição de Plantas, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e argüido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração: "Química e Biologia do Solo e Nutrição de Plantas"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 30 de agosto de 2007.

Prof. Dr. Renato Marques, Presidente.

Dr. Ricardo Miranda de Brites, 1º. Examinador.

Prof. Dr. Jeferson Dieckow, 2º. Examinador.



## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná pública e gratuita.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade em realizar este curso.

Ao meu orientador Prof. Dr. Renato Marques, que antes de mais nada me oportunizou a participação no Projeto Solobioma, e também pela sua orientação, paciência, dedicação e amizade. Obrigado!

Ao Projeto Solobioma, que fez com que fosse possível o trabalho de campo dando apoio nas coletas, através de material e transporte.

À SPVS (Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental), por ceder a Reserva Natural do Rio Cachoeira para a pesquisa. E também pelo apoio em infraestrutura, pessoal e equipamentos.

Ao pesquisador Ricardo Miranda de Brites (Mestre) pelo empréstimo de material e pela carona até Curitiba em um dos dias de coleta que nossa condução estragou.

À todos os guardas-parque da SPVS, que me ajudaram como guias e nas coletas de solo, ao Bira, Mateus, Antônio, Antoninho, Jandir, Vandir, mas especialmente ao João Pontes, que fez uma série sozinho abrindo perfis de solo na região do porto faisqueira, muito obrigado.

Ao Wilson do projeto Solobioma.

À Sr. Elda do Laboratório de Física do Solo do Setor de Ciências Agrárias.

Ao José Roberto técnico do Projeto Solobioma.

Aos colegas Geferson Piazza, Daniel Rezende e Adriana Santos por ajudarem nas coletas e apoio no campo.

Ao Engenheiro Florestal Gustavo Pacheco.

À minha amiga e química Diane.

À Alari, minha colega de trabalho.

Ao doutorando Rafaelo Balbinot pela ajuda em campo e troca de informações.

Aos meus amigos, Marilei, Ezequiel e Maurício pelo apoio, dedicação e amizade incondicional.

À Engenheira Florestal Aline Alinéia Rocha que é responsável pelo analisador de carbono, e me ajudou muito com as amostras e também nas planilhas.

À Bióloga, minha amiga Kelly Geronazzo Martins por me ajudar, e bastante com a estatística, muito obrigado especial a você!

À minha família, especialmente minha irmã Eloise que me substituiu nas horas ausentes no meu trabalho.

À Glaicy, minha esposa inseparável companheira de todos os momentos, minha luz e inspiração, que sempre me ajuda em todos os momentos desde o incentivo a entrada na pós-graduação até as coletas, preparo de solo dentre outros. Esse trabalho também é vitória tua.

À todos os amigos, inclusive aqueles que fiz durante o curso, aliás outra conquista, os novos amigos que fiz nesta caminhada.

À todos aqueles que ajudaram de uma forma ou de outra na realização desse trabalho.

**MUITO OBRIGADO!**

## RESUMO

Os ecossistemas florestais apresentam uma grande capacidade de estocar o carbono assimilado pela vegetação via fotossíntese. Apresentam, também, constante aporte de carbono ao piso florestal, contribuindo, assim, para enriquecer o perfil do solo com este elemento. Por outro lado, a forma de uso do solo e, também, as características físicas e químicas do solo, entre outros fatores, podem afetar tanto a concentração quanto o estoque de carbono no solo. De maneira a entender a influência de uso do solo, assim como as relações entre carbono e nitrogênio, na área de influência da Floresta Ombrófila Densa, no litoral do Paraná, o presente trabalho teve como objetivo determinar os teores e estoques de carbono, nitrogênio e relação C/N, em Cambissolo e Gleissolo, nas seguintes tipologias vegetais: pastagem (P), floresta em estágio inicial herbáceo-arbustivo (H), floresta em estágio inicial arbóreo (A), floresta em estágio médio (M) e floresta em estágio avançado (F). Este último estágio sucessional não existia no Gleissolo. As áreas estudadas estão localizadas no município de Antonina – PR (25°25' S e 48°40' W), dentro da APA de Guaraqueçaba. Para cada tipologia vegetal, foram selecionadas três áreas de estudo, representando três repetições. Nas diferentes parcelas, dentro de cada repetição, foram definidos três pontos de coleta de amostras de solo, nas seguintes profundidades: 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-100 cm, sendo as amostras coletadas com auxílio de trado. A textura das amostras de solo foi determinada após passagem deste em peneira de 2 mm de malha. Para a determinação da densidade aparente, foram abertos perfis de solo e as amostras indeformadas foram coletadas com cilindros metálicos inseridos nas paredes dos perfis. Para carbono e nitrogênio, as amostras de solo, após moagem, passaram em malha de 25 mesh e a determinação foi feita em analisador Elementar CNHS. A distribuição granulométrica em Cambissolo se caracterizou por teores de 35-55% de argila, 30-35% de areia e 10-15% de silte. No Gleissolo, os valores foram 20-30% de argila, 45-65% de areia e 15-30% de silte. A densidade aparente, independentemente da tipologia vegetal e da classe de solo, apresentou tendência em aumentar com a profundidade, em função da diminuição dos teores de matéria orgânica. Em pastagem (P), abaixo de 10 cm de profundidade, foram observados valores de densidade aparente relativamente superiores às demais tipologias, o que sugere a compactação devido ao pisoteio e movimentação dos búfalos que ali eram criados. Os maiores teores de carbono foram encontrados em Gleissolo, justificados pelo hidromorfismo nestes solos. Os teores de nitrogênio, por sua vez, variaram pouco entre as duas classes de solo, mas acompanharam o comportamento do carbono, decrescendo em profundidade. A relação C/N foi superior em Gleissolo e variou pouco em profundidade. No Cambissolo os estoques de C e N foram superiores na floresta avançada (F). No Gleissolo, onde não existia a tipologia F, os estoques de C e N não mostraram diferenças entre as diferentes tipologias. Os estoques de C e N a 100 cm de profundidade mostraram-se maiores em Cambissolo, sendo o estágio avançado (F) relacionado aos maiores estoques.

**Palavras-chave:** Floresta Atlântica, estoque de carbono, estoque de nitrogênio, sucessão florestal secundária.

## ABSTRACT

Forest ecosystems are known to present a great capacity to store carbon from the photosynthesis process in its biomass. They also present a regular carbon input to the forest soil, contributing to enrich the soil in carbon. But land use form as else physical and chemical characteristics of the soil, among other factors, can affect carbon concentration and stock in the soil. The aim of this work was to have a better understanding about the influence of land use form, and the relationship between carbon and nitrogen, in ecosystems situated in the area where normally occurs the "Floresta Ombrófila Densa" in the state of Paraná. To reach this aim, carbon and nitrogen concentration in the soil were evaluated. Carbon and nitrogen stock as C/N ratio were also estimated in Cambisol and Gleysol under five vegetation typologies: pasture (P), very young secondary forest (H), young secondary forest (A), old secondary forest (M) and near primary forest (F). The typology F did not occur on the Gleysol. The areas of study are located in the county of Antonina, PR (25°25' S e 48°40' W) in the Environmental Protection Area (APA) of Guaraqueçaba. For each typology were selected three plots, representing three replications. In all the plots three different places were randomized select to collect soil samples at the depths of 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 and 40-100 cm, and samples were taken with a corer. Soil texture was determined in samples sieved at 2 mm. Bulk density was determined in undisturbed samples collected with cylindric cores in the walls of the soil profiles. For carbon and nitrogen determination, soil samples were sieved at 25 mesh, and analysis was performed in a Elementar CNHS equipment. Texture was characterized by 35-55% of clay, 30-35% of sand and 10-15% of silt in Cambisol, and 20-30% of clay, 45-65% of sand and 15-30% of silt in Gleysol. Bulk density in the soil, independently of soil class and of vegetation typology, showed a tendency to increase with soil depth, and this was related to the diminution of soil organic matter. In pasture (P), below 10 cm of depth, bulk density was higher than in the other typologies, and this seems to be related to compaction caused by the buffalos which did live in the area formerly. The highest contents of carbon occurred in Gleysol probably in function of the soil hydromorphy. Nitrogen content was not different between vegetation typologies but decreased with soil depth as did carbon. The C/N ratio was higher in Gleysol and showed small variation according to the soil depth. In Cambisol, C and N stocks were superior in the near primary forest (F). In Gleysol, where the typology F did not exist, there was no difference between vegetation typologies for C and N stocks. The stocks of C and N at 100 cm depth were shown to be higher in Cambisol, being the highest stocks found on the primary forest (F).

**Key words:** Atlantic rainforest, carbon stock, nitrogen stock, forest secondary succession.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO MUNDO POR IMAGEM DE SATÉLITE DA REGIÃO DE ESTUDO NA BAÍA DE GUARAQUEÇABA.....	33
FIGURA 2 – FOTOS AÉREAS DAS ÁREAS DE COLETA COM INDICAÇÃO DAS PARCELAS PARA CADA FASE DE SUCESSÃO VEGETAL NAS TRÊS REPETIÇÕES OU SÉRIES EM CAMBISSOLO E GLEISSOLO.....	36
FIGURA 3 - A) COLETA COM ESPÁTULA NA PROFUNDIDADE 0-5 CM; B E C) ..... COLETA COM TRADO HOLANDÊS A PARTIR DA PROFUNDIDADE 5 CM	37
FIGURA 4 - A E B) ABERTURA DO PERFIL DE SOLO COM 1 METRO DE PROFUNDIDADE; C) COLETA DE AMOSTRAS INDEFORMADAS COM ANEL DE KOPECKY E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	38
FIGURA 5 – ACONDICIONAMENTO DOS ANÉIS DE KOPECKY COLETADOS PARA AMOSTRAS INDEFORMADAS.....	39
FIGURA 6 - VISTA EXTERIOR E INTERIOR DO ANALISADOR ELEMENTAR CNHS MODELO VARIO EL.....	41
FIGURA 7 – GRÁFICOS DE GRANULOMETRIA (%) DE DIFERENTES PROFUNDIDADES EM CAMBISSOLO, EM DIFERENTES TIPOLOGIAS DA FLORESTA OMBRÓFILA DENSE NO PARANÁ.....	44
FIGURA 8 – GRÁFICOS DE GRANULOMETRIA (%) DE DIFERENTES PROFUNDIDADES EM GLEISSOLO, EM DIFERENTES TIPOLOGIAS DA FLORESTA OMBRÓFILA DENSE NO PARANÁ.....	47
FIGURA 9– GRÁFICO DE ESTOQUE DE CARBONO ( $\text{Kg.m}^{-2}$ ) EM CAMBISSOLO, EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE, EM DIFERENTES TIPOLOGIAS VEGETAIS....	67
FIGURA 10 – GRÁFICO DE ESTOQUE DE CARBONO ( $\text{Kg.m}^{-2}$ ) EM GLEISSOLO, EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE, EM DIFERENTES TIPOLOGIAS VEGETAIS.....	70
FIGURA 11 - GRÁFICO COMPARATIVO DE ESTOQUES DE CARBONO ENTRE CAMBISSOLO E GLEISSOLO, EM TODAS AS TIPOLOGIAS VEGETAIS, EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE.....	71
FIGURA 12 - GRÁFICO COMPARATIVO DE ESTOQUES DE CARBONO ( $\text{ton,ha}^{-1}$ ) ENTRE CAMBISSOLO E GLEISSOLO, EM TODAS AS TIPOLOGIAS VEGETAIS A 100 cm DE PROFUNDIDADE.....	73
FIGURA 13 – GRÁFICO DE ESTOQUE DE NITROGÊNIO ( $\text{Kg.m}^{-2}$ ) EM CAMBISSOLO, EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE, EM DIFERENTES TIPOLOGIAS VEGETAIS.....	75
FIGURA 14 – GRÁFICO DE ESTOQUE DE NITROGÊNIO ( $\text{Kg.m}^{-2}$ ) EM GLEISSOLO, EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE, EM DIFERENTES TIPOLOGIAS VEGETAIS.....	76
FIGURA 15 - GRÁFICO COMPARATIVO DE ESTOQUES DE NITROGÊNIO ( $\text{ton,ha}^{-1}$ ) ENTRE CAMBISSOLO E GLEISSOLO, EM TODAS AS TIPOLOGIAS VEGETAIS A 100 cm DE PROFUNDIDADE.....	79

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – DENSIDADE APARENTE ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES, EM GLEISSOLO, EM DIFERENTES TIPOLOGIAS DE COBERTURA VEGETAL.....	49
TABELA 2 – DENSIDADE APARENTE ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES EM CAMBISSOLO, EM DIFERENTES TIPOLOGIAS DE COBERTURA VEGETAL.....	49
TABELA 3 - TEORES DE CARBONO ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ), NITROGÊNIO ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) E RELAÇÃO C/N NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES EM CAMBISSOLO INDEPENDENTEMENTE DA COBERTURA VEGETAL.....	54
TABELA 4 - TEORES DE CARBONO ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ), NITROGÊNIO ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) E RELAÇÃO C:N NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES EM GLEISSOLO INDEPENDENTEMENTE DA COBERTURA VEGETAL.....	54
TABELA 5 - COMPARAÇÃO ENTRE CAMBISSOLO E GLEISSOLO COM RELAÇÃO AOS TEORES DE CARBONO ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ), NITROGÊNIO ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) E RELAÇÃO C/N NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES INDEPENDENTEMENTE DA COBERTURA VEGETAL.....	54
TABELA 6 - TEORES DE CARBONO ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) EM FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL, NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES, EM CAMBISSOLO.....	57
TABELA 7 - TEORES DE CARBONO ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) EM FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL, NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES, EM GLEISSOLO.....	58
TABELA 8 - TEORES DE NITROGÊNIO ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) EM FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL, NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES, EM CAMBISSOLO.....	60
TABELA 9 - TEORES DE NITROGÊNIO ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) EM FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL, NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES, EM GLEISSOLO.....	61
TABELA 10 - RELAÇÃO C:N EM FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL, NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES, EM CAMBISSOLO.....	63
TABELA 11 - RELAÇÃO C:N EM FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL, NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES, EM GLEISSOLO.....	64

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
2.1 Floresta Ombrófila Densa.....	14
2.1.1 Sucessão Secundária na Floresta Ombrófila Densa.....	16
2.1.1.1 Pastagem.....	16
2.1.1.2 Floresta em Estágio Inicial Herbáceo-arbustivo.....	17
2.1.1.3 Floresta em Estágio Inicial Arbóreo .....	17
2.1.1.4 Floresta em Estágio Médio.....	18
2.1.1.5 Floresta em Estágio Avançado.....	19
2.2 Solos.....	21
2.2.1 Cambissolo.....	21
2.2.2 Gleissolo.....	21
2.3 As Florestas e a Matéria orgânica do Solo.....	23
2.4 Relação C:N do Solo.....	25
2.5 O Carbono e o Nitrogênio no Solo.....	26
2.6 Fatores Físicos do solo e Sua Relação Com o Carbono e Nitrogênio ..	29
<b>3 MATERIAL E MÉTODO.....</b>	<b>32</b>
3.1 Caracterização da Área de Estudo.....	32
3.2 Delineamento Experimental .....	33
3.3 Metodologia de Coleta .....	33
3.4 Análises Físicas e Químicas das Amostras de Solo.....	39
3.4.1 Análises Físicas.....	39
3.4.1.1 Densidade Aparente .....	39
3.4.1.2 Análise Granulométrica (Textura) .....	40
3.4.2 Análises Químicas .....	40
3.4.2.2 Determinação de Carbono e Nitrogênio Total .....	40
3.4.2.3 Cálculo do Estoque de Carbono e Nitrogênio .....	41
3.4.3 Análise Estatística .....	42
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>43</b>
4.1 Análises Físicas do Solo .....	43
4.1.1 Análise Granulométrica (textura) .....	43

4.1.1.1	Análise Granulométrica em Cambissolo .....	43
4.1.1.2	Análise Granulométrica em Gleissolo .....	46
4.1.2	Densidade Aparente .....	49
4.2	Análises Químicas do Solo .....	52
4.2.1	Teores de Carbono, Nitrogênio e Relação C:N, Independentemente da Cobertura Vegetal .....	52
4.2.2	Teores de Carbono do Solo em função das diferentes Coberturas Vegetais .....	55
4.2.2.1	Teores de Carbono em Cambissolo .....	55
4.2.3.2	Teores de Carbono em Gleissolo .....	57
4.2.4	Teores de Nitrogênio do Solo, em Função das Diferentes Coberturas Vegetais .....	58
4.2.4.1	Teor de Nitrogênio em Cambissolo .....	59
4.2.4.2	Teor de Nitrogênio em Gleissolo .....	60
4.2.5	Relação C:N do Solo, em Função das Diferentes Coberturas Vegetais..	62
4.2.5.1	Relação C:N em Cambissolo e Gleissolo .....	62
4.2.6	Estoque de Carbono no solo .....	65
4.2.6.1	Estoque de Carbono em Cambissolo .....	65
4.2.6.2	Estoque de Carbono em Gleissolo .....	67
4.2.6.3	Análise Comparativa do Estoque de Carbono em Cambissolo e Gleissolo nas Diferentes Profundidades .....	70
4.2.6.4	Análise Comparativa do Estoque de Carbono em Cambissolo e Gleissolo a 100 cm de Profundidade .....	71
4.2.7	Estoque de Nitrogênio no Solo .....	73
4.2.7.1	Estoque de Nitrogênio em Cambissolo .....	73
4.2.7.2	Estoque de Nitrogênio em Gleissolo ... ..	75
4.2.7.3	Análise Comparativa do Estoque de Nitrogênio em Cambissolo e Gleissolo a 100 cm de Profundidade .....	77
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>80</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>82</b>
<b>ANEXOS</b>	.....	<b>97</b>

## Introdução

As mudanças climáticas globais representam um dos maiores desafios da humanidade devido à queima de combustíveis fósseis e o desflorestamento de áreas nativas, principalmente tropicais, que fizeram com que a concentração de gás carbônico na atmosfera tenha aumentado significativamente nas últimas décadas. O Brasil tem destaque devido aos recursos florestais que possui, pois segundo estudos recentes, um dos maiores depósitos de carbono do mundo está na Floresta Amazônica não perturbada, estocado na forma de madeira. O aumento dos níveis de dióxido de carbono na atmosfera, segundo HOUGHTON (1994), é em função das emissões a partir da queima de combustíveis fósseis, mudanças do uso da terra e absorção de dióxido de carbono pelos oceanos e pelos ecossistemas terrestres. A transformação de sistemas naturais em áreas agrícolas ou pastagens associado ao desflorestamento representa, nas regiões tropicais, uma importante causa do aumento da concentração de gás carbônico atmosférico, com efeitos sobre alterações climáticas em escala global, SCHOLLES; BREEMEN (1997).

As florestas, são o maior reservatório de carbono, contendo cerca de 80% de todo carbono estocado na vegetação terrestre e cerca de 40% do carbono presente nos solos, (FÓRUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS 2002). Os ambientes florestais, com suas diferentes características florísticas e tipos de solos, servem para dar proteção à fauna e também influenciar o fluxo hídrico e a qualidade da água. Além disso, as florestas contribuem no equilíbrio climático em escalas regionais e globais, porque servem de estoque de carbono, o qual é absorvido na forma de dióxido de carbono, através da fotossíntese. A conservação das florestas e a recuperação da vegetação e dos solos em áreas desflorestadas permitem que o carbono seja mais uma vez retirado da atmosfera e armazenado no solo através do sequestro de carbono. O incremento do carbono, através do sequestro via pedosfera, tem dois notáveis efeitos positivos. O primeiro refere-se sobre a disponibilidade de água e o segundo o aperfeiçoamento da capacidade de regulação dos solos.

De acordo com BATJES; SOMBROEK (1997), os solos constituem um dos cinco principais reservatórios de carbono, juntamente com os oceanos, a camada geológica, atmosfera e biomassa terrestre. O solo é o terceiro maior reservatório de carbono EMBRAPA (2007). Então, os solos são essenciais no estoque de carbono representando aproximadamente 75% do acúmulo de carbono no ecossistema terrestre. A produção de serrapilheira representa o primeiro estágio de transferência de nutrientes e energia da vegetação para o solo, através da decomposição do material orgânico, em seguida o carbono e o nitrogênio mineralizam e incorporam ao horizonte mineral do solo, e isso faz com que o solo seja enriquecido com esses elementos. O grau de acúmulo de carbono e nitrogênio no solo depende de uma série de fatores tais como: uso da terra, o tipo de solo, características físicas, químicas e biológicas, clima, tipo de formação florestal, espécies florestais, presença ou não de sub-bosque, estágio sucessional, biodiversidade do solo dentre outros fatores. Então o carbono através da matéria orgânica do solo faz parte do equilíbrio do ciclo do carbono total da terra, e recentemente tem atraído grande interesse devido ao fenômeno do aquecimento global e à perspectiva de se utilizar o solo como reservatório do carbono liberado para a atmosfera SILVA et al. (2006). Então as atividades humanas mudam os estoques de carbono nos sistemas tanto na biomassa quanto no solo através do uso do solo e das florestas.

Tendo em vista a escassez de informações relativas ao estoque de carbono e nitrogênio nos solos da Floresta Ombrófila Densa, particularmente no estado do Paraná, e também à relação entre a capacidade de regeneração deste estoque em áreas sujeitas à impactos antrópicos, neste caso a atividade agropecuária. Este trabalho tem a pretensão de contribuir com informações a respeito destas temáticas.

## **1. Objetivos**

### 1.1 Objetivo Geral

- Avaliar a influência da vegetação nos teores e estoques de carbono e nitrogênio em Cambissolo e Gleissolo na área de influência da Floresta Ombrófila Densa em Antonina, PR;

### 1.2 Objetivos Específicos

Em amostras de solo, coletadas a diferentes profundidades em Cambissolo e Gleissolo sob pastagem e florestas em diferentes fases de sucessão secundária:

- Determinar os teores de carbono e nitrogênio e a relação C:N;
- Caracterizar a textura nas frações areia, silte e argila e avaliar a densidade aparente dos solos;
- Estimar os estoques de carbono e nitrogênio;
- Avaliar a existência de relações entre as variáveis químicas (C,N e C:N) e as variáveis físicas (densidade aparente e granulometria) dos solos.

## 2. Revisão de Literatura

### 2.1 Floresta Ombrófila Densa

Segundo PIRES et al. (2005), a vegetação que recobre a área de estudo onde distribuem-se as parcelas é classificada como Floresta Ombrófila Densa, dividida nas formações específicas que são: Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, Floresta Ombrófila Densa Submontana e Floresta Ombrófila Densa Montana. O patamar submontano tem vegetação mais diversa. Também distinguindo a Montana da Submontana, onde a submontana pode ser aluvial com solo autóctone. Sendo desta forma, a altitude não determina o patamar, mas sim, o solo e um conjunto de outros fatores. Também é comum afloramento rochoso no patamar montano e não no submontano, onde os solos podem ser Litólicos, Argissolos e Litossolos. O dossel da floresta é muito mais alto no submontano do que no montano.

Mais precisamente, as parcelas de estudo situam-se na área de ocorrência da Floresta Ombrófila Densa Submontana que compreende as formações florestais distribuídas sobre o início das encostas da Serra do mar e no Vale do Ribeira. Segundo os limites estabelecidos por IBGE (1992), esta formação situa-se entre 30 e 400 metros de altitude. No entanto, RODERJAN et al. (2002) citado por PIRES et al. (2005), propuseram uma adequação destes limites conforme descrição a seguir.

A Floresta Densa Submontana ocorre nas partes mais baixas das encostas, sobre relevo convexo, comumente de boa drenagem e profundidade, geralmente Cambissolos, Latossolos e Argissolos. São áreas relativamente estáveis, de declividade moderada, que permitem o estabelecimento da vegetação florestal densa e alta, até 30 – 35 metros. Essa formação está comumente situada entre 10, sobre leques coluviais de origem continental, e 600 metros de altitude. Esta formação é a que apresenta maior diversidade florística dentro da região fitoecológica da Floresta Ombrófila Densa. Isto é devido à combinação de fatores ambientais favoráveis como solos com maior capacidade de suporte físico e nutricional, temperaturas elevadas e precipitação bem distribuída ao longo do ano. Estes aspectos propiciam o desenvolvimento de

comunidades arbóreas densas e de grande porte, associadas a estratos herbáceos terrícolas e epifíticos extremamente diversos e abundantes. De acordo com (STRUMINSKI, 2001) a Floresta Ombrófila Densa Submontana é uma formação arbórea uniforme e bem desenvolvida, com dossel situado acima dos 20 metros de altura, formada atualmente por indivíduos remanescentes da floresta original. O clima tipicamente tropical, em que ocorre essa vegetação, mostra sua influência no crescimento contínuo da vegetação, bem como no interior da floresta, úmido e mal ventilado, rico em epífitas e com espesso manto de detritos vegetais. E diferentes espécies de palmeiras imprimem feição característica ao subosque, e dessa forma essa formação é caracterizada por um grupo heterogêneo de espécies que raramente ultrapassam o nível subsequente das formações montanas.

O termo Floresta Ombrófila Densa Aluvial também se refere à floresta de planície, porém desenvolvida sobre depósito de origem fluvial, portanto continentais, ao longo de rios meandantes da planície. De acordo com IBGE (1992), trata-se de uma formação ribeirinha ou “floresta ciliar” que ocorre ao longo dos cursos de água ocupando os terraços antigos das planícies quaternárias.

Compreende as formações florestais distribuídas sobre as planícies aluviais dos grandes rios que deságuam no litoral paranaense estando, portanto, sujeitas a determinados graus de hidromorfia dos solos e a inundações periódicas. Sua ocorrência não tem relação direta com os diferentes patamares altimétricos da Floresta Ombrófila Densa mas sim com a existência de planícies de acumulação de sedimentos dos rios nas quais formam-se solos hidromórficos como os Neossolos Flúvicos e os Gleissolos. As comunidades de Floresta Ombrófila Densa Aluvial ocorrem de maneira esparsa na planície litorânea apresentando-se, normalmente, adjacentes às Áreas de Formações Pioneiras com influência fluvial, onde as condições edáficas restritivas permitem a sua constituição fitossociológica típica. Ainda de acordo com IBGE (1992), a formação é constituída por macro, meso e microfanerófitos de rápido crescimento. Segundo PIREZ et al. (2005), esta formação é constituída predominantemente por micro e mesofanerófitos com dossel variando em torno de 20 metros.

### 2.1.1 Sucessão Secundária na Floresta Ombrófila Densa

Após a supressão da vegetação original para o uso do solo, principalmente para pastagens de bubalinos e/ou exploração da madeira, há uma sucessão secundária da Floresta Ombrófila Densa primária por processo de recolonização dos terrenos. E de acordo com (BORGO, 2005) no relatório do Plano de Manejo da Reserva Natural Rio Cachoeira, após o desuso das pastagens e corte raso da vegetação segue a descrição das fitofisionomias da sucessão secundária.

#### 2.1.1.1 Pastagem

A vegetação secundária em estágio inicial pioneiro (pasto/campo/áreas abertas) da formação aluvial é formada basicamente por espécies herbáceas rasteiras ou mesmo com alturas não superiores a 1,5m. O estrato herbáceo é bem denso (90-100% de cobertura). Em um primeiro momento há amplo predomínio de espécies herbáceas, caracterizadas na maioria das vezes por pastos recém-abandonados, onde ocorrem gramíneas (exóticas ou nativas), formando denso estrato (cobertura de 70-100%). Destacam-se nesses trechos as braquiárias *Brachiaria humidicola*, *B. mutica*, gramíneas exóticas invasoras altamente agressivas, acompanhadas por outras gramíneas *Andropogon bicornis*, *Eragrostis* sp., *Paspalum dilatatum*, *Panicum* spp. (Poaceae) e pixiricas *Ossaea amigdaloides*, *Leandra* spp. e *Miconia* spp. (Melastomataceae).

Assim como na formação aluvial, a vegetação secundária em estágio inicial pioneiro herbáceo-arbustivo (pasto/campo/áreas abertas) submontana é formada basicamente por espécies herbáceas rasteiras ou mesmo com alturas não superiores a 1,5m. O estrato herbáceo é bem denso (90-100% de cobertura). As espécies herbáceas apresentam ampla cobertura, representadas por gramíneas (exóticas ou nativas) que formam denso estrato (cobertura de 70-100%). Destacam-se nesses trechos as braquiárias *B. decumbens*, *B. radicans*, gramíneas exóticas invasoras altamente agressivas, acompanhadas por outras gramíneas *Andropogon bicornis*, *Eragrostis* sp., *Paspalum dilatatum*, *Panicum* spp. (Poaceae) e pixiricas *Ossaea amigdaloides*, *Leandra* spp. e *Miconia* spp. (Melastomataceae). Posteriormente começam a se instalar espécies arbustivas,

representadas por espécies heliófilas, tais como o assa-peixe *Vernonia beyrichii* e a carova *Jacaranda puberula*, que darão seqüência ao processo de colonização possibilitando através do sombreamento a instalação de novas espécies

#### 2.1.1.2 Floresta em Estágio Inicial Herbáceo-arbustivo

O estágio subsequente é denominado de vegetação secundária em estágio inicial pioneiro herbáceo-arbustivo, onde as espécies rasteiras já proporcionam condições microambientais para instalação de espécies herbáceas mais seletivas e espécies arbustivas, que acabam por alterar a altura média da formação (que alcança em alguns casos até 3m). A inclusão de espécies de outros hábitos acaba por enriquecer a comunidade. Destaca-se o assa-peixe (*Vernonia beyrichii*), uma composta que alcança até 2,5m de altura, bastante comum na região, que forma densos grupamentos ao longo dessas áreas.

#### 2.1.1.3 Floresta em Estágio Inicial Arbóreo

A vegetação secundária inicial arbórea, que aparece entre 10 e 20 anos após o corte raso de uma floresta, caracteriza-se pela ocorrência de um estrato arbóreo com cobertura pouco expressiva (cerca de 20 a 30%), composto por espécies tipicamente heliófitas, ou seja, que estão adaptadas a elevados índices de incidência luminosa, e pouco suscetíveis a variações micro-climáticas bruscas (umidade, ventos, temperatura). Como representantes típicos desta fase em áreas aluviais destacam-se *Marlierea tomentosa*, *Marlierea obscura* (Myrtaceae), *Tibouchina trichopoda* (Melastomataceae) e *Eupatorium* sp. (Asteraceae).

O estágio inicial arbóreo de sucessão é caracterizado pela ocorrência de espécies arbustivas e arbóreas pioneiras representadas principalmente por Melastomataceae, Euphorbiaceae, Rubiaceae e Vochysiaceae. Nessa situação, a diversidade de espécies ainda é reduzida, emergindo elementos arbóreos de crescimento rápido e tolerantes a elevada incidência lumínica, formando grupamentos densos, com alto número de indivíduos distribuídos nas classes de diâmetro mais reduzido. Normalmente há o predomínio de uma ou outra espécie,

havendo a formação de grupamentos com baixa riqueza específica. São espécies típicas deste estágio: o jacatirão *Tibouchina pulchra* (Melastomataceae) e a guaricica *Vochysia bifalcata* (Vochysiaceae). O estrato arbustivo-herbáceo é bastante desenvolvido, dominado por diversas espécies que por vezes formam densos emaranhados, muitas vezes ocupados por taquarinhas (Poaceae) em conjunto com lianas representadas pelas famílias Sapindaceae, Bignoniaceae e Apocynaceae.

#### 2.1.1.4 Floresta em Estágio Médio

A vegetação secundária em estágio médio, que sucede a inicial arbórea, é caracterizada por espécies que também apresentam crescimento rápido, mas com necessidades mais específicas quanto ao sombreamento e condições edáficas. Em gleissolo melânico, há menor riqueza de espécies, mas estas estão distribuídas de forma homogênea na comunidade. Aspectos como cobertura e altura têm amplitude elevada de variação. Como espécies mais comuns figuram *Bathysa australis*, *Chrysophyllum inornatum*, *Cupania oblongifolia*, *Inga edulis*, *Alchornea triplinervia*, *Hyeronima alchorneoides*, *Pseudobombax grandiflorum*, *Schizolobium parahybum* e *Pterocarpus violaceus*. O estrato arbustivo-herbáceo é menos denso, com arbustos de até 2,5m de altura. Além de *Psychotria* spp. e *P. nuda*, também são comuns *Cyathea atrovirens*, *Geonoma elegans*, entre outras. Dentre as herbáceas, pteridófitas e Marantaceae são as mais comuns. O componente epifítico começa a instalar-se de forma mais intensa, mas ainda são mais comuns representantes de espécies ditas pioneiras, tais como *Tillandsia* spp. e *Microgramma* spp. e *Philodendron* spp. Já sobre cambissolo gleico, o estrato arbóreo tem cobertura entre 30 e 60%, com alturas que variam entre 12 e 20m, ocorrendo *Hyeronima alchorneoides* em maior densidade, acompanhada por *Bathysa australis*, *Casearia sylvestris*, *Pera glabrata*, *Attalea dubia*, *Andira anthelmia*, *Nectandra mollis*, *Rollinia sericea* e *Matayba guianensis*. Em menor densidade, mas também se destacando na formação encontram-se *Tibouchina pulchra*, *Alchornea glandulosa* e *A. triplinervia*. Com ocorrência mais esparsa encontram-se *Inga sessilis*, *Ficus insipida*, *Miconia dodecandra*, *Cytherexylum myrianthum* e *Jacaranda puberula*. O estrato arbustivo-herbáceo é bastante denso em alguns trechos, com alturas do componente arbustivo variando entre

1,5 e 3m, sendo este representado principalmente por *Mollinedia schottiana*, *Psychotria nuda* e *Psychotria* spp. As herbáceas são representadas por indivíduos de diversas famílias de pteridófitas, além de píxiricas *Leandra* spp. e *Ossaea* spp. (Melastomataceae) e caetés *Ctenanthe communis* e *Calathea* spp. (Marantaceae).

A vegetação secundária em estágio médio nas áreas da formação submontana é caracterizada pela incorporação de mais espécies à comunidade. Nesta etapa percebe-se uma variação diamétrica marcante, sendo que os indivíduos que pertenciam ao estrato inicial arbóreo começam a exibir altos índices de senilidade e/ou mortalidade. Os trechos de vegetação média sobre argissolo não apresentam espécies típicas, ocorrendo de forma homogênea *Matayba guianensis*, *Vochysia bifalcata*, *Inga edulis*, *Pterocarpus violaceus*, *Tibouchina pulchra* e *Hyeronima alchorneoides*. De forma mais esporádica ocorrem *Cupania oblongifolia*, *Cariniana estrellensis*, *Platymiscium floribundum*, *Schizolobium parahybum* e *Syagrus romanzoffiana*. O estrato arbustivo tem como elemento dominante *Psychotria* spp., acompanhada de outros representantes do hábito. Sobre cambissolo, dominam *Cecropia pachystachya*, *Hyeronima alchorneoides* e *Tibouchina pulchra*, todas ocorrendo em alta densidade. Além destas, também ocorrem *Alchornea triplinervia*, *Casearia sylvestris*, *Nectandra membranacea*, *Cryptocarya aschersoniana* e *Chrysophyllum inornatum*. Em menor densidade, foram registrados *Ficus insipida*, *Inga sessilis*, *Myrsine venosa*, *Cytharexylum myrianthum*, *Pera glabrata* e *Schizolobium parahybum*. No estrato arbustivo-herbáceo de ambas as classes de solo são comuns representantes de Rubiaceae (*Psychotria nuda*, *P. suterella*, *P. carthagenensis*), Arecaceae (*Bactris setosa*, *Geonoma elegans*, *Geonoma gamiova*), Marantaceae (*Calathea* spp. e *Ctenanthe* spp., caetés), entre outras.

#### 2.1.1.5 Floresta em Estágio Avançado

As áreas de vegetação secundária em estágio médio-avançado aluviais estão assentadas sobre quatro classes de solos. Em gleissolo melânico, este tipo vegetacional tem como espécie mais comum *Alchornea glandulosa*, acompanhada por *Bathysa australis*, *Casearia sylvestris*, *Nectandra leucantha*, *Chrysophyllum inornatum*, *Hyeronima alchorneoides*, *Machaerium brasiliense* e

*Sapium glandulatum*. Ainda são registrados alguns indivíduos de *Cabralea canjerana* e de *Cariniana estrellensis*. No estrato arbustivo são comuns *Cyathea atrovirens* e *Acnistus arborescens*, formando juntamente com representantes herbáceos de Marantaceae, Poaceae e Pteridophyta um sub-bosque pouco denso. A espécie dominante em áreas sobre cambissolo flúvico é *Casearia obliqua*, sendo que ocorrem também alguns indivíduos de *Rollinia sericea* e *Rollinia rugulosa*, *Pterocarpus violaceus*, *Hyeronima alchorneoides*, *Cordia sellowiana* e murta. Já sobre neossolo flúvico, há predomínio de uma ou outra das seguintes espécies: *Tabebuia cassinoides* e *Calophyllum brasiliense*. Associadas a elas ocorrem em menor densidade *Matayba guianensis*, *Marlierea tomentosa*, *Machaerium brasiliense*, *Ficus insipida*, *Cytharexylum myrianthum*, *Cordia sellowiana* e *Alchornea triplinervia*. E finalmente em cambissolo gleico são comuns *Sloanea guianensis*, *Hyeronima alchorneoides*, *Calyptranthes* sp., *Marlierea obscura*, *Attalea dubia*. O estrato arbustivo tem como espécies mais comuns *Mollinedia schottiana*, *Psychotria* sp. e indivíduos jovens de espécies dos estratos superiores.

O estágio médio-avançado de sucessão é caracterizado pela ocorrência predominante de espécies arbóreas pertencentes a categorias ecológicas secundárias (iniciais e tardias) e climácicas, representadas principalmente por Myrtaceae, Lauraceae (*Ocotea* spp. E *Nectandra* spp.) e Euphorbiaceae (*Alchornea* spp.). Nessa situação, a diversidade de espécies é maior se comparada aos estádios anteriores, com predominante ocupação do elemento arbóreo formando uma floresta similar à original, mas com riqueza específica pouco menor. Há a distinção de quatro estratos: dois arbóreos, um arbustivo e um herbáceo. Em áreas de encostas sobre cambissolo e pequenos trechos de neossolo litólico, a espécie de maior densidade neste tipo sucessional é *Hyeronima alchorneoides*, ocorrendo em média 3 vezes mais que indivíduos de *Alchornea triplinervia*, *Bathysa australis*, *Vochysia bifalcata*, *Pêra glabrata*, *Rollinia sericea*, *Casearia obliqua*, *Cupania oblongifolia*, *Matayba guianensis*. Menos comuns, mas também representativas na formação são *Sloanea guianensis*, *Tapirira guianensis*, *Inga sessilis*, *Cryptocaria aschersoniana*, *Quiina glaziovii*, *Miconia dodecandra*, *Nectandra leucantha* e *Cedrella fissilis*. Em um estrato um pouco abaixo daquele formado pelas espécies citadas, são comuns *Euterpe edulis* e *Casearia sylvestris*. No estrato arbustivo são comuns *Psychotria nuda*,

*Psychotria* sp., *Dicksonia sellowiana*, *Cyathea atrovirens*, *Geonoma gamiova*, *G. elegans* e *G. schottiana*, entre diversas outras. Também são comuns neste estrato representantes jovens de espécies dos estratos superiores.

## 2.2 Solos

### 2.2.1 Cambissolo

São solos minerais não hidromórficos, constituídos por material mineral com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial. horizonte hístico com espessura inferior a 40cm. Solos com horizonte O hístico com menos de 40cm de espessura, ou menos de 60cm quando 50% ou mais do material orgânico for constituído de ramos finos, raízes finas, casca de árvores e folhas, parcialmente decompostos EMBRAPA (1999). Devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características destes solos variam muito de um local para outro EMBRAPA (1999). Segundo JACOMINE (2001), os Cambissolos são solos bem drenados, moderadamente drenados a imperfeitamente drenados, quanto a granulometria, pela própria natureza do material de origem, há grande variação na textura, ocorrendo solos de textura média, siltosa, arenosa, argilosa e muito argilosa. E as propriedades químicas são muito variáveis, em função do material de origem e do clima. E de acordo com (ROCHA, 2005), Os Cambissolos podem ter alta a baixa saturação por bases e atividade química da fração coloidal e ciclagem de nutrientes nas porções mais superficiais do solo desempenha um papel fundamental na manutenção e desenvolvimento da cobertura arbustiva ou arbórea, sendo assim desejável a recomposição das áreas desflorestadas.

### 2.2.2 Gleissolo

De acordo com EMBRAPA (1999), são solos constituídos por material mineral com horizonte glei imediatamente abaixo de horizonte A, ou de horizonte hístico com menos de 40cm de espessura, ou horizonte glei começando dentro de 50cm da superfície do solo, não apresentam horizonte plíntico ou vértico, acima do horizonte glei ou coincidente com este, nem horizonte B textural com

mudança textural abrupta coincidente com horizonte glei, nem qualquer tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei. Horizonte Gleis é um horizonte mineral subsuperficial, ou eventualmente superficial, com espessura de 15cm ou mais, caracterizado por redução de ferro e prevalência do estado reduzido, no todo ou em parte, devido principalmente à água estagnada, como evidenciado por cores neutras ou próximas de neutras na matriz do horizonte, com ou sem mosqueados de cores mais vivas. Trata-se de horizonte fortemente influenciado pelo lençol freático e regime de umidade redutor, virtualmente livre de oxigênio dissolvido em razão da saturação por água durante todo o ano, ou pelo menos por um longo período, associado à demanda de oxigênio pela atividade biológica. De acordo com JACOMINE (2001), são solos minerais hidromórficos mal a muito mal drenados, com horizonte gleis dentro dos 50 cm da superfície ou imediatamente abaixo do horizonte A ou H. A água de saturação permanece estagnada internamente ou a saturação se dá por fluxo lateral no solo. Em qualquer circunstância, a água do solo pode se elevar por ascensão capilar, atingindo sua superfície EMBRAPA (1999) e ROCHA et al. (2005).

Também de acordo com EMBRAPA (1999), estes solos caracterizam-se pela gleização, em decorrência do regime de umidade redutor, que se processa em meio anaeróbico, com muita deficiência ou mesmo ausência de oxigênio, devido ao encharcamento do terreno por longo período ou durante o ano todo. O processo de gleização implica na manifestação de cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, devido a compostos ferrosos resultantes da escassez de oxigênio causada pelo encharcamento. Provoca, também, a redução e solubilização de ferro, promovendo translocação e reprecipitação dos seus compostos.

Ainda segundo ROCHA et al. (2005) O Gleissolos são formados em materiais originários estratificados ou não, e sujeitos a constante periódico excesso d'água, o que pode ocorrer em diversas situações. Comumente desenvolvem-se em sedimentos recentes nas proximidades dos cursos d'água e em materiais colúvio-aluviais sujeitos a condições de hidromorfia, podendo formar-se também em áreas de relevo plano de terraços fluviais, lacustres ou marinhos, como também em materiais residuais em áreas embaciadas e depressões. São eventualmente formados em áreas inclinadas sob influência da

exsudação de água subterrânea (surgentes). São solos formados sob vegetação hidrófila ou higrófila herbácea, arbustiva ou arbórea.

### 2.3 As Florestas e a Matéria orgânica do Solo

De acordo com MEURER (2006) o termo “matéria orgânica do solo” (MOS) refere-se a todos os compostos que contêm carbono orgânico no solo, incluindo os microorganismos vivos e mortos, resíduos de plantas e animais parcialmente decompostos, produtos de sua decomposição e substâncias orgânicas microbiologicamente e/ou quimicamente alteradas. Sendo que a composição e estrutura da matéria orgânica do solo pode ser classificada em: resíduos orgânicos ou liteira, fração leve composta por resíduos de plantas em vários estágios incorporada ao solo, biomassa microbiana, substâncias não-húmicas ou biomoléculas e substâncias húmicas ou húmus estável. Esse conceito é muito abrangente, determinando uma composição extremamente complexa, em função da mistura de diferentes compostos e à grande variedade de processos naturais de degradação e síntese que ocorrem na sua formação. Na maioria dos solos, o teor de matéria orgânica do solo (MOS) varia de 0,5 a 5,0% nos horizontes minerais superficiais, podendo apresentar valores elevados em solos orgânicos, SILVA et al. (2006).

Os ecossistemas florestais desenvolvem um horizonte orgânico sobre o solo formado por deposição de galhos, folhas, frutos e outros KOEHLER (1989), chamado serrapilheira. O teor de matéria orgânica em um solo, sob vegetação natural, encontra-se em condição de equilíbrio, refletindo a resultante de adições e perdas RAIJ (1991). A matéria orgânica do solo pode ser caracterizada por dois parâmetros: o estoque de carbono no solo e a qualidade dos constituintes orgânicos nele presentes CERRI et al. (1997). O estoque de matéria orgânica no solo depende da intensidade dos processos de adição de resíduos vegetais e de decomposição de compostos orgânicos. Num dado instante, o estoque de matéria orgânica depende da quantidade de resíduos orgânicos que são adicionadas ao solo e do grau de proteção oferecido à matéria orgânica pelo solo (SILVA; MACHADO, 2000). Quimicamente a matéria orgânica é uma mistura de numerosos complexos coloidais, como as proteínas, celulose, amido, lignina e outros, sendo formado por resíduos animais e vegetais embora tenha como

principal fonte os tecidos vegetais. Estes quando atacados pelos microorganismos, transformam-se gradativamente, parte em cristalóides e parte em novos colóides, especialmente o húmus VIEIRA (1988). A matéria orgânica do solo, que dá ao solo sua cor escura, é constituída principalmente por um material chamado húmus BAIRD, (2005), que passa por dois processos de transformação básicos e opostos, mineralização e humificação LIMA et al. (2003). Conforme a quantidade de água no solo pode formar-se em condições aeróbias ou anaeróbias. O conteúdo e a composição são conseqüências de fatores diversos tais como: o tipo de vegetação, a topografia, o clima e o tempo (idade), onde o acúmulo ou a destruição sofrem o efeito da atividade dos microorganismos, os quais são afetados pelas condições de umidade, aeração, temperatura e pH, além dos nutrientes e fontes energéticas, KIEHL (1979). À medida que a matéria orgânica vai sendo decomposta novo húmus vai sendo continuamente formado. O equilíbrio entre os dois processos determina a quantidade de húmus presente no solo em dado momento. Quando se trata de solo jovem e virgem, a quantidade de húmus formada é superior à porção mineralizada e como consequência há acumulação gradual. À medida que o solo caminha para sua maturidade genética, a quantidade de matéria orgânica mineralizada aumenta até equilibrar a quantidade de húmus que se forma. Nessa ocasião os dois processos, mineralização e humificação, atingem a mesma intensidade, onde o húmus tem por características constituir-se em cerca de 50 a 80% do total da matéria orgânica. Possuindo propriedades físicas, químicas, e físico-químicas inerentes, a coloração entre parda escura a negra, altos conteúdos de lignina e proteína, com relação C:N em torno de 10:1 e sem composição química definida KIEHL, (1979).

A matéria orgânica interfere em várias propriedades do solo, tais como: adsorção de cátions e ânions, auxilia na estabilização da estrutura do solo, retenção de água, influencia diretamente na cor, reduz a plasticidade e provoca sensível diminuição na compactação, por aumentar a porosidade do solo. As quantidades de matéria orgânica presente no solo variam com o clima, tipo de vegetação ou cobertura, textura e regime de saturação hídrica do solo e ainda, de acordo com o manejo.

Ecossistemas naturais dos trópicos úmidos, como a Floresta Amazônica, ou a Mata Atlântica, têm altas produtividades e, apesar do calor e umidade, também favorecerem a decomposição da matéria orgânica do solo e a ausência

de perturbação física do solo permite que se formem grandes estoques de C. Como estas florestas existem há milhares de anos, há um equilíbrio estável entre as taxas de deposição de matéria orgânica e as taxas de decomposição, e os estoques de C se mantêm estáveis, EMBRAPA (2007).

No solo, a matéria orgânica também é uma importante fonte de nitrogênio LUCHESE et al. (2002). Devido à atividade biológica, o solo passa a conter, através da matéria orgânica, dois importantes elementos não existentes no material de origem do solo carbono e nitrogênio. O nitrogênio provém de pequenas adições anuais de nitrogênio inorgânico pela água da chuva e fixação do nitrogênio atmosférico por microorganismos. Dado que parte do carbono do material vegetal original foi transformado em dióxido de carbono e com posterior perda, o húmus fica enriquecido com nitrogênio em relação ao material vegetal original (BAIRD 2005). Nos solos existem quantidades consideráveis de nitrogênio, principalmente em formas orgânicas RAIJ (1991).

A matéria orgânica do solo, contém em média cerca de 58% de C, e é responsável pelas características químicas, físicas e microbiológicas do solo. A média aritmética do carbono nos solos (Horizonte B) do território paranaense é de 0,96% C, sendo o valor, médio do carbono nos solos (Horizonte B) de 7,89 g/dm<sup>3</sup>, seguindo com média alta para solos da Planície Litorânea, Primeiro Planalto, Segundo Planalto e Terceiro Planalto (MINEROPAR 2005). E a média aritmética do nitrogênio nos solos (Horizonte B) no território paranaense é 702,15 ppm, seguindo essa média para solos do Primeiro, Segundo e Terceiro Planalto do Paraná, e menor na Planície Litorânea (MINEROPAR, 2005).

## 2.4 Relação C:N do Solo

A relação C:N é um indicador importante da decomposição da matéria orgânica do solo, dando informação sobre o estado de humificação. Na decomposição da matéria orgânica dos solos a relação C:N é muito importante para a determinação da competição entre os nutrientes essenciais para a atividade dos microorganismos do solo LUCHESE et al. (2002). Os materiais orgânicos possuem uma grande quantidade de carbono em relação ao nitrogênio. O húmus possui uma relação C:N média que varia de 12:1 a 8:1 com média 10:1 KIEHL (1979). De acordo com MELLO et al. (1983), em geral, a relação C:N da

matéria orgânica do solo pode estar entre 10:1 e 12:1, podendo ser, ainda, menor ou maior, de acordo com o estado de decomposição desses componentes. Nos Latossolos, a relação C:N está diretamente relacionada a indicação de atividade biológica, com maior grau de humificação e estabilidade da matéria orgânica e valores ideais da relação C:N, já em Espodosolos há uma maior relação C:N com menos nitrogênio disponível em solos da região de Manaus de acordo com NEU (2005). Os valores para a relação C:N da matéria orgânica em solos agrícolas normalmente variam entre 9 e 14, valores esses encontrados nos tecidos dos microorganismos e no húmus. Em geral, são mais baixos em solos de zonas áridas, com pouca chuva, que aqueles de zonas úmidas, quando as condições de temperatura são semelhantes LUCHESE et al. (2002). Há tendência em decréscimo na relação C:N no perfil de solo com aumento da profundidade MELLO et al. (1983). De acordo com as características do solo o decréscimo na relação C:N com o aumento da profundidade no perfil pode ser mais ou menos acentuada, dependendo do solo COSTA (2004). A relação C:N afeta a disponibilidade de nitrogênio disponível no solo RAIJ (1983).

## 2.5 O Carbono e o Nitrogênio no Solo

Devido as diversidades climáticas e pedológicas, surgem diferenças no que diz respeito a quantidade e qualidade de matéria orgânica do solo, pois o clima e natureza do solo como pH, textura e drenagem, interferem nos processos de humificação e na taxa de renovação do carbono do solo CERRI et al. (1997).

Segundo ASSIS et al. (2006), os teores de carbono e de nitrogênio totais são reduzidos pelo cultivo do solo quando comparado com a mata nativa. A serrapilheira que também é chamada de liteira, representa a principal fonte de carbono para o solo CERRI et al. (1997). A baixa quantidade de serrapilheira acumulada em florestas tropicais é geralmente em função da alta taxa de decomposição OLSON (1963). De acordo com LAL; KIMBLE e FOLLET (2000), existem dois tipos de entrada de carbono na pedosfera. O primeiro chamado carbono orgânico, e o segundo, carbono inorgânico que pode ser encontrado na forma de carbonato e bicarbonato. O carbono orgânico é constituído por microorganismos, húmus estabilizado, resíduos vegetais e animais em vários estágios de decomposição e carbono inerte constituído por carvão vegetal e/ou

carvão mineral TEDESCO et al. (1995). O carbono no solo orgânico está dividido em quatro compartimentos ativos e uma pequena quantidade de matéria orgânica inerte. Os quatro compartimentos ativos são: material da planta decomposto, material da planta resistente, biomassa microbiana e matéria orgânica humificada. Cada compartimento decompõe-se por processo de primeira ordem com suas próprias taxas e características. As florestas estocam carbono tanto na biomassa acima como abaixo do solo. Então, os solos são um importante reservatório de carbono, nos primeiros 100 centímetros de profundidade, em termos globais, onde estão armazenados entre 1.300 – 2000 Pg C, correspondendo ao dobro do carbono atmosférico SCHLESINGER et al. (1977); SOMBROEK et al. (1993); BATJES, (1996). Os solos tropicais armazenam 506 Pg C ESWARAN et al. (1993). As taxas de acumulação de carbono são significativas conforme avaliou HIGUCHI et al. (2004), em vegetação na Amazônia Central.

As florestas podem estar funcionando como sumidouros de carbono da atmosfera segundo NOBRE (2002) e SCHINEL et al. (2001). Onde há possibilidade de que as florestas tropicais da América do Sul estejam estocando carbono e assim funcionando como sumidouros de carbono da atmosfera NOBRE; NOBRE (2002). BARBOSA (2006), estudou através de monitoramento espacial de biomassa e carbono orgânico da vegetação herbácea de várzea na Amazônia Central e percebeu modificação com valores estimados no estoque de carbono e biomassa através de monitoramento por satélite. NOBRE; GASH et al. (1997) constataram que a substituição da floresta virgem, perto de Manaus, por pastagem, apresentou uma redução do carbono fixado na ordem de 98%, ou seja, a floresta apresentava uma biomassa de 265 Mg ha enquanto a pastagem apenas 6 Mg ha biomassa. O aporte de matéria orgânica no solo se deve, principalmente, aos produtos de decomposição de raízes, à iluviação de compostos orgânicos oriundos da decomposição de resíduos vegetais depositados sobre o solo e ao material incorporado pelo movimento da meso e macrofauna GONÇALVES e MELLO (2000). Então uma parte do carbono pode estar se incorporando no estoque de biomassa do ecossistema, e o carbono que não é acumulado como biomassa pode estar retornando à atmosfera como gás carbônico, metano ou outras moléculas orgânicas maiores de compostos voláteis emitidos pelas plantas segundo PHILIPS et al (1998) citado por NOBRE (2002). O carbono pode estar acumulando-se em porções refratárias da matéria

orgânica no solo, ou dissolvido nas águas de drenagem ou na forma particulada em processos erosivos. Em CALDEIRA (2002); SCHUMACHER (2000) encontrou na vegetação de campo nativo, na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, uma biomassa média acima do solo, correspondente a menos de 1% do carbono fixado na biomassa de *Pinus taeda*, com 20 anos de idade. LEITE et al (2003) mostra também que os estoques de carbono em uma área sob Floresta Atlântica adjacente a um experimento com adubo orgânico, também é muito maior do que em sistemas de cultivo de milho tanto com adubo mineral como orgânico.

WATZLAWICK (2002) mostra fixação de carbono em Floresta Ombrófila Mista em diferentes estágios de regeneração, que a floresta em estágio de regeneração mais avançado acumula mais biomassa e carbono que a floresta em estágio menos avançado. DUDA et al. (1999) caracterizou e avaliou formas de carbono orgânico em solos sob diferentes coberturas vegetais e avaliou também seu potencial para indicar recuperação de área degradada, concluindo que o carbono total é maior em solo sob floresta seguido de solo sob pastagens a taxa de carbono mineralizável é maior em solo sob pastagens do que solo sob floresta. Em sistemas de cultivo, AMADO et al. (2001), também comparou estocagem de carbono em sistemas de plantio direto no sistema milho e mucuna com C e N em áreas de campos naturais e observou uma maior estocagem nos campos naturais, mas o plantio direto acumula mais C e N do que o sistema convencional. FREIXO et al. (2002), mostra a redução dos teores de Carbono nas frações leves de um latossolo de Cerrado quando feita a substituição da vegetação nativa de Cerrado pelos agroecossistemas, indicando que os sistemas agrícolas mesmo que praticado em plantio na palha também reduz os teores de carbono no solo. A introdução recente de plantio direto, ou mesmo de pastagens ou cultivo convencional de longa duração em áreas de Cerrado nativo pode não causar alterações significativas nos teores e estoques de carbono e nitrogênio totais, em Latossolos argilosos D'ANDREA et al. (2004),

No que se refere à dinâmica das reações no material acumulado nos diferentes estágios sucessionais, bem como o acúmulo de carbono orgânico na serrapilheira, conforme ANDERSON; PROCTOR e VALLACK (1983), e CORREIA et al. (1995), citado por WATZLAWICK (2002), são influenciados pelos fatores do ambiente temperatura e umidade, pela qualidade inicial do

material formador como a relação C/N, pelos componentes orgânicos, micronutrientes e organismos do solo. O compartimento matéria orgânica inerte é resistente à decomposição segundo COLEMAN e JENKINSON (1999).

Os solos, no geral, têm um papel importante no ciclo do carbono na terra. Isso é devido a sua maior alocação de estoque em ecossistemas terrestres. Em uma escala global, em solos minerais a 1 m de profundidade possuem 1300 a 1500 Gt C, ou seja duas vezes a mais estoque de carbono na biomassa de plantas terrestres conforme SCHLESINGER (1986). A média aritmética do carbono nos solos (horizonte B) do território paranaense é de 0,96% C MINEROPAR (2005).

No solo, o nitrogênio existe predominantemente em formas orgânicas, em uma enorme variedade de compostos ou radicais, que refletem a diversidade de compostos orgânicos existentes em plantas e em microorganismos do solo. O húmus apresenta, de uma maneira genérica, proteínas, aminoácidos livres e outros compostos nitrogenados não identificados RAIJ (1991). Uma pequena fração muito variável do teor total de nitrogênio, encontra-se nas formas inorgânicas de amônio e principalmente nitratos. O nitrato é a forma estável do nitrogênio em solos sob condições de oxidação. Em solos alagados, ocorre um acúmulo de amônio, pois a ausência de oxigênio interrompe a mineralização do nitrogênio na forma amoniacal MEURER (2006).

## 2.6 Fatores Físicos do Solo e Sua Relação Com o Carbono e o Nitrogênio

Os materiais do solo são formados por ingredientes orgânicos e inorgânicos cuja quantidade, tamanho das partículas (granulometria) e composição química dos fragmentos minerais do solo dependem do tipo de rocha onde se originaram e da intensidade do intemperismo a que está sujeito, ROSS (2005). O carbono no solo está correlacionado com algumas propriedades físicas como: a granulometria (textura) onde KIEHL (1979), mostra que solos em B-textural com maior % de areia total tem menor C% e solos mais arenosos são mais pobres em matéria orgânica. As partículas inorgânicas (areias, siltes e argilas) apresentam proporções que determinam uma das características mais importantes do solo: a textura, que irá determinar a facilidade ou não da penetração de raízes. A disponibilidade de água, a aeração,

a temperatura e o fluxo dos nutrientes também dependem da textura do solo, ROSS (2005). A textura refere-se à proporção relativa das partículas de areia, silte e argila que compõem o solo. Importantes processos e reações físicas e químicas que ocorrem nos solos estão intimamente associados à textura, devido ao fato que a textura determina a quantidade de superfície nas quais as reações devem ocorrer, além de influenciar muitas outras propriedades do solo MEURER et al. (2006). E a maior % de argila está associada a maior C%. Segundo MELO (2003), em geral existe uma correlação positiva entre teor de argila e estoque de carbono do solo. A fração argila é um importante fator de proteção do carbono orgânico do solo, aumentando o tempo de residência deste no solo, conforme DESJARDINS et al. (1994); KOUTIKA et al. (1999); TELLES et al. (2003), citado por MELO (2003). Ainda segundo MELO (2003), os solos do Acre apresentam menor concentração de carbono, quando comparados com a média dos solos da Amazônia, embora tenham melhor fertilidade. A principal razão para esse resultado seria a maior taxa de decomposição da matéria orgânica devido aos constantes ciclos de seca e umedecimento. Estes ciclos estão associados ao regime pluviométrico e características físicas, principalmente estrutura do solo. Segundo BAYER et al. (2003), verificou-se num experimento de cobertura do solo que, adicionalmente aos benefícios ambientais o estoque de matéria orgânica do solo traz reflexos positivos na capacidade de troca de cátions nos solos com argila de atividade baixa. De acordo com BAIRD (2005) os ácidos húmicos e fúlvicos estão adsorvidos com freqüência sobre as superfícies dos minerais de argila. Apesar de existir uma aparente homogeneidade quanto às características visíveis na paisagem, como relevo, cor de solo e vegetação, os atributos carbono e argila apresentam considerável variabilidade, mesmo dentro de pequenos espaços como as microbacias estudadas por FILHO et al. (2007).

A densidade também é um fator físico para determinação de estoque de carbono no solo. Solos com maiores teores de matéria orgânica, por exemplo, apresentam densidades menores, em torno de  $0,90 \text{ g cm}^3$ . Os solos arenosos, que são menos porosos, podem ter densidade superior a  $1,50 \text{ g cm}^3$ . Compactação do solo aumenta a densidade, diminuindo o espaço poroso, diminuindo assim, a oxigenação MEURER (2006). De acordo com MELLO (1983), por ser pouco densa, em relação aos minerais dos solos e, por favorecer a formação de grânulos, a matéria orgânica reduz a densidade aparente do solo.

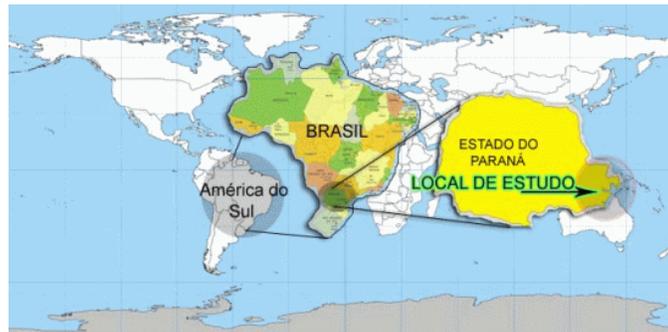
MELO (2003) encontrou valores elevados de densidade em estudo dos solos do Acre, com valores mais altos nas profundidades de 10 a 60 cm de profundidade, decrescendo entre 60 a 100 cm. Nas áreas de floresta a densidade variou entre 1,1 na superfície do solo e 1,5 g cm<sup>3</sup> em profundidade. KIEHL et al. (1973) citado por MELLO (1983), encontraram correlações significativas entre os teores de carbono e as densidades aparentes de solos com B textural e com B latossólico do estado de São Paulo.

### 3. Material e Métodos

#### 3.1 Caracterização da Área de Estudo:

As áreas desse estudo estão localizadas na Serra do Mar, mais precisamente no município de Antonina – PR (25°25' S e 48°40' W), dentro da APA de Guaraqueçaba chamado Reserva Natural do Rio Cachoeira (figura 1) e sob administração da ONG “Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental” (SPVS). As áreas estão em situação de encosta na Serra do Mar, com altitudes em torno de 50 – 100 m, sobre solos originados de rochas ácidas (fundo cristalino pré-cambriano). A floresta original que inicialmente recobria a área correspondente à Floresta Ombrófila Densa Submontana (IBGE, 1992). Atualmente encontra-se nos mais diversos estágios de regeneração, após o uso antrópico, (principalmente criação de gado bubalinos em pastagens).

a)



b)



c)



FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO MUNDO POR IMAGEM DE SATÉLITE DA REGIÃO DE ESTUDO NA BAÍA DE GUARAQUEÇABA: A) LOCALIZAÇÃO DO BRASIL NO MUNDO, DO ESTADO DO PARANÁ E ÁREA DE ESTUDO; B) MOSTRA A RESERVA NATURAL DO RIO CACHOEIRA NA APA DE GUARAQUEÇABA. C) RESERVA NATURAL DO RIO CACHOEIRA.

### 3.2 Delineamento Experimental

Para este estudo foram selecionadas áreas representativas de diferentes fases da vegetação e denominadas, de acordo com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), como Pastagem (P), Floresta em estágio inicial Herbáceo-Arbustivo (H), Floresta em estágio inicial Arbóreo (A), Floresta em estágio Médio (M) e Floresta em estágio avançado (F). Estas áreas foram selecionadas em duas classes de solo, Cambissolo e Gleissolo.

No Caso específico do Gleissolo, não foram encontradas florestas em estágio avançado. Assim, sobre Cambissolo foram estudadas as fases Pastagem (P), Herbácea-arbustiva (H), Inicial Arbórea (A), floresta Média (M) e floresta Avançada (F) e sobre Gleissolo as fases Pastagem (P), Herbácea-arbustiva (H), Inicial Arbórea (A) e floresta Média (M). Para cada uma destas fases, foram selecionadas três repetições em diferentes localidades dentro da Reserva natural do Rio Cachoeira, correspondendo a três repetições, chamadas de série 1, 2 e 3, para cada fase da vegetação em cada classe de solo.

### 3.3 Metodologia de Coleta:

As áreas de estudo fazem parte do projeto solobioma e tem sido objeto de diversas pesquisas envolvendo: caracterização florística e fitossociológica,

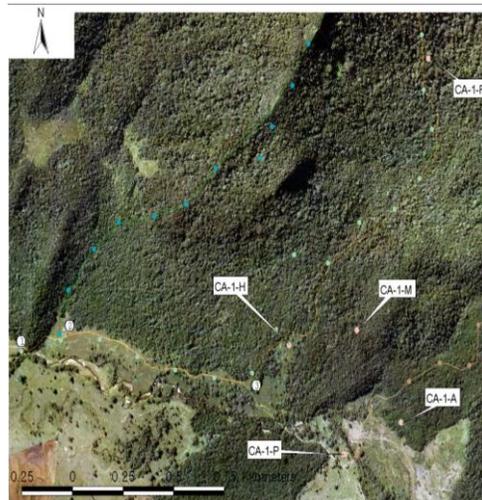
caracterização da biodiversidade da fauna do solo, de parâmetros microbiológicos do solo e da dinâmica biogeoquímica na interface solo-vegetação. O presente estudo é sobre o carbono e nitrogênio presentes nos solos destas distintas áreas.

No campo foram marcadas parcelas de 50m em cada uma das séries representando as diferentes fases de vegetação em cada classe de solo. Estas parcelas, previamente marcadas para as coletas de fauna do solo, serviram de referência para as coletas do presente estudo (figura 2). Para tanto, entre os dois transectos foram definidos aleatoriamente 3 pontos onde realizaram-se as coletas conforme descrição a seguir.

O solo foi coletado no horizonte mineral, desprezando a serrapilheira. Nas profundidades de 5-10, 10-20, 20-40 e 40-100 centímetros com trado holandês. Na profundidade 0-5 cm a coleta foi feita com auxílio de espátula (figura 3). Após coleta das amostras foi feito o acondicionamento em sacos plásticos para transporte. Adicionalmente em cada parcela, foi aberto um perfil de solo de 1 metro de profundidade, ou conforme diferenciação do perfil, para coleta de amostras indeformadas nas profundidades citadas, com utilização de cilindro volumétrico ou anel de Kopecky (figura 4).

Em cada profundidade no perfil foram utilizados 3 anéis volumétricos ou de Kopecky sendo dois pequenos de 2,5 cm e um grande de 4,5 cm no meio para caracterizar 3 repetições em cada profundidade. Após retirado o anel volumétrico ou de Kopecky com a amostra indeformada de solo, foi feito o embalamento com filme plástico de PVC e enrolado com fita adesiva para manter a integridade das amostras, na sequência foi marcado cada anel individualmente com caneta definitiva para posteriormente transportar até o Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola do setor de Ciências Agrárias da UFPR (figura 5).

a)



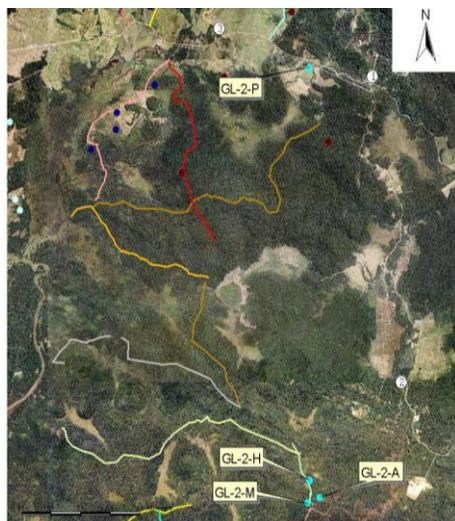
b)



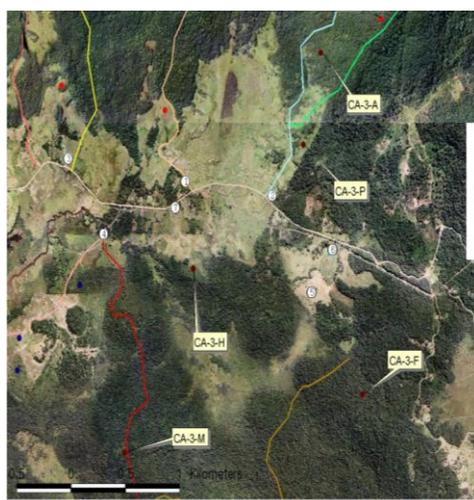
c)



d)



e)



f)



FIGURA 2 – FOTOS AÉREAS DAS ÁREAS DE COLETA COM INDICAÇÃO DAS PARCELAS PARA CADA FASE DE SUCESSÃO VEGETAL NAS TRÊS REPETIÇÕES OU SÉRIES EM CAMBISSOLO (CA) E GLEISSOLO (GL). A) SÉRIE 1 CAMBISSOLO B) SÉRIE 1 GLEISSOLO C) SÉRIE 2 CAMBISSOLO D) SÉRIE 2 GLEISSOLO E) SÉRIE 3 CAMBISSOLO F) SÉRIE 3 GLEISSOLO.

a)



b)



c)



FIGURA 3 - A) COLETA COM ESPÁTULA NA PROFUNDIDADE 0-5 CM; B E C) COLETA COM TRADO HOLANDÊS A PARTIR DA PROFUNDIDADE 5 CM.

a)



b)



c)

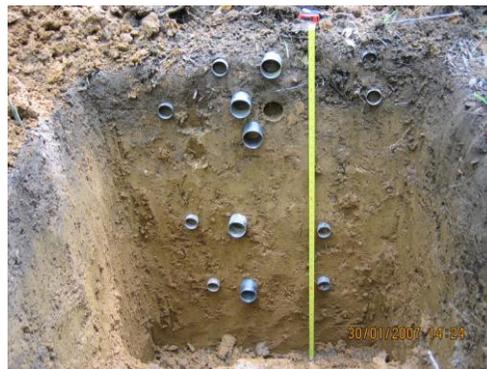


FIGURA 4 - A e B) ABERTURA DO PERFIL DE SOLO COM 1 METRO DE PROFUNDIDADE;  
C) COLETA DE AMOSTRAS INDEFORMADAS COM ANEL DE KOPECKY E  
CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.



FIGURA 5 – ACONDICIONAMENTO DOS ANÉIS DE KOPECKY COLETADOS PARA AMOSTRAS INDEFORMADAS.

### 3.4 Análises Físicas e Químicas das Amostras de Solo

#### 3.4.1 Análises Físicas

As análises físicas foram realizadas no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR.

##### 3.4.1.1 Densidade Aparente

A densidade aparente do solo foi determinada nas amostras indeformadas, de acordo com EMBRAPA (1997). Determinada pelo método do anel volumétrico onde a amostra de solo com estrutura indeformada é coletada em anel volumétrico de aço ou anel de Kopeccky. Os anéis volumétricos, contendo as amostras indeformadas com umidade de campo foram colocadas em estufa a 105°C e, após 24 a 48 horas para secagem, foram pesadas, sendo posteriormente tomadas as medidas dos anéis individualmente, para cálculo do volume. O volume dos anéis foram determinados usando a fórmula do volume do cilindro, e as medidas dos anéis foram obtidas com Paquímetro.

Para cálculo da densidade aparente foi usado a fórmula:

$$D_a = m/V$$

$$\text{Densidade aparente (g/cm}^3\text{)} = m/V$$

m= massa da amostra seca;

V= Volume do Anel de Kopecky;

#### 3.4.1.2 Análise Granulométrica (Textura)

Esta análise foi realizada nas amostras coletadas nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 40-100. As amostras foram secadas em temperatura ambiente em local específico e passadas em peneiras de 2 mm para posterior análise de granulometria.

O método analítico para determinação de granulometria está de acordo com EMBRAPA (1997), método do densímetro. Baseia-se na sedimentação das partículas que compõem o solo. Após adição de um dispersante químico, fixa-se um tempo único para o determinação da densidade da suspensão que admite-se ser a concentração total da argila. As frações grosseiras (areias fina e grossa) são separadas por tamisação e pesadas. O silte é obtido por diferença.

#### 3.4.2 Análises Químicas

##### 3.4.2.2 Determinação de Carbono e Nitrogênio Total

O preparo das amostras e as determinações analíticas de carbono e nitrogênio foram realizados no Laboratório de Biogeoquímica e Nutrição de Plantas (LABINP) do Setor de Ciências Agrárias da UFPR.

As amostras de solos foram secadas à temperatura ambiente, peneiradas em malha de 2 mm, posteriormente moídas em moinho mecânico e novamente passadas em peneiras de 100 mesh acondicionando em recipiente inerte específico. Cerca de aproximadamente 25 mg de solo foram pesadas em balança analítica específica e acondicionados em cápsulas de estanho. Estas amostras foram, então, depositadas no carrossel do analisador elementar. As determinações de carbono e nitrogênio total e relação C/N foram feitas em equipamento Analisador CNHS, da marca Elementar modelo Vario El (figura 6).



FIGURA 6 - VISTA EXTERIOR E INTERIOR DO ANALISADOR ELEMENTAR CNHS MODELO VARIO EL.

Conforme o manual do equipamento, o princípio da análise elementar baseia-se na transformação térmica de substâncias orgânicas resultando em produtos gasosos. A mistura de produtos gasosos da reação é purificada, separada em seus componentes e analisada com um detector termocondutimétrico (TCD). A amostra analisada é queimada num fluxo de oxigênio puro. A queima quantitativa está garantida pelo uso de catalisadores (Cer-dióxido e CuO). Resultam os elementos C, H e N na forma de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e diversos NO<sub>x</sub> e nitrogênio molecular. Os óxidos de nitrogênio são reduzidos quantitativamente para N<sub>2</sub>. Os produtos gasosos são transportados para um sistema de separação e medição. Nitrogênio chega direto no detector (TCD) enquanto a água e o dióxido de carbono são retidos por adsorção em colunas específicas, e liberadas consecutivamente por dessorção térmica. Assim os componentes chegam temporariamente separados no detector. Os piques medidos são analisados como integrais de áreas e transferidos ao computador pelo cálculo de conteúdos percentuais dos elementos.

#### 3.4.2.3 Cálculo do Estoque de Carbono e Nitrogênio

Após obter dados dos teores de carbono e nitrogênio em porcentagem, foram calculados os estoques de carbono e nitrogênio total através da fórmula:

Fórmula do Estoque de Carbono:

$$EC_h = C\% \times DA_{(m)} \times 1000 \times h$$

$$EC = \text{Kg.m}^{-2}$$

Sendo:

EC = Estoque de Carbono

C% = Porcentagem de Carbono

DA = Densidade Aparente

h = Altura

Fórmula do Estoque de Nitrogênio:

$$EN_h = N\% \times DA_{(m)} \times 1000 \times h$$

$$EM = \text{Kg.m}^{-2}$$

Sendo:

EN = Estoque de Nitrogênio

N% = Porcentagem de Nitrogênio

DA = Densidade Aparente

h = Altura

### 3.4.3 Análise Estatística

Para cada classe de solo foram realizadas análises de variância e teste de comparação de médias (Tuckey) entre as diferentes profundidades, estágios de vegetação (tipologia) e classe de solo.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 Análises Físicas do Solo

#### 4.1.1 Análise Granulométrica (textura)

##### 4.1.1.1 Análise Granulométrica em Cambissolo

Analisando os gráficos de granulometria (FIGURA 7), nas diferentes profundidades para cada tipologia vegetal em Cambissolo, percebeu-se que, praticamente em todas as tipologias vegetais, o teor de argila tende a aumentar com a profundidade e os teores de silte e areia tenderam a diminuir.

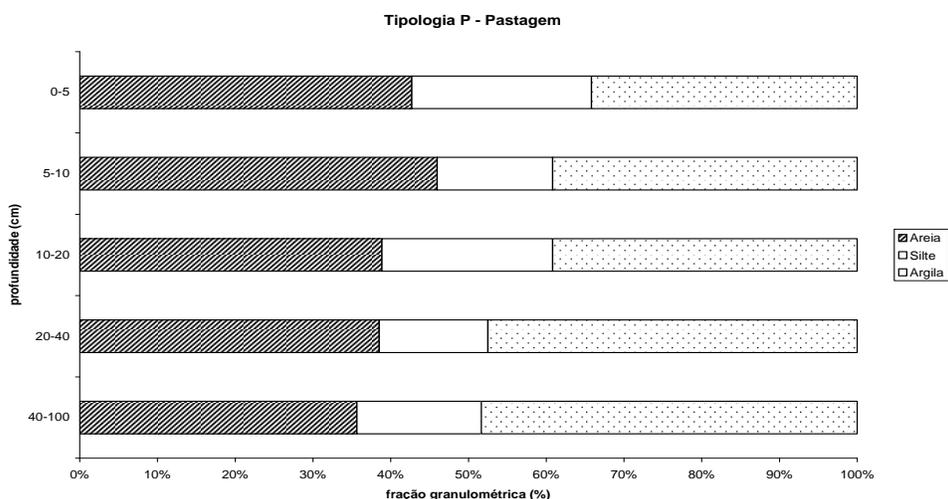
Na tipologia pastagem (P) os teores de argila variaram em valores aproximados entre 35 e 45%, o silte entre 15 e 25% e a areia entre 35 e 50%. Na tipologia inicial Herbácea-arbustiva (H) os valores aproximados foram entre 35 a 50% de argila, entre 10 e 20% de silte e 35 a 40% de areia. Na tipologia inicial Arbórea (A) os teores variaram entre 45 a 50% de argila, 10 a 20% de silte e 40% de areia. Na tipologia floresta Média (M) os teores aproximados variaram entre 50 a 55% de argila, 10 a 20% de silte e aproximadamente 35% de areia. E na tipologia floresta Avançada (F) os teores aproximados foram entre 45 a 60% de argila, 10 a 30% de silte e aproximadamente 30% de areia. Quando comparadas as diferentes tipologias desde pastagem até as fases de sucessão secundária percebeu-se um gradual aumento nos teores das partículas mais finas como argila e silte à medida que as fases sucessionais tornam-se mais avançadas, onde as fases floresta média (M) e floresta avançada (F) apresentaram maiores teores de partículas mais finas como silte e argila. Observou-se maior teor de partículas mais grosseiras como areia no Cambissolo sob pastagem (P) e tipologia inicial Herbácea-arbustiva (H).

Em profundidade observou-se a tendência em aumentar os teores de partículas mais finas à medida que aumenta a profundidade no perfil de solo. Nesta classe de solo considerando as tipologias vegetais pastagem, inicial herbácea-arbustiva e inicial arbórea notou-se maior teor de areia até a profundidade 10 cm, e aumento nos teores de argila após esta profundidade. Em Cambissolo sob as tipologias floresta média (M) e floresta avançada (F)

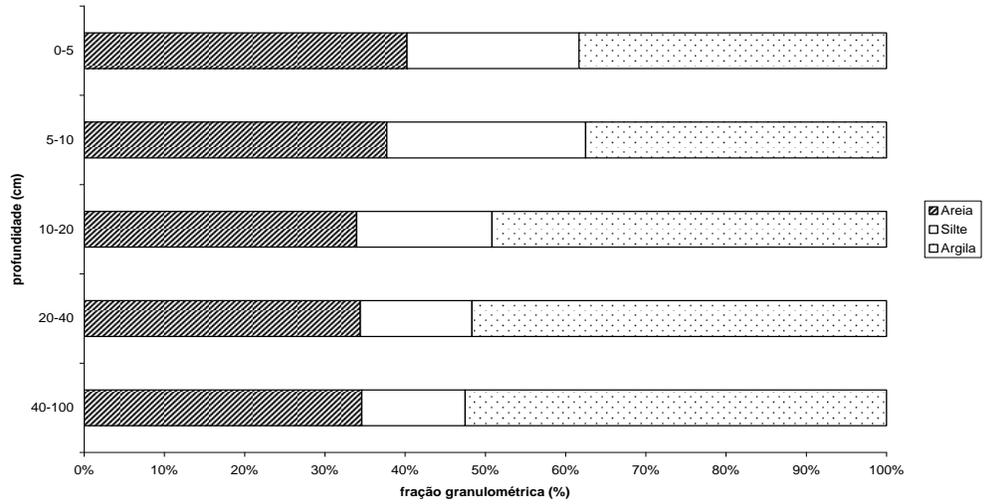
apresentam maiores teores de argila nas profundidades 20-40 e 40-100 cm quando comparados com outras tipologias vegetais, apesar de pequena a diferença. Ficando mais visível esse fato na profundidade 40-100 cm na tipologia F, onde o teor de argila chega até aproximadamente 60%. As frações areia, silte e argila estão condicionadas a gênese do solo através de perdas, adições, transformações e transporte de materiais (LIMA, 2003) não sendo influenciada diretamente pela cobertura vegetal.

Teores parecidos de argila foram encontrados em Cambissolos por SANTOS et al. (2005). A textura dos Cambissolos varia muito, de acordo com o material de origem e as características do relevo e condições climáticas (EMBRAPA, 1999; JACOMINE, 2001; ROCHA et al., 2005). O principal fator que influencia nas diferentes frações granulométricas é a gênese do solo, sendo que a vegetação não exerce influencia direta.

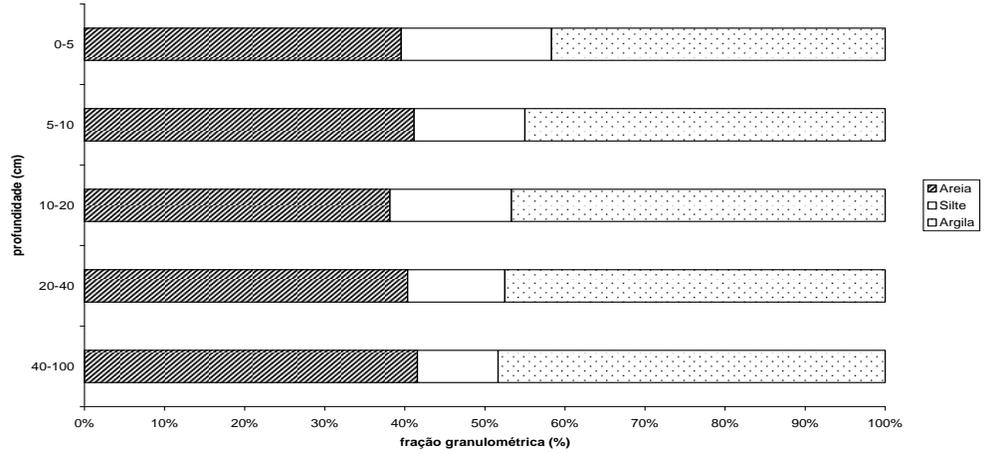
FIGURA 7 – GRÁFICOS DE GRANULOMETRIA (%) DE DIFERENTES PROFUNDIDADES EM CAMBISSOLO, EM DIFERENTES TIPOLOGIAS DA FLORESTA OMBRÓFILA DENSA NO PARANÁ.



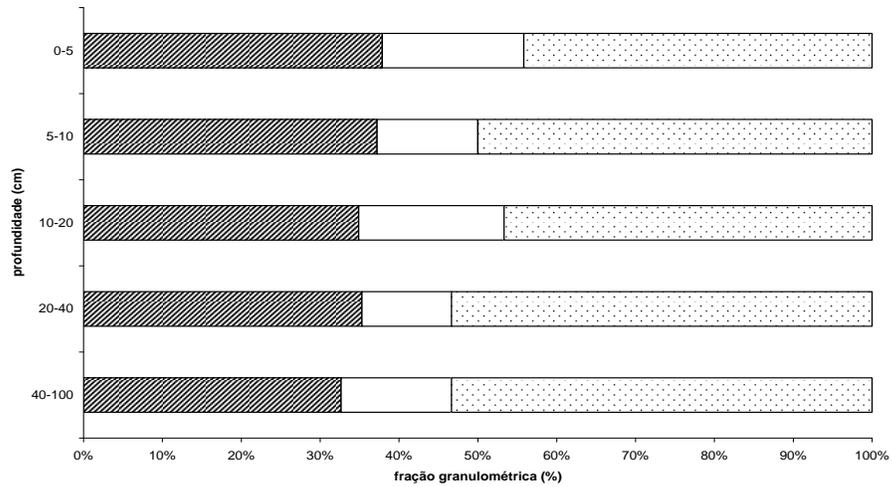
### Tipologia H - Herbácea-arbustiva

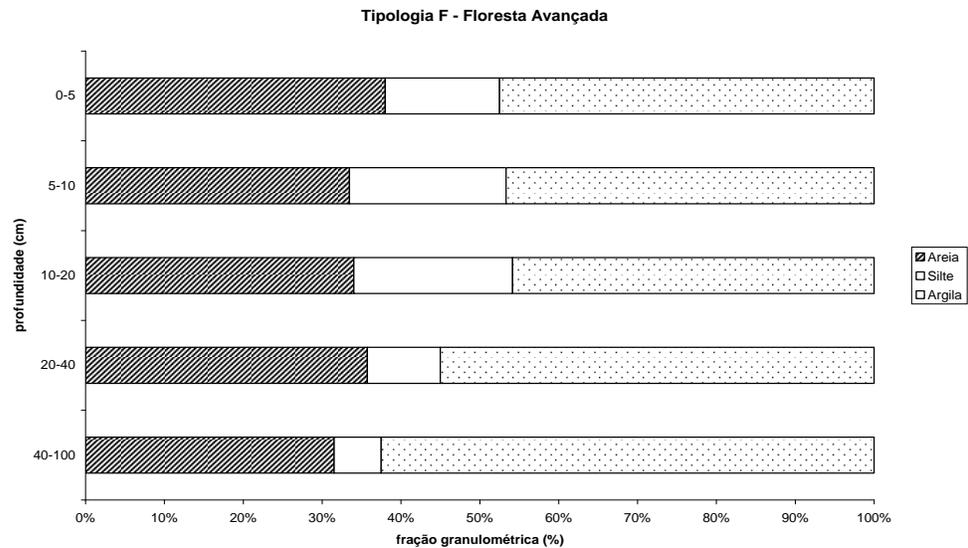


### Tipologia A - Arbórea



### Tipologia M - Média





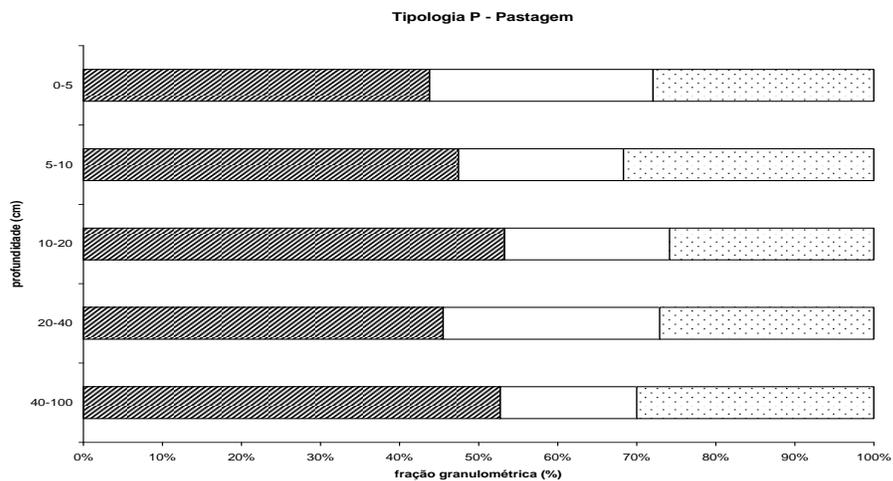
#### 4.1.1.2 Análise Granulométrica em Gleissolo

Em Gleissolo a granulometria tendeu a apresentar maior porcentagem de areia em relação à silte e argila, e isso aconteceu em todas as tipologias vegetais e em todas as profundidades. No Gleissolo sob tipologia pastagem (P) observou-se valores dos teores de argila com aproximadamente 30%, silte variando entre 15 a 25% e areia 45 a 50%. Na tipologia inicial Herbácea-arbustiva(H) os valores aproximados dos teores foram entre 20 a 25% de argila, 10 a 30% de silte e 50 a 60% de areia. Na tipologia inicial Arbórea (A) os valores aproximados dos teores foram entre 10 a 25% de argila, 5 a 10% de silte e 70 a 80% de areia. E na tipologia floresta média os valores aproximados das médias foram 15 a 30% de argila, 5 a 30% de silte e 40 a 80% de areia. Quando comparadas as tipologias percebeu-se que houve maior teor de areia sob solo desde pastagem até a fase floresta média. A tipologia que apresentou o maior teor de areia e menores teores de partículas mais finas como silte e argila foi a fase inicial arbórea.

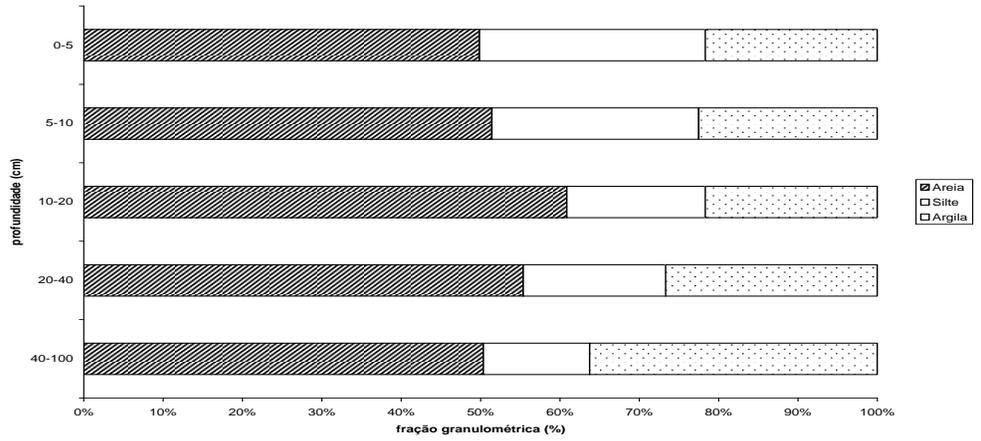
A areia distribui-se de uma forma homogênea no perfil de solo na pastagem (P) e nas fases inicial herbácea-arbustiva (H) e inicial arbórea (A), mas notou-se um aumento no teor de areia em profundidade na fase floresta média (M) chegando a quase 80%. Na fase inicial arbórea (A) observou-se os maiores teores de areia quando comparado com outras tipologias com teores

superiores a 60% em todas as profundidades. A tipologia floresta média mostrou aumento gradual no teor de areia com a profundidade do solo e é a fase que apresentou os maiores teores de partículas mais finas como silte e argila. Teores parecidos foram encontrados em Gleissolos por SANTOS et al. (2005). Os teores granulométricos estão associados à gênese do solo, proximidade dos rios, posição na paisagem, dentre outros fatores que podem influenciar. De acordo com o IPCC (1997), existe uma relação estreita entre fatores como textura/mineralogia da argila com o conteúdo de matéria orgânica dos solos e também com a susceptibilidade dos solos à perda de carbono. Isto decorre, por exemplo, do fato de as argilas de atividade alta serem menos susceptíveis às mudanças de estoque de carbono por mudança de uso da terra, enquanto as argilas de atividade baixa são mais susceptíveis a essas mudanças. As argilas de atividade alta são aquelas com capacidade de troca de cátions - CTC superior a 24 cmol /kg de argila, enquanto as argilas de atividade baixa são as com CTC abaixo de tal valor CERRI et. al (1997).

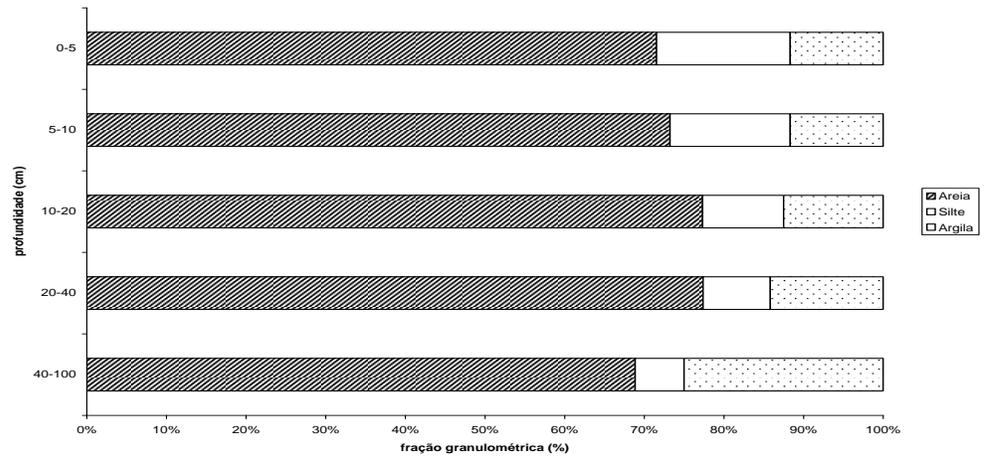
FIGURA 8 – GRÁFICOS DE GRANULOMETRIA (%) DE DIFERENTES PROFUNDIDADES EM GLEISSOLO, EM DIFERENTES TIPOLOGIAS DA FLORESTA OMBRÓFILA DENSA NO PARANÁ.



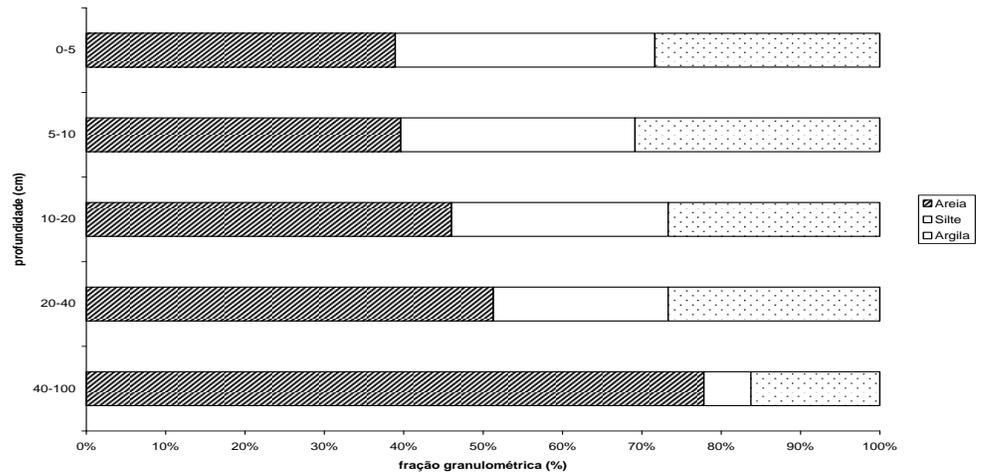
Tipologia H - Inicial Herbácea-arbustiva



Tipologia A - Inicial Arbórea



Tipologia M - Média



#### 4.1.2 Densidade aparente

Os valores médios de densidade aparente (média de três repetições) nas diferentes tipologias de cobertura vegetal, nas duas classes de solo, são apresentados nas tabelas 1 e 2.

TABELA 1 – DENSIDADE APARENTE ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES, EM GLEISSOLO, EM DIFERENTES TIPOLOGIAS DE COBERTURA VEGETAL.

Profundidade (cm)	Tipologia			
	Pastagem (P)	Inicial Herbácea-arbustiva (H)	Inicial Arbórea (A)	Florestal Média (M)
0-5	0,68	0,69	1,03	0,59
5-10	1,05	0,97	1,06	0,85
10-20	1,26	1,33	1,24	0,90
20-40	1,56	1,27	1,26	1,18
40-100		1,13	0,98	1,14

TABELA 2 – DENSIDADE APARENTE ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES EM CAMBISSOLO, EM DIFERENTES TIPOLOGIAS DE COBERTURA VEGETAL.

Profundidade (cm)	Tipologia				
	Pastagem (P)	Inicial Herbácea-arbustiva (H)	Inicial Arbórea (A)	Florestal Média (M)	Florestal Avançada (F)
0-5	0,88	0,82	0,72	0,70	0,71
5-10	1,06	0,97	0,92	0,91	0,81
10-20	1,13	1,12	1,09	1,00	0,88
20-40	1,14	1,12	1,12	1,02	0,99
40-100	1,16	1,13	1,10	1,07	1,02

Em Gleissolo, a média da densidade aparente do solo variou entre  $0,59 \text{ g/cm}^3$  na fase florestal média (M) e  $1,03 \text{ g/cm}^3$  na fase inicial arbórea (A), na profundidade de 0-5 cm. Na profundidade 5-10 cm, a média variou de  $0,85 \text{ g/cm}^3$  na fase florestal média (M) a  $1,06 \text{ g/cm}^3$  na fase inicial arbórea (A). A 10-20 cm, as médias são de  $0,90 \text{ g/cm}^3$  na fase florestal média (M) a  $1,33 \text{ g/cm}^3$  na fase inicial herbácea-arbustiva (H). Na profundidade 20-40 cm, as médias são  $1,18 \text{ g/cm}^3$  na fase florestal média (M) e  $1,56 \text{ g/cm}^3$  na pastagem (P). E de 40 a 100 cm, as médias são  $0,98 \text{ g/cm}^3$  na fase inicial arbórea (A) e  $1,14 \text{ g/cm}^3$  na florestal média (M).

De maneira geral, em todas as tipologias avaliadas, a densidade aparente do solo é mais baixa na profundidade 0-5 cm e isto é atribuído à presença de maior teor de matéria orgânica nesta profundidade. Abaixo de 5 cm de

profundidade, os valores de densidade tendem a aumentar gradativamente e isto se explica, em parte, pela diminuição dos teores de matéria orgânica no solo. Como há variação de textura entre as diferentes profundidades nas diferentes classes de solos estudados, nas tipologias vegetais (FIGURAS 7 e 8), os resultados sugerem que os valores de densidade mais elevados, sobretudo entre 5 e 40 cm de profundidade, devem estar associados ao histórico de uso do solo, ou seja, possivelmente, devido à compactação provocada pela atividade de criação de búfalos que era comum nestas áreas de estudo.

Na tipologia A, os valores relativamente mais elevados de densidade aparente, em relação às demais tipologias, poderia ser explicado pelo maior percentual de partículas de areia no solo desta área, o que daria um maior valor de densidade de partículas e, conseqüentemente, maior valor de densidade aparente.

Na tipologia M, onde a atividade agropecuária, se existiu, foi extinta há mais tempo, a densidade acima de 1,0 g/cm<sup>3</sup> só foi observada abaixo dos 40 cm de profundidade. Em superfície, o solo estaria mais bem estruturado devido ao crescimento de raízes e ao aporte de material orgânico pela vegetação florestal.

Também foi observado que na profundidade até 10 cm a fase inicial herbácea-arbustiva (H) tem densidade menor em relação à pastagem (P), o que sugere um efeito da vegetação, contribuindo para a diminuição da densidade aparente do solo.

Em Cambissolo, a densidade aparente do solo variou entre 0,70 g/cm<sup>3</sup> na fase florestal média (M) e 0,88 g/cm<sup>3</sup> em pastagem (P), na profundidade de 0-5 cm. Na profundidade de 5-10 cm, a menor densidade foi de 0,81 g/cm<sup>3</sup> na fase florestal avançada (F) e a maior (1,06 g/cm<sup>3</sup>) em pastagem (P). Na profundidade 10-20 cm a menor densidade aparente do solo foi de 0,88 g/cm<sup>3</sup> na fase florestal avançada (F) e a maior foi de 1,13 g/cm<sup>3</sup> em pastagem (P). Na profundidade 20-40 cm a menor densidade foi de 0,99 g/cm<sup>3</sup> na fase florestal avançada (F) e a maior foi de 1,14 g/cm<sup>3</sup> em pastagem (P). E na profundidade 40-100 cm a menor densidade é de 1,02 g/cm<sup>3</sup> na fase florestal avançada (F) e a maior de 1,16 g/cm<sup>3</sup> em pastagem (P). Ou seja, de maneira geral, os maiores valores de densidade foram observados na pastagem e os menores na

tipologia florestal avançada. Conforme discutido para o Gleissolo, também no Cambissolo, os resultados sugerem que os maiores valores de densidade aparente na pastagem estão relacionados com a atividade de criação de búfalos, desenvolvida até recentemente na área. Com o abandono da atividade agropecuária e retorno da vegetação florestal, esta densidade tenderia a diminuir ao longo do tempo, devido ao aporte de material orgânico e desenvolvimento das raízes, que contribuiriam para promover uma melhor agregação do solo. SALIMON (2003) encontrou valores para a densidade do solo variando de 1,0 a 1,4 g/cm<sup>3</sup>, nas profundidades 0-5 cm a até 50-60 cm, em solos com horizonte B-textural e presença de argilas de alta atividade, e MELO (2003) encontrou para a densidade do solo valores entre 1,1 e 1,7 g/cm<sup>3</sup>. Também WADT (2004) encontrou valores de densidade do solo similares aos citados, em Plintossolo Argilúvico da formação Solimões em lavoura e área de regeneração a 90 cm de profundidade.

Foi observado na série 1, ou primeira repetição, maiores valores de densidade aparente (ANEXO 1). Isto se explica pelo fato de que a pastagem ainda estava em uso, por estar fora da área da reserva, corroborando na hipótese de que a compactação é em virtude da atividade agropecuária. SALIMON et al. (2007) encontrou aumento da densidade em conversão de floresta para pastagens em Argissolos da formação geológica Solimões, no sudoeste da Amazônia.

Praticamente inexistem estudos avaliando o efeito da sucessão secundária em florestas nativas sobre a densidade do solo. Existem estudos comparando a utilização do solo por diferentes tipos de pastagens ou comparando pastagens com outras coberturas vegetais. SCHUNKE et al. (2004), em áreas de pastagem, observaram maior densidade em pastagem com braquiária em relação ao consórcio com leguminosas. SANTOS et al. 2005, ao estudarem Organossolo sob floresta e cultivado, na região de influência de Floresta Ombrófila Densa no estado do Rio de Janeiro, observaram maior densidade no solo cultivado em relação à floresta e, também, decréscimo nos teores de carbono orgânico à medida que aumentava a densidade. A densidade em solos cultivados com preparo convencional também é maior em relação ao preparo para plantio direto, relacionando diretamente com os teores de carbono

e nitrogênio, mostrando assim a importância da cobertura com matéria orgânica no solo (JANTALIA et al. 2006).

Comparando os valores de densidade aparente entre Cambissolo e Gleissolo, nota-se que, entre 10 e 40 cm de profundidade, independentemente da tipologia vegetal, a densidade é maior em Gleissolo do que em Cambissolo. Isto poderia ser explicado pelos teores de areia serem, de maneira geral, superiores no Gleissolo. Mas ao observar os valores nas camadas mais profundas, menos sujeitas a mudanças pelo uso do solo, observa-se pequena diferença entre Cambissolo e Gleissolo. Assim, os resultados sugerem que o Gleissolo seja suscetível a maior compactação do que o Cambissolo. Isto seria explicado pela presença constante de água no perfil do solo. Vários trabalhos de conservação de solo mostram que em condições de saturação do solo com água, a probabilidade de compactação é muito maior do que em condições de solo mais aerado MELO (2003); MADARI (2004).

A densidade aparente do solo tanto em Cambissolo como em Gleissolo tende a elevar-se à medida que aumenta a profundidade no perfil de 0 a 100 cm, e isso acontece praticamente em todas as tipologias desde pastagem até as tipologias florestais média (M) e avançada (F). Outros autores, para outras classes de solo, também encontraram comportamento semelhante de aumento de densidade no perfil de solo em profundidade (KIEHL, 1979; MELO, 2003).

## 4.2 Análises Químicas do Solo

### 4.2.1. Teores de Carbono, Nitrogênio e Relação C:N, Independentemente da Cobertura Vegetal.

Os teores de carbono ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ), nitrogênio ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) e relação C:N em Cambissolo e Gleissolo, independentemente da cobertura vegetal, são apresentados nas tabelas 3, 4 e 5.

Em Cambissolo as médias dos teores ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) de carbono na profundidade 0-5 cm foi de 47,1 decrescendo até 9,3 na profundidade 40-100 cm. E os teores ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) de nitrogênio variaram de 0,41 na profundidade 0-5 cm até 0,08 na profundidade 40-100 cm. A relação C:N apresentou diminuição de 11,51 na profundidade 0-5 cm até 10,97 na profundidade 40-100 cm.

Em Cambissolo, as médias dos teores de carbono decrescem à medida que aumenta a profundidade no perfil de solo. Percebe-se a mesma tendência para o nitrogênio, pois tende a acompanhar o decréscimo dos teores de carbono. Como o decréscimo nos teores de C e N são proporcionais, não se observam diferenças significativas para os valores da relação C/N entre as diferentes profundidades.

Em Gleissolo, as médias dos teores de carbono ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) variaram de 52,5 na profundidade 0-5 cm até 12,9 na profundidade 20-40 cm. Os teores de nitrogênio ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) variaram de 3,8 na profundidade 0-5 cm chegando a 0,9 na profundidade 20-40 cm. E a relação C:N apresentou média de 14,08 na profundidade 0-5 cm até 13,71 na profundidade 20-40 cm.

Em Gleissolo há também tendência de diminuição dos teores de carbono, com o nitrogênio acompanhando a diminuição dos teores de C no perfil. A relação C:N comporta-se semelhante ao que foi observado no Cambissolo, ou seja, não varia entre as diferentes profundidades.

Quando comparadas as médias dos teores de carbono e nitrogênio entre Cambissolo e Gleissolo, não se observam diferenças estatísticas entre classes de solo, independentemente da profundidade considerada. Entretanto, observa-se uma pequena diferença numérica traduzida, em geral, por maiores teores de C no Gleissolo. Isto explica as diferenças observadas entre as duas classes de solo com respeito à relação C:N. Em Gleissolo os valores desta relação mostram-se significativamente superiores, ou seja em torno de 13 a 14, enquanto no Cambissolo eles ficam entre 10 e 11. Em ambas as classes de solo, os valores da relação C:N estão na faixa de valores que favoreceria a mineralização da matéria orgânica e a consequente liberação de nitrogênio para o sistema solo-planta KIEHL (1979). Para o nitrogênio observou-se que não houve diferença estatística, mas uma pequena diferença numérica onde os teores são maiores em Cambissolo quando comparado entre as classes de solo.

Comparativamente os teores de carbono em Gleissolo são maiores do que em Cambissolo, provavelmente condicionados pela relação C:N do solo conforme já observado. Fato este justificado por causa das características desse tipo de solo que apresenta saturação por água, o que dificulta a oxidação da matéria orgânica. Outro fato já discutido é a maior quantidade de

carbono orgânico dissolvido na solução de solo. Os Cambissolos por terem textura mais fina com maior porcentagem de silte e argila liberam gradualmente o carbono para o solo, por causa da sua capacidade de adsorção MELO (2004) e NEU (2005).

TABELA 3 - TEORES DE CARBONO (g.Kg<sup>-1</sup>), NITROGÊNIO (g.Kg<sup>-1</sup>) E RELAÇÃO C:N NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES EM CAMBISSOLO INDEPENDENTEMENTE DA COBERTURA VEGETAL

Profundidades	Médias Nitrogênio	Medias Carbono	Medias C:N.
0-5cm	4,10 a	47,1 a	11,51 a
5-10cm	2,60 b	29,9 b	11,18 ab
10-20cm	1,80 c	19,8 c	11,18 ab
20-40cm	1,20 d	13,3 d	10,87 ab
40-100cm	0,80 e	9,2 d	10,97 b

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância

TABELA 4 - TEORES DE CARBONO (g.Kg<sup>-1</sup>), NITROGÊNIO (g.Kg<sup>-1</sup>) E RELAÇÃO C:N NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES EM GLEISSOLO INDEPENDENTEMENTE DA COBERTURA VEGETAL.

Profundidades C/N.	Médias Nitrogênio	Medias Carbono	Medias C/N.
0-5cm	3,80 a	52,5 a	14,08 a
5-10cm	2,70 b	35,8 b	13,25 a
10-20cm	1,60 c	21,6 c	13,49 a
20-40cm	0,90 d	12,9 d	13,71 a

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância

TABELA 5 - COMPARAÇÃO ENTRE CAMBISSOLO E GLEISSOLO COM RELAÇÃO AOS TEORES DE CARBONO (g.Kg<sup>-1</sup>), NITROGÊNIO (g.Kg<sup>-1</sup>) E RELAÇÃO C/N NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES INDEPENDENTEMENTE DA COBERTURA VEGETAL

Profundidade	Médias Nitrogênio		Medias Carbono		Medias C:N.	
	GI	Ca	GI	Ca	GI	Ca
0-5cm	3,9 a	4,1 a	52,5 a	47,1 a	14,08 a	11,51 b
5-10cm	2,7 a	2,7 a	35,8 a	29,9 a	13,25 a	11,18 b
10-20cm	1,6 a	1,7 a	21,6 a	19,8 a	13,50 a	11,18 b
20-40cm	0,9 b	1,2 a	12,9 a	13,3 a	13,71 a	10,87 b

\*Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância

## 4.2.2 Teores de Carbono do Solo, em Função das Diferentes Coberturas Vegetais

### 4.2.2.1 Teores de Carbono em Cambissolo

Os teores de carbono ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ), em Cambissolo, nas diferentes profundidades, nas diferentes tipologias vegetais, são apresentados na tabela 6. Observou-se que há um aumento no teor de carbono à medida que as fases de sucessão secundária ficam mais avançadas. Onde a pastagem apresentou menor teor de carbono em relação às outras tipologias vegetais em praticamente todas as profundidades. Na profundidade 0-5 cm a fase floresta avançada (F) e floresta média (M) apresentaram os maiores teores quando comparados com outras tipologias com médias  $51,9 \text{ g.Kg}^{-1}$  e  $50,4 \text{ g.Kg}^{-1}$  respectivamente. Na profundidade 5-10 cm ocorreu fato semelhante onde a fase floresta avançada (F) apresentou também maior teor de carbono com média  $35,2 \text{ g.Kg}^{-1}$  e em seguida a fase inicial herbácea-arbustiva (H) com média  $31,1 \text{ g.Kg}^{-1}$  de carbono, é uma tendência o teor de carbono ser maior nas camadas superficiais do solo sob estes tipos de vegetação. A pastagem (P) nesta profundidade apresentou a menor média de teor de carbono juntamente com a fase floresta média (M) com  $27,2 \text{ g.Kg}^{-1}$  de carbono. Na profundidade 10-20 cm o maior teor de carbono foi para a fase floresta avançada (F) com  $26,0 \text{ g.Kg}^{-1}$  e a menor média foi para a pastagem (P) com  $16,3 \text{ g.Kg}^{-1}$  mostrando diferença significativa. Na profundidade 20-40 cm o maior teor de carbono também foi para a floresta avançada (F) com  $18,7 \text{ g.Kg}^{-1}$  de média e a menor teor foi para solos sob floresta média (M) com  $11,5 \text{ g.Kg}^{-1}$  seguido de pastagem (P) com  $11,9 \text{ g.Kg}^{-1}$ . E na profundidade 40-100 cm a fase floresta avançada (F) seguiu a tendência e apresentou maior média para teor de carbono com  $12,7 \text{ g.Kg}^{-1}$  e a menor média foi para pastagem (P) com  $8,1 \text{ g.Kg}^{-1}$ .

Os resultados do teste estatístico mostraram que nas camadas superficiais do solo (0-5 e 5-10 cm) os teores de Carbono não se diferenciam entre as diferentes tipologias estudadas. Apesar disso, observou-se uma tendência de aumento dos teores de carbono quando as tipologias vegetais tornam-se mais velhas. Nesta região, a vegetação de maior porte e mais complexa

estruturalmente, como ocorrem nas tipologias floresta (M) e floresta avançada (F), contribuem com maior quantidade de serrapilheira ao solo PINTO; MARQUES (2003), sendo esta a principal fonte de aporte de carbono ao solo.

Abaixo de 10 cm de profundidade, os teores de carbono mostraram-se superiores na tipologia florestal avançada (F). Estes dados ilustram bem a relação entre idade da floresta teor de carbono do solo. Mostram também que a substituição da floresta por outra forma de uso do solo pode contribuir para a diminuição dos teores de carbono no perfil do solo. A floresta, por constituir-se em sistema conservativo com relação ao ciclo do carbono, permite o acúmulo deste ao longo do tempo, promovendo o enriquecimento do solo em carbono, mesmo em profundidade. E a diversidade das espécies influencia com o maior ou menor aporte de carbono e nitrogênio no solo através da serrapilheira MARTINS (2004); SCHEER (2006). Outro fato que pode supostamente estar influenciando nestes maiores teores de C na floresta avançada (F) é o teor de argila, que se mostrou um pouco superior na tipologia F em relação às demais tipologias vegetais. A relação entre teor de argila e teor de carbono no solo já foi identificada por outros autores como MELO (2004) e NEU (2005). PAULA; VALLE (2007), estudando Espodossolos, Argissolos e Latossolos da região de Manaus, também mostrou relação direta entre as frações granulométricas e estoque de carbono, onde os solos com maior teor de carbono apresentam-se em solos com predominância da fração argila.

Com relação à variação em profundidade, todas as tipologias vegetais mostram diminuição dos teores de carbono com o aumento da profundidade, conforme já havia sido mostrado na TABELA 6. Fato também observado por PAULA; VALLE (2007). Este comportamento é típico na maior parte das classes de solos e foi observado em Latossolos, Argissolos e Espodossolos de textura argilosa, sob diferentes coberturas vegetais, na região de Manaus-AM, sendo que os teores de Carbono variaram de 2,67% ou 26,7 g.Kg<sup>-1</sup> na superfície até 0,15% ou 1,5 g.Kg<sup>-1</sup> à 150 cm de profundidade (MELO, 2004; NEU, 2005). SCHUNKE et al. (2004) também mostrou decréscimo no teor de carbono com o aumento da profundidade em Latossolos vermelho amarelo distrófico textura média em cultivo com braquiária consorciada sob Cerrado no Mato Grosso do Sul.

TABELA 6 TEORES DE CARBONO (g.Kg<sup>-1</sup>) EM FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL, NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES, EM CAMBISSOLO

Tipologias/ Profundidades	P	H	A	M	F
0-5cm	43,7 a	44,1 a	45,3 a	50,4 a	51,9 a
5-10cm	27,2 a	31,1 a	28,9 a	27,2 a	35,2 a
10-20cm	16,3 b	20,2 ab	17,8 b	18,2 b	26,0 a
20-40cm	11,9 b	12,3 b	12,4 b	11,5 b	18,7 a
40-100cm	8,1 b	9,6 b	8,5 b	8,3 b	12,7 a

\*Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância

#### 4.2.3.2 Teores de Carbono em Gleissolo

Em Gleissolo, os teores de carbono, nas diferentes profundidades, nas diferentes tipologias vegetais, são apresentados na tabela 7. Observou-se que a média do teor de carbono em Gleissolo variou de 54,4 g.Kg<sup>-1</sup> na fase floresta média (M) a 44,7 g.Kg<sup>-1</sup> na fase inicial herbácea-arbustiva (H) em profundidade de 0-5 cm. Na profundidade 5-10 cm o maior teor de carbono foi no solo sob tipologia floresta média (M) com média 36,2 g.Kg<sup>-1</sup> e a menor média foi na tipologia pastagem (P) com 31,9 g.Kg<sup>-1</sup>. Na profundidade 10-20 cm o maior teor de carbono foi observado na tipologia inicial arbórea (A) com 21,7 g.Kg<sup>-1</sup> e a menor em pastagem (P) com 18,8 g.Kg<sup>-1</sup>. E na profundidade 20-40 cm o maior teor de carbono foi observado na fase inicial arbórea (A) com 12,8 g.Kg<sup>-1</sup> de média e o menor teor na tipologia pastagem (P). No geral observou-se tendência em diminuição nos teores de carbono em Gleissolo à medida que a cobertura vegetal fica menos complexa.

A comparação das médias, pelo teste de Tukey, não mostrou diferenças estatísticas entre as diferentes tipologias vegetais. Mas percebe-se uma tendência de menores teores de carbono na pastagem (P), sobretudo abaixo de 5 cm de profundidade. Em todas as tipologias há tendência em diminuir o teor de carbono à medida que aumenta a profundidade no perfil de solo. Uma das possíveis causas das tipologias não apresentarem diferença estatística

entre si é o fato de que o carbono orgânico dissolvido na solução de solo rico em ácidos fúlvicos e húmicos são mais altos em pastagem do que em outras fases de sucessão secundária mais avançada, apresentando maior alocação da atividade primária líquida na camada superficial do solo em áreas com Braquiaria CERRI (2003); NEU (2005) tendendo apresentar alto teor de carbono semelhante as outras fases de sucessão secundária onde há maior complexidade vegetal.

De acordo com SANTOS et al. (2005) Gleissolos sob floresta nativa apresentaram teores de carbono de 7,5 % ou 75 g.Kg<sup>-1</sup> na profundidade 0-5 decaindo à 1% ou 10 g.Kg<sup>-1</sup> na medida que aumentou a profundidade no perfil até 1m. Especificamente em Gleissolo sob pastagem os teores de carbono na profundidade de 0-5 é de 55,0 g.Kg<sup>-1</sup> decaindo a porcentagem para aproximadamente 35,0 g.Kg<sup>-1</sup> à medida que aumenta a profundidade no perfil de solo até 1m. Esse fato pode corroborar em parte na hipótese de que em Gleissolo não há muita variação no teor de carbono independente da cobertura vegetal. Talvez isso possa ser explicado pela própria característica física do solo conforme já discutido anteriormente nos itens 4.1.1 e 4.2.2.

TABELA 7 - TEORES DE CARBONO (g.Kg<sup>-1</sup>) EM FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL, NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES, EM GLEISSOLO.

Tipologias/ Profundidades	P	H	A	M
0-5cm	50,5 a	44,7 a	51,2 a	54,4 a
5-10cm	31,9 a	33,3 a	33,0 a	36,2 a
10-20cm	18,8 a	19,3 a	22,3 a	21,7 a
20-40cm	11,5 a	14,8 a	12,8 a	12,4 a

#### 4.2.4 Teores de Nitrogênio do Solo, em Função das Diferentes Coberturas Vegetais

#### 4.2.4.1 Teor de Nitrogênio em Cambissolo

Observando as médias dos teores de nitrogênio ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) em Cambissolo, na tabela 8 em função da cobertura vegetal, nas diferentes profundidades em Cambissolo, notou-se então que, estas médias variaram de  $4,4 \text{ g.Kg}^{-1}$  em fase floresta avançada (F) a  $4,1 \text{ g.Kg}^{-1}$  em pastagem (P) na profundidade 0-5 cm. Na profundidade 5-10 cm a maior média para teor de nitrogênio foi em floresta avançada (F)  $3,1 \text{ g.Kg}^{-1}$  e a menor média na fase floresta média (M) com  $2,4 \text{ g.Kg}^{-1}$ , porém as outras fases apresentaram médias iguais de  $2,6 \text{ g.Kg}^{-1}$ . Na profundidade 10-20 cm o maior teor de nitrogênio foi em solo sob floresta avançada (F) com  $2,3 \text{ g.Kg}^{-1}$  de média e o menor teor em fase floresta média (M) com  $1,6 \text{ g.Kg}^{-1}$  de média. Na profundidade 20-40 cm o maior teor de nitrogênio foi em floresta avançada (F) com  $1,8 \text{ g.Kg}^{-1}$  e o menor em pastagem (P) com  $0,9 \text{ g.Kg}^{-1}$  de média. E na profundidade 40-100 cm também o maior teor de nitrogênio estava em solo sob floresta avançada (F) com média de  $1,1 \text{ g.Kg}^{-1}$  e o menor em pastagem (P) com  $0,6 \text{ g.Kg}^{-1}$  de média. No geral o teor de nitrogênio aumenta à medida que a vegetação avança nas fases sucessionais acompanhando a tendência em aumentar o teor em estágios de vegetação mais velhos, exceto na fase floresta média (M) onde não se observou essa tendência na maioria das profundidades.

Os valores das médias para nitrogênio em Cambissolo apresentaram diferença estatística por análise de variância, e teve a maior média na fase floresta avançada (F) em quase todas as profundidades quando comparado. Há tendência em diminuir o teor de nitrogênio à medida que aumenta a profundidade no perfil de solo. Exceto na profundidade 0-5 e 5-10 onde não houve diferença estatística se comparado com outras tipologias. D'ANDREA et al. (2004) observou que não há diferença em nitrogênio total nas camadas superficiais do solo se comparado sistemas de cultivo, pastagem e cerrado nativo sobre um Latossolo Vermelho distrófico. O aporte de serrapilheira ou material vegetal justifica os maiores teores de nitrogênio na superfície do solo na profundidade até 10 cm em todas as tipologias desde pastagem (P) até floresta avançada (F) JANTALIA et al. (2006); CAMPOS (2006). Os teores de nitrogênio no solo decrescem com o

aumento da profundidade e, em geral, a variação do nitrogênio acompanha as variações de carbono no solo NEU (2005); BERNOUX et al. (1999). O comportamento do nitrogênio tende a ser igual ao do carbono, apresentando maiores teores na fase floresta avançada (F) em Cambissolo.

O fato de que o nitrogênio apresenta maiores teores na fase floresta avançada pode ser justificado pela idade da floresta, pelo grau de perturbação e espécies contribuintes para o nitrogênio com suas frações CUNHA et al. (1993).

TABELA 8 - TEORES DE NITROGÊNIO ( $\text{g.Kg}^{-1}$ ) EM FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL, NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES, EM CAMBISSOLO.

Tipologias/ Profundidades	P	H	A	M	F
0-5cm	4,1 a	3,5 a	4,2 a	4,2 a	4,4 a
5-10cm	2,6 a	2,6 a	2,7 a	2,4 a	3,1 a
10-20cm	1,6 b	1,7 b	1,4 b	1,6 b	2,3 a
20-40cm	0,9 c	1,1 bc	1,2 b	1,0 bc	1,8 a
40-100cm	0,6 c	0,8 bc	0,9 ab	0,8 bc	1,1 a

\*Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância

#### 4.2.4.2 Teor de Nitrogênio em Gleissolo

O teor de nitrogênio nas diferentes tipologias em Gleissolo podem ser observados na tabela 9 que mostra os teores de nitrogênio  $\text{g.Kg}^{-1}$  em função da cobertura vegetal, nas diferentes profundidades em Gleissolo. A maior média de teor de nitrogênio foi 4,1  $\text{g.Kg}^{-1}$  na fase floresta média (M) e a menor na fase inicial arbórea (A) em profundidade de 0-5 cm. E o maior teor na profundidade 5-10 cm foi na fase floresta média (M) com 2,9  $\text{g.Kg}^{-1}$  de média e a menor na fase inicial arbórea (A) com 1,7  $\text{g.Kg}^{-1}$  de nitrogênio. Na profundidade 10-20 cm a maior média foi na floresta média (M) juntamente com a fase inicial herbácea-arbustiva (H) com 1,7  $\text{g.Kg}^{-1}$  de média e a menor em pastagem (P) com 1,5  $\text{g.Kg}^{-1}$ . E na profundidade 20-40 cm a maior média foi na fase inicial herbácea-arbustiva (H) com 1,0  $\text{g.Kg}^{-1}$  e a menor média foi

na fase inicial arbórea (A) com 0,9 g.Kg<sup>-1</sup> de nitrogênio. Notou-se que os teores de nitrogênio em Gleissolo são maiores à medida que as fases de sucessão secundária avançam e ficam mais complexas, apesar dos valores de médias muito próximos. Em Gleissolo somente houve diferença estatística na profundidade 5-10 cm, onde a floresta média (M) apresenta a maior média para nitrogênio.

No geral as médias dos valores de nitrogênio em Gleissolo são maiores nas camadas superficiais do solo em todas as tipologias, desconsiderando o teste de significância aplicado. Com o aumento da profundidade no perfil de solo os teores de nitrogênio tendem a diminuir acompanhando os teores de carbono NEU (2005); BERNOUX et al. (1999).

Praticamente não se percebeu diferença estatística por análise de variância nos valores das médias de nitrogênio em Gleissolo, mas notou-se que as maiores médias estão, na fase floresta média (M) na profundidade 5-10 cm, nesta fase de vegetação as médias estatísticas são iguais ao longo do perfil de solo. Na profundidade 0-5 cm em pastagem (P) nota-se a maior média para nitrogênio, isso se deve provavelmente pela dinâmica das espécies que compõem a pastagem CERRI (2003); NEU (2005); MELO (2003). BERNOUX et al. (1999). Pode se observar menor teor de nitrogênio em pastagem após a profundidade 10 cm quando comparado com outras fases de vegetação secundária. Provavelmente por causa das espécies contribuintes com nitrogênio sobre o Gleissolo e também as características físicas e químicas deste tipo de solo.

TABELA 9 - TEORES DE NITROGÊNIO (g. Kg<sup>-1</sup>) EM FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL, NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES, EM GLEISSOLO

Tipologias \ Profundidades	P	H	A	M
0-5cm	4,1 a	3,6 a	3,2 a	4,1 a
5-10cm	2,6 ab	2,5 ab	1,7 b	2,9 a
10-20cm	1,5 a	1,7 a	1,6 a	1,7 a
20-40cm	0,9 a	1,0 a	0,9 a	0,9 a

\*Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância

#### 4.2.5 Relação C:N do Solo, em Função das Diferentes Coberturas Vegetais.

##### 4.2.5.1 Relação C:N em Cambissolo e Gleissolo

Observando a tabela 10 que mostra as médias da relação C:N em Cambissolo nas diferentes tipologias vegetais em diferentes profundidades. Notou-se que a maior relação C:N em Cambissolo foi encontrada na fase inicial herbácea-arbustiva (H) com proporção de 13,15 e a menor em pastagem (P) com 10,46 na profundidade 0-5 cm. Na profundidade 5-10 cm a maior relação C/N foi encontrada na fase inicial herbácea-arbustiva (H) com 12,04 e a menor em pastagem (P) com 10,44. Na profundidade 10-20 cm a maior relação C/N foi observada também na fase inicial herbácea-arbustiva (H) com 11,64 e a menor em pastagem (P) com 10,72. Na profundidade 20-40 cm a maior relação C/N foi na fase inicial herbácea-arbustiva (H) com 11,27 e a menor na série inicial arbórea (A) com 10,39. E na profundidade 40-100 cm a maior relação C:N foi também na fase inicial herbácea-arbustiva (H) com 11,30 e a menor na fase inicial arbórea (A) com 10,50. Quando comparadas às tipologias série inicial herbácea-arbustiva apresentou a maior relação C:N em todas as profundidades, este fato se deu provavelmente pela presença de água em volume maior do que solo sob outras tipologias. E à medida que aumenta a profundidade no perfil de solo as médias para relação C:N em Cambissolo tendem a diminuir, exceto em pastagem (P) onde na profundidade 40-100 cm apresenta a maior média de relação C:N.

TABELA 10 - RELAÇÃO C:N EM FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL, NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES, EM CAMBISSOLO

Tipologias/ Profundidades	P	H	A	M	F
0-5cm	10,46 b	13,15 a	10,90 cd	11,99 b	11,70 cb
5-10cm	10,44 b	12,04 a	11,80 b	11,39 ab	11,33 ab
10-20cm	10,72 a	11,64 a	10,74 a	11,19 a	11,32 a
20-40cm	10,77 ab	11,27 a	10,39 b	10,79 ab	11,00 ab
40-100cm	10,95 a	11,30 a	10,50 a	10,91 a	11,26 a

\*Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância

Observando a tabela 11 que mostra as médias da relação C:N em Gleissolo nas diferentes tipologias vegetais em diferentes profundidades. Notou-se que a maior relação C:N ocorreu nas fases inicial herbácea-arbustiva (H) e inicial arbórea (A) com valores de 13,85 e a menor em pastagem (P) com 11,81 na profundidade 0-5 cm. Na profundidade 5-10 cm a maior relação C:N foi na fase inicial herbácea-arbustiva (H) com valor de 13,37 e a menor em pastagem (P) com 11,81. Na profundidade 10-20 cm a maior relação C:N foi na fase inicial arbórea com valor de 15,36 e a menor na pastagem com 12,52. E na profundidade 20-40 cm a maior relação C:N foi também na fase inicial arbórea (A) com 15,45 e a menor na pastagem também com 12,28. Em Gleissolo a maior relação C:N foi observada nas fases iniciais herbácea-arbustiva (H) e arbórea (A) e a menor foi observada na pastagem (P) quando comparadas as tipologias provavelmente pela maior drenagem em terrenos onde eram utilizados por pastagens. Podendo ser explicado pela topografia do terreno, proximidade do lençol de água e até mesmo pelas espécies vegetais que contribuem com carbono e nitrogênio para o solo.

Em Gleissolo as médias aumentam ou se mantêm em valores próximos com o aumento da profundidade na mesma tipologia vegetal.

TABELA 11 - RELAÇÃO C:N EM FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL, NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES, EM GLEISSOLO

Tipologias /Profundidades	P	H	A	M
0-5cm	11,81 b	13,85 a	13,85 a	13,11 ab
5-10cm	11,82 b	13,37 a	12,61 ab	12,53 a
10-20cm	12,52 b	13,22 b	15,36 a	13,22 b
20-40cm	12,28 a	13,70 a	15,45 a	13,16 a

\*Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância

Comparando a relação C:N entre Gleissolo e Cambissolo associado à cobertura vegetal, os resultados mostram que há valores mais elevados em Gleissolo do que Cambissolo em todas as tipologias desde pastagem (P) até as fases de sucessão secundária. E à medida que aumenta a profundidade no perfil de solo às médias para relação C:N em Cambissolo tendem a diminuir, exceto em pastagem (P) onde na profundidade 40-100 cm apresenta a maior média de relação C:N. E em Gleissolo as médias aumentam ou se mantêm em valores próximos com o aumento da profundidade na mesma tipologia vegetal. Tanto em Gleissolo como Cambissolo a pastagem tem médias de relação C:N mais baixas do que em outras tipologias de sucessão secundária. (SANTOS et al. 2005) encontrou valores para relação C:N no perfil de solo, entre 8 a 11 em Gleissolo, e 3 a 10 em Cambissolo sob floresta de origem quaternária no estado do Rio de Janeiro na caracterização de solos para estimativa de estoques de carbono.

Considerando que a serrapilheira é o primeiro estágio de transferência de nutrientes para o horizonte mineral do solo. SOUSA (2003) também encontrou altos teores de N total e baixa relação C:N na serrapilheira sobre Gleissolo num trecho de Floresta Ombrófila Mista Aluvial. JORDAN (1985) citado em SOUSA (2003) explica que, quanto mais baixa a relação C/N, maior será o processo de decomposição do material orgânico. As médias mais altas de relação C:N em todas as tipologias em Gleissolo, quando comparado com Cambissolo, se deve ao regime de saturação hídrica do solo, determinando um ambiente redutor pela falta ou escassez de oxigênio. A falta de oxigênio

limita a oxidação química e biológica da matéria orgânica. Outro fato que pode estar limitando a humificação é o baixo teor de nitrogênio que inibe a atividade biológica.

Então a alta relação C:N dificulta ou facilita a decomposição da matéria orgânica e o nitrogênio aumenta ou diminui a entrada de carbono no solo BODDEY et al. (2004); NEU (2005). Dependendo dos valores a relação C:N indica atividade biológica mais ou menos intensa e indica o grau de humificação e estabilidade da matéria orgânica do mesmo.

#### 4.2.6 Estoque de Carbono no Solo

##### 4.2.6.1 Estoque de Carbono em Cambissolo

Observando a figura 9 que mostra as médias de estoque de carbono em Cambissolo sob as diferentes tipologias em gráfico, notou-se que os valores para estoque de carbono são muito próximos na profundidade 0-5 cm. Pode-se observar que a fase floresta avançada (F) apresenta maior média para estoque de carbono com  $1,9 \text{ Kg.m}^{-2}$  e a fase inicial arbórea (A) o menor estoque com  $1,7 \text{ Kg.m}^{-2}$  na profundidade 0-5 cm. Na profundidade 5-10 cm o maior estoque de carbono foi observado na fase inicial herbácea-arbustiva (H) com aproximadamente  $1,5 \text{ Kg.m}^{-2}$  e o menor estoque na fase floresta média (M) com aproximadamente  $1,2 \text{ Kg.m}^{-2}$ . Na profundidade 10-20 cm o maior estoque foi observado em pastagem (P) com aproximadamente  $3 \text{ Kg.m}^{-2}$  e o menor na fase floresta média (M) com aproximadamente  $1,8 \text{ Kg.m}^{-2}$ . Na profundidade 20-40 cm o maior estoque foi observado na fase floresta avançada (F) com aproximadamente  $3,5 \text{ Kg.m}^{-2}$  e o menor estoque na floresta média (M) com aproximadamente  $2,2 \text{ Kg.m}^{-2}$ . na profundidade 40-100 cm o maior estoque de carbono também foi na floresta avançada (F) com aproximadamente  $7,0 \text{ Kg.m}^{-2}$  e o menor estoque na fase floresta média (M). A fase floresta avançada (F) no geral tende a estocar mais carbono do que em outras tipologias, este maior estoque pode ser em virtude da cobertura vegetal e características físicas do solo. Essa tendência não se repete nas outras profundidades, onde 5-10 cm tem valores para estoque de carbono praticamente iguais e a fase floresta avançada (F) tem valores praticamente iguais com a fase inicial herbácea-arbustiva (H). O balanço entre os

processos que aumentam e diminuem o estoque de carbono no solo é influenciado pelo uso da terra e fatores antropogênicos, sendo estes fatores que determinam o estoque do carbono no solo LAL; KIMBLE; FOLLETT; STEWART (1998).

Nos primeiros 10 cm de solo não se pode afirmar que a vegetação condiciona o estoque de carbono no solo, porque no geral a quantidade de matéria orgânica é alta nesta profundidade de solo. SILVEIRA et al. (2000) obteve resultados de estoques de carbono estimados em 6,15 Kg.m<sup>-2</sup> na profundidade de até 20 cm de profundidade, através do modelo CENTURY, em solo sob floresta subtropical na bacia do rio Piracicaba com diminuição para 3,15 Kg.m<sup>-2</sup> com solo cultivado com cana-de-açúcar em substituição a floresta. Na profundidade 10-20 cm onde o estoque de carbono é maior em pastagem (P), é provável que parte desse carbono tenha origem a partir da floresta original, MELO (2004), estudando carbono isotópico concluiu que o alto estoque de carbono em pastagem na região amazônica tem origem a partir da floresta original. No caso da pastagem, os valores positivos de estoque de carbono em todas as profundidades indicam possibilidade de acúmulo de C em relação ao cerrado nativo. A pastagem é considerada eficiente na manutenção do C orgânico no solo D`ANDREA et al. (2004). Além da pastagem outras fases de sucessão secundária mostraram níveis de estoque de carbono muito similares. Porém o manejo do solo provoca de perda de carbono, SPAGNOLLO (2004), mostra que o uso do fogo para cultivo dos solos é responsável pela perda de carbono orgânico total nos primeiros 30 cm do solo em alguns sistemas de cultivo.

MACHADO et al. (2003), estudando a correlação entre estoque de carbono e cultivo em plantio direto, concluiu que há correlação positiva entre a concentração de carbono orgânico do solo e a quantidade de argila tanto na forma de matéria orgânica particulada como na forma de matéria orgânica associada às partículas de silte e argila, conforme revisão. MELLO (2004) e NEU (2005) também observaram correlação positiva entre estoque de carbono e textura argilosa. NOVOTNY (1997), fez associação entre valores mais elevados de matéria e orgânica com maiores teores de argila em solos cultivados e campos nativos no estado do Paraná.

Sabendo que um agregado é um conjunto de partículas primárias (argila, silte, areia) do solo que se aderem umas às outras mais fortemente do que a outras partículas circunvizinhas. Através, da promoção de melhor agregação no Latossolo Vermelho eutrófico, na camada de 0-5 cm, houve aumento na capacidade do solo para acumular carbono orgânico dentro de todas as classes de agregados, e o solo sob floresta acumulou mais carbono orgânico em cada classe de agregados do que no solo sob cultivo (MADARI, 2004). A textura mais argilosa do solo pode estar relacionada com uma maior densidade em solos cultivados JANTALIA et al. (2006).

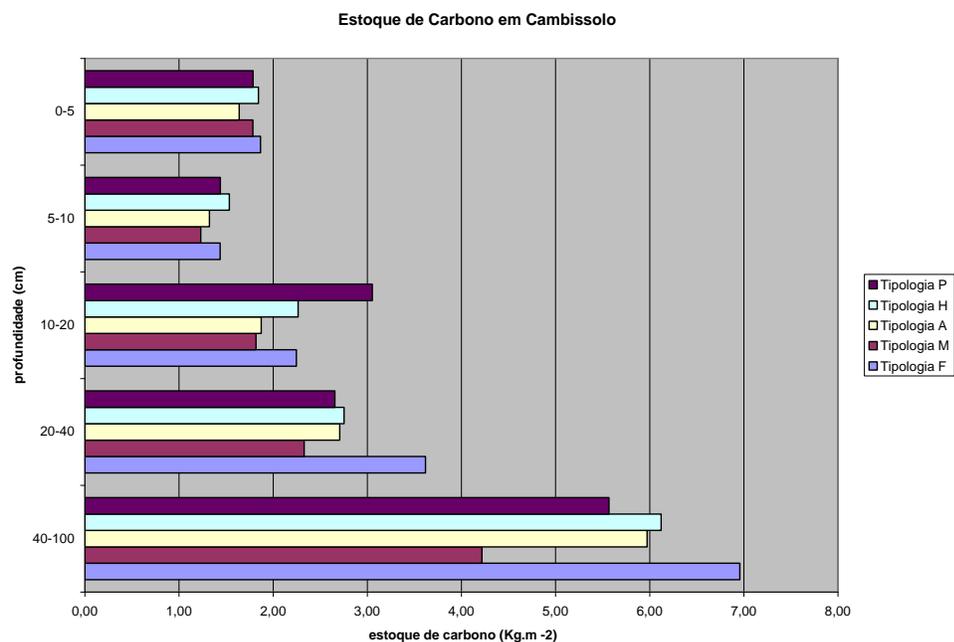


FIGURA 9 – GRÁFICO DE ESTOQUE DE CARBONO (Kg.m<sup>-2</sup>) EM CAMBISSOLO, EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE, EM DIFERENTES TIPOLOGIAS VEGETAIS.

#### 4.2.6.2 Estoque de Carbono em Gleissolo

Observando a figura 10 que mostra as médias de estoque de carbono em Gleissolo sob as diferentes tipologias em gráfico notou-se que o maior estoque de carbono foi na fase inicial arbórea (A) com 2,5 Kg.m<sup>-2</sup> e o menor estoque na fase floresta média (M) com aproximadamente 1,5 Kg.m<sup>-2</sup> na profundidade 0-5 cm. Na profundidade 5-10 cm o maior estoque foi na fase inicial herbácea-

arbustiva (H) com 2,0 Kg.m<sup>-2</sup> e o menor estoque na fase floresta média (M) com aproximadamente 1,5 Kg.m<sup>-2</sup>. Na profundidade 10-20 cm o maior estoque foi na fase inicial herbácea-arbustiva (H) com aproximadamente 3,0 Kg.m<sup>-2</sup>. e o menor estoque na floresta média (M) com aproximadamente 2,0 Kg.m<sup>-2</sup>. Na profundidade 20-40 cm o maior estoque foi também na fase inicial herbácea-arbustiva (H) com aproximadamente 3,7 Kg.m<sup>-2</sup> e o menor estoque na fase inicial arbórea (A) com aproximadamente 1,5 Kg.m<sup>-2</sup>. E na profundidade 40-100 cm o maior estoque foi na fase inicial arbórea (A) com 4,0 Kg.m<sup>-2</sup> e o menor estoque na fase floresta média (M) com 2,0 Kg.m<sup>-2</sup>.

Analisando as médias da análise de variância (anexo3) não pôde se perceber diferença estatística significativa nas diferentes tipologias em profundidade no Gleissolo. Os maiores estoques de carbono em Gleissolo são percebidos nas fases de sucessão secundária Inicial Herbácea-arbustiva (H) em praticamente todas as profundidades. A tipologia Pastagem (P) apresenta estoque de carbono na profundidade 20-40 cm 3,4 Kg.m<sup>-2</sup>, chegando em valores próximos a fase inicial Herbácea-arbustiva (H). Só houve diferença nas médias estatísticas por análise de variância nas fases inicial arbórea (A) e em pastagem (P) na profundidade 20-40 cm. Resultado diferente foi observado por WADT (2004), que estimou médias de estoque de carbono em solos, Plintosolo Argilúvico sobre Formação Solimões na Bacia Amazônica sob uso da terra com lavoura e floresta secundária, onde não houve diferenças significativas no estoque de carbono nos dois tipos de uso.

Em Paragominas – PA a transformação de áreas sob mata natural em pastagens conduziu, ao longo do tempo de cultivo, a um aumento no estoque de carbono e nitrogênio do solo. Com o desmatamento e a conseqüente introdução das pastagens houve uma diminuição progressiva do carbono remanescente da floresta e um aumento do carbono proveniente da pastagem. Na área sob mata natural o carbono total é composto por 44,7% sob a forma biodegradável e 55,3% sob a forma estável. Após 15 anos de implantação da pastagem o carbono biodegradável passou a representar 18,2% do carbono total do solo sob floresta, o estável 47,3% e o introduzido pelo pasto 34,5%. Considerando que aproximadamente metade do estoque do carbono do solo está na forma estável remanescente da floresta, e que, o

carbono biodegradável remanescente da floresta se mineraliza rapidamente, pode se supor que os processos biológicos do solo ficam quase exclusivamente na dependência da utilização do carbono introduzido pela decomposição dos resíduos da pastagem BERNOUX et al. (1999). Em estudo com Gleissolos SANTOS et al. (2005), observou a distribuição de carbono orgânico em profundidade mostrada através do acúmulo acentuado de carbono na superfície do solo, com teores mais elevados no solo sob mata. SANTOS et al. (2005), observou também que houve aumento dos teores de carbono à profundidade de 70-80 cm a partir da superfície, provavelmente devido à diferença entre camadas sedimentares com predomínio de material orgânico.

A relação entre os solos com textura mais arenosa está diretamente ligada à capacidade de estocar matéria orgânica, conseqüentemente carbono e nitrogênio KIELH (1979). WADT (2004), não observou diferença no estoque de carbono em Plintossolo Argilúvico sob floresta cultivada e sob culturas de grãos no estado do Acre, considerando que a textura dos Plintossolos Argilúvicos é franco-arenosa EMBRAPA (1999), portanto maior porcentagem de areia. SCHIAVINI e MORENO (2001), encontraram em solo com textura arenosa sob cerradão, menores teores de matéria orgânica e CTC (Capacidade de troca catiônica) e maiores teores de alumínio, mostrando saturação por esse elemento.

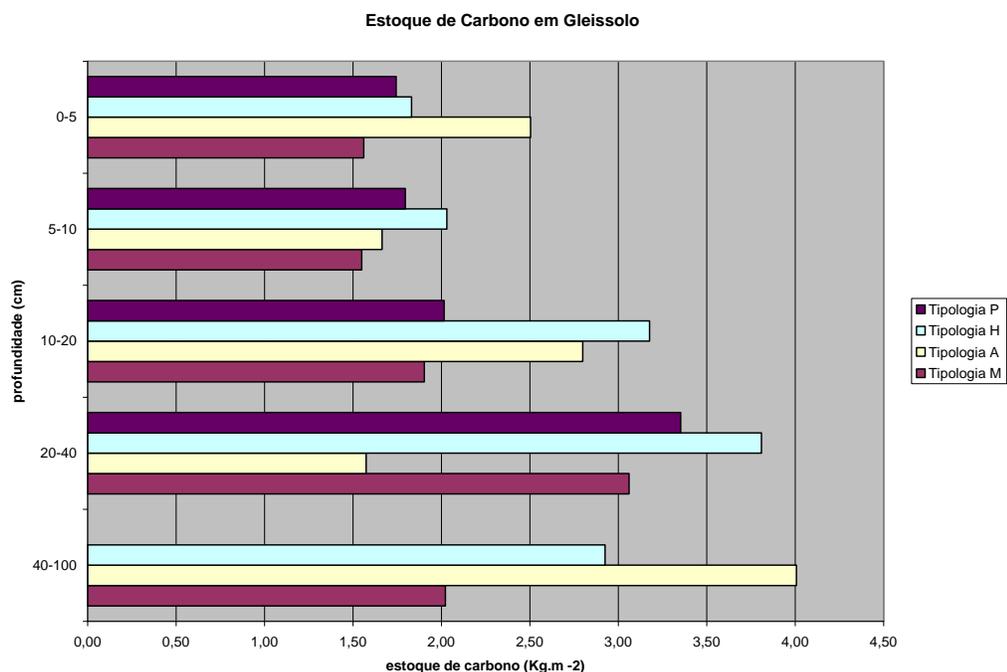


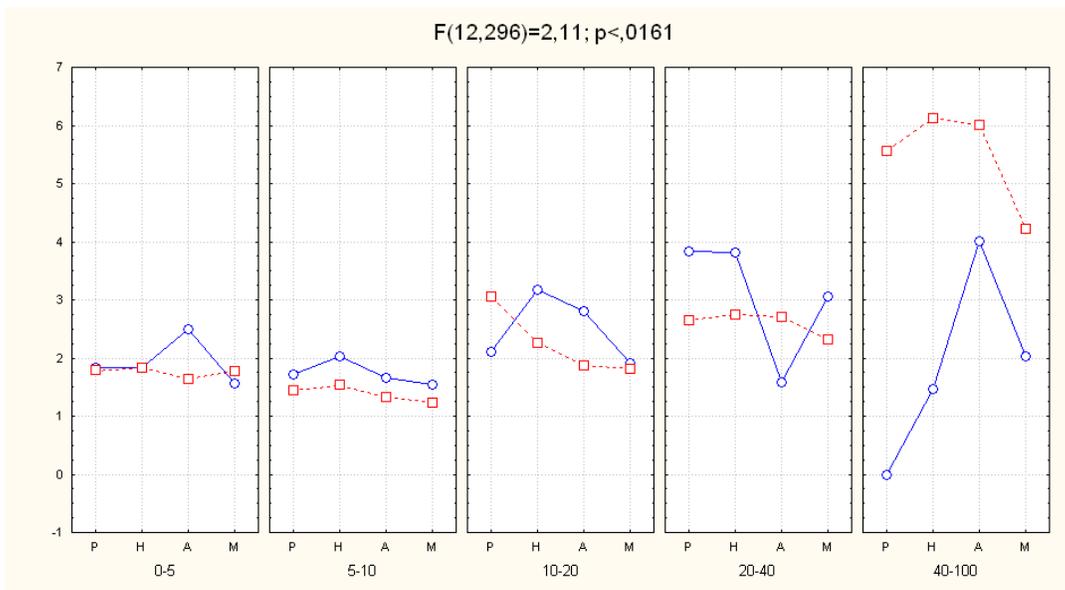
FIGURA 10 – GRÁFICO DE ESTOQUE DE CARBONO (Kg.m<sup>-2</sup>) EM GLEISSOLO, EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE, EM DIFERENTES TIPOLOGIAS VEGETAIS.

#### 4.2.6.3 Análise Comparativa do Estoque de Carbono em Cambissolo e Gleissolo Nas Diferentes Profundidades

Analisando as médias geradas pelo teste de variância conforme a figura 11 que mostra o gráfico das médias comparadas, notou-se que praticamente não houve diferença estatística nos primeiros 10 cm de profundidade no solo tanto em Cambissolo como em Gleissolo. Só foi observado diferença estatística após a profundidade 10 cm.

Quando comparadas às médias estatísticas de estoque de carbono em Cambissolo e Gleissolo, excluindo a fase floresta avançada (F), nota-se que na profundidade 0-5 cm não há diferença, exceto na fase arbórea-arbustiva (A) onde se percebe maior estoque em Gleissolo. Na profundidade 5-10 cm há maior estoque em Gleissolo em todas as fases. Na profundidade 10-20 cm há maior estoque em pastagem para Cambissolo e nas fases herbácea-arbustiva em Gleissolo. Na profundidade 20-40 cm há maior estoque no Gleissolo em todas as fases de sucessão secundária, exceto na fase inicial arbórea (A) onde o Cambissolo apresenta maior estoque. Mas na profundidade 40-100 cm o estoque de carbono em Cambissolo é bem maior em todas as fases de vegetação desde pastagem (P) até floresta média (M),

não sendo comparada a tipologia floresta avançada (F) por não apresentar-se em Gleissolo. Isso se deve provavelmente pelas características físicas do solo que apresenta maior teor de argila em Cambissolo, MELO (2004) e NEU (2005) associaram partículas mais finas com estoque de carbono, onde a menor densidade está relacionada com as frações granulométricas mais finas. Na profundidade 40-100 cm em Cambissolo a análise granulométrica mostrou teor de argila maior do que 50% na fase floresta avançada (F) e floresta média (M). Outro motivo é o nível de perturbação do solo nesta profundidade, que não sofre influência do lençol freático como o Gleissolo.



Legenda: Azul-Gleissolo; Vermelho-Cambissolo

FIGURA 11 - GRÁFICO COMPARATIVO DE ESTOQUES DE CARBONO ENTRE CAMBISSOLO E GLEISSOLO, EM TODAS AS TIPOLOGIAS VEGETAIS, EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE.

#### 4.2.6.4 Análise Comparativa do Estoque de Carbono em Cambissolo e Gleissolo a 100 cm de Profundidade

Observando a figura 12 que mostra o gráfico da comparação das médias dos estoques de carbono em Cambissolo e Gleissolo a 100 cm de profundidade. No Gleissolo foram observados os seguintes estoques: 89,1 ton.ha<sup>-1</sup> na tipologia pastagem (P), 137,7 ton.ha<sup>-1</sup> na tipologia inicial herbácea-arbustiva (H), 125,5 ton.ha<sup>-1</sup> na tipologia inicial arbórea (A) e 101,0

ton.ha<sup>-1</sup> na tipologia floresta média (M) não havendo a tipologia floresta avançada (F) nesta classe de solo. Em Cambissolo os estoques observados foram: 145,1 ton.ha<sup>-1</sup> na tipologia pastagem (P), 145,1 ton.ha<sup>-1</sup> na tipologia inicial herbácea-arbustiva (H), 135,2 ton.ha<sup>-1</sup> na inicial arbórea (A), 113,9 ton.ha<sup>-1</sup> na tipologia floresta média (M) e 161,3 ton.ha<sup>-1</sup> na tipologia floresta avançada (F). Estes valores estão dentro da faixa de variação apresentada pela EMBRAPA (2004), onde os solos sob florestas estocam de 100 a 200 toneladas de carbono por hectare.

Outros autores encontraram, em florestas, valores próximos ou um pouco abaixo dos observados neste trabalho, como é o caso de MELO (2003), que analisando os solos do Acre observou uma menor concentração de carbono, com média 6,5 Kg.m<sup>-2</sup> ou 65 ton.ha<sup>-1</sup>, inferior aos valores de outros solos da Amazônia, que segundo este autor, apresentam estoques médios de 100 ton.ha<sup>-1</sup> para uma profundidade de 100cm. WADT (2004) por sua vez, estimou médias do estoque de carbono entre 94 a 95 ton.ha<sup>-1</sup> em um Plintossolo Argilúvico, respectivamente para uso da terra com lavoura e floresta secundária. De maneira geral, estima-se que os solos armazenem na forma de carbono oxidável, nos primeiros 100 cm de profundidade, entre 1,3 e 2,0 x 10<sup>2</sup> Pg C ou 130 e 200 ton.ha<sup>-1</sup>, correspondendo à cerca de quatro vezes mais carbono que a biomassa vegetal e quase três vezes mais que a atmosfera SCHLENSIGER (1997); BATJES (1996); IPCC (2001).

Dos resultados apresentados, percebe-se que os estoques de carbono mostram-se maiores em Cambissolo, em todas tipologias vegetais, mas com maior expressão na tipologia pastagem (P). Entre os fatores que poderiam explicar estes resultados, está a granulometria diferenciada entre as duas classes de solo. No Cambissolo, os teores de argila são superiores aos observados no Gleissolo (Figura 7 e 8). Pela sua capacidade de formar agregados com a matéria orgânica, as argilas ajudam na retenção de carbono no perfil de solo

Com relação ao efeito da tipologia vegetal sobre os estoques de carbono, a não existência da tipologia floresta avançada (F), em Gleissolo, atrapalha a comparação. Sobretudo pelo fato da maior média para o estoque de carbono apresentar-se nesta tipologia vegetal no caso do Cambissolo. O maior estoque de carbono em solo sob floresta deve estar associado à idade da

floresta, que durante muitos anos contribuiu com expressivos aportes de fitomassa ao solo. Em florestas da região estes valores variam em torno de 50 ton.ha<sup>-1</sup> ou 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Projeto Solobioma – dados não publicados). Além disso, de acordo com PAULA; VALLE (2007), em solos sob vegetação natural, a preservação da matéria orgânica tende a ser máxima; a fitomassa depositada nas florestas, diferente do que acontece em áreas cultivadas, estaria menos sujeita à mineralização, porque as frações orgânicas ficam menos expostas ao ataque de microrganismos e os solos sofrem menos revolvimento e desestruturação do que em áreas cultivadas.

### Estoque de Carbono (100 cm)

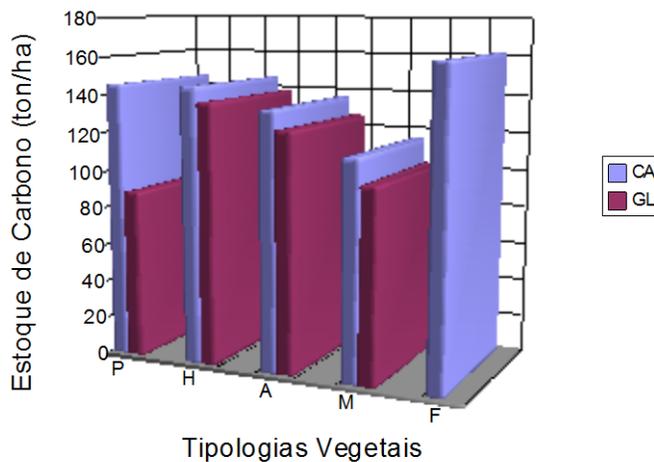


FIGURA 12 - GRÁFICO COMPARATIVO DE ESTOQUES DE CARBONO (ton,ha<sup>-1</sup>) ENTRE CAMBISSOLO E GLEISSOLO, EM TODAS AS TIPOLOGIAS VEGETAIS A 100 cm DE PROFUNDIDADE.

#### 4.2.7 Estoque de Nitrogênio no Solo

##### 4.2.7.1 Estoque de Nitrogênio em Cambissolo

Observando a figura 13 que mostra as médias de estoque de nitrogênio em Cambissolo sob as diferentes tipologias notou-se maior estoque em solo sob tipologia pastagem (P) com aproximadamente 0,18 Kg.m<sup>-2</sup> e menor estoque na fase inicial herbácea-arbustiva (H) com 0,15 Kg.m<sup>-2</sup> na profundidade 0-5 cm. Na profundidade 5-10 o maior estoque de nitrogênio foi observado em pastagem (P) com aproximadamente 0,13 Kg.m<sup>-2</sup> e o menor estoque na

fase floresta média (M) com aproximadamente  $0,10 \text{ Kg.m}^{-2}$ . Na profundidade 10-20 cm o maior estoque foi em pastagem (P) com aproximadamente  $0,35 \text{ Kg.m}^{-2}$  e o menor estoque na fase floresta média (M) com aproximadamente  $0,18 \text{ Kg.m}^{-2}$ . Na profundidade 20-40 cm o maior estoque foi observado na fase floresta avançada (F) com aproximadamente  $0,33 \text{ Kg.m}^{-2}$  e o menor estoque na floresta média (M) com aproximadamente  $0,22 \text{ Kg.m}^{-2}$ . E na profundidade 40-100 cm o maior estoque também foi observado na fase floresta avançada (F) com aproximadamente  $0,62 \text{ Kg.m}^{-2}$  e o menor estoque na fase floresta média (M) com aproximadamente  $0,38 \text{ Kg.m}^{-2}$ .

O estoque de nitrogênio em Cambissolo segue a tendência em acompanhar o comportamento do carbono no perfil de solo em praticamente todas as tipologias (anexo 4). Os estoques de nitrogênio são maiores em pastagem (P) nas profundidades 0-5, 5-10, e 10-20 cm, este fato observado é devido ao efeito da densidade do solo nesta tipologia, comportamento semelhante foi observado por BERNOUX et al. (1999). Nas profundidades 20-40 e 40-100 cm a fase floresta avançada (F) apresenta maior estoque. Os maiores estoques de nitrogênio em Cambissolo foram observados na fase floresta avançada (F) após profundidade de 20 cm, comparando as tipologias em mesma profundidade, apresentando comportamento similar ao carbono.

De acordo com NEU (2005) há também correlação positiva entre teor de argila em solo sob mata de galeria, com frações mais finas silte e argila e maiores teores de matéria orgânica. Então, não se percebe relação direta somente entre a vegetação e o estoque de carbono, mas sim com o solo sob a vegetação e suas características químicas e físicas como a granulometria. A concentração de nitrogênio total também está correlacionada com o gradiente, com valores significativamente maiores em solos argilosos quando comparados aos solos arenosos.

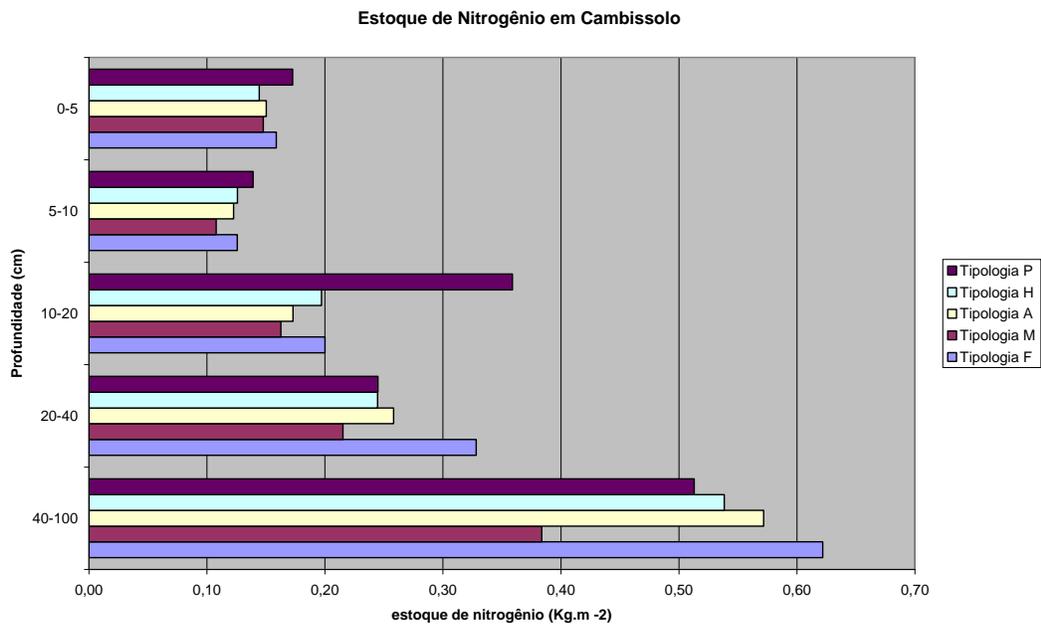


FIGURA 13 – GRÁFICO DE ESTOQUE DE NITROGÊNIO ( $\text{Kg.m}^{-2}$ ) EM CAMBISSOLO, EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE, EM DIFERENTES TIPOLOGIAS VEGETAIS.

#### 4.2.7.2 Estoque de Nitrogênio em Gleissolo

Observando a figura 14 que mostra as médias de estoque de nitrogênio em Gleissolo sob as diferentes tipologias notou-se maior estoque em solo sob tipologia vegetal inicial arbórea (A) com aproximadamente  $0,17 \text{ Kg.m}^{-2}$  e menor estoque na fase floresta média (M) com aproximadamente  $0,13 \text{ Kg.m}^{-2}$  na profundidade 0-5 cm. Na profundidade 5-10 cm o maior estoque foi observado na fase herbácea-arbustiva (H) com  $0,17 \text{ Kg.m}^{-2}$  seguido de pastagem (P) com média muito próxima e o menor estoque na fase floresta média (M) com  $0,13 \text{ Kg.m}^{-2}$  seguido da fase inicial arbórea (A). Na profundidade 10-20 cm o maior estoque foi na fase inicial herbácea-arbustiva (H) com aproximadamente  $0,22 \text{ Kg.m}^{-2}$  e o menor estoque na fase floresta média (M) e pastagem (P) com aproximadamente  $0,15 \text{ Kg.m}^{-2}$ . Na profundidade 20-40 cm o maior estoque foi em pastagem (P) com aproximadamente  $0,28 \text{ Kg.m}^{-2}$  e o menor estoque na fase inicial arbórea (A). E na profundidade 40-100 cm a fase inicial herbácea-arbustiva (H) teve maior estoque com aproximadamente  $0,33 \text{ Kg.m}^{-2}$  e menor estoque na fase floresta média (M) com aproximadamente  $0,15 \text{ Kg.m}^{-2}$ . Não se observou relação entre fases mais avançadas de sucessão com maior estoque de nitrogênio em Gleissolo.

Analisando as médias estatísticas para o estoque de nitrogênio em Gleissolo não se observou diferenças com análise de variância (anexo 5).

Os maiores estoques de nitrogênio de uma maneira geral tenderam as fases iniciais herbácea-arbustiva (H), arbórea (A) e pastagem (P), em todas as profundidades, acompanhando o comportamento similar ao observado para o carbono. Na profundidade 40-100 cm não há amostras de solo em pastagem (P) devido a proximidade com o lençol de água que impediu a coleta. As maiores médias para estoque de nitrogênio foram observadas nas fases inicial herbácea-arbustiva (H) e arbórea (A) que apresentaram estoque similares a pastagem (P), na profundidade 10-20 cm houve maior estoque na fase herbácea arbustiva (H). Na profundidade 20-40 cm houve maior estoque em pastagem (P) e na profundidade 40-100 a fase herbácea-arbustiva apresentou maior estoque conforme as médias reais do gráfico 14 abaixo.

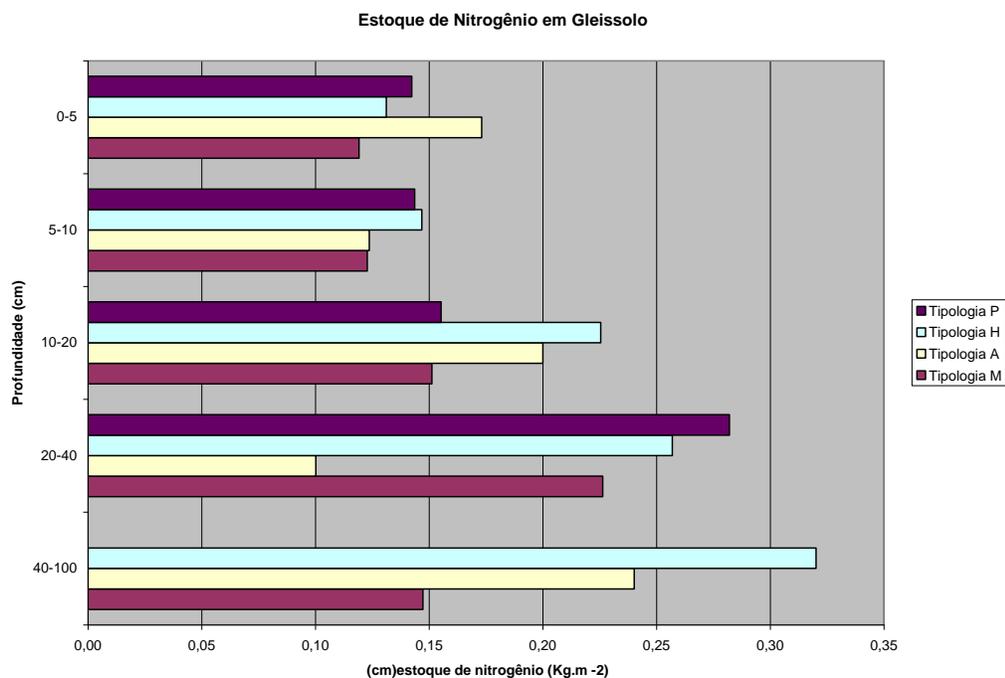


FIGURA 14 – GRÁFICO DE ESTOQUE DE NITROGÊNIO (Kg.m<sup>-2</sup>) EM GLEISSOLO, EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE, EM DIFERENTES TIPOLOGIAS VEGETAIS.

#### 4.2.7.3 Análise Comparativa do Estoque de Nitrogênio em Cambissolo e Gleissolo a 100 cm de Profundidade

A comparação das médias dos estoques de nitrogênio em Cambissolo e Gleissolo, a 100 cm de profundidade é apresentada na figura 15.

Em Gleissolo foram observados os seguintes valores, de acordo com as diferentes tipologias vegetais: 7,2 ton.ha<sup>-1</sup> na tipologia pastagem (P), 10,9 ton.ha<sup>-1</sup> na tipologia inicial herbácea-arbustiva (H), 8,3 ton.ha<sup>-1</sup> na tipologia inicial arbórea (A) e 7,7 ton.ha<sup>-1</sup> na tipologia floresta média (M), não havendo a tipologia floresta avançada (F) nesta classe de solo.

Em Cambissolo os valores foram: 14,2 ton.ha<sup>-1</sup> na tipologia pastagem (P), 12,5 ton.ha<sup>-1</sup> na tipologia inicial herbácea-arbustiva (H), 12,7 ton.ha<sup>-1</sup> na tipologia inicial arbórea (A), 10,2 ton.ha<sup>-1</sup> na tipologia floresta média (M) e 14,0 ton.ha<sup>-1</sup> na tipologia floresta avançada (F).

Nota-se que os estoques de nitrogênio são maiores em Cambissolo em todas tipologias vegetais, seguindo a tendência já observada para o carbono. A estreita relação entre C e N já foi discutida nos itens anteriores quando foram apresentados os valores de teores destes dois elementos. Isto ajuda a explicar o mesmo comportamento observado para carbono e nitrogênio, quando uma comparação entre os dois solos é realizada. No caso específico do nitrogênio, as perdas no Gleissolo poderiam ocorrer seja por lixiviação, na forma de nitrato pela solubilidade em água COELHO; VERLENGIA (1973), seja por desnitrificação nas ocasiões em que o solo se encontra totalmente inundado, pois estudos de COELHO; VERLENGIA (1973) já mostravam que solos em condições anaeróbicas e mal drenados favorecem consideravelmente a perda de nitrogênio gasoso fato corroborado por estudos de MELLO et al. (1987). Também NEU (2005), em uma sequência pedológica e topográfica num gradiente de solo sob floresta primária observou perda por lixiviação em Espodossolos em relação aos Latossolos e Argissolos.

Ao comparar os estoques de N entre as diferentes tipologias vegetais, no Cambissolo, observa-se que as tipologias pastagem (P) e floresta avançada (F) apresentaram os maiores estoques de nitrogênio (figura 15). A

proximidade dos estoques de nitrogênio em pastagem (P) e floresta avançada (F) pode ser explicada pela textura similar dos solos destas duas tipologias, com valores de silte e argila superiores aos observados nas outras tipologias. Este efeito da textura sobre o teor de N total nos solos já foi observado anteriormente NEU (2005). Mas a vegetação pode ter tido alguma contribuição. JANTALIA et al. (2006) encontraram valores maiores de estoques de nitrogênio sob vegetação do que sob solos cultivados com plantio convencional e plantio direto na profundidade de 20-60 cm. A presença de espécies fixadoras de N nas pastagens poderia também ter influenciado estes resultados. Em duas das áreas de pastagem estudadas, estas já estavam em desuso há aproximadamente três anos e já em estágio inicial de regeneração, com a presença de muitas espécies pioneiras, algumas delas provavelmente fixadoras de N. Outro aspecto que pode ter contribuído para os elevados teores de N na pastagem (P) é a grande quantidade de raízes normalmente produzida pelas plantas nesta tipologia. Estas raízes, ao morrerem, se transformam em estoque de C e N no solo. Este fato é confirmado pelos dados de estoque de nitrogênio em função da profundidade, na figura 18, onde os estoques de nitrogênio até os primeiros 20 cm são maiores em pastagem do que nas outras tipologias. BERNOUX et al. (1999), que estudaram o comportamento do carbono e nitrogênio em função do uso da terra, observaram que o nitrogênio total do solo tende a ser maior nos primeiros 20 cm, diminuindo o conteúdo em função da profundidade, sendo que o principal motivo para este comportamento seria a fixação biológica. Este fato é corroborado por BAYER et al. (2003), que observaram aumento de estoque de nitrogênio e carbono num Latossolo Vermelho distroférico com textura argilosa sob cultivo com espécies fixadoras de nitrogênio nos primeiros 20 cm de profundidade, em relação a áreas de cultivo sem manejo adequado e revolvimento do solo.

No Gleissolo, as tipologias florestais se destacaram, com maiores valores em relação à tipologia pastagem (P). Neste solo, especificamente, o balanço entre entrada e saída de matéria orgânica e, conseqüentemente de C e N, parece ser mais favorável nas áreas de floresta. Nas pastagens de búfalo desta região, o revolvimento do solo é constante e isto pode favorecer a decomposição e perda da matéria orgânica do solo.

### Estoque de Nitrogênio (100 cm)

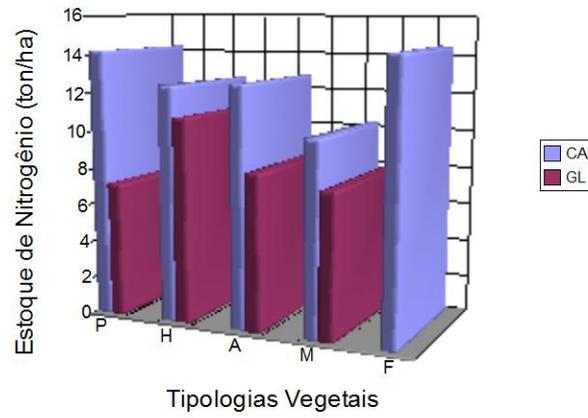


FIGURA 15 - GRÁFICO COMPARATIVO DE ESTOQUES DE NITROGÊNIO ( $\text{ton,ha}^{-1}$ ) ENTRE CAMBISSOLO E GLEISSOLO, EM TODAS AS TIPOLOGIAS VEGETAIS A 100 cm DE PROFUNDIDADE.

## 5. CONCLUSÕES

- A densidade aparente do solo tanto em Cambissolo como em Gleissolo tendeu a elevar-se à medida que aumentou a profundidade no perfil de solo até 100 cm, e isso aconteceu praticamente em todas as tipologias desde pastagem até as tipologias florestal Média (M) e florestal avançada (F), sendo este aumento, em parte, associado à diminuição do teor de matéria orgânica no solo e, em parte, devido à compactação do solo, sobretudo na pastagem e nas tipologias florestais mais jovens.
- Quando comparadas às tipologias vegetais, dentro da mesma classe de solo, observou-se que a densidade aparente do solo é menor nas tipologias onde a vegetação é mais velha, ou seja, tipologia florestal avançada (F) em Cambissolo e florestal média (M) em Gleissolo; e maior em pastagem (P), nas duas classes de solo, o que sugere a atividade agropecuária como condicionadora do aumento de densidade.
- Com relação à granulometria do solo, observou-se maior teor de partículas mais finas, como argila e silte, em Cambissolo e maior teor de partículas mais grosseiras, como areia, em Gleissolo, sendo estas distribuições granulométricas provavelmente relacionadas aos processos pedogenéticos de cada solo.
- Em ambas as classes de solo, os maiores teores de carbono e nitrogênio em superfície, seguem o padrão normalmente encontrado na maior parte dos solos, sendo este padrão vinculado ao aporte de matéria orgânica pela vegetação, que seria a principal fonte destes elementos no sistema solo-planta.
- Comparando-se Gleissolo e Cambissolo, com relação aos teores de carbono e nitrogênio, não foram observadas diferenças significativas; entretanto observou-se, de maneira geral, maiores valores de relação C/N em Gleissolo, o que parece estar associado ao aspecto hidromórfico do solo que dificultaria a degradação do carbono e também pela presença constante do lençol freático no perfil do solo, que facilitaria as perdas de N por lixiviação.
- Comparando-se as tipologias vegetais, em Cambissolo, tanto os teores de carbono como os de nitrogênio mostraram-se superiores na tipologia florestal avançada (F), abaixo de 10 cm de profundidade, o que demonstra a importância da idade da floresta no aporte destes elementos em profundidade.

- Em Gleissolo, pela inexistência da tipologia F, não foi possível identificar o efeito observado em Cambissolo nos teores de C e N.
- Os estoques total de carbono a 100 cm de profundidade nas tipologias vegetais estudadas estão dentro da faixa de grandeza encontrada para outros solos florestais.
- A idade das florestas tem elevada importância na reserva final de carbono no solo, mas os solos sob pastagem também mostraram reservatório expressivo de carbono, fato que deve estar ligado à grande produção de raízes finas por este tipo de vegetação.
- Os Cambissolos por apresentarem em média teores de argila mais altos, acumulam mais carbono que os Gleissolos.
- O efeito das argilas na manutenção dos estoques de carbono parece ser fator chave na diferenciação entre solos.
- Quanto aos estoques de nitrogênio a 100 cm de profundidade, as variações se assemelham às observadas para o carbono, evidenciando a estreita relação entre estes dois elementos.

## Referências Bibliográficas

AB´SABER, A. N. O suporte Geoecológico das Florestas Beiradeiras (Ciliares). In: RODRIGUES, R. R. ; FILHO, H. F. L. **Matas Ciliares conservação e recuperação**. 2ª ed. Edusp/FAPESP, São Paulo, 2001.

ALMEIDA, F. F. M. ; CARNEIRO, C. D. R. Origem e Formação da Serra do Mar, **Rev. Bras. de Geociências**, V. 2, Jun. 1998.

AMADO, T. J. C. ; BAYER, C. ; ELTZ, F. L. F. ; BRUM, A. C. R. Potencial de Culturas de Cobertura em acumular Carbono e Nitrogênio no Solo no Plantio Direto e a Melhoria da Qualidade Ambiental. **Rev. Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25. n. 1, p. 189-197, 2001.

ANDRADE, A. G. ; COSTA, G. S. ; FARIA, S. M. Deposição e Decomposição da Serrapilheira em Povoamentos de Mimosa Caesalpinifolia, Acacia mangium E Acacia holosericea Com Quatro Anos de Idade em Planossolo. **Rev. Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 4, p. 777-785, 2000.

ASSIS, C. P.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono e Nitrogênio em Agregados de Latossolo Submetido a Diferentes Sistemas de Uso e Manejo. **Rev. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n.10, Brasília, 2006.

**Atlas da Floresta Atlântica no Paraná**, Área de Abrangência do Programa Proteção da Floresta Atlântica – Pró-Atlântica/SEMA Paraná, SEMA, 1ª ed. Curitiba, 2005.

AZEVEDO, A. C. ; DALMOLIN, R. S. D. **Solos e Ambiente: uma introdução**. PALLOTTI, 100 p. Santa Maria, 2004.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2ª ed. Bookman, Porto Alegre, 2005.

BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M. V.; WATZLAWICK, L. F.; SANQUETA, C. R. Inventário do Carbono Orgânico em um Plantio de Pinus taeda aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. **Rev. Ciências Exatas e Naturais**. V. 5, n. 1, 2003.

BALBINOT, R.; WATZLAWICK, L. F.; SANQUETA, C. R. **As Florestas e o Carbono**. Curitiba, 2002.

BARBOSA, K. M. N. **Monitoramento Espacial de Biomassa e Carbono Orgânico da Vegetação Herbácea de Várzea na Amazônia Central**. (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, UFPR. Curitiba, 2006.

BATJES, N. H.; SOMBROEK, W.G. Possibilities For Carbon Sequestration in Tropical and Subtropical Soils. **Global Change Biology**. V.3, n. 2. p. 161-173. 1997.

BATJES, N. H. Total Carbon and Nitrogen in the Soils of the World. **European Journal of Soil Science**. V. 47, n. 2, p. 151 – 163, 1996.

BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDNER, L. P.; ERNANI, P. R.; ALBURQUEQUE, J. A. Incremento de Carbono e Nitrogênio num Latossolo pelo Uso de Plantas Estivais para Cobertura de Solo. **Rev. Ciência Rural**. V. 33. n 3, p, Santa Maria, 2003.

BERGSTROM, L. ; KIRCHMANN, H. **Carbon e Nutrient Dynamics in Natural and Agricultural Tropical Ecosystems**. CAB Internacional, new York, 1996.

BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; GERALDES, A. P. A.; FERNANDES, S. A. P. Carbono e Nitrogênio em Solo de uma Cronosequência de Floresta Tropical – Pastagem de Paragominas. **Rev. Scientia Agrícola**. v. 56. n. 4, Piracicaba, 1999.

BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. S. **Seqüestro de Carbono em Solos Sob Sistemas Agropecuários Produtivos**. EMBRAPA Agrobiologia, Rio de Janeiro, 2004.

BORGO, M. Levantamento de Vegetação In: SPVS (Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental). **Plano de Manejo da Reserva Natural Rio Cachoeira**. Vol. 1, Encartes I, II e III. Curitiba, 2005.

BRADY, N. C. **Natureza e Propriedade dos Solos**. 6 ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1983.

CALDEIRA, M. V. W. Ciclagem de Nutrientes em Florestas Naturais e em Plantios Florestais. PUC, **Apostila do 3º Biocec**, Curitiba, 2002.

CAMPOS, B. H. C. **Dinâmica do Carbono em Latossolo Vermelho Sob Sistemas de Preparo de Solo e de Culturas**. (Doutorado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Rurais, UFSM, Santa Maria, 2006.

CARVALHO, F. **Atributos Bioquímicos Como Indicadores da Qualidade de Solo em Florestas de Araucária angustifolia (Bert.) O. Ktze. No Estado de São Paulo**. (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. USP, Piracicaba, 2005.

CARVALHO, R.; GOERDT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos Físicos da Qualidade de um Solo Sob Sistema Agroflorestal. **Rev. Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 39. n. 11, p. 1153-1155. 2004.

CERRI, C. E. P. **Variabilidade Espacial e Temporal do Carbono do Solo na Conversão de Floresta em Pastagens na Amazônia Ocidental – Rondônia**. (Tese de Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura. USP, Piracicaba, 2003.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. **Ciclo de Carbono na**

**Amazônia e Mudanças Globais.** Anais do 2º Encontro Brasileiro Sobre Substâncias Húmicas. São Carlos, 1997.

CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L. Caracterização Física de uma Classe de Solo do Ecossistema do Tabuleiro Costeiro. **Rev. Scientia Agrícola.** v 53. n. 3, p. 367-378, 1998.

COELHO, F.S.; VERLENGIA, F. **Fertilidade do Solo.** Instituto Campineiro Agrícola, Campinas, 1973.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Qualidade de Solo Submetido a Sistemas de Cultivo com Preparo Convencional e Plantio Direto. **Rev. Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v. 41, n. 7, p. 1185-1191. 2006.

COSTA, J. B. **Caracterização e Constituição do Solo.** 7ª ed. Lisboa, Ed. Fundação Calouste, 2004.

CUNHA, G. C.; GRENDENE, L. A.; DURLO, M. A.; BRESSAN, D. A. Dinâmica Nutricional em Floresta Estacional Decidual Com Ênfase aos Minerais Provenientes da Deposição da Serrapilheira. **Rev. Ciência Florestal,** V. 3, n. 1, p. 35-64. Santa Maria, 1993

D'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. **Rev. Pesquisa Agropecuária Brasileira.** v. 39. n. 2, p. 179-186, Brasília, 2004.

DUDA, G. P. ; CAMPELLO, E. F. C. ; MENDONÇA, E. S. ; LOURES, J. L. ; DOMINGOS, M. Avaliação de Frações da Matéria Orgânica do Solo para Caracterização de Áreas Degradadas. **Rev. Brasileira de Ciência do Solo,** v. 23, p. 723 – 728, 1999.

EIRA, L. S. **Manual de Ciência do solo.** Agronômica Ceres, São Paulo, 1975.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) IAPAR (Instituto Agrônomico do Paraná). Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná (TOMO I e II). **Boletim Técnico n. 57 e 16**, Londrina, 1984.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1997.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 1993.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 1999.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Síntese da Bibliografia Fundamental. Disponível em <<http://www.cnps.embrapa.br/carbono/bibliografia/bibliofund.html>> Acesso em 7 de jul. 2007.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Seqüestro de Carbono em Sistemas de Plantio Direto e Pastagens de Brachiaria spp. Disponível em <<http://www.cnpab.embrapa.br/pesquisas/projetos/112000043.html>> Acesso em 8 de jul. 2007.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Seqüestro de Carbono em Solos Sob Sistemas Agropecuários Produtivos. EMBRAPA – AGROBIOLOGIA, Seropédica, 2004.

ESWARAN, H.; VANDENBERG, E.; REICH, P. Organic Carbon in Soils of The World. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, n. 1, p. 192 – 194, 1993.

FILHO, J. P. N. Variabilidade Espacial de Atributos de Solo em Microbacias Sob Vegetação de Floresta na Amazônia Meridional. (Dissertação de Mestrado) – Agricultura Tropical, UFMT, 2005.

FILHO, J. P. N.; SELVA, E. C.; COUTO, E. G.; LEHMANN, J.; JOHNSON, M.S.; RIHA, S. Distribuição Espacial de Carbono em Solo Sob Floresta Primária na Amazônia Meridional. **Rev. Árvore**. v. 31. n. 1, p. Viçosa, 2007.

FOLLETT, R. F. **Nitrogen Management and Ground Water Protection**. Elsevier, 396 p. New York, 1989.

FÓRUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Mudanças climáticas – Guia de Informação**. 1ª ed. Brasília, 2002.

FREIXO, A. A. ; MACHADO, P. L. O. A. ; GUIMARÃES, C. M. ; SILVA, C. A. ; FADIGAS, F. S. Estoques de Carbono e Nitrogênio e Distribuição de Frações Orgânicas de Latossolo do Cerrado Sob Diferentes Sistemas de Cultivo. **Rev. Brasileira do Solo**, v. 26, n. 2, p. 425-433, 2002.

GASH, J.H.C. et al. A overview of ABRACOS. In: GASH, J.H.C., NOBRE, C.A., ROBERTS, J.M. et al. (Eds.). **Amazonian deforestation and climate**. Chichester :John Willey & Sons, 1996. p. 1-14.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e Cultivo de Solos para Plantações Florestais**. IPEF, Piracicaba, 2002.

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema Radicular das Árvores. In: **Nutrição e Fertilização Florestal**. IPEF, Piracicaba, 2000.

GROHMANN, F. **Porosidade; Estrutura**. In: MONIZ, A.C. **Elementos de Pedologia**. EDUSP. São Paulo. 1972.

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J. Dinâmica e Balanço do Carbono da Vegetação Primária da Amazônia Central. **Rev. Floresta**, v. 34, n. 3, p. 295-304, 2004.

IBGE, Manual Técnico da Vegetação Brasileira, **Manuais Técnicos em Geociências**. número 1, 1992.

IPCC, OECD, IEA, Revised 1996 **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories** Bracknell, UK.1997.

IPCC, Third Assessment Report: Climate Change 2001. Climate Change: The Scientific Basis – Contribution of Working Group I To the Third Assessment Report Of The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2001.

JACOMINE, P. K. T. Solos Sob Matas Ciliares. In: RODRIGUES, R. R. ; FILHO, H. F. L. **Matas Ciliares conservação e recuperação**. 2ª ed. Edusp/FAPESP, São Paulo, 2001.

JANTALIA, C. P. ; SANTOS, H. P. ; DENARDIN, J. E. ; KOCHHANN, R. ; ALVES, B. J. R. ; URQUIAGA, S. ; BODDEY, R. M. Influência de Rotação de Culturas no Estoque de Carbono e Nitrogênio do Solo Sob Plantio Direto e Preparo Convencional. **Rev. Agronomia**, v. 37, n. 2, p. 91-97, 2003.

LAL, R. ; KIMBLE, J. M. ; LEVINE, E. ; STEWART, B. A. **Soils And Global Change**. CRC. New York, 1995.

LAL, R. ; KIMBLE, J. M. ; FOLLETT, R. F. ; STEWART, B. A. **Management Of Carbon Sequestration in Soil**. CRC, New York, 1998.

LAL, R. ; KIMBLE, J. M. ; FOLLETT, R. F. ; STEWART, B. A. **Soil Process And The Carbon Cycle**. CRC, New York, 1998.

LAL, R. ; MCSWEENEY, K. Soil and the Greenhouse Effect. In: **Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect**. SSSA, Madison, 2001.

LAL, R. ; STEWART, B. A. **Soil process And Water Quality**. Lewis Publishers, 1994.

LEITE, L. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J.C.C. Estoques Totais de Carbono Orgânico e Seus Compartimentos em Argissolo sob Floresta e Sob Milho Cultivado com Adubação Mineral e Orgânica. **Rev. Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n 5, p. 821-832, 2003.

LIMA, M. R (Org.). **Manual de Diagnóstico da Fertilidade e Manejo dos Solos Agrícolas**. 2.ed. Curitiba: UFPR, 2003. p. 97-98.

LUCHESE, E. B. ; FAVERO, L. O. B. ; LENZI, E. **Fundamentos da Química do Solo Teoria e Prática**. 2ª ed. Freitas Bastos, Rio de Janeiro, 2002.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Curitiba, Livraria José Olympio, 1968. 450p

MAACK, R. **Geografia Física do estado do Paraná**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora, 1981.

MACFEE, W. W.; KELLY, J. M.; **Carbon Forms and Functions in Forest Soils**. Winsconsin, Soil Science Society of America, 1995.

MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; VALENCIA, L. I. O.; SILVA, C. A.; ANDRADE, A. G.; MADARI, B.; MEIRELLES, M. S. P. Estoque de Carbono de Solo Sob Plantio de Grãos – Variabilidade Espacial em lavouras. EMBRAPA, **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 25, Rio de Janeiro, 2003.

MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento Físico do Solo por Densidade e Granulometria para a Quantificação de Compartimentos da Matéria Orgânica do Solo – Um procedimento para a Estimativa Pormenorizada do Sequestro de Carbono Pelo Solo. EMBRAPA, **Comunicado Técnico**, n. 9, Rio de Janeiro, 2002.

MADARI, B. E. Fracionamento de Agregados: Procedimento Para uma Estimativa Compartimentada do Sequestro de Carbono no Solo. EMBRAPA. **Comunicado Técnico**, N. 22, Rio de Janeiro, 2004.

MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; VALENCIA, L. I. O.; SILVA, C. A.; ANDRADE, A. G.; MADARI, B.; MEIRELLES, M. S. P. Estoque de Carbono de Solo Sob Plantio Direto de Grãos – Variabilidade Espacial em Lavoura. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 25, Embrapa Solos, 21 p. Rio de Janeiro, 2003.

**Mapeamento da Floresta Atlântica do Estado do Paraná**, Cartilha de Apoio À Interpretação das Cartas de Vegetação. Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. 20ª ed. Curitiba, 2002.

MARQUES, R. Biota de Solo e Biogeoquímica na Mata Atlântica do Paraná Avaliação da diversidade e função do solo sob Influência Antrópica. **Projeto SoloBioma, UFPR, CNPq, MCT**. Curitiba, 2003.

MARQUES, T. C. L. L. S. M. ; VASCONCELLOS, C. A. ; FILHO, I. P. ; FRANÇA, G. E. ; CRUZ, J. C. Envolvimento de Dióxido de Carbono e Mineralização de Nitrogênio em Latossolo Vermelho-Escuro com Diferentes manejos. **Rev. Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 35, n. 3. 2000.

MARTINS, K. G. **Deposição e Decomposição de Serrapilheira em uma Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas Sobre Solos Hidromórficos na Estação Ecológica da Ilha do Mel – PR**. (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, UFPR, Curitiba, 2004.

MEDINA, H. P. Elementos Texturais. In: MONIZ, A.C. **Elementos de Pedologia**. EDUSP, São Paulo, 1972.

MELO, A. W. F. **Avaliação do Estoque e Composição Isotópica do Carbono do Solo no Acre.** (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba, 2003.

MELLO, F. A. F. ; SOBRINHO, M. O. C. B. ; ARZOLLA, S. ; SILVEIRA, R. I. ; NETTO, A. C. ; KIELH, J. C. **Fertilidade do Solo.** NOBEL, São Paulo, 1983.

MEURER, E. J. **Fundamentos de Química do Solo.** 3ª ed. EVANGRAF, Porto Alegre, 2006.

MINEROPAR, **Geoquímica de Solo do Estado do Paraná Horizonte B.** Vol. 1. Curitiba, 2005.

MINEROPAR, **Geoquímica de Solo do Estado do Paraná Horizonte B.** Vol. 2. Curitiba, 2005.

MONIZ, A. C. **Elementos de Pedologia.** Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1975.

MORAIS, J. F. L.; NEILL, C.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C.; MELILLO, J.; LIMA, V. C.; STEUDLER, P. A. Soil Carbon and Nitrogen Stocks Following Forest Conversion To Pasture and Western Brazilian Amazon Basin. **Rev. Acta Scientiarum**, V. 24, n. 5, p. 1369-1376. 2002.

MORENO, M. I. C.; SCHIAVINI, I. Relação Entre Vegetação e Solo em um Gradiente Florestal na Estação Ecológica do Panga, Uberlândia – MG, **Rev. Brasileira de Botânica.** v. 24, n. 4, p. 537-544. 2001.

NEU, V. **Influência da Cobertura Vegetal na Ciclagem de Nutrientes Via Solução do Solo na Região de Manaus – AM.** (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba, 2005.

NOBRE, A. D. **Estoque de Carbono em Solos da Amazônia.** 2004. Disponível em: <[www.nct.gov.br](http://www.nct.gov.br)> Acesso em: 19 nov. 2004.

NOBRE, C. A.; NOBRE, A. D. O Balanço de Carbono da Amazônia Brasileira. **Rev. Estudos Avançados.** Vol. 16, n. 45. 2002.

NOVOTNY, E. H. **Extração, Fracionamento e Caracterização Espectroscópica da matéria Orgânica do Solo.** (Mestrado em Ciência do solo) – Setor de Ciências Agrárias, UFPR, Curitiba, 1997.

ODUM, E. P. **Ecologia.** Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1988.

PAULETTI, V. **Nutrientes: Teores e Interpretações,** Fundação ABC. 2ª ed. Castro, 2004.

PIERZYNSKI, G. M; SIMS, G.F. V. **Soils and Environmental Quality.** Lewis Publishers, 1993.

PIRES, P. T. L. ; ZILLI, A. L. ; BLUM, C. T. A Floresta Atlântica e Seus Ecossistemas Associados no Paraná: Caracterização Fitogeográfica. In: **Atlas da Floresta Atlântica no Paraná,** Área de Abrangência do Programa Proteção da Floresta Atlântica – Pró-Atlântica/SEMA Paraná, SEMA, 1ª ed. Curitiba, 2005.

PREVEDELLO, C. L. **Física do Solo.** Curitiba, 1996.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia – Relações Solo-Planta.** CERES. São Paulo, 1979.

RAIJ, B. V. **Avaliação da Fertilidade do Solo**. 2 ed. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1983.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do Solo e Adubação**. CERES, Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1991.

RENNER, R. M. **Seqüestro de Carbono e a Viabilização de Novos Reflorestamento no Brasil**. (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, UFPR. Curitiba, 2004.

ROCHA, H. O.; CARDOSO, A.; SCHIMIDLIN, D.; ROCHA, A. J. Levantamento De Solos da Reserva Rio Cachoeira In: SPVS (Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental). **Plano de Manejo da Reserva Natural Rio Cachoeira**. Vol. 1, Encartes I, II e III. Curitiba, 2005.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. As Unidades Fitogeográficas do Estado do Paraná. *Fitogeografia do Sul da América*. **Ciência&Ambiente**, Santa maria, v. 24, p. 75-92, 2002.

RODRIGUES, R. R. ; FILHO, H. F. L. **Matas Ciliares conservação e recuperação**. 2ª ed. Edusp/FAPESP, São Paulo, 2001.

ROS, C. O. D. **Dinâmica do Carbono e do Nitrogênio com o Uso de Uréia, na Sucessão Aveia Preta/Milho, no Sistema Plantio Direto**. (Doutorado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, UFSM, Santa Maria, 2004.

ROSS, J. L. S. **Geografia do Brasil**. 5ª ed. EDUSP, 549 p. São Paulo, 2005.

SALIMON, C. I. **Respiração do Solo Sob Floresta e Pastagens na Amazônia Sul Ocidental, Acre**. (Doutorado em Agronomia) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP, São Paulo, 2003.

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 Amazônia. **Rev. De Biologia e Ciências da Terra**. Campina Grande, V. 7, n. 1, 2007.

SANTOS, G. A. ; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais**. Editores, Gênese, 508 p. Porto Alegre, 1999.

SANTOS, R. D. ; LEMOS, R. C. ; SANTOS, H. G. ; KER, J. C. ; ANJOS, L. H. C. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. 5ª ed. EMBRAPA/SBCS, 92 p. Viçosa, 2005.

SANTOS, M. L. M.; SANTOS, H. G.; COELHO, M. R.; PARES, J. G. Caracterização de Paisagens e Solos Representativos do Estado do Rio de Janeiro para Fins de Estimativa de Estoques de Carbono no Solo. EMBRAPA, **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 66, Rio de Janeiro, 2005.

SCHEER, M. B. **Ciclagem de Nutrientes em um Trecho de Floresta Ombrófila Densa Aluvial em Regeneração, Guaraqueçaba, PR**. (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, UFPR, Curitiba, 2006.

SCHIAVINI, I.; MORENO, M. I. C. Relação Entre Vegetação e Solo em um Gradiente Florestal na Estação Ecológica do Panga, Uberlândia (MG). **Rev. Brasileira de Botânica**, v. 24, n. 4. p. 537-544, 2001.

SCHOLES, R. J.; BREEMEN, N. V. **The Effects of Global Change on Tropical Ecosystems**. *Geoderma*, v. 79, p. 9-24, 1997.

SCHLESINGER, W. H. Carbon Balance in Terrestrial Detritus. **Annual Review of Ecology and Systematics**. V. 8 p. 51 – 81, 1997.

SCHUNKE, R. M.; SILVA, J. M.; BARROS, J. V.; MELLO, E. V. ARCE, L. D. **Estoques de Carbono em Pastagens de Braquiária Consorciada com Leguminosa**. Embrapa Gado de Corte/Fertbio, Campo Grande, 2004.

SOMBROEK, W. G.; NACHTERGAELE, F. O.; HEBEL, A. Amounts, Dynamics and Sequestering of Carbon in Tropical and Subtropical Soils. **Ambio**, v. 22, p. 417 – 426, 1993.

SOUSA, S. G. A. **Produção e Decomposição de Serrapilheira de uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Rio Barigui, Araucária, PR**. (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, UFPR, Curitiba, 2003.

SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O. ; CERETTA, C. A. Composição da Fase Sólida Orgânica do Solo. In: MEURER, E. J. **Fundamentos de Química do Solo**. 3ª ed. EVANGRAF, Porto Alegre, 2006.

SILVA, C. A.; MACHADO, P. L. O. A. Seqüestro e Emissão de Carbono em Ecossistemas Agrícolas: Estratégias para o Aumento dos Estoques de Matéria Orgânica em Solos Tropicais. EMBRAPA. **Documento n. 19**, 2000.

SILVEIRA, A. M.; VICTORIA, R. L.; BALLESTER, M. V.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A.; PICCOLO, M. C. Simulação dos Efeitos das Mudanças do Uso da Terra na Dinâmica de Carbono no Solo na Bacia do Rio Piracicaba. **Pesq. Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 389-399, 2000.

SPAGNOLLO, E. **Dinâmica da Matéria Orgânica em Agroecossistemas Submetidos a Queima e Manejos dos Resíduos Culturais**. (Doutorado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, UFSM, Santa Maria, 2004.

SPVS (Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental). **Plano de Manejo da Reserva Natural Rio Cachoeira**. Vol. 1, Encartes I, II e III. Curitiba, 2005.

STRUMINSKI, E. **Parque Estadual Pico do Marumbi**. Ed. UFPR, 185 p. Curitiba, 2001.

TAN, K. H. **Humic Matter in Soil and The Environment Principles and Controversies**. Dekker, 396 p. New York, 2003.

TIBAU, A. O. **Matéria Orgânica e Fertilidade do Solo**. NOBEL, São Paulo, 1978.

WADT, P. G. S. Estoque de Carbono em um Plintossolo Argilúvico da Formação Solimões, Amazônia, Brasil. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. EMBRAPA, Rio Branco, n. 41, 2004.

VIEIRA, L. S. **Manual da Ciência do Solo Com Ênfase aos Solos Tropicais**. 2ª ed. CERES, 1988.

WINCK, C.; GUEDES, J. V. C.; FAGUNDES, C. K.; ROVEDDER, A. P. Insetos Edáficos Como Indicadores da Qualidade Ambiental. **Rev. Ciências Agroveterinárias**. v. 4, n. 1, p. 60-71, 2005.

YU, C. M. **Seqüestro Florestal do Carbono no Brasil – Dimensões Políticas, Socioeconômicas e Ecológicas**. (Tese de Doutorado) – Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento, UFPR, Curitiba, 2004.

## **ANEXOS**

ANEXO 1 – TABELA DE MÉDIAS REAIS DE DENSIDADE APARENTE DO SOLO EM CAMBISSOLO E GLEISSOLO NAS TRÊS SÉRIES DE REPETIÇÕES.

CAMBISSOLO : Densidade g/cm<sup>3</sup>

Profund.	Série P			Série H			Série A			Série M			Série F		
	1P	2P	3P	1H	2H	3H	1A	2A	3A	1M	2M	3M	1F	2F	3F
0 - 5	1,31	0,73	0,61	0,69	0,86	0,90	0,68	0,67	0,81	0,72	0,61	0,77	0,64	0,80	0,70
5 - 10	1,24	0,95	0,99	0,88	1,03	1,01	0,92	0,91	0,92	1,00	0,85	0,87	0,70	0,76	0,96
10 - 20	1,21	1,04	1,15	1,17	1,07	1,12	1,24	1,08	0,94	1,05	0,91	1,04	0,85	0,65	1,14
20 - 40	1,24	1,05	1,12	1,22	1,05	1,10	1,26	1,10	0,99	1,15	0,86	1,04	0,97	0,85	1,15
40 - 100	1,38	1,01	1,08	1,31	1,01	1,08	1,33	1,01	0,95	1,18	0,96	1,07	1,01	0,96	1,09

GLEISSOLO: Densidade g /cm<sup>3</sup>

Profundidade	Série P			Série H			Série A			Série M			Série F		
	1P	2P	3P	1H	2H	3H	1A	2A	3A	1M	2M	3M	1F	2F	3F
0 - 5	1,02	0,48	0,54	0,67	0,71	0,69	1,46	0,96	0,67	0,76	0,62	0,39	-	--	--
5 - 10	1,27	0,98	0,89	0,98	0,95	0,98	1,22	1,13	0,82	1,14	0,81	0,59	-	--	--
10 - 20	1,40	1,02	1,36	1,32	1,26	1,42	1,22	1,22	1,27	0,86	1,07	0,77	-	--	--
20 - 40	1,44	1,92	1,32	1,29	1,21	1,31	1,06	1,46	--	1,32	1,17	1,06	-	--	--
40 - 100	--	--	--	--	1,13	--	0,97	0,98	--	--	1,14	--	-	--	--

## ANEXO 2 – MÉDIAS ESTATÍSTICAS PARA ESTOQUE DE CARBONO EM CAMBISSOLO.

Cambissolo serie Pastagem (P) estoque de CARBONO entre profundidades.

Multiple Range Tests for Col\_5 by Col\_3

---

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Col_3	Count	Mean	Homogeneous Groups
5-10	9	1,44029	X
0-5	9	1,7879	XX
10-20	9	1,94151	XX
20-40	9	2,65644	X
40-100	9	4,36437	X

---

Cambissolo serie inicial Herbácea-arbustiva (H) estoque de Carbono entre profundidades.

Multiple Range Tests for Col\_5 by Col\_3

---

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Col 3	Count	Mean	Homogeneous Groups
5-10	9	1,53492	X
0-5	9	1,84468	X
10-20	9	2,26672	XX
20-40	9	2,75296	X
40-100	9	5,97266	X

---

Cambissolo serie inicial Arbórea (A) estoque de carbono entre profundidades.

Multiple Range Tests for Col\_5 by Col\_3

---

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Col 3	Count	Mean	Homogeneous Groups
5-10	9	1,32348	X
0-5	9	1,64073	X
10-20	9	1,87468	XX
20-40	9	2,7085	X
40-100	8	6,29864	X

---

**Cambissolo serie floresta Média (M) estoque de carbono entre profundidades.**

Multiple Range Tests for Col\_5 by Col\_3

---

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Col_3	Count	Mean	Homogeneous Groups
5-10	9	1,23157	X
10-20	9	1,65874	XX
0-5	9	2,00587	XX
20-40	9	2,32998	X
40-100	9	4,43078	X

---

**Cambissolo serie floresta Avançada (F) estoque de carbono entre profundidades.**

Multiple Range Tests for Col\_5 by Col\_3

---

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Col_3	Count	Mean	Homogeneous Groups
5-10	9	1,43813	X
0-5	9	1,86688	XX
10-20	9	2,24716	X
20-40	9	3,61942	X
40-100	6	6,00552	X

---

**ANEXO 3 - MÉDIAS ESTATÍSTICAS PARA ESTOQUE DE NITROGÊNIO EM CAMBISSOLO.**

**Cambissolo serie Pastagem (P) estoque de nitrogênio entre profundidades.**

Multiple Range Tests for Col\_6 by Col\_3

---

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Col_3	Count	Mean	Homogeneous Groups
5-10	9	0,139189	X
10-20	9	0,166789	XX
0-5	9	0,172656	XX
20-40	9	0,2449	X
40-100	9	0,414933	X

---

**Cambissolo série inicial Arbórea (A) estoque de nitrogênio entre profundidades.**

Multiple Range Tests for Col\_6 by Col\_3

-----  
Method: 95,0 percent Tukey HSD

Col 3	Count	Mean	Homogeneous Groups
5-10	9	0,122644	X
0-5	9	0,150333	X
10-20	9	0,173056	X
20-40	9	0,258233	X
40-100	8	0,59455	X

-----

**Cambissolo serie Floresta Média (M) estoque de nitrogênio entre profundidades.**

Multiple Range Tests for Col\_6 by Col\_3

-----  
Method: 95,0 percent Tukey HSD

Col 3	Count	Mean	Homogeneous Groups
5-10	9	0,107878	X
0-5	9	0,147811	XX
10-20	9	0,162689	X
20-40	9	0,215311	X
40-100	9	0,444589	X

-----

**Cambissolo serie floresta Avançada (F) estoque de nitrogênio entre profundidades.**

Multiple Range Tests for Col\_6 by Col\_3

-----  
Method: 95,0 percent Tukey HSD

Col 3	Count	Mean	Homogeneous Groups
5-10	9	0,125778	X
0-5	9	0,158789	XX
10-20	9	0,200056	X
20-40	9	0,311744	X
40-100	6	0,5361	X

-----

## ANEXO 4 - MÉDIAS ESTATÍSTICAS PARA ESTOQUE DE CARBONO EM GLEISSOLO.

### Estoque carbono pastagem (P) entre profundidades.

Multiple Range Tests for Col\_5 by Col\_3

---

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Col_3	Count	Mean	Homogeneous Groups
5-10	7	17260,0	X
0-5	7	18440,7	X
10-20	7	21148,7	X
20-40	7	38307,1	X

---

### Estoque carbono inicial Herbáceo-arbustivo (H) entre profundidades.

Multiple Range Tests for Col\_5 by Col\_3

---

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Col_3	Count	Mean	Homogeneous Groups
5-10	9	1,64252	X
0-5	9	1,83148	X
10-20	9	2,67622	X
>40	3	2,92523	X
20-40	9	2,96003	X

---

### Estoque carbono inicial Arbóreo (A) entre profundidades.

Multiple Range Tests for Col\_5 by Col\_3

---

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Col_3	Count	Mean	Homogeneous Groups
20-40	9	1,57449	X
5-10	9	1,66498	X
0-5	9	2,50446	XX
10-20	9	2,79926	XX
>40	6	4,00738	X

---

### Estoque carbono floresta Média (M) entre profundidades.

Multiple Range Tests for Col\_5 by Col\_3

---

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Col_3	Count	Mean	Homogeneous Groups
5-10	9	1,55021	X
0-5	9	1,56071	X
10-20	9	1,90353	X
20-40	9	2,36946	X

---

**ANEXO 5 - MÉDIAS ESTATÍSTICAS PARA ESTOQUE DE NITROGÊNIO EM GLEISSOLO.**

**Estoque de nitrogênio Pastagem (P) entre profundidades.**

Multiple Range Tests for Col\_6 by Col\_3

```
-----
Method: 95,0 percent Tukey HSD
Col_3      Count      Mean      Homogeneous Groups
-----
5-10       7          1432,43      X
0-5        7          1521,57      X
10-20     7          1712,57      X
20-40     7          3366,14      X
-----
```

**Estoque de nitrogênio inicial Herbáceo-arbustivo (H) entre profundidades.**

Multiple Range Tests for Col\_6 by Col\_3

```
-----
Method: 95,0 percent Tukey HSD
Col_3      Count      Mean      Homogeneous Groups
-----
0-5        9          0,131144     X
5-10       9          0,146733     X
20-40     9          0,206833     X
10-20     9          0,225444     X
>40       3          0,320167     X
-----
```

**Estoque nitrogênio inicial Arbóreo (A) entre profundidades.**

Multiple Range Tests for Col\_6 by Col\_3

```
-----
Method: 95,0 percent Tukey HSD
Col_3      Count      Mean      Homogeneous Groups
-----
20-40     9          0,100122     X
5-10       9          0,123667     X
0-5        9          0,1731        X
10-20     9          0,200033     X
>40       6          0,240183     X
-----
```

### Estoque nitrogênio floresta Média (M) entre profundidades.

Multiple Range Tests for Col\_6 by Col\_3

---

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Col_3	Count	Mean	Homogeneous Groups
0-5	9	0,1192	X
5-10	9	0,122778	X
10-20	9	0,1512	XX
20-40	9	0,199044	X

---

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)