

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE - UNICENTRO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS – SCAA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL – DEF
MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**CARBONO E NUTRIENTES NO SOLO E NA
SERAPILHEIRA EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA
MONTANA E PLANTIO DE *PINUS ELLIOTTII*
ENGELM**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

LAÉRCIO PEREIRA DE OLIVEIRA

IRATI - PR

2010

LAÉRCIO PEREIRA DE OLIVEIRA

**CARBONO E NUTRIENTES NO SOLO E NA
SERAPILHEIRA EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA
MONTANA E PLANTIO DE *PINUS ELLIOTTII*
ENGELM**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Naturais, para a obtenção do título de Mestre.

Prof^a Dra. Kátia Cylene Lombardi

Orientadora

Prof^o Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira

Co-Orientador

IRATI - PR

2010

Catálogo na Fonte
Biblioteca da UNICENTRO - *Campus* de Irati

O48c OLIVEIRA, Laércio Pereira de.
Carbono e Nutrientes no Solo e na Serapilheira em Floresta
Ombrófila Mista Montana e plantio de *Pinus elliottii* Engelm /
Laércio Pereira de Oliveira. – Irati, PR : UNICENTRO, 2010.

64p.
ISBN
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade
Estadual do Centro-Oeste, PR
Orientador : Professora Dra. Kátia Cylene Lombardi
Co-Orientador : Professor Dr. Marcos Vinicius Winckler
Caldeira

1. Engenharia Florestal – dissertação. 2. Solos. 3. Floresta
plantada. I. Lombardi, Kátia Cylene. II. Caldeira, Marcos
Vinicius Winckler. III. Título.

CDD 20^a ed. 631.4



Universidade Estadual do Centro-Oeste

Reconhecida pelo Decreto Estadual nº 3.444, de 8 de agosto de 1997

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PARECER

Defesa Nº 13

A Banca Examinadora instituída pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais, do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, *Campus* de Irati, após arguir o mestrando **Laércio Pereira de Oliveira** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "Carbono e nutrientes no solo e na serapilheira em Floresta Ombrófila Mista Montana e plantio de *Pinus elliottii* Engelm", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do estudante, habilitando-o ao título de **Mestre em Ciências Florestais**, Área de Concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais.

Irati-PR, 20 de maio de 2010.

Dr. Rafaelo Balbinot

Universidade Federal de Santa Maria
Primeiro Examinador

Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira

Universidade Federal do Espírito Santo
Segundo Examinador

Dr.ª Kátia Cyrene Lombardi

Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientadora e Presidente da Banca Examinadora

Home Page: <http://www.unicentro.br>

A Deus, minha rocha e meu escudo, amparo nos momentos de angústia, presente nas horas alegres.

A Jesus Cristo, autor da minha fé.

*Aos meus pais Tércio Lemenhe de Oliveira (in memoriam) e Léa Pereira de Oliveira (in memoriam),
que abdicaram de muitos sonhos em meu favor.*

*À minha esposa Fátima e aos meus filhos Enrico e Chamille, pelo incentivo e carinho, por nutrirem a
minha capacidade de amar.*

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos à professora Kátia Cyrene Lombardi, minha orientadora, pela paciência e apoio durante os trabalhos.

Ao professor Marcos Vinicius Winckler Caldeira, pela expressiva contribuição.

Aos professores Andrea Nogueira Dias, Mário Takao Inoue e Luciano Farinha Watzlawick, pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Mário Humberto Menon, Diretor do Campus da Unicentro-Irati.

À Prof^ª. Sandra Regina de Oliveira Garcia, Chefe do Departamento de Educação e Trabalho/Secretaria de Estado da Educação – PR, pela palavra de incentivo.

Aos professores do curso de mestrado em ciências florestais, da Unicentro, por mais esta etapa na minha carreira profissional.

Ao colega e amigo Eng^º. Florestal Wanderley Carlos Perdoncini, pelo apoio e companheirismo.

À pesquisadora Kauana Dickow (UFPR), pela ajuda técnica.

Ao Depto. de Arquitetura e Urbanismo/Geoprocessamento da Prefeitura Municipal de Irati, pelo auxílio cartográfico, em especial ao Sérgio Caetano.

À amiga Vivian Dallagnol de Campos, pelo auxílio na estruturação do trabalho.

Aos colegas mestrandos, pelo companheirismo, em especial, ao Alex Sawczuk pelo auxílio e parceria nos trabalhos.

Aos alunos do Colégio Florestal, Wesley Batista Amann, Luiz Fernando Cordeiro e Romeu Pontes Junior, pela colaboração.

*"A natureza é sábia e justa. O vento sacode as árvores,
move os galhos, para que todas as folhas tenham o seu
momento de ver o sol."
(Humberto de Campos)*

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 <i>PINUS ELLIOTTII</i> VAR. <i>ELLIOTTII</i> (“SLASH-PINE”).....	14
3.2 PLANTIO DE <i>PINUS</i> NO BRASIL.....	15
3.3 FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.....	16
3.4 RELAÇÃO SOLO-PLANTA	19
3.5 SERAPILHEIRA	23
3.6 CARBONO NO SOLO E SERAPILHEIRA.....	29
4 MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1 DESCRIÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	32
4.2 SOLOS.....	36
4.3 QUANTIFICAÇÃO DA SERAPILHEIRA ACUMULADA.....	37
4.4 NUTRIENTES E CARBONO ORGÂNICO NA SERAPILHEIRA ACUMULADA.....	38
4.5 CARBONO NO SOLO.....	39
4.6 ANÁLISE QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO.....	40
4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1. QUANTIFICAÇÃO DA SERAPILHEIRA ACUMULADA E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	41
5.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA ACUMULADA.....	44
5.3 AMOSTRAGEM DA SERAPILHEIRA ACUMULADA.....	45
5.4 COMPARATIVO DE SERAPILHEIRA ACUMULADA EM DIFERENTES FLORESTAS.....	47
5.5 NUTRIENTES E CARBONO ORGÂNICO NA SERAPILHEIRA ACUMULADA.....	48
5.6 QUANTIFICAÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO NO SOLO.....	50
5.7 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO.....	52
6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

LISTA DE SIGLAS

Capacidade de Trocas Catiônicas – CTC

Carbono Orgânico – CO

Densidade do Solo – Ds

Floresta Ombrófila Densa – FOD

Floresta Ombrófila Mista Montana – FOMM

Floresta Tropical Úmida Baixo Montana – FTUBM

Massa de Sólidos – MS

Serrapilheira Acumulada – SA

Unidade Amostral – UA

Volume Ocupado pela Água – V_{H_2O}

Volume Ocupado pelo Ar – V_a

Volume Total – V_t

RESUMO

A relação solo-planta é muito importante para a compreensão do desenvolvimento das florestas plantadas e florestas naturais, considerando-se que as árvores interferem no solo através do sistema radicular e da deposição de material orgânico, sendo o solo, por sua vez, responsável direto pelo suprimento de nutrientes às plantas, retenção de água, abrigo para fauna, além de ser o substrato natural para as diversas formações vegetais. Portanto, este estudo teve por objetivo estudar uma parte da ciclagem de nutrientes e carbono orgânico na Floresta Ombrófila Mista Montana e em plantio de *Pinus elliottii* Engelm com 33 anos. A área em estudo localiza-se no Colégio Florestal Estadual Presidente Costa e Silva, com 176,5 ha. Os solos representativos de ambas as florestas foram classificados como NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico (*Pinus elliottii* Engelm) e CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico típico (FOMM). Os resultados obtidos com a presente pesquisa demonstraram que as concentrações de carbono e nutrientes do solo e da serrapilheira variam significativamente nas duas formações florestais: área plantada (*Pinus elliottii* Engelm) e nativa (Floresta Ombrófila Mista Montana). No plantio florestal, os teores de carbono, bem como de macro e micronutrientes, apresentaram valores médios abaixo dos teores encontrados na floresta nativa. A diversidade de espécies e a maior complexidade ecológica da Floresta Ombrófila Mista Montana (FOMM) podem ter influenciado nos resultados encontrados, em comparação com o plantio de *Pinus elliottii* Engelm. Concluiu-se que a Floresta Ombrófila Mista Montana (FOMM) apresentou melhores condições de suprimento de nutrientes essenciais e de fixação de carbono orgânico.

PALAVRAS-CHAVE: Florestas Plantadas, Florestas Naturais, Nutrientes, Carbono Orgânico.

ABSTRACT

The soil-plant relation is very important for the comprehension of native and planted forests development, considering that trees interfere in the soil through root system and organic matter deposition, being the soil the responsible for plant nutrients supply, water delay, shelter for fauna, and also the natural substrate for several vegetations. Therefore, this research aimed to study part of nutrients and organic carbon cyclic, at *Pinus elliottii* Engelm plantation and Atlantic Rain Forest, in Irati, Paraná, Brazil. The area is located in Forest Technician School, with 176,5 ha. The representative soils of both forests were classified as Leptosol and Cambisol. The results obtained with this research demonstrated that carbon concentrations, soil and litter nutrients, vary significantly in both forests: planted forest (*Pinus elliottii*) and native one (Atlantic Rain Forest). At forest plantation, the carbon contents, as well macro and micronutrients, pointed out values in average lower than the contents found at native forest. The variousness of species and the most ecological complexity of Atlantic Rain Forest may have influenced over the results obtained, in this relationship with *Pinus elliottii* plantation. The conclusion was that Atlantic Rain Forest showed better conditions of nutrients supply and organic carbon fixing.

Key Words: Forest Plantations, Natural Forests, Nutrients, Organic Carbon.

1 INTRODUÇÃO

A silvicultura brasileira dispõe de muitas informações sobre plantios florestais, especialmente dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, mas é carente de pesquisas sobre as espécies florestais nativas, em plantios experimentais a céu aberto ou consorciados. O manejo florestal de espécies nativas é ainda incipiente e não apresenta muitas respostas quanto ao uso da madeira e de produtos florestais não madeiráveis, e também quanto aos sítios mais adequados para determinada espécie.

As espécies arbóreas nativas do Paraná estão cada vez mais restritas a áreas menores, por diversos fatores, como a expansão da agricultura e da pecuária, o crescimento de áreas urbanas e o desmatamento indiscriminado. Em consequência, há uma perda progressiva de biodiversidade, com possibilidades concretas de extinção de algumas espécies. Por isso, é essencial a preocupação com a riqueza contida nas florestas nativas, responsáveis também pela regulação do ciclo da água e pela preservação de importantes espécies da fauna silvestre.

Neste contexto, é fundamental estudar e identificar os teores dos nutrientes minerais, os quais têm um papel fundamental no crescimento das árvores, cujas dinâmicas de adsorção no solo e de absorção pelas plantas, sofrem influência do volume e qualidade da serapilheira, bem como das condições de decomposição deste material.

Atualmente, em função das mudanças climáticas decorrentes do efeito estufa, muitos trabalhos estão direcionados à questão da fixação de carbono atmosférico. Assim, a silvicultura ganha importância, tanto na preservação de florestas nativas quanto na implantação de florestas com fins produtivos, bem como à recuperação de áreas degradadas.

Diante destas observações, pretendeu-se nesta pesquisa, desenvolver um trabalho de avaliação da fixação de carbono na biomassa da serapilheira e no solo, comparando-se sítios de Floresta Ombrófila Mista Montana e de plantio de *Pinus elliotti* Engelm sob classes de solo distintas (Cambissolo e Neossolo), ambos com perfis pouco desenvolvidos, uma vez que nos solos a dinâmica da matéria orgânica, e consequentemente do carbono, está relacionada à cobertura vegetal, condições climáticas, microbianas e edáficas.

O manejo das florestas nativas, plantações florestais e os experimentos de plantios a céu aberto ou em faixas sombreadas, contribuem para o conhecimento do potencial produtivo das essências florestais, uma vez que esse potencial está diretamente relacionado à produção de biomassa e fixação de carbono.

Assim, o presente trabalho correlaciona: 1) a disponibilidade de nutrientes para o desenvolvimento de espécies florestais com a produção de biomassa na serapilheira acumulada, e 2) a formação de matéria orgânica com as propriedades do solo em sistemas florestais, buscando avaliar o sequestro de carbono no solo e, ainda buscando contribuir para possíveis novos direcionamentos nas práticas de manejo de solos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

1. Estudar uma parte da ciclagem de nutrientes e carbono orgânico na Floresta Ombrófila Mista Montana e em plantio de *Pinus elliottii* Engelm com 33 anos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Quantificar a serapilheira acumulada na Floresta Ombrófila Mista Montana e em plantio de *Pinus elliottii* Engelm;

2. Quantificar os conteúdos de nutrientes e carbono orgânico na serapilheira acumulada sob a Floresta Ombrófila Mista Montana e em plantio de *Pinus elliottii* Engelm;

3. Analisar as propriedades química e física do solo sob a Floresta Ombrófila Mista Montana e em plantio de *Pinus elliottii* Engelm.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 *PINUS ELLIOTTII* VAR. *ELLIOTTII* (“SLASH-PINE”)

Esta espécie é um dos mais importantes pinheiros do Sudeste dos Estados Unidos, sua zona de dispersão se estende do Sul da Carolina do Sul (33,5° de latitude N) ao centro da Flórida e Sudeste da Luisiana (30° de latitude N). Nessas regiões cresce em solos arenosos, com altitude inferior a 990 m, caracterizando-se por apresentar um clima quente, com verão úmido e primavera de menor precipitação pluviométrica. A precipitação média anual é de 1270 mm, a temperatura média anual é de 17,2° C, com extremos ocasionais de 41° C e -18° C (KRONKA *et al.*, 2005).

Em sua área natural de ocorrência, restringe-se a altitudes de 0 a 150 m. Nas áreas tropicais de plantações, seu florestamento é feito, sobretudo, em altitudes de 500 a 2500 m. O *Pinus elliotii* Engelm atinge alturas de 20 a 30 m (máximo de 40 m) e um diâmetro à altura do peito (DAP) de 60 a 90 cm. O tronco delgado é bem retilíneo na maioria dos casos. A copa é nitidamente ovóide. As raízes podem penetrar no solo até uma profundidade de 5 m ou mais. Nas árvores jovens apresenta casca acinzentada e profundamente sulcada (LAMPRECHT, 1990).

Conforme destaca Lamprecht, 1990, as acículas brilhantes e de cor verde-escura atingem um comprimento de 17 a 25 cm, dispendo-se em feixes de 2 ou 3. São dotadas de 2 a 10 canais resiníferos. Os cones são brilhantes e de cor marron-acinzentada, com comprimento de 7 a 15 cm, que equivale – quando com escamas fechadas – no mínimo ao dobro da largura. As sementes são aladas e têm as dimensões de 6 x 3 mm, cor escura e forma oval.

Com relação aos solos, o *Pinus elliotii* var. *elliotii* tem uma preferência natural por solos ácidos e arenosos, localizados sobretudo em baixadas e junto a cursos de água, de maneira geral em áreas com o lençol freático próximo à superfície (HARLOW *et al.*, 1979). O slash-pine (nome vulgar do *Pinus elliotii* Engelm na região de origem) é bastante resistente a geadas e amplamente tolerante a ventos com elevados teores de sal.

Como espécie heliófila de crescimento rápido, o *Pinus elliotii* Engelm goza de alta competitividade em relação às gramíneas e arbustos lenhosos. Em florestas naturais, a produção regular de sementes tem início a partir dos 20 anos de idade, com 27.000 a 34.000 sementes Kg⁻¹. De acordo com Webb *et al.* (1980), os maiores exportadores de sementes são, além dos Estados Unidos, a África do Sul e a Austrália.

No Brasil, encontra condições ideais de crescimento desde o Rio Grande do Sul até o centro do Paraná e sul de São Paulo. Pode também ser cultivado em áreas de maiores altitudes (Serra da Mantiqueira, do Mar, Bocaina e dos Órgãos). Requer chuvas uniformemente distribuídas durante o ano, invernos frios e sem déficit hídrico (KRONKA *et al.*, 2005).

3.2 PLANTIO DE *PINUS* NO BRASIL

O gênero *Pinus* conquistou importante espaço na silvicultura brasileira, por ser matéria-prima para diversos produtos, como papel e celulose, embalagens, painéis e compensados, material para construção civil, móveis e resina, com inúmeras aplicações nas indústrias químicas. Os primeiros estudos sobre os *Pinus* Subtropicais datam de 1936 pelo Instituto Florestal de São Paulo, quando foram introduzidas as primeiras sementes de *Pinus elliottii* var. *elliottii* e de *Pinus taeda* L (KRONKA *et al.*, 2005).

A formação de povoamentos florestais que atendam aos padrões de qualidade exigidos começa pela produção de mudas selecionadas, as quais dependem de sementes de material genético adequado, compatível com as condições locais. Também é importante destacar que o combate às formigas cortadeiras é uma operação obrigatória, especialmente durante a implantação ou nos primeiros anos de crescimento. Atualmente, a vespa-da-madeira é uma praga preocupante, que deve exigir medidas preventivas e de controle (KRONKA *et al.*, 2005).

Freitas (2005) *apud* Kronka *et al.*, 2005) menciona que havia 1,8 milhão de hectares de *Pinus* plantados no Brasil, até a data citada. No Paraná a área plantada era equivalente a 605.130 ha (SBS, 2001).

A produção florestal sustentável pode ser comparada a um plantio efetuado de forma anual e contínua, de modo a suprir adequadamente a demanda de matéria-prima. Desta maneira, podem ser obtidos resultados econômicos durante longo período, pré-requisito característico para investimento na atividade. Portanto, a melhor produtividade florestal é resultante da utilização de material genético adequado, compatível com as condições locais. O preparo do solo depende de sua cobertura vegetal anterior, da existência ou não de estradas, divisas de talhões ou aceiros (KRONKA *et al.*, 2005).

Ainda de acordo com Kronka *et al.* (2005), o controle de formigas cortadeiras é uma operação obrigatória, mesmo em locais onde esta praga não parece ser muito intensa. Outra praga importante é a vespa-da-madeira (*Sirex noctilo*), que prefere atacar árvores debilitadas, portanto o manejo adequado é a melhor forma de controle.

O espaçamento é uma das mais importantes decisões na implantação florestal, não havendo uma regra geral, porém os primeiros espaçamentos adotados na época dos Incentivos Fiscais eram de 1,5 x 1,5 m; 2,0 x 2,0 m e 2,0 x 2,5 m. Posteriormente, foram adotados espaçamentos mais amplos: 2,5 x 2,5 m e 3,0 x 3,0 m (KRONKA *et al.*, 2005).

As práticas silviculturais de desbaste e poda são também amplamente adotadas para plantios de *Pinus elliottii* Engelm. O desbaste visa remover as piores árvores, dando boas condições de crescimento às remanescentes, o que significa especial enfoque ao espaçamento inicial, em que uma das finalidades é estabelecer condições suficientes para as sucessivas seleções. A poda consiste em eliminar os ramos até determinada altura, com o objetivo de promover a formação de madeira sem nós (KRONKA *et al.*, 2005).

Stape (2003) aponta o Incremento Médio Anual (IMA) de 18 – 45 m³ ha ano⁻¹ para *Pinus elliottii* Engelm. Em Irati – PR, o IMA foi de 32,0 – 39,3 m³ ha ano⁻¹ em *Pinus elliottii* var. *elliottii*, para algumas procedências.

Os sistemas silviculturais mais tradicionais para os plantios de *Pinus* são de corte raso, cortes sucessivos e cortes seletivos, segundo o método de Alto Fuste (STAPE, 1996).

3.3 FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

A denominação Floresta Ombrófila foi proposta por Muller Dombois e Elleberg (1955-1956), em substituição à Floresta Pluvial Tropical, sugerida por Richards (1952), citado por Lacerda (1999). Contudo, ambas tem o mesmo significado, ou seja, “amiga das chuvas”. O termo Ombrófilo é de origem grega, enquanto o termo Pluvial tem origem latina e caracteriza as fisionomias ecológicas tropicais. Dentro da ocorrência natural da Floresta Ombrófila encontram-se ecossistemas específicos, de acordo com as características edafoclimáticas de cada região.

A concepção de Floresta Ombrófila Mista procede da ocorrência da mistura de diferentes espécies, definindo padrões fisionômicos típicos, em zona climática caracteristicamente pluvial (IBGE, 1992). Este tipo de floresta também é conhecido como Floresta com Araucária, Floresta de Pinheirais, Mata de Araucária e Floresta Aciculifoliada Subtropical (BRITTEZ *et al.*, 1995). Essas denominações devem-se à presença de *Araucaria angustifolia* (Benth.) O. Kuntze, que domina o dossel e caracteriza fisionomicamente essa formação florestal. Contudo, o termo mista está relacionado à mistura de floras (IBGE, 1991).

No Brasil, a Floresta com Araucária, conforme Klein (1960) e Hueck (1972) ocorre nos Estados do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e sul de São Paulo e, em manchas

isoladas, nos Estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo, atingindo também a província de Misiones, na Argentina e oeste do Paraguai.

A Floresta Ombrófila Mista apresenta, de acordo com Veloso *et al.* (1991) quatro subformações distintas: a) Aluvial: em terrenos antigos dos flúvios – *Araucaria angustifolia* associada com *Podocarpus lambertii* e *Drimys brasiliensis* ou gêneros da família Lauraceae; b) Submontana: de 50 até mais ou menos 400m de altitude; c) Montana: de 400 até mais ou menos 1000m de altitude – *Araucaria angustifolia* associada com *Ocotea porosa* formavam agrupamentos bem característicos e d) Alto Montana: situada a mais de 1000m de altitude – *Araucaria angustifolia* associada com *Podocarpus lambertii*, *Drimys brasiliensis*, *Cedrela fissilis* e gêneros da família Lauraceae e Myrtaceae.

A área de ocorrência natural da Floresta Ombrófila Mista (FOM) estende - se na Região Sul do Brasil, entre as latitudes 24° e 30° S, em uma altitude que varia de 500 m a 1400 m acima do nível do mar (a.n.m.). Ocorre também em áreas disjuntas na Região Sudeste do Brasil, entre as latitudes 18° e 24° S, em uma altitude que varia de 1400 m a 1800 m a.n.m. Nas maiores altitudes da Região Sul, esta formação faz parte de um mosaico vegetacional composto por florestas e campos naturais (KLEIN, 1960). Nesta tipologia florestal, a *Araucaria angustifolia* (Benth.) O. Kuntze, constitui o dossel superior e apresenta um caráter dominante na vegetação, representando uma grande porcentagem dos indivíduos do estrato superior (LONGHI, 1980; LEITE e KLEIN, 1990).

Valério *et al.* (2008) destaca que a *Araucaria angustifolia* (Benth.) O. Kuntze é o principal componente arbóreo de seu estrato na Floresta Ombrófila Mista, acompanhada por Bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) e Erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. – Hil.), espécies atualmente exploradas e com significativo valor econômico em suas áreas de distribuição, com remanescentes dispersos nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo.

O interior da Floresta Ombrófila Mista é formado por um estrato bastante homogêneo com a presença constante de *Araucaria* e *Podocarpus*. No entanto, em sua área de distribuição, essas duas espécies têm comportamento típico. A *Araucaria angustifolia* é a espécie das encostas secas e dos planaltos, apesar de estender-se também por solos de vales com lençol freático pouco profundo, onde, entretanto, é menos comum do que *Podocarpus lambertii*, espécie dos vales em solos úmidos (HUECK, 1972).

Além de *Araucaria angustifolia* e de *Podocarpus lambertii*, outras espécies arbóreas ocorrem constantemente na associação. Estas espécies, segundo Longhi (1980), provêm das florestas de altitude, que crescem, de preferência, nas encostas orientais, ricas em chuvas,

destacando-se *Ocotea porosa*, *Cedrela fissilis*, *Ilex paraguariensis*, *Balfourodendron riedelianum*, *Cabralea canjerana*, *Holocalyx balansae* e outras, tais como *Podocarpus sellowii*, *Ocotea pretiosa*, *Ocotea puberula*, *Ocotea catarinensis*, *Campomanesia xanthocarpa*, *Vernonia discolor*.

Em altitudes abaixo de 500 m a ocorrência da Floresta Ombrófila Mista é observada apenas nas encostas de vales e cânions de erosão, associados ao *Syagrus romanzoffiana* (jerivá), nas linhas de escoamento de frio (HUECK, 1972).

No Paraná, as subformações mais comuns da Floresta Ombrófila Mista são Montana e Altomontana, apresentando normalmente um aspecto de uma associação pura, em função da dominância fisionômica imposta pela araucária (IBGE, 1990).

O estudo de Castela (2001) apresenta informações detalhadas sobre a cobertura florestal com araucária no Estado do Paraná. A extensão para a Floresta com Araucária foi de 8.295.750 ha, respectivamente, 41,5 % e 16,5 % do total da área do Estado (19.972.926 ha). No entanto, essa quantificação vai um pouco além daquela informada por Maack (1968), quando existiam 7.378,00 ha de Floresta com Araucária e 3.053,20 ha de campos.

De acordo com Castela (2001), a região centro sul do Estado do Paraná é a que apresenta a maior cobertura de Floresta com Araucária, onde estão localizados os municípios de Bituruna, General Carneiro, Coronel Domingos Soares, Porto Vitória, União da Vitória, Cruz Machado, Inácio Martins, parte de Pinhão, Guarapuava e Turvo, estes últimos acompanhando a Serra da Esperança.

Outra região com cobertura florestal bastante significativa é a que acompanha a Escarpa Devoniana no primeiro planalto, sendo que neste predominam as formações em estágio inicial. Esta região apresenta as maiores diferenças em termos de tipologia florestal, provavelmente em função dos diferentes usos antrópicos passados e atuais (CASTELA, 2001).

Acrescenta-se que na região da Floresta com Araucária (CASTELA, 2001) há uma delimitação por um clima temperado, onde as geadas provavelmente exercem um papel fundamental e seletivo na ocorrência de determinadas espécies, influenciando também na sua fisiologia, como por exemplo, na queda das folhas.

Figueiredo Filho *et al.* (2003), estudando o incremento sazonal em diâmetro de 7 espécies de uma Floresta Ombrófila Mista localizada em São João do Triunfo, região sul do Estado do Paraná, em 131 árvores, encontrou, após três anos de observações, que a maior taxa de incremento em diâmetro ocorreu no verão, seguido da primavera, outono e inverno, responsáveis por 50, 31, 12 e 7% da produção anual, respectivamente. As espécies *Prunus*

brasiliensis, *Cinnamomum visiculosum* e *Nectandra grandiflora* apresentaram as maiores taxas de incremento. A média do incremento anual em diâmetro das 6 folhosas estudadas foi de 0,261 cm; a Araucária com 0,129 cm; para as 7 espécies, esse incremento foi de 0,199 cm. O incremento em diâmetro parece ser mais fortemente correlacionado com a precipitação que com a temperatura. As 7 espécies foram selecionadas segundo o critério de abundância, dominância e importância comercial. Foram avaliadas 62 árvores de *Araucaria angustifolia*, 19 de *Nectandra grandiflora*, 13 de *Campomanesia xanthocarpa*, 10 de *Cinnamomum visiculosum*, 10 de *Prunus brasiliensis*, 9 de *Ocotea porosa* e 8 de *Matayba elaeagnoides*.

Mattos *et al.* (2007) analisou o potencial dendrocronológico de seis espécies da Floresta Ombrófila Mista (FOM). Foram coletados troncos em Candói, PR, em uma área pertencente à ELEJOR, Centrais Elétricas do Rio Jordão, sendo três a seis indivíduos das espécies: *Araucaria angustifolia*, *Clethra scabra*, *Cedrela lilloi*, *Ocotea porosa*, *Podocarpus lambertii* e *Sebastiania commersoniana*. As árvores apresentavam diâmetro à altura do peito (DAP) variando de 14 cm a 40 cm e, em média, 60 anos e incremento anual médio de 0,6 cm. Apesar do número de árvores ter sido pequeno, foi possível observar que as condições do ambiente não foram limitantes para as espécies, pois os anéis de crescimento se mostram pouco sensíveis. Entretanto, as condições climáticas extremas verificadas nos anos de 1999 e 2000, quando ocorreu período de precipitação extremamente baixa, seguidas por inverno muito rigoroso, foram registrado nos anéis de crescimento em muitos discos analisados nesse trabalho.

Araucaria angustifolia se destacou, quando considerado o incremento periódico do DAP dos últimos 10 anos ($IPA_{DAP(10)}$), apresentando, em média 0,9 cm de incremento ao ano, variando de 0,5 cm a 1,3 cm. Apesar de *Cedrela lilloi* ter apresentado $IPA_{DAP(10)}$ de 0,6 cm, alguns indivíduos também apresentaram incremento periódico dentre os mais elevados (1,1 cm e 1,3 cm). *Clethra scabra* foi a espécie com crescimento mais lento (0,2 cm por ano), sendo que as demais apresentaram crescimento periódico médio de 0,5 cm ao ano (MATTOS *et al.*, 2007).

3.4 RELAÇÃO SOLO-PLANTA

Andrade e Sousa (1995) destacam que o solo assume grande importância nos processos biológicos, por ser o meio físico no qual habita grande variedade de seres vivos, cujos ciclos vitais contribuem para os processos de formação de solos e ainda, as ações antrópicas, que contribuem para o estabelecimento de alterações ambientais. Portanto, a

dinâmica de nutrientes no corpo do solo e no sistema fisiológico das plantas sofre influências de toda esta complexidade.

A composição química das plantas recebe elementos do ar (carbono), água (hidrogênio e oxigênio), sendo os demais elementos minerais absorvidos do solo (FAQUIN, 1994).

O comportamento das plantas, pertencentes à vegetação natural ou em plantios conduzidos pelo homem, depende de uma série de fatores diretos, ligados à qualidade do ambiente, e também de fatores indiretos (REZENDE *et al.*, 1988).

Os nutrientes constituem uma destas qualidades, de forte interdependência com as características morfológicas e as propriedades do solo. As inter-relações de dependência entre os nutrientes e os fatores indiretos (solo, vegetação, clima), e ainda as inter-relações entre os nutrientes e outros fatores diretos, tais como radiação solar, água, temperatura, aeração do solo e erosão, por exemplo, ilustram algumas ramificações desta rede de relações (RESENDE *et al.*, 1988).

A necessidade da determinação de níveis críticos dos nutrientes para cada espécie vegetal ou grupos de espécies afins, fundamenta-se não apenas em suas exigências nutricionais variáveis, mas também nas suas diferentes eficiências de absorção e/ou utilização dos nutrientes (BARROS e NOVAIS, 1990; ABICHEQUER e BOHNER, 1998).

Resende *et al.* (1988) ressaltam que a avaliação *in situ* é fundamental para a interpretação das condições de fertilidade e da disponibilidade de nutrientes, visto que o solo está inserido numa paisagem determinante de certas características morfológicas, evidenciadas pelas variações de declividade, condições climáticas, materiais de origem e influências de elementos da flora e fauna.

Uma característica importante das plantas é a capacidade de conversão de elementos químicos absorvidos do meio ambiente em componentes celulares. Por exemplo, carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo e enxofre são os elementos formadores de proteínas-constituintes protoplasmáticas de vital importância para o crescimento e desenvolvimento das plantas (VALE *et al.*, 1994).

São considerados nutrientes de plantas, os elementos químicos essenciais à produção vegetal, sem os quais as plantas não conseguem completar o seu ciclo de vida. Com exceção do carbono, oxigênio e hidrogênio, que são supridos às plantas através da água e do ar, os demais elementos essenciais são supridos através do solo. Portanto, fertilidade significa o estudo dos aspectos relacionados com a dinâmica, suprimento e disponibilidade dos nutrientes de plantas (VALE *et al.*, 1994).

Os nutrientes supridos pelo solo não são exigidos em iguais quantidades pelas plantas e o principal fator que controla o teor de nutrientes é o potencial de absorção, que é geneticamente fixado. Por exemplo, o teor foliar de nitrogênio e potássio é cerca de dez vezes maior que o de potássio, enxofre e magnésio ou cerca de mil vezes maior que o de ferro, zinco e manganês. Essas variações ocorrem em todas as espécies vegetais. Mas, entre espécies, também pode haver diferenças quanto ao teor de um dado nutriente, o que também é geneticamente determinado (VALE *et al.*, 1994).

A divisão clássica que se conhece, classifica os nutrientes que ocorrem em teores mais elevados nas plantas, como macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre). Por sua vez, os menos exigidos são denominados micronutrientes (ferro, zinco, manganês, cobre, molibdênio, boro e cloro) (VALE *et al.*, 1994).

De acordo com Faquin (1994), os principais fatores (internos e externos) que afetam a absorção iônica radicular são os seguintes: disponibilidade, pH, aeração, temperatura, umidade, o próprio elemento e interação entre os íons. Nesta ordem, a primeira condição para que o íon seja absorvido é que o mesmo esteja na forma disponível e em contato com a raiz. Portanto, todos os fatores que afetam a disponibilidade, também afetam a absorção.

No estudo dos nutrientes de plantas, o nitrogênio destaca-se dos demais por apresentar acentuado dinamismo no sistema solo, e por ser, normalmente, o nutriente exigido em maior quantidade pelas culturas. Esse nutriente apresenta dinâmica complexa, caracterizada por grande mobilidade no solo e por várias transformações em reações mediadas por microrganismos. Devido a este dinamismo, o nitrogênio, quando comparado com os outros nutrientes, é muito mais difícil de ser mantido no solo ao alcance das raízes (VALE *et al.*, 1994).

Ao contrário dos demais nutrientes, o nitrogênio praticamente não é fornecido ao solo pelas rochas de origem, pois a fonte primordial é o gás N_2 , que constitui 78% da atmosfera terrestre. No entanto, o nitrogênio não é absorvido pelas plantas na forma elementar e precisa ser transformado para formas orgânicas ou inorgânicas, aproveitáveis pelas plantas, como no caso da transformação do nitrogênio mineral para orgânico. A transformação do nitrogênio mineral em nitrogênio orgânico é denominada Imobilização e esta depende da relação C/N do material orgânico em decomposição (VALE *et al.*, 1994).

Na prática, na determinação da capacidade de suprimento de nitrogênio ou de produzir um déficit deste nutriente no solo, após incorporação de resíduos orgânicos, a relação C/N em torno de 20:1 tem sido considerada a linha divisória entre a imobilização e a mineralização (VALE *et al.*, 1994).

O solo é a característica do habitat que mais influencia o crescimento das plantas e, entre seus principais atributos, encontram-se: a textura, estrutura, temperatura, pH, fertilidade, umidade e aqueles relacionados com o material de origem. Portanto, o solo é fator decisivo no rendimento das espécies arbóreas, em plantios a céu aberto, sob cobertura ou nas condições naturais (PRICHETT, 1979).

Santos Filho e Rocha (1987) destacam a influência dos solos sobre a produtividade das florestas tropicais, como no estudo de caso na região da Lapa – PR, onde verificou-se o maior crescimento da *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze, relacionado com a maior espessura do solum e do horizonte A. Citam, ainda, no município de Telêmaco Borba – PR, o maior crescimento de *Pinus taeda* L. em solos arenosos, em terraços nas partes mais baixas da paisagem natural, e o menor crescimento na parte mais elevada, onde há maior lixiviação e escoamento superficial.

De Hoogh (1981), evidenciou a importância das características do solo como fatores determinantes do crescimento da araucaria, uma vez que a espécie apresenta uma alta demanda nutricional.

Lopes (1983), citando trabalho realizado por Haag *et al.* (1978), destaca que as essências florestais apresentam um comportamento diferente das culturas agrícolas, pois contribuem para a melhoria das condições físicas e químicas do solo em que estão implantadas, porque suas raízes atingem maiores profundidades e retiram nutrientes das camadas inferiores, os quais juntamente com outros absorvidos por via não radicular, formam os tecidos das plantas, que são posteriormente incorporados às camadas superiores, produzindo material que é constantemente transformado em húmus por processos biológicos.

Galvão *et al.* (1999) declara que a sucessão vegetal é um processo dinâmico, que diz respeito a unidades fitoecológicas florestais, em alterações fisionômicas, estruturais e florísticas acentuadas quando ocorre a passagem de uma fase inicial, mais simples, para uma fase mais avançada, de maior complexidade e estabilidade.

Wisniewski (1997) e Galvão (1999) destacam que a sucessão vegetal é um processo de substituição, que demanda alterações na quantidade de biomassa estocada em cada fase, promovendo a melhora das características físico-químicas do solo por meio da adição de matéria orgânica.

Martinelli *et al.* (1999) ressalta que as florestas tropicais são geralmente mais ricas em nitrogênio que as florestas temperadas, em razão da maior ciclagem deste elemento. Acrescenta ainda que, a intensa radiação solar e a grande pluviosidade nas regiões de clima

tropical fazem com que as taxas de decomposição da matéria orgânica do solo sejam elevadas, implicando numa acelerada ciclagem dos nutrientes e numa intensa atividade microbiana.

Balbinot (2009) cita a matéria orgânica também como importante fonte de nitrogênio no solo, pois devido à atividade biológica o solo passa a conter dois importantes elementos não existentes no material de origem do solo: carbono e nitrogênio. O nitrogênio origina-se de pequenas adições anuais de nitrogênio inorgânico pela água da chuva e fixação do nitrogênio atmosférico por microorganismos.

Souza (2006) verificou aporte de NO_3^- de 5,7 Kg ha ano⁻¹, em áreas de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas no litoral do Paraná, em florestas secundárias em estágios médio e avançado de regeneração. Considerando-se que parte do carbono do material vegetal original foi transformado em dióxido de carbono, com posterior perda, o húmus fica enriquecido com nitrogênio em relação ao material vegetal original. Ressalta-se que os teores de carbono e nitrogênio totais são reduzidos pelo cultivo do solo, quando comparados com a mata nativa. A serapilheira ou litter representa a principal fonte de carbono para o solo.

Segundo Longman e Jeník (1987) a morte de cada organismo do ecossistema florestal é seguida da decomposição da biomassa em substâncias orgânicas e inorgânicas mais simples, liberando parte da energia que possuem. As taxas de produção de biomassa podem ser maiores em florestas tropicais do que em florestas temperadas, especialmente na formação da folhagem e brotos nos meristemas apicais, e também, sob condições favoráveis, na produção de madeira. Isto ocorre devido às diferentes condições ambientais (temperatura e umidade) o que implica em maior ou menor decomposição do material disponível. Os seja, quanto maiores forem a temperatura e umidade, maior será a atividade de organismos decompositores, pois como destaca o autor, os fungos contribuem sensivelmente para o ciclo de nutrientes em florestas tropicais.

3. 5 SERAPILHEIRA

A serapilheira é constituída por folhas, ramos, cascas e estruturas reprodutivas (flores, frutos e sementes) depositados na superfície do solo, sendo as folhas seu principal componente (GOLLEY *et al.*, 1978).

As florestas são os maiores acumuladores de biomassa do planeta e por isso vem crescendo a demanda por informações e conhecimentos que possam auxiliar na redução dos riscos ambientais. A rigor, biomassa significa massa de matéria de origem biológica, viva ou

morta, animal ou vegetal. O termo biomassa florestal pode significar toda a biomassa existente na floresta ou apenas sua fração arbórea (SANQUETTA, 2002).

O termo fitomassa também vem sendo empregado para especificar que se trata de biomassa de origem vegetal. No caso, para melhor especificar que se trata da porção arbórea da fitomassa, poder-se-ia utilizar o termo fitomassa florestal ou fitomassa arbórea (SANQUETA, 2002).

Lopes (1983), afirma que o principal meio de retorno de minerais ao solo é através da decomposição da serapilheira ou litter e, portanto, a fertilidade dos solos é influenciada pela rapidez da decomposição desse material, que é tão importante em termos de quantidade e composição. A autora destaca que plantios de *Pinus* com menos de 20 anos preservam muitas características da época de plantio. Entretanto, em povoamentos mais velhos, os solos revelam-se melhorados devido ao enriquecimento em nutrientes pela prolongada deposição de serapilheira e lavagem de sais solúveis da copa. O trabalho cita ainda, os efeitos de plantios de *Pinus taeda* em áreas degradadas, aos 15 anos, cujos teores de nitrogênio e cálcio foram maiores na serapilheira do *Pinus* do que na vegetação herbácea adjacente.

O estudo de Lopes (1983) aponta ainda informações muito relevantes a respeito das influências do plantio de *Pinus elliottii* Engelm e outras coníferas nas condições físico-químicas da serapilheira e do solo. É notória a ocorrência de pH baixo em solos sob coníferas, bem como a menor retirada de bases do solo, principalmente do cálcio e, obviamente, com menor retorno deste nutriente ao solo. Foi constatado abaixamento de pH sob *Pinus elliottii* Engelm aos 32 anos, em áreas anteriormente ocupadas por *Eucalyptus*, tendo sido o pH a única propriedade estudada consideravelmente afetada pela mudança da vegetação.

Lopes (1983) relata que nos Estados do Paraná e Santa Catarina foi verificado diminuição de pH e aumento dos teores de alumínio trocável, devido à substituição de mata nativa, principalmente por *Pinus elliottii* Engelm. A matéria orgânica é por si só um importante indicador da fertilidade, por estar relacionada com a capacidade de trocas catiônicas (CTC), teores de nitrogênio e outros nutrientes, porém a matéria orgânica nem sempre sofre decréscimo após plantio com várias espécies de *Pinus*, pois já foram verificados resultados opostos, em que houve acréscimo de matéria orgânica. No entanto, alguns autores observaram que reflorestamentos com pináceas causavam diminuição de teores de matéria orgânica, nitrogênio e carbono, além de aumento da relação carbono/nitrogênio (C/N).

Tosin (1977) observou diminuição dos níveis destas bases trocáveis em substituição de mata nativa por *Pinus elliottii* Engelm sendo que o mesmo foi constatado por Lepsch (1980) em plantios de *Pinus* em áreas de cerrado.

Lopes (1983) destaca, na conclusão do trabalho, que povoamentos de *Pinus spp*, até a idade de 19 anos, são jovens e produzem pouca serapilheira. Conforme Florence e Lamb (1974), até essa idade o solo é a principal fonte de nutrientes para o desenvolvimento da plantação e, somente após os 20 anos passa a ser enriquecido em nutrientes, devido à maior deposição de serapilheira. Constatou-se neste mesmo trabalho que até à idade de 19 anos, o plantio com pináceas, feito em áreas de vegetação natural de cerrado, causou aumento de alumínio, carbono, fósforo, cálcio, soma de bases, CTC, relação C/N e decréscimo de pH. As mudanças foram pequenas, considerando-se que solos de cerrado já são muito ácidos e de baixa fertilidade natural. Portanto, era de se esperar que as mudanças não fossem grandes.

Em outro estudo realizado por Caldeira *et al.* (2008), o qual teve como recorte de estudo o Parque das Nascentes, no município de Blumenau/SC, foi desenvolvido um experimento sobre a quantificação de serapilheira e nutrientes, em uma Floresta Ombrófila Densa, caracterizada por três estádios sucessionais, os quais foram analisados separadamente. Foi verificado que o estoque médio de serapilheira acumulada variou de 4,47 a 5,28 Mg ha⁻¹. Os resultados obtidos por Caldeira apresentaram-se dentro da faixa de variação apontada por outros autores em estudos em formações florestais (O'CONNELL e SANKARAN, 1997).

O'Connell e Sankaran (1997) destacam que em determinados locais da América do Sul a produção de serapilheira acumulada de florestas tropicais naturais varia entre 3,1 e 16,5 Mg ha⁻¹, sendo que o valor máximo (16,5 Mg ha⁻¹) é observado nas florestas submontanas, na Colômbia. Segundo Tanner (1980) Florestas montanas, geralmente acumulam mais serapilheira do que outras florestas tropicais naturais, provavelmente devido ao baixo teor de nutrientes nas folhas e principalmente devido aos fatores climáticos, que implicam numa deposição lenta.

Ainda com relação à produção de serapilheira, em estudo realizado por Morellato (1992), em florestas semidecíduais na região Sudeste do Brasil, os valores encontrados variaram de 5,5 a 8,6 Mg ha⁻¹.

Outro estudo envolvendo comparação de deposição de matéria orgânica no solo, realizado por Garay *et al.* (2003) entre duas áreas distintas, de plantio de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium*, realizado no Espírito Santo, apontou que a área com plantio de *Acacia mangium* apresentou maior acúmulo de serapilheira (10 Mg ha⁻¹ em média) se comparado à área plantada com *Eucalyptus grandis* (5 Mg ha⁻¹, em média). Os resultados apontam que há maior incorporação de matéria orgânica e nutrientes em solo sob *Acacia mangium*, em relação a *Eucalyptus grandis*.

O acúmulo de serapilheira varia em função da procedência, da espécie, da cobertura florestal, do estágio sucessional, da idade, da época da coleta, do tipo de floresta e do local. Além desses fatores, outros como: condições edafoclimáticas e regime hídrico, condições climáticas, sítio, sub-bosque, manejo silvicultural, proporção de copa, bem como taxa de decomposição e distúrbios naturais como fogo e ataque de insetos ou artificiais como remoção da serapilheira e cultivos, ocorridos na floresta ou no povoamento, também influenciam no acúmulo de serapilheira (CUNHA, 1997).

Essa relação entre aporte de serapilheira e estágio sucessional, é destacada por Cunha (1997) em estudo de biomassa na serapilheira acumulada em Floresta Estacional no Rio Grande do Sul, com diferentes estágios de sucessão: capoeira com 13 anos, capoeirão com 19 anos e floresta secundária com mais de 30 anos, nas quais foram encontrados os seguintes valores: 4,2; 5,6 e 6,0 Mg. ha⁻¹, respectivamente. Brun *et al.* (2001) também realizaram a quantificação de biomassa da serapilheira acumulada em diferentes estágios sucessionais, na Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul, onde encontraram os seguintes resultados: capoeirão (5,1 Mg ha⁻¹), floresta secundária (5,7 Mg ha⁻¹) e floresta madura (7,1 Mg ha⁻¹).

A serapilheira acumulada é a principal via de transferência de nitrogênio, potássio e cálcio para o solo. Tal fato é destacado por Caldeira (2003) em seu estudo na Floresta Ombrófila Mista Montana no Paraná, o que evidencia claramente a importância do material formador da serapilheira no processo de ciclagem biogeoquímica de nutrientes em sítios florestais, principalmente para o nitrogênio, o potássio e o cálcio.

De acordo com Caldeira (2003), diferentes teores, bem como conteúdos de macronutrientes na serapilheira acumulada podem estar relacionados com a mobilidade dos bioelementos dentro da planta, por exemplo, o potássio, tornando-o sujeito à lixiviação. A alta variabilidade dos teores de potássio na serapilheira, segundo Neves (2000); Pagano e Durigan (2000) pode estar relacionada com a variação da precipitação pluviométrica, entre os períodos de avaliação. Isto se explica pela sua alta suscetibilidade à lixiviação via lavagem de folhas e de serapilheira, que decorrem do fato de o potássio não participar de compostos orgânicos, ocorrendo na forma solúvel ou adsorvido no suco celular (MARSCHNER, 1997).

Considerando somente os macronutrientes, o Ca apresenta o segundo maior teor e conteúdo na serapilheira acumulada (CALDEIRA, 2003), fato este que pode estar relacionado com a sua pouca mobilidade nos tecidos vegetais e com a longevidade das folhas. A baixa mobilidade deste macronutriente dentro dos tecidos vegetais é citada por Nilsson *et al.* (1995) como um fator que determina que a maior quantidade de ciclagem deste nutriente na natureza

seja feita pela queda e decomposição dos tecidos vegetais senescentes. Os baixos teores de potássio na serapilheira acumulada estão relacionados com pequenas taxas desse nutriente na ciclagem biogeoquímica, contrariamente às de cálcio, nutriente cujos teores na serapilheira acumulada são muitas vezes superiores aos existentes nos componentes da biomassa acima do solo. A ciclagem biogeoquímica, de modo geral, é a via pela qual, os nutrientes de baixa mobilidade na planta são ciclados, uma vez que para esses nutrientes a ciclagem bioquímica torna-se pouca expressiva, contrariamente ao que ocorre para nutrientes de alta mobilidade na planta (CALDEIRA, 2003).

Quanto aos micronutrientes, independente do estágio sucessional, a serapilheira acumulada é a principal via de transferência de Fe, Mn e Zn para o solo. Tanto nesta floresta quanto numa Floresta Ombrófila Mista Montana, no Paraná (CALDEIRA, 2003), a serapilheira acumulada nos três estádios, apresentou a seguinte ordem decrescente de micronutrientes: ferro > manganês > zinco > boro > cobre. A maior presença de ferro pode ser devida à sua baixa mobilidade nos tecidos vegetais, segundo Malavolta (2006). A baixa mobilidade é afetada pelo conteúdo elevado de fósforo, deficiência de potássio, quantidade elevada de manganês e baixa intensidade luminosa (DECHEN e NACHTIGALL, 2006). Caldeira (2003) ressalta que também pode haver interferência devido aos maiores teores nas folhas velhas de certas espécies, bem como de teores médios maiores nas folhas, em relação à madeira, casca e galhos. Os teores de ferro também podem ser influenciados pela contaminação com o solo, pois as argilas tendem a reter o ferro e teores adequados de matéria orgânica proporcionam melhor aproveitamento deste micronutriente. A matéria orgânica possui características acidificantes e redutoras e certas substâncias húmicas podem formar quelatos em condições adversas de pH (DECHEN e NACHTIGALL, 2006). O teor de ferro aumenta com o aumento da acidez, assim como em solos ricos em ácidos húmicos e colóides capazes de formar complexos solúveis com ferro (MALAVOLTA, 2006). O autor ainda destaca que o teor de ferro no solo é consequência do conteúdo no material de origem.

O segundo micronutriente com maior conteúdo na serapilheira é o manganês, talvez pela contaminação com o solo, pois este nutriente provém de óxidos, carbonatos, silicatos e sulfetos. Folhas velhas armazenam mais manganês, quando há bom suprimento, segundo Heenan e Campbell (1980), mas também há influência das espécies e do período vegetativo (CALDEIRA, 2003) e (DECHEN e NACHTIGALL, 2006).

A mesma ênfase é dada por Rodriguez Jiménez (1988) no que diz respeito à transferência de nutrientes em estudo realizado em um Bosque Pluvial de Terras Baixas na Colômbia. Schumacher *et al.* (2002) também constataram esta tendência em plantios de

Araucaria angustifolia com 14 anos de idade, onde a principal via de transferência de ferro, manganês e zinco para o solo foi a serapilheira acumulada. O Boro é o quarto micronutriente em teor na serapilheira acumulada, devido à sua baixa mobilidade nos tecidos vegetais.

Caldeira *et al.* (2008) ressalta que a serapilheira é também a principal via de transferência de carbono orgânico para o solo, principalmente através da queda de componentes senescentes da parte aérea das copas, e por isso é muito importante a sua quantificação. Mas, é fundamental destacar que raízes, madeira morta, micro, meso e macrofauna também são importantes vias de transferência de carbono orgânico para o solo.

A serapilheira acumulada desempenha um papel essencial no crescimento das plantas, pois influencia nas propriedades físicas, biológicas e químicas dos solos, também contribuindo para o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo (SYERS e CRASWEL, 1995; GARAY; ANDRADE e KINDEL, 2001).

Le Bourlegat *et al.* (2007) realizaram interessante pesquisa sobre a estrutura e massa de serapilheira em reflorestamentos de diversas idades e fragmentos florestais no norte do Paraná. Um dos objetivos do trabalho foi o de comparar a necromassa de serapilheira de reflorestamentos de diferentes idades e compará-la com fragmentos florestais adjacentes, a fim de avaliar a incorporação de biomassa no desenvolvimento dos reflorestamentos, pois o incremento de biomassa florestal está correlacionado com a captação do carbono da atmosfera, já que a matéria orgânica armazenada em um ecossistema florestal é diretamente representada pela sua biomassa. Além do carbono fixado à massa viva de uma floresta, há também o incorporado ao sistema abiótico, como o solo. Os autores destacam ainda, que apesar desta importância, estudos de acúmulo de biomassa são um dos aspectos pouco conhecidos dos ecossistemas florestais (BURGER e DELLITTI, 1999).

Os resultados obtidos por Le Bourlegat *et al.* (2007) permitiram verificar que reflorestamentos com finalidade de restauração ecológica são importantes fontes de captação de carbono da atmosfera e podem apresentar resultados comparáveis aos de fragmentos florestais, em termos de deposição de matéria orgânica sobre o solo Balbinot *et al.* (2003).

Wisniewski e Reissmann (1996) estudando deposição de serapilheira em plantios de *Pinus taeda* L. na Região de Ponta Grossa – PR, verificaram valores variando entre 6 a 8 Mg ha ano⁻¹, de acordo com o previsto por Bray e Gorham (1964).

3.6 CARBONO NO SOLO

A distribuição de carbono orgânico, nos perfis dos solos, varia bastante a nível global, com menores quantidades armazenadas na superfície dos solos tropicais do que nos solos florestais de latitudes menores. Em média, de acordo com Schlesinger (1977), 1% do carbono de um determinado perfil do solo é armazenado na camada superior da serapilheira nas florestas tropicais, enquanto que as florestas boreais armazenam 13%.

As florestas representam uma importante fonte alternativa de energia, por se tratar de um recurso natural renovável e também contribuem na redução dos impactos ambientais do efeito estufa e das suas implicações nas mudanças climáticas, devido ao seu potencial em reter carbono da atmosfera (SANQUETTA, 2002).

Diante do exposto, a biomassa de origem florestal tem influência decisiva, por ser fonte energética mais racional e, ainda, por acumular em sua estrutura carbônica, poluentes nocivos à qualidade de vida no planeta. Por isso, cresce a cada dia o interesse pela pesquisa em biomassa e conteúdo de carbono das florestas, motivando muitos cientistas e instituições a ampliar análises sobre o tema (SANQUETTA, 2002).

Estima-se que o estoque total de carbono exceda os 26.10^{15} Mg, sendo que a maior parte encontra-se na forma de compostos inorgânicos e somente cerca de 0,05% na forma orgânica. Os compostos orgânicos são encontrados na biomassa marinha e terrestre, detritos orgânicos e no solo (terrestres), assim como, nos sedimentos e detritos orgânicos dos oceanos (LARCHER, 2000). Do total de carbono existente na Terra, somente 0,05% são compostos orgânicos, na sua maioria detritos e sedimentos marinhos e no solo. No âmbito da fitomassa, cabe um papel preponderante às florestas, as quais armazenam mais de $\frac{3}{4}$ do carbono existente nas plantas terrestres (LARCHER, 2000).

Rochadelli (2001) destaca que a conservação das florestas naturais e plantadas é de suma importância para a redução dos níveis de gás carbônico na atmosfera, visto que as plantas absorvem gás carbônico e o convertem em carboidratos na forma de tecidos da madeira, folhas, sementes e frutos. Durante seu ciclo evolutivo, estas florestas realizam a atividade de captura e fixação de carbono na madeira e demais componentes da biomassa. Portanto, a quantificação do carbono orgânico torna-se importante, porque durante a existência destas florestas, são imobilizadas quantidades de carbono existentes na atmosfera, principalmente na madeira.

Conforme algumas importantes considerações de SCHUMACHER *et al.* (2002), na discussão do tema biomassa arbórea e carbono orgânico, pode-se apontar o plantio de

espécies florestais em áreas degradadas, com a finalidade de viabilizar o uso de sistemas agroflorestais, que auxiliam na fixação do carbono no solo.

Apesar do menor estoque de carbono na biomassa das florestas, quando comparado com os compartimentos atmosfera, solo, combustíveis fósseis e oceano, este é o único facilmente manejável com fins de seqüestro de carbono. A utilização da biomassa das florestas de rápido crescimento, como fonte de energia, ao invés dos combustíveis fósseis, seria uma importante alternativa para amenizar os efeitos do acréscimo de carbono na atmosfera (SANQUETTA, 2002).

Gardner e Mankin (1981), afirmam que os ecossistemas florestais contêm cerca de 90% da biomassa da Terra, cobrindo aproximadamente 40% da sua superfície. A biomassa acumulada nos ecossistemas, segundo Kozlowski e Pallardy (1996), é afetada por todos aqueles fatores relacionados com a fotossíntese e a respiração. Nesse sentido, Campos (1991) e Caldeira (1998) acrescentam que esta acumulação (produção) é diferente de local para local onde é medida, refletindo a variação dos diversos fatores ambientais e fatores inerentes à própria planta. Diferentes tipos de floresta armazenam quantidades diferentes de carbono dentro de sua biomassa, e locais diferentes dentro de um mesmo tipo de floresta também variam muito com relação à quantidade de biomassa.

Schlesinger (1977) relata que a nível global, a quantidade média de carbono orgânico no solo florestal aumenta dos trópicos aos temperados, até as florestas boreais. Baixos valores de carbono orgânico no solo de florestas tropicais são causados por uma decomposição rápida, que compensa a produção rápida de serapilheira. A variação entre florestas tropicais pode ser muito grande, alcançando diferenças comparáveis entre tropicais e as florestas temperadas e boreais (ANDERSON e SWIFT, 1983).

Em um dos seus estudos, Schumacher (2000) verificou na vegetação de campo nativo, na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, uma biomassa média acima do solo, de 2,84 Mg ha⁻¹, o que correspondeu a um estoque de 0,99 Mg ha⁻¹ de carbono. Este valor corresponde a menos de 1% do carbono fixado na biomassa de *Pinus taeda* L., com 20 anos de idade.

Com relação às concentrações de carbono orgânico no solo, Mafra *et al.* (2008) realizaram um estudo comparativo dos teores de carbono orgânico e atributos químicos do solo, entre sítios distintos, sendo: campo nativo, plantio de *Pinus* (12 e 20 anos respectivamente), reflorestamento de araucária (18 anos) e mata nativa de araucária. Neste estudo pôde ser observado que nos sítios de *Pinus* e Araucária os estoques de C orgânico foram mantidos em níveis equivalentes aos de mata e campo, apresentando valores de 12,5 a

14,2 Kg m⁻², nas camadas de 0,0 – 0,4 m. Considerando a média das camadas analisadas, a acidez e os teores de P disponível foram maiores, no plantio de Pinus com 20 anos. A análise química revelou teores baixos a médios de fósforo disponível e de potássio, cálcio e magnésio trocável.

Lal, Kimble e Follet (1998) afirmam que 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 que estes fatores determinam o estoque do elemento na pedosfera. A floresta não somente protege o solo contra processos erosivos, mas, principalmente, contribui para a manutenção do enorme estoque de carbono, devido ao impacto reduzido nas épocas de plantio, o que não ocorreria caso o uso fosse para agricultura, que implicaria em exposição a preparo intensivo e de curtos períodos, acarretando em perdas de toneladas de CO₂ para a atmosfera, devido à decomposição e oxidação aceleradas.

Um dos fatores que influenciam na concentração de carbono no solo é a Densidade do Solo. Segundo Ferreira (1994), a Densidade do Solo (Ds) é fundamental para a quantificação do carbono orgânico no solo. A densidade é também conhecida através das expressões Densidade Aparente e Densidade Global e representa a relação entre a massa de sólidos (Ms) e o volume total (Vt), isto é, o volume do solo incluindo o espaço ocupado pela água (VH₂O) e pelo ar (Va):

$$Ds = Ms / Vt$$

A Ds é uma propriedade física que reflete o arranjo das partículas do solo, que por sua vez define as características do sistema poroso. Desta forma, todas as manifestações que influenciarem a disposição das partículas do solo, influenciarão diretamente os valores da Ds (FERREIRA, 1994).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 DESCRIÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Colégio Florestal Estadual Presidente Costa e Silva, local da pesquisa, está situado no município de Irati, na mesorregião sudeste do Paraná (Figura 1) cerca de 150 km de Curitiba, com uma altitude média de 812 m s.n.m. e coordenadas 25°28'S, 50°39'W. O Colégio Florestal (Figura 2) possui área total de 176,5 ha.

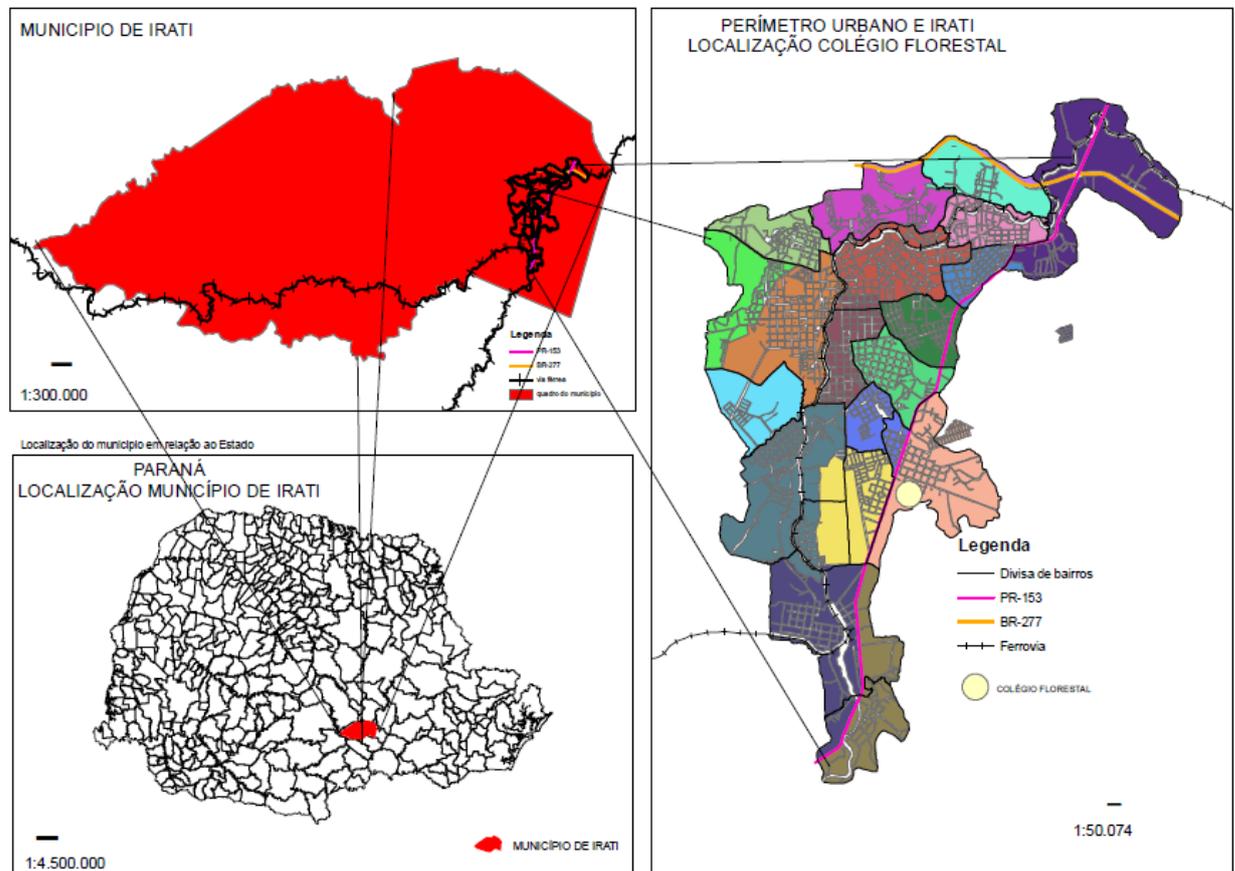


Figura 1 – Localização do Município de Irati e da Área de Estudo.
Fonte: Dep. De Geoprocessamento da Prefeitura Municipal de Irati, 2010.



Figura 2 – Vista Aérea Colégio Florestal.
Fonte: OLIVEIRA, 2008.

A área em estudo, segundo classificação de Köppen, possui clima do tipo Cfb (subtropical úmido, mesotérmico, com verão fresco e geadas severas e frequentes, precipitação média anual de 1200 mm).

Com relação às características da área estudada, o Colégio Florestal Estadual Presidente Costa e Silva possui área de 176,5 hectares, dos quais 60 hectares são cobertos por vegetação de floresta nativa, classificada como um fragmento da Floresta Ombrófila Mista Montana (Figuras 3 e 4), mantida em relativo estado de preservação. Nesta formação florestal, típica do segundo planalto paranaense, predomina o segundo estágio sucessional, denominado intermediário, caracterizado por uma vegetação arbórea bastante densa, dominada ainda por espécies pioneiras e secundárias iniciais, em geral com baixa amplitude diamétrica.

A área da Floresta Ombrófila Mista Montana (FOMM) é bastante sombreada, com vegetação relativamente densa e pouco degradada (Figura 3). Nesta área, verifica-se ainda a ocorrência de algumas nascentes, solos bastante úmidos e em condições de drenagem deficientes. O solo predominante é o Cambissolo, desenvolvido sobre material sedimentar do tipo folhelho.

Segundo Medeiros, (2008) (dados não publicados), a composição florística do fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana, na área do Colégio Florestal, apresenta espécies em comum e de grande diversidade, distribuídas de forma homogênea. A área total

de floresta nativa é de aproximadamente 60 ha, com cerca de 171 espécies arbóreas e arbustivas, sendo duas espécies não identificadas. Pode-se dizer que apesar da grande diversidade de espécies, a área já foi explorada no passado e está em processo de sucessão florestal.

Quanto à fitossociologia, destacam-se a Pimenteira – *Cinnamodendron dinisii* Schwacke (Cannellaceae), o Jerivá – *Syagrus romanzoffiana* Glassman, a Guaçatunga-vermelha – *Casearia obliqua* Spreng (Salicaceae), a Canela-amarela – *Nectandra lanceolata* Nees et Mart. (Lauraceae), o Pessegueiro-bravo – *Prunus brasiliensis* Chamisso & Schlechtd (Rosaceae), a Erva-mate – *Ilex paraguariensis* St. Hill (Aquifoliaceae), a Murta – *Curitiba prismatica* (Myrtaceae), a Guaçatunga-miúda – *Casearia decandra* Jacq (Salicaceae), e a Mamica-de-cadela – *Zanthoxylum rhoifolium* Lam. (Rutaceae) (MEDEIROS, 2008).

Estes dados segundo Medeiros (2008) foram provenientes da análise fitossociológica e observações diversas realizadas entre fevereiro de 2000 e dezembro de 2008. De um modo geral, a riqueza de espécies não foi muito diferente ao longo da área, a não ser nos trechos de mata ciliar, tanto do Rio das Antas quanto de outros cursos d'água. O fragmento de FOMM foi classificado como em estágio médio de sucessão ecológica. Conforme a Resolução nº 06 do Conama (Brasil, 1994), que estabelece parâmetros mensuráveis para análise dos estágios de sucessão ecológica, define-se estágio médio de sucessão com DAP médio de 10 – 20 cm, altura média de 5 – 12 m e área basal média de 10 – 28 m² ha⁻¹.

Com relação ao *Pinus elliottii* Engelm, trata-se de um plantio com 33 anos de idade (Figura 5), com área de 4,2 ha, já submetido a três desbastes. O espaçamento adotado foi de 2,0 x 2,5 m². No ano de implantação (1977) havia 2.541,59 árvores. O primeiro desbaste foi realizado em 1985, sistemático, com retirada de aproximadamente 110 m³, equivalente a 20% do talhão. O segundo desbaste foi realizado em 1989 e o terceiro em 1997, ambos seletivos. Em 2005, restaram 508 árvores, após o terceiro desbaste, cujo incremento médio anual (IMA) foi de 91,09 m³ ha ano⁻¹. A prática de poda foi realizada em 2,1 ha, até 2,0 m de altura, em 1982, e até 4,0 m de altura, em 1984 (MANASSÉS, 2007 – dados não publicados).

Neste talhão de *Pinus elliottii* Engelm foram conduzidas práticas silviculturais de controle de formigas cortadeiras e de vespa-da-madeira. Esta área é utilizada para aulas práticas de silvicultura, constituída por solos relativamente jovens, de baixa fertilidade natural, pH ácido, horizontes pouco espessos e bem definidos. Por se tratar de área de plantio, a incidência de luz é alterada, conforme as intervenções na floresta.

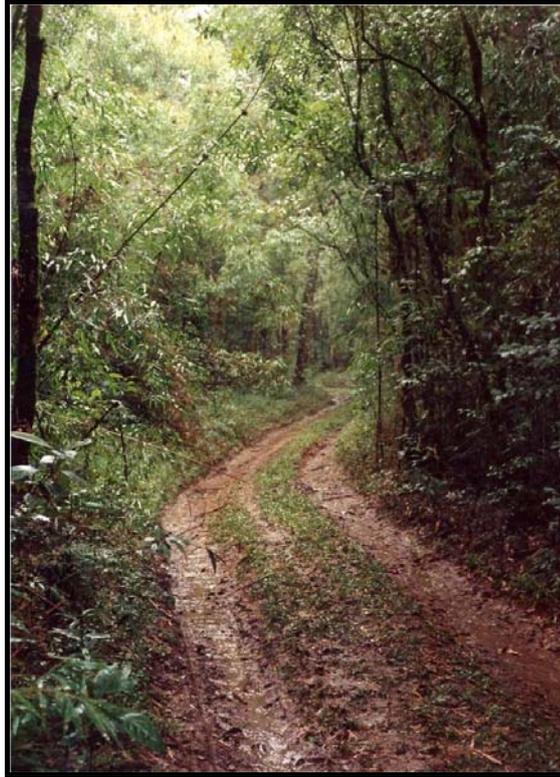


Figura 3 – Vista da área do sítio de Floresta Ombrófila Mista Montana.
Fonte: OLIVEIRA, 2008.

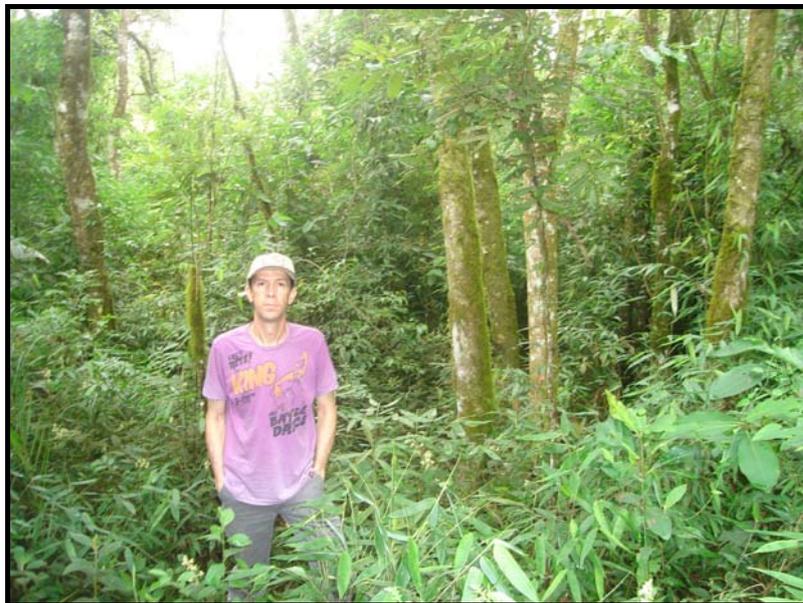


Figura 4 – Detalhamento do sítio de Floresta Ombrófila Mista Montana.
Fonte: OLIVEIRA, 2009.



Figura 5 – Vista da área do sítio do povoamento de *Pinus elliottii*.
Fonte: OLIVEIRA, 2008.

4.2 SOLOS

Segundo a Embrapa (2006), os tipos de solo onde estão a FOMM e plantio de *Pinus elliottii*, respectivamente, são classificados como CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico típico e NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico (Figuras 7 e 8).



Figura 7 – Detalhe do perfil de solo em *Pinus elliottii*
NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico
Fonte: OLIVEIRA, 2009.

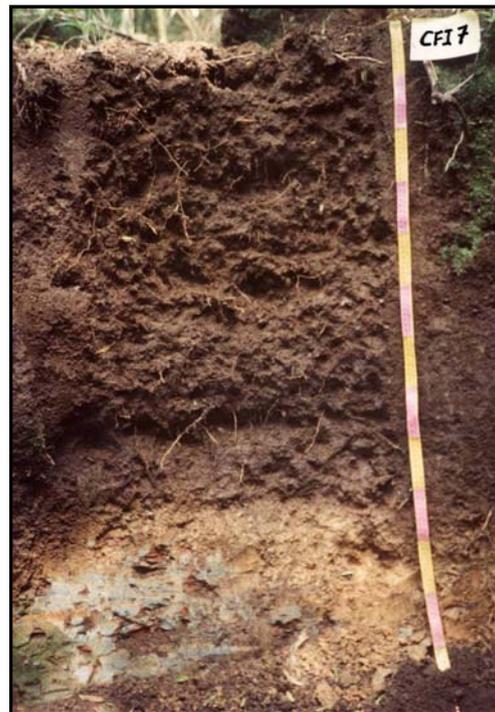


Figura 8 – Detalhe do perfil de solo em FOMM
CAMBISSOLO HÚMICO ALUMÍNICO Típico
Fonte: OLIVEIRA, 2009.

Segue, na tabela 1 uma descrição geral dos perfis de solos em estudo.

Tabela 1 – Perfil de solo para FOMM e plantio de *Pinus Elliottii* Engelm.

Classificação	CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico típico FOMM	NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico <i>Pinus Elliottii</i> Engelm
Instituição	Colégio Florestal	Colégio Florestal
Município	Irati, PR	Irati, PR
Localização	300 m a oeste da toposequência estabelecida, no aceiro após o apiário.	Toposequência CD, 200 m acima do viveiro, talhão 4
Altitude	905 m	880 m
Formação Geológica	Folhelhos do Grupo Passa Dois	Folhelhos do Grupo Passa Dois
Relevo	Suave ondulado a ondulado	Suave ondulado a ondulado
Drenagem	Imperfeitamente drenado	Bem drenado
Vegetação	FOMM	Plantio de <i>Pinus Elliottii</i> Engelm
Uso atual	Preservação e pesquisa	Plantio florestal

Fonte: Oliveira e De Hoogh (1990).

4.3 QUANTIFICAÇÃO DA SERAPILHEIRA ACUMULADA

Segundo Péllico Netto e Brena (1997) é importante destacar que método de amostragem refere-se à configuração da unidade amostral, já o termo processo de amostragem diz respeito à forma de locação ou distribuição da amostra na população (aleatoriamente, sistematicamente, etc.). Métodos diretos implicam em determinações, enquanto métodos indiretos geram estimativas. Determinações não são possíveis em grandes extensões florestais, cabendo em áreas pequenas e amostras tomadas na população para ajustar e calibrar os modelos empregados nas estimativas de biomassa. Desta forma, pode-se dizer que na maioria dos estudos de biomassa florestal o que se gera são estimativas e não determinações.

A coleta da serapilheira acumulada (Figura 9) nas duas áreas selecionadas (Floresta Ombrofila Mista Montana e plantio de *Pinus elliottii* Engelm) foi realizada em maio de 2009, a partir da metodologia adotada por Sanqueta (2002), com a utilização de um gabarito de metal de 0,25 m x 0,25 m (0,0625 m²). As faixas de terreno percorridas para coleta do material foram de 2.000 m², correspondentes a faixas de 20 m de largura por 100 m de extensão, tanto na FOMM quanto no plantio de *Pinus elliottii* Engelm, onde foram coletadas 30 amostras de serapilheira para análise do teor de nutrientes e biomassa, distribuídas aleatoriamente.



Figura 9 – Coleta da serapilheira.
Fonte: OLIVEIRA, 2009.

Para determinação do peso seco das amostras de serapilheira acumulada, as mesmas foram colocadas em sacos de papel, em seguida secas em estufa de circulação e renovação de ar a 65°C até alcançar massa seca constante, e que foi aferida em balança de precisão (0,01g). A quantidade de serapilheira acumulada encontrada no gabarito de metal (g/0,0625 m²) foi extrapolada para Mg ha⁻¹, utilizando-se a média da massa em gramas contida na área do gabarito (0,0625 m²), proporcional a 10.000 m² (hectare). Em seguida, as amostras foram trituradas em moinho do tipo Wiley, passadas em peneiras de malha 1,0 mm (20 mesh) e armazenadas em frascos de vidros, para subsequente análise química (TEDESCO *et al.*, 1995; MIYAZAWA *et al.*, 1999).

4.4 NUTRIENTES E CARBONO ORGÂNICO NA SERAPILHEIRA ACUMULADA

As 30 amostras simples, coletadas nas duas faixas de 2000 m², na unidade amostral correspondente ao gabarito de metal (0,0625 m²), nas duas formações florestais, foram homogeneizadas em 5 amostras compostas, de onde foram separados aproximadamente 3g de cada amostra composta, para serem enviadas para análise em laboratório.

No que se refere ao tecido vegetal para a determinação dos macronutrientes, o nitrogênio foi determinado no extrato de digestão sulfúrica pelo método Kjeldahl (destilação – titulação). Os outros elementos (fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) foram

determinados no extrato de digestão nítrico-perclórico, sendo fósforo e enxofre por espectrofotometria (UV-VIS), potássio por fotometria de chama e cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica (MIYAZAWA *et al.*, 1999). O carbono orgânico foi determinado segundo o método Walkley-Black (TEDESCO *et al.*, 1995; MIYAZAWA *et al.*, 1999).

As análises para determinação dos teores de nutrientes contidos na serapilheira foram realizadas pelo Laboratório de Química Ambiental e Instrumental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE.

Para determinação da relação C/N foi utilizado o método CHN, realizado pelo Departamento de Solos da Universidade Federal do Paraná.

4.5 CARBONO NO SOLO

As amostras de solo para determinação dos teores e quantidades de carbono, foram coletadas em mini perfis, em três profundidades diferentes, 0 – 5 cm; 5 -15 cm e 15 – 30 cm. Em cada mini perfil, aberto com cortadeira comum, as amostras foram coletadas com cilindros de metal de volume conhecido, nas três profundidades. Foram abertos 30 mini perfis, aleatoriamente, ao longo faixa de 2.000 m², na FOMM e no plantio de *Pinus elliottii* Engelm. Posteriormente, as amostras foram encaminhadas para secagem em estufa e, em seguida, pesadas em balanças de precisão (0,01 g).

O cálculo da densidade do solo foi realizado através da seguinte expressão (EMBRAPA, 2002):

$$DA = PSN / VCH$$

Em que:

DA = densidade do solo

PSN = peso seco do solo dentro do cilindro

VCH = volume do cilindro Uhland (constante)

Neste estudo o cilindro utilizado (Figuras 9 e 10) possui as dimensões de 5,5 cm de diâmetro por 2,90 cm de altura. Portanto, o volume do cilindro é de 68,89 cm³.

Para a coleta do solo destinado à análise de densidade do solo, foi utilizado o método do anel de Kopecky (EMBRAPA, 1997).

Para o cálculo do estoque de carbono para uma determinada profundidade foi utilizada a seguinte expressão:

$$\text{Est C} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times e) / 10$$

Em que:

Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

CO = teor de C orgânico total na profundidade amostrada ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Ds = densidade do solo da profundidade ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)

e = espessura da camada considerada (cm)

4.6 ANÁLISE QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO

Para a coleta das amostras de solo (ocorridas em maio de 2009) nas duas áreas selecionadas (FOMM e Povoamento de *Pinus Elliottii* Engelm) foi utilizada pá de corte, com pontos de coleta aleatoriamente distribuídos. Foram utilizadas 30 amostras por área selecionada, nas seguintes profundidades: 0-5 cm; 5-15 cm e 15-30 cm.

Para a realização das análises físicas e químicas foram utilizadas 30 amostras simples, coletadas em baldes plásticos, nas três profundidades (0 – 5 cm; 5 – 15 cm; 15 – 30 cm). Em seguida, as amostras foram homogeneizadas, compondo amostras compostas, por profundidade, na FOMM e no plantio de *Pinus elliottii* Engelm. As análises físicas e químicas foram feitas no Laboratório de Solos Florestais, do Departamento de Engenharia Florestal/Unicentro, conforme a metodologia proposta por Tedesco *et al.* (1995).

O teor de carbono orgânico foi calculado a partir do resultado do teor de MO (matéria orgânica), conforme a expressão: $\text{MO} = \text{C} \times 1,72$, tendo sido realizado pelo Laboratório de Solos Florestais do Departamento de Engenharia Florestal da Unicentro – Irati.

4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi adotado o teste de significância com a distribuição do tipo “t” de Sudent, que é um teste de comparação de médias, para amostras independentes (STUDENT, 1908). A área de 2.000 m^2 adotada nesta pesquisa, para a FOMM e plantio de *Pinus elliottii* Engelm, representa a população, onde foram distribuídas as unidades amostrais (gabarito de metal). As 30 amostras de serapilheira foram coletadas nestas unidades amostrais. Esta faixa de 2.000 m^2 é bastante representativa da FOMM, a qual apresenta homogeneidade na distribuição das espécies arbóreas e do solo predominante.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 QUANTIFICAÇÃO DA SERAPILHEIRA ACUMULADA E ANÁLISE ESTATÍSTICA.

No que se refere à produção de serapilheira para *Pinus elliottii* Engelm e para a FOMM, respectivamente, os valores foram de 12,89 Mg ha⁻¹ e 12,61 Mg ha⁻¹.

Para a realização da análise estatística foram utilizados os valores obtidos das 30 amostras (g), proporcionais à área do gabarito de metal (0,0625m²) e em seguida, convertidas para hectare (Mg ha⁻¹).

A análise estatística (Tabela 2) para amostras independentes nas duas formações florestais revelaram que não houve diferença significativa entre as quantidades de serapilheira acumulada ao nível de significância de 5%. Como o “t” calculado (0,2144) é menor que o “t” tabelado, conclui-se que, em média, as amostras são estatisticamente iguais, ou seja, não existe diferença significativa entre as quantidades de serapilheira acumulada.

Tabela 2 – Dados descritivos (média, desvio padrão, mínimo e máximo) da serapilheira acumulada e a significância do teste “t” de Student da FOMM e *Pinus elliottii* Engelm.

	<i>Pinus elliottii</i> Engelm	Floresta Ombrófila Mista
Média	80,5823333	78,84
Variância	602,606584	1378,06169
Observações	30	30
Hipótese da diferença de média	0	
gl	50	
Stat t	0,21443022	
P(T<=t) uni-caudal	0,41554186	
t crítico uni-caudal	1,67590503	
P(T<=t) bi-caudal	0,83108371	
t crítico bi-caudal	2,00855907	

Obs: Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes

O’Connell e Sankaran (1997) destacam que em determinados locais da América do Sul a produção de serapilheira acumulada em Florestas Tropicais naturais varia entre 3,1 e 16,5 Mg ha⁻¹, sendo que o valor máximo (16,5 Mg ha⁻¹) é observado nas florestas submontanas, na Colômbia. Os valores apontados acima para *Pinus elliottii* Engelm (12,89 Mg ha⁻¹) e FOMM (12,61 Mg ha⁻¹), são bastante coerentes com esta faixa de resultados. Em comparação com os estudos de Caldeira *et al.* (2008) na Floresta Ombrófila Densa foi verificado que o estoque médio de serapilheira acumulada variou de 4,47 Mg ha⁻¹ a 5,28 Mg ha⁻¹ e Caldeira *et al.* (2007) na Floresta Ombrófila Mista Montana o acúmulo de serapilheira

foi de 7,99 Mg ha⁻¹, ou seja, 2,8% em relação à biomassa total que foi de 280,73 Mg ha⁻¹, valores estes inferiores aos observados em cinco florestas semidecíduas no sudeste do Brasil, com valores que variaram de 5,5 Mg ha⁻¹ a 8,6 Mg ha⁻¹ (MORELLATO, 1992).

Num estudo comparativo entre reflorestamentos implantados com espécies da Floresta Estacional Semidecidual, de diferentes idades (2,5; 3,0; 4,0 e 5,0 anos) e fragmentos da própria Floresta Estacional Semidecidual, no norte do Paraná, Le Bourlegat *et al.* (2007) encontraram os valores médios de 6,0 Mg ha⁻¹ para os reflorestamentos e de 5,4 Mg ha⁻¹ para os fragmentos da Floresta Estacional Semidecidual, resultados inferiores aos encontrados no presente estudo.

Comparando os resultados da serapilheira acumulada da Floresta Ombrófila Mista Montana em estudo (12,61 Mg ha⁻¹) com a da Floresta Tropical Úmida Baixo Montana, Rio de Janeiro, a mesma possui valores bem elevados (20,5 Mg ha⁻¹). Por sua vez, os valores elevados de biomassa de serapilheira, conforme Clevelario Júnior (1996) estão associados a longos ciclos de desenvolvimento, apresentados geralmente por florestas pobres em nutrientes como a do tipo Tropical Úmida Baixo Montana. Nas florestas com maior escassez de nutrientes o acúmulo de serapilheira está associado às desacelerações da decomposição e não à queda mais intensa de material formador. Nas florestas onde é maior a escassez de nutrientes, ocorre maior acúmulo de serapilheira, reduzindo a velocidade com que os mesmos são ciclados.

Nas Florestas Ombrófilas da Austrália, a serapilheira acumulada pode variar de 4,4 a 6,3 Mg ha⁻¹ (SPAIN, 1984). De acordo com a revisão realizada por O'Connell e Sankaran (1997), mais de 75% dos valores da serapilheira acumulada em Florestas Tropicais naturais está abaixo de 7,0 Mg ha⁻¹, tendo como média 6,0 Mg ha⁻¹.

Kleinpaul *et al.* (2005) estudando a serapilheira acumulada sobre o solo em *Pinus elliottii* Engelm (21 anos de idade), *Eucalyptus sp.* (12 anos de idade) e Floresta Estacional Decidual, obtiveram os valores de 12,53 Mg ha⁻¹, no item acículas, em *Pinus elliottii* Engelm, 4,17 Mg ha⁻¹ em *Eucalyptus* e 4,0 Mg ha⁻¹ em Floresta Estacional Decidual. Utilizando o teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro, a análise estatística revelou diferença significativa de acúmulo de serapilheira de *Pinus elliottii* Engelm em relação ao *Eucalyptus* e à Floresta Estacional Decidual, sendo que os valores encontrados em povoamento de *Eucalyptus sp.* e Floresta Estacional Decidual não diferiram entre si.

Investigando análise comparativa do acúmulo de serapilheira em floresta nativa e reflorestamentos comerciais de *Pinus taeda* L. (38 anos) e *Eucalyptus grandis* (também com 38 anos), Medri *et al.* (2009) encontrou no reflorestamento de *Pinus taeda* L. o maior

acúmulo de serapilheira (11,7 Mg ha⁻¹), seguido de *Eucalyptus grandis* (10,2 Mg ha⁻¹) e pela mata nativa (5,8 Mg ha⁻¹). O estoque médio de serapilheira acumulada na mata nativa foi semelhante aos observados em cinco Florestas Semidecíduas no sudeste do Brasil, com valores que variaram de 5,5 Mg ha⁻¹ a 8,6 Mg ha⁻¹. Ressalta-se que os elevados valores encontrados nos reflorestamentos podem ser resultantes do comportamento e morfologia das espécies. É importante destacar que, nesse trabalho a área de 52.000 ha de florestas nativas possui formações vegetacionais distintas: Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Mista e pequenas manchas de campo.

Quanto à variação do montante de serapilheira acumulada nos solos florestais, vários são os fatores que interferem, dentre os quais: condições desfavoráveis de decomposição, propriedades físico-químicas e conteúdo da serrapilheira, baixa densidade de organismos decompositores e época da coleta acumulada, e, ainda, da realização de poda durante o período de amostragem, o que irá influenciar no aporte de material.

A variação apontada por Balbinot (2003) ocorreu em inventário de carbono orgânico em plantio de *Pinus taeda*, aos 5 anos de idade, no Rio Grande do Sul, no qual estimaram carbono orgânico da biomassa, solo e da serrapilheira. Quanto à serrapilheira sobre o solo, esta foi estimada em 17,4 Mg ha⁻¹, valor elevado devido à prática silvicultural de desrama.

O acúmulo de serapilheira na superfície do solo é regulado pela quantidade de material que cai da parte aérea das plantas e sua taxa de decomposição. Esse acúmulo, conforme Pritchett (1990) deve-se à quantidade anual de serapilheira menos a taxa anual de decomposição. O ritmo da queda da serapilheira é uniforme entre as espécies de árvores que crescem em condições similares de clima e solo.

O acúmulo de serapilheira varia em função da procedência, da espécie, da cobertura florestal, do estágio sucessional, da idade, da época da coleta, do tipo de floresta e do local. Além desses fatores, outros como: condições edafoclimáticas e regime hídrico, condições climáticas, sítio, sub-bosque, manejo silvicultural, proporção de copa, bem como taxa de decomposição e distúrbios naturais como fogo e ataque de insetos ou artificiais como remoção da serapilheira e cultivos, ocorridos na floresta ou no povoamento, também influenciam no acúmulo de serapilheira (CALDEIRA *et al.*, 2007; CALDEIRA *et al.*, 2008)

Independente dos fatores que provocaram as diferenças na serapilheira acumulada entre o *Pinus elliottii* Engelm e a FOMM, os processos de queda de folhas, galhos, flores, frutos, etc., melhoram a fertilidade da camada superficial do solo (MAGALHÃES e BLUM, 1999), estabelecendo uma relação C/N e um pH mais favorável ao desenvolvimento biótico (NOVAIS e POGGIANI, 1983).

Ao realizar um comparativo dos dados obtidos na presente pesquisa com os dados de Watzlawick (2003) para povoamentos de *Pinus taeda* L., percebe-se certa semelhança. Os resultados encontrados pelo autor foram de 10,63 Mg ha⁻¹ de serapilheira acumulada, em povoamentos de *Pinus taeda* L., com idade de 32 anos. A pesquisa de Watzlawick (2003) revelou também resultados de 5,78 Mg ha⁻¹ de serapilheira acumulada, em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze, aos 32 anos de idade.

No presente estudo, os valores de serapilheira acumulada em *Pinus elliottii* Engelm, (12,89 Mg ha⁻¹) foram bastante semelhantes aos de *Pinus taeda* L. (10,63 Mg ha⁻¹), com idades próximas, 33 e 32 anos, respectivamente, e aproximadamente o dobro do valor encontrado para *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze (5,78 Mg ha⁻¹), em relação à FOMM (12,61 Mg ha⁻¹).

Em outro trabalho de Watzlawick e Caldeira (2004) o valor médio de serapilheira acumulada foi de 8,01 Mg ha⁻¹, sendo que a quantidade de carbono orgânico foi de 3,06 Mg ha⁻¹, em Floresta Ombrófila Mista Montana. Na mesma formação florestal, em Irati (PR) 2009, o resultado foi de 12,61 Mg ha⁻¹, ambos dentro dos intervalos mínimo e máximo mais encontrados nos trabalhos correlatos.

5. 2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA ACUMULADA

As médias obtidas (Tabela 3) nos diferentes tipos de florestas (*Pinus* e FOMM) foram comparadas empregando-se o teste “t” de Student ($\alpha=0,05$).

A análise estatística aplicada nesta pesquisa, conforme tabela 3, revelou diferenças significativas entre o povoamento de *Pinus elliottii* Engelm e FOMM dos teores de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio. Portanto, as diferenças mais significativas foram relativas aos macronutrientes, em função da maior capacidade de ciclagem de nutrientes, das florestas tropicais, em relação às florestas implantadas e também devido à mobilidade dos bioelementos dentro da planta.

Tabela 3 - Dados descritivos (média, desvio padrão, mínimo e máximo) dos nutrientes e a significância do teste "t" de Student da Floresta Ombrófila Mista Montana (FOMM) e *Pinus elliottii*.

Nutriente		Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	Teste t	P
Macronutriente							
N	Pinus	6,47	1,17	5,25	7,88	5,522*	0,003
N	FOMM	14,70	3,11	9,63	17,5		
P	Pinus	0,50	0,13	0,34	0,72	2,079 ^{ns}	0,106
P	FOMM	1,08	0,60	0,68	2,15		
K	Pinus	1,05	0,19	0,85	1,25	3,276*	0,022
K	FOMM	2,01	0,62	1,40	3,00		
Ca	Pinus	14,36	2,19	11,40	16,60	2,326*	0,048
Ca	FOMM	17,69	2,32	15,10	20,30		
Mg	Pinus	2,65	0,90	1,25	3,70	-5,203*	0,001
Mg	FOMM	4,96	0,40	4,60	5,60		
Micronutriente							
Fe	Pinus	823,00	367,90	470,00	1405,00	-0,227 ^{ns}	0,826
Fe	FOMM	864,00	165,20	610,00	53,00		
Zn	Pinus	1710,00	1046,99	815,00	3470,00	1,672 ^{ns}	0,133
Zn	FOMM	2917,00	1228,95	1510,00	4150,00		
Cu	Pinus	5,40	1,34	4,00	7,00	2,382 ^{ns}	0,076
Cu	FOMM	20,60	14,20	7,00	44,00		
Mn	Pinus	29,60	5,27	24,00	37,00	-4,781*	0,001
Mn	FOMM	45,40	5,17	40,00	53,00		

* significativo a nível de 5 % de significância.

Quanto aos micronutrientes, somente o manganês apresentou diferenças significativas entre *Pinus elliottii* Engelm e FOMM, considerando-se que os maiores teores e conteúdos de manganês na serapilheira acumulada podem ter ocorrido devido aos maiores teores nas folhas de algumas espécies, e ainda, porque as concentrações deste micronutriente nas folhas aumentam conforme avança a idade da planta.

5. 3 AMOSTRAGEM DA SERAPILHEIRA ACUMULADA

A média da serapilheira acumulada de *Pinus elliottii* Engelm (Tabela 4) foi de 75,24 g/0,0625 m², com intervalo de confiança ao nível de 95% de probabilidade apresentando limite inferior de 65,5 e limite superior de 84,95. O coeficiente de variação encontrado foi de 27,19 %, sendo que o número de amostras necessárias para obter-se um erro de 10% da média

com 95% de probabilidade, para *Pinus elliottii* Engelm, foi de 28 amostras e de 7 amostras para um erro de 20% da média na mesma probabilidade. Foi estimada a verdadeira média da serapilheira acumulada na floresta em estudo com 9,72 % de erro ao nível de 95% de probabilidade.

Na Floresta Ombrófila Mista Montana (Tabela 4) a média da serapilheira acumulada foi de 70,21 g/0,0625 m², com intervalo de confiança ao nível de 95% de probabilidade apresentando limite inferior de 60,49 e limite superior de 79,92. O coeficiente de variação encontrado foi de 39,44 %, sendo que o número de amostras necessárias para obter-se um erro de 10% da média com 95% de probabilidade foi de 59 amostras e de 15 amostras para um erro de 20% da média na mesma probabilidade. Foi estimada a verdadeira média da serapilheira acumulada na floresta em estudo com 14,11 % de erro ao nível de 95% de probabilidade.

Portanto, a amostragem realizada foi suficiente e representativa da área adotada, porém seria necessária maior quantidade de amostras para FOMM, para 10 % de erro da intensidade amostral.

Tabela 4 - Variáveis estatísticas da amostragem da serapilheira acumulada no *Pinus elliottii* e na Floresta Ombrófila Mista Montana.

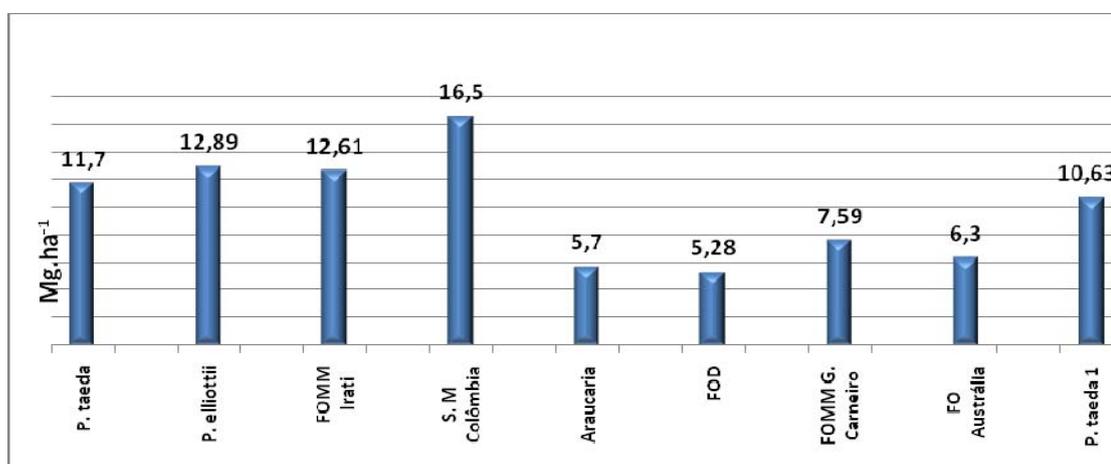
Variáveis estatísticas	<i>Pinus elliottii</i> Engelm	Floresta Ombrófila Mista Montana
Média (x)	75,24 g /0,0625 m ²	70,21 g/0,0625 m ²
Variância (s ²)	418,54	766,94
Desvio padrão (s)	20,45	27,69
Erro padrão (s _x)	3,73	5,05
Erro de amostragem absoluto	± 7,317	± 9,908
Erro de amostragem relativo	9,72 %	14,11 %
Intervalo de confiança (α = 5%)	IC ₉₅ [65,5 ≤ μ ≤ 84,95] = 0,95	IC ₉₅ [60,49 ≤ μ ≤ 79,92] = 0,95
Coeficiente de variação (CV)	27,19 %	39,44 %
Intensidade amostral (10% de erro) da média e probabilidade de 95%	28 amostras por unidade amostral	59 amostras por unidade amostral
$n = t^2 * \frac{s^2}{E^2}$		
Intensidade amostral (20% de erro) da média e probabilidade de 95%	7 amostras por unidade amostral	15 amostras por unidade amostral
$n = t^2 * \frac{s^2}{E^2}$		

5.4 COMPARATIVO DE SERAPILHEIRA ACUMULADA EM DIFERENTES FLORESTAS

O acúmulo de serapilheira sobre os solos florestais é determinado por diversos fatores, como o tipo de floresta, a formação do dossel, regeneração florestal, diversidade de espécies, agentes climáticos, regime hídrico, época do ano, tipo e concentração de microrganismos, características do material depositado, incêndios, ataque de pragas e intervenções antrópicas, entre outros.

Comparando-se as quantidades de serapilheira acumulada em diferentes florestas (Figura 11), verifica-se que os valores encontrados variam dentro de uma faixa de resultados bastante conhecidos 3,1 a 16,5 Mg ha⁻¹ (O'CONNELL e SANKARAN, 1997). Na presente pesquisa os valores encontrados em *Pinus elliottii* Engelm. e Floresta Ombrófila Mista Montana (FOMM Irati) foram muito semelhantes (12,89 Mg ha⁻¹ e 12,61 Mg ha⁻¹ respectivamente), o que indica a importância das florestas tanto naturais quanto plantadas para o acúmulo de serapilheira e, conseqüentemente de carbono e nutrientes.

Figura 11 - Histograma com Comparativo de Serapilheira Acumulada em Diferentes Regiões.



As referências para as formações florestais representadas no histograma são respectivamente: *Pinus taeda* L. (MEDRI, 2009), *Pinus elliottii* Engelm (OLIVEIRA, 2009), FOMM Irati (OLIVEIRA, 2009), Floresta Submontana Colômbia (O'CONNELL e SANKARAN, 1997), *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze (WATZLAWICK, 2003), FOD (CALDEIRA *et al.*, 2008), FOMM Gal. Carneiro, PR (CALDEIRA, 2003), FO Austrália (SPAIN, 1984) e *Pinus taeda* L. (WATZLAWICK, 2003).

5.5 NUTRIENTES E CARBONO ORGÂNICO NA SERAPILHEIRA ACUMULADA

De modo geral, a FOMM apresentou teores mais elevados de nutrientes (Tabela 5) do que os teores do plantio de *Pinus eliottii* Engelm, tanto em nível de macronutrientes como de micronutrientes.

Tabela 5 - Teores e conteúdos médios de macronutrientes e carbono orgânico na serapilheira acumulada e relação C/N em *Pinus eliottii* e Floresta Ombrófila Mista Montana

Carbono/nutriente	Teor (g.kg ⁻¹)	Conteúdo (kg.ha ⁻¹)	Relação C/N
<i>Pinus eliottii</i> Engelm			
N	7,32	83,39	
P	0,50	6,44	
K	1,05	13,53	
Ca	14,36	185,10	62,72
Mg	2,65	34,15	
C	459,13	5970,00	
Floresta Ombrófila Mista Montana			
N	16,48	185,36	
P	1,08	13,61	
K	2,01	25,34	
Ca	17,69	223,07	25,65
Mg	4,96	62,54	
C	422,75	5330,00	

Caldeira (2003) em seu estudo na Floresta Ombrófila Mista Montana no PR evidencia claramente que a serapilheira acumulada é a principal via de transferência de nitrogênio, potássio e cálcio para o solo. Considerando somente os macronutrientes, o cálcio apresentou o segundo maior teor e conteúdo na serapilheira acumulada, resultado este, também observado neste estudo. A alta variabilidade dos teores de K na serapilheira, segundo Neves (2000) e Pagano e Durigan (2000) tem estreita relação com a variação da precipitação pluviométrica, o que se explica pela sua alta suscetibilidade à lixiviação via lavagem de folhas e de serapilheira, que decorrem do fato de o potássio não participar de compostos orgânicos, ocorrendo na forma solúvel ou adsorvido no suco celular (MARSCHNER, 1997), pois os valores estão abaixo dos de cálcio e magnésio, tanto na análise da serapilheira acumulada, quanto na análise do solo, o que implica em necessidade de suprimento de outras fontes,

como o potássio presente na solução do solo, disponível em quantidades insuficientes para as plantas.

No que se refere ao carbono, as duas formações florestais apresentaram certa semelhança nos resultados, pois independente da formação florestal, é sabido que a serapilheira acumulada beneficia o solo.

Os teores de carbono e nitrogênio contantes na tabela 2 evidenciam elevada relação C/N, no povoamento de *Pinus elliottii* Engelm, o que significa intensa imobilização do nitrogênio no protoplasma dos microrganismos decompositores. Na prática, o crescimento das árvores depende do estoque de nitrogênio no solo ou de práticas de adubação, quando o plantio ainda é jovem. Portanto, não está ocorrendo a desejada mineralização, isto é, a liberação de nitrogênio mineral para absorção pelas raízes. Já o fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana tem relação C/N dentro dos limites entre a mineralização e a imobilização, variando de 20:1 a 30:1. Os teores de carbono e nitrogênio citados mostram que a Floresta Ombrófila Mista Montana tem um aproveitamento mais eficaz do nitrogênio em relação ao plantio de *Pinus elliottii* Engelm, no que se refere à relação com o carbono da serapilheira.

Em estudo de Sousa *et al.* (2002) em Floresta Aluvial do Rio Barigui em Araucária, PR, o teor médio de carbono orgânico encontrado foi de 421,23 g kg⁻¹, sendo que no presente estudo, nas áreas de povoamento de *Pinus elliottii* Engelm e de FOMM, os teores foram, respectivamente, de 459,13 g kg⁻¹ e de 422,75 g kg⁻¹, bastante similares aos resultados de SOUSA.

Quanto aos micronutrientes (Tabela 6), o cobre mostrou resultado de três a seis vezes maior na FOMM que em *Pinus Elliottii* Engelm (20,60 mg kg⁻¹ para FOMM e 5,4 mg kg⁻¹ para *Pinus Elliottii* Engelm). Para zinco, ferro e manganês, manteve-se a tendência de aumento dos teores de FOMM, em valores de duas a três vezes maiores. Portanto, a serapilheira de FOMM apresentou maiores teores e conteúdos de nutrientes absorvidos do solo.

Em estudo de Caldeira *et al.* (2008) na Floresta Ombrófila Densa, em Blumenau, a serapilheira acumulada em três estádios apresentou a seguinte ordem decrescente de micronutrientes: Fe > Mn > Zn > B > Cu. Esta sequência também foi observada em outro estudo do mesmo autor (CALDEIRA, 2003) em Floresta Ombrófila Mista Montana – PR. Já na presente pesquisa a sequência observada tanto para povoamento de *Pinus elliottii* Engelm e FOMM foi de: Zn>Fe>Mn>Cu, sendo que somente os teores de zinco não responderam a

esta expectativa, mostrando-se bem mais elevados do que os demais. O boro não foi analisado.

Tabela 6 - Teores e conteúdos médios de micronutrientes na serapilheira acumulada.

<i>Pinus Elliotti</i> Engelm		
Nutriente	Teor (mg kg ⁻¹)	Conteúdo (kg ha ⁻¹)
Cu	5,4	0,06
Zn	1710,00	22,04
Fe	823,00	10,60
Mn	29,60	0,38
Floresta Ombrófila Mista Montana		
Cu	20,60	0,25
Zn	2917,00	36,78
Fe	864,00	10,89
Mn	45,40	0,57

No experimento de Koehler *et al.* (1987), em plantio de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze, aos 15 anos de idade no município da Lapa - PR, os teores médios de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, nas acículas de serapilheira, foram de 4,0; 0,2; 0,6; 5,2 e 0,8 Kg ha⁻¹ ano⁻¹. Os valores verificados na presente pesquisa (*Pinus elliottii* Engelm) para estes nutrientes, mostraram-se superiores em relação ao trabalho de Koehler (1987).

5.6 QUANTIFICAÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO NO SOLO

A tabela 7 aponta os valores da Densidade do Solo (Ds) e CO nas três profundidades de solo na FOMM e no povoamento de *Pinus elliottii* Engelm.

Os teores de carbono decresceram ao longo do perfil, porém com menor ênfase em FOMM, contudo, as maiores concentrações foram verificadas na profundidade de 0-5 cm. Na comparação de CO entre FOMM e povoamento de *Pinus elliottii* Engelm, houve maior concentração de carbono em FOMM.

Tabela 7 – Valores da Ds, CO, e % total de CO fixado na FOMM e no povoamento de *Pinus Elliottii* Engelm

FOMM				
Profundidade cm	Ds g/cm ³	Carbono orgânico g/dm ³	Carbono orgânico Mg.ha ⁻¹	% do Total do carbono fixado
0 – 5 cm	0,53	31,16	8,25	17,63
5 – 15 cm	0,59	27,26	16,08	34,37
15 – 30 cm	0,61	24,54	22,45	47,99
Total	-	-	46,78	100,00
<i>Pinus Elliottii</i> Engelm				
0 - 5 cm	0,95	20,64	9,80	20,83
5 – 15 cm	0,95	16,75	15,91	33,82
15 – 30 cm	0,89	15,97	21,32	45,33
Total	-	-	47,03	100,00

Os percentuais do total do carbono fixado foram determinados a partir de regra de três simples, entre o valor total de CO e os valores obtidos em cada profundidade.

No estudo de Balbinot *et al.* (2003) em *Pinus taeda* L., aos 5 anos de idade, no Rio Grande do Sul, o carbono orgânico no solo, até 100 cm de profundidade, foi estimado em 227,8 Mg ha⁻¹. Nas tipologias florestais do presente estudo o carbono orgânico no solo foi estimado em 46,78 Mg ha⁻¹ para FOMM e 47,03 Mg ha⁻¹ para Pinus. Porém, a profundidade do solo analisada corresponde a aproximadamente um terço da profundidade do solo na pesquisa de Balbinot *et al.* (2003), o que não permite uma comparação segura dos resultados. O solo sob a FOMM apresentou densidade baixa, provavelmente como resultado da influência da matéria orgânica, que promove melhor agregação do solo e, conseqüentemente, maior porosidade natural. Logo, as quantidades relativas às três profundidades diminuem proporcionalmente em relação ao plantio de *Pinus elliottii* Engelm.

Em compensação, o solo sob *Pinus elliottii* Engelm apresentou densidade mais compatível com a faixa de variação de densidade da maioria dos solos.

Monteiro e Delittii (2007) desenvolveram estudo sobre implicações para o acúmulo de carbono, na silvicultura em solos de Cerrado, destacando o uso dos gêneros *Eucalyptus sp.* e *Pinus sp.* em grande escala. Os autores concluíram que o carbono do solo diminui no gradiente de profundidade. O trabalho enfatiza que a maioria do carbono do solo está contida na camada superior. Na profundidade 10-25 cm os valores médios encontrados variaram entre 10,96 e 16,23 g dm⁻³ nas áreas de cerradão, entre 11,03 e 13,31 g dm⁻³ nas de *Eucalyptus* e entre 7,68 e 11,92 g dm⁻³ nas de *Pinus*. Na camada de 35 a 50 cm os valores estão entre 8,94 e 12,24 g dm⁻³ nas áreas de cerradão, entre 8,79 e 11,87 g dm⁻³ nas de *Eucalyptus* e entre 7,18 e

10,11 g dm⁻³ nas de *Pinus*. Os resultados deste trabalho revelaram valores abaixo daqueles encontrados em FOMM e povoamento de *Pinus elliottii* Engelm, Irati, PR.

Em pesquisa sobre determinação de carbono orgânico em povoamentos de *Acacia mearnsii* DE WILD, plantados no Rio Grande do Sul, Saidelles *et al.* (2009), encontraram teores de carbono orgânico no solo, na profundidade de 0 – 20 cm, de 9,1 g dm⁻³, aos 4 anos de idade, e de 10,0 g dm⁻³, aos 6 anos de idade, e quantidade de carbono orgânico no solo, de 26,1 Mg ha⁻¹, aos 4 anos de idade, e de 27,3 Mg ha⁻¹, aos 6 anos de idade, portanto, com comportamento semelhante entre os dois povoamentos. Na profundidade de 20 – 40 cm, os teores foram de 6,8 g dm⁻³, aos 4 anos de idade, e também de 6,8 g dm⁻³, aos 6 anos de idade. Na mesma profundidade (20 – 40 cm) as quantidades foram de 21,2 Mg ha⁻¹, aos 4 anos de idade, e de 19,7 Mg ha⁻¹, aos 6 anos de idade.

Comparando-se os resultados de Saidelles *et al.* (2009) com os da presente pesquisa, tanto para FOMM quanto para povoamento de *Pinus elliottii* Engelm, observou-se a mesma tendência de diminuição dos teores de carbono orgânico nos horizontes mais profundos. Quanto à quantidade de carbono orgânico, os valores são muito semelhantes nas duas pesquisas, de 46,78 Mg ha⁻¹ para Ombrófila Mista Montana e 47,03 Mg ha⁻¹ para *Pinus elliottii*, até à profundidade de 30 cm, sendo que os valores somados de Schumacher até 40 cm são muito similares, em torno de 47,0 Mg ha⁻¹. Destaca-se que, proporcionalmente, o acúmulo de carbono orgânico foi menor em *Acacia mearnsii*, devido à maior profundidade da camada de solo.

5.7 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO

A análise química do solo (Tabela 8) revelou teores mais elevados de potássio, para FOMM, em relação ao povoamento de *Pinus elliottii* Engelm., sendo que para pinus os valores variaram de 0,15 a 0,19 cmol_c dm⁻³ e, para FOMM a variação foi de 0,29 a 0,49 cmol_c dm⁻³. No entanto, as bases trocáveis (cálcio e magnésio) mostraram o inverso, com maiores teores em *Pinus elliottii* Engelm. Os teores de alumínio trocável foram mais elevados na FOMM, o que confere maior acidez à mata nativa. Sabendo-se que o aumento da concentração de alumínio trocável (Al⁺³) e a baixa saturação de bases contribuem para a diminuição do pH, pode estar ocorrendo elevação da acidez em Ombrófila Mista, devido a processos de decomposição da matéria orgânica.

A FOMM apresentou maiores teores de matéria orgânica. Conseqüentemente, a área com cobertura florestal nativa acumulou mais carbono, em relação à área de plantio de *Pinus elliottii* Engelm.

Com relação à análise física do solo (Tabela 9), esta apresentou predominância das frações argila e silte, comparadas às frações de areias (fina e grossa). Portanto, os solos estudados possuem boa retenção de água e maior CTC.

Tabela 8- Análise química do solo em diferentes profundidades em plantio de *Pinus elliottii* Engelm e na FOMM.

Prof./cm	pH CaCl2	P	Ca	K	Ca + Mg	Mg	Al	H+ Al	Na	C	MO	SB	CTC
		mg.dm ⁻³	cmolc.dm ⁻³							g.kg ⁻¹		cmolc.dm ⁻³	
FOMM (0-5)	3,88	4,90	3,16	0,49	3,96	0,80	5,58	19,50	0,21	31,16	53,60	4,66	23,95
FOMM (5-15)	3,87	3,37	1,73	0,33	2,72	0,99	7,34	16,45	0,16	27,26	46,90	3,21	19,50
FOMM (15-30)	3,90	2,51	1,08	0,29	2,27	1,19	7,95	17,47	0,18	24,54	42,21	2,74	20,03
PINUS (0-5)	4,14	2,91	3,31	0,18	4,50	1,19	3,95	13,46	0,20	20,64	35,51	4,88	18,14
PINUS (5-15)	4,03	3,17	2,77	0,15	3,46	0,69	4,83	13,86	0,15	16,75	28,81	3,76	17,47
PINUS (15-30)	3,99	1,58	2,72	0,19	3,26	0,54	5,34	14,61	0,17	15,97	27,47	3,62	18,06

Tabela 9- Análise física do solo em diferentes profundidades em plantio de *Pinus elliottii* Engelm e na FOMM.

Prof./cm	Areia grossa	Areia fina	Argila	Silte
	g.kg ⁻¹			
FOMM (0-5)	4,75	2,11	60,00	33,14
FOMM (5-15)	1,68	1,01	62,60	34,71
FOMM (15-30)	1,50	0,80	65,00	32,70
PINUS (0-5)	4,37	2,30	56,00	37,33
PINUS (5-15)	4,70	2,50	55,60	37,20
PINUS (15-30)	2,77	1,55	59,20	36,48

Para teor de matéria orgânica, verificou-se 49,4 g dm⁻³ *Pinus elliottii* Engelm e de 53,6 g dm⁻³ em FOMM. Pode-se inferir que, embora o aporte de matéria orgânica seja semelhante em *Pinus elliottii* Engelm e FOMM, os teores de nutrientes mais elevados demonstram maior fertilidade do solo na área de Floresta Ombrófila Mista. Por outro lado, o teor de alumínio trocável é bem mais elevado na FOMM, devido à maior acidez. É importante considerar

também que os teores de nutrientes decrescem ou estabilizam-se com a profundidade, no sítio de Ombrófila Mista.

Em trabalho de levantamento de solos realizado pelo autor (OLIVEIRA, 1990 – não publicado) na mesma área da presente pesquisa, no ano de 1990, em topossequência, para verificação da fertilidade do solo, observou-se níveis de acidez compatíveis com os encontrados na presente pesquisa.

Em estudo realizado por Scheer (2008), numa área de Floresta Ombrófila Densa Aluvial, em regeneração, no município de Guaraqueçaba, PR, com predominância de Neossolos Flúvicos (típico e gleico) e de Cambissolos Hísticos, onde foram encontrados valores de $0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para K^+ em contrapartida a $0,49 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ do presente estudo; $1,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para Ca^{+2} sendo $3,16 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ neste estudo. Porém o teor de Mg^{+2} foi ligeiramente superior na formação florestal citada ($0,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e de $0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no presente trabalho. Chama a atenção o teor de Al^{+3} apenas de $1,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ comparado com $5,58 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na FOMM do presente estudo, o que pode ser explicado pela acidez elevada do solo classificado como Cambissolo. O teor de fósforo foi de $0,4 \text{ mg dm}^{-3}$ em comparação aos $4,90 \text{ mg dm}^{-3}$ desta pesquisa.

Conforme estudo de Lopes (1983), em solos sob coníferas, após os 20 anos de idade, tende a ocorrer aumento na concentração de nutrientes, pH ácido e menor retirada de bases. Foram feitas duas constatações de diminuição de pH, sob *Pinus elliottii* Engelm aos 32 anos, em substituição a *Eucalyptus sp.*, e em plantio de *Pinus elliottii* Engelm, em substituição a mata nativa, no Paraná e Santa Catarina, com aumento também dos teores de alumínio trocável. O plantio de *Pinus elliottii* Engelm, também com 32 anos de idade apresenta pH ácido, além de baixa fertilidade natural.

A investigação de Santos Filho e Rocha (1991) destaca o maior crescimento da *Araucaria angustifolia* relacionado com a maior espessura do solum e do horizonte A, no município da Lapa, PR. De Hoogh e Dietrich (1978) também confirmam a importância da profundidade do solo no crescimento desta espécie, a qual é característica na formação florestal denominada Floresta Ombrófila Mista. No presente estudo as classes de solo possuem em comum o horizonte B pouco desenvolvido, o que dificulta o crescimento dos exemplares de Araucária, que não acompanham os melhores incrementos.

Estes resultados obtidos nos estudos de caso citados, reforçam a hipótese de que, áreas com florestas nativas contribuem com maior quantidade de nutrientes para os solos, auxiliando na sua conservação.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Floresta Ombrófila Mista Montana revelou elevado potencial de acúmulo de serapilheira e fixação de carbono, quando comparada com outras florestas tropicais, sendo que a mesma constatação foi observada no plantio de *Pinus elliottii* Engelm, recomendando-se o acompanhamento periódico dos estoques de biomassa e carbono acumulados nestas formações florestais.

Foi também constatado que no plantio de *Pinus elliotti* Engelm não houve empobrecimento do solo, isto é, redução da fertilidade. Ao contrário, foram observadas boas condições de transferência de nutrientes da serapilheira.

A serapilheira acumulada da FOMM apresentou os maiores conteúdos de nutrientes (macro e micronutrientes) e CO₂, quando comparada com o plantio de *Pinus elliottii*, porém o maior estoque de serapilheira acumulada foi observado no povoamento de *Pinus elliottii* Engelm.

Não foi verificado aumento da acidez no plantio de *Pinus elliottii* Engelm, em comparação com os resultados verificados em 1990.

Independente da tipologia florestal do presente estudo, o percentual do total de CO₂ fixado no solo diminui de acordo com a profundidade do solo.

No que se refere aos teores de macro e micronutrientes na serapilheira acumulada, houve diferença significativa entre as tipologias estudadas. As diferenças estatísticas mais significativas foram observadas nos teores de N, K, Ca, Mg e Mn.

De maneira geral, o solo da FOMM apresentou melhores resultados referentes às propriedades químicas, tanto de nutrientes quanto de matéria orgânica e carbono orgânico.

Espera-se que a presente pesquisa possa servir de subsídio para futuros trabalhos sobre a importância da Floresta Ombrófila Mista Montana e plantios de *Pinus elliottii* Engelm, devido à capacidade que estas formações florestais têm de acumular carbono e nutrientes, podendo servir ainda, de base para projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e de incentivo a novos investimentos em plantios florestais de *Pinus elliottii* Engelm, visando o fortalecimento do manejo florestal, em termos de melhoria das condições de qualidade da água, da fertilidade e diminuição da poluição do ar atmosférico.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABICHEQUER, A. D. e BOHNER, H. Eficiência de absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n.1, p. 21-26, 1998
- ANDERSON, J. M. e SWIFT, M. J. Decomposition in tropical forests. In: SUTTON, S. L.; WHITMORE, T. C.; CNADWICK, A. C. (ed) **Tropical rain forest: Ecology and Management**. Blackwell Scientific Publications, Oxford, p. 287-309, 1983.
- ANDRAE, F. H. Effects of nutrient accumulation by aspen spruce and pine on soil properties. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 46, p. 853-861, 1982.
- ANDRAE, F. e KRAPPENBAUER, A. Distribuição de raízes finas do pinheiro bravo (*Podocarpus lambertii*) e do pinheiro brasileiro (*Araucaria angustifolia*). In: **PESQUISAS AUSTRO-BRASILEIRAS** 1973, 1982, 1983. Santa Maria: UFSM. p. 56-67, 1983.
- ANDRADE, H. e SOUZA, J. J de. **Solos: origem, componentes e organização**. Lavras, Minas Gerais: UFLA/FAEPE, 1995.
- BALBINOT, R. *et al.* Inventário do carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul, **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Vol. 5, no 1, Jan/Jun 2003.
- BALBINOT, R. **Carbono, Nitrogênio e Razões Isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ no Solo e vegetação de Estágios Sucessionais de Floresta Ombrófila Densa Submontana**. Tese [Doutorado em Ciências Agrárias] Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba: UFPR, 2009.
- BARROS, N.F. e NOVAIS, R.F. Relação solo-eucalipto. In: **Folha de Viçosa**, Viçosa: UFV, 1990, 330p. p.14-15, 19-20.
- BRAY, J. R. e GORHAM, E. (1964). Litter production in the forest of the world. **Advances in Ecological Research**, New York, V. 2, p. 101-157, 1964.
- BRITEZ, R.M.; SILVA, S.M.; SOUZA, W.S. de; MOTTA, J.T.W. Levantamento florístico em Floresta Ombrófila Mista, São Mateus do Sul, Paraná, Brasil. **Arq.Biol.Tecnol.**, v.38, n. 4, p. 1147-1161, 1995.
- BRUN, E.J. *et al.* Decomposição da serapilheira produzida em três fases sucessionais de floresta estacional decidual no RS. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL, 1., 2001. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2001. 1 CD ROM.
- BURGUER; D. M e DELLITTI, W. B. C. Biomassa da Mata Ciliar do Rio Mogi-Guaçu. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 22, n. 3, 429-435, 1999.
- CALDEIRA, M.V.W. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes em diferentes procedências de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.)**. Santa Maria, RS.

1998. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria.

CALDEIRA, M. V. WATZLAWICK, L. F.; SCHUMACHER, M. V.; BALBINOT, R.; SANQUETTA, C. R. Carbono orgânico em solos florestais. In: **As Florestas e o Carbono**. Cap. 10. Curitiba, 2002. p. 191-214.

CALDEIRA, M. V. W. **Determinação de biomassa e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro** - Paraná. Curitiba, 2003. 176f. Tese [Doutorado em Ciências Florestais] – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

CALDEIRA, M. V.; MARQUES, R.; SOARES, R. V.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes na Floresta Ombrófila Mista Montana – PR. In: **Rev. Acad.** V. 5, n.2, p. 101-116, 2007.

CALDEIRA, M. V. V.W. *et al.* Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. In: **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 53-68, jan/março de 2008.

CAMPOS, M.A.A. **Balanco de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis* Avaliação na safra e na safrinha**. Curitiba, 1991. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

CASTELA, P. R. (Coord.). **Subprojeto Conservação do Bioma Floresta com Araucária: diagnóstico dos remanescentes florestais: relatório final**. Curitiba: FUPEF, 2001. 2 v. il. Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira - PROBIO.

CLEVELARIO JÚNIOR, J. **Distribuição de carbono e de elementos minerais em um ecossistema florestal tropical úmido baixo-montana**. Viçosa, MG. 1996. 135f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa.

CUNHA, G.M. *et al.* **Características Dendrométricas, Nutrientes e Carbono em Espécies Pioneiras e Secundárias de um Fragmento de Floresta Montana na Região do Parque Estadual do Desengano**. Norte Fluminense. Maio de 1999 a junho de 2001.

CUNHA, G.C. **Aspectos da ciclagem de nutrientes em diferentes fases sucessionais de uma Floresta Estacional do Rio Grande do Sul**. Piracicaba, 1997. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

DECHEN, A. R. e NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (ed). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2006. P. 327-374.

DE HOOGH, R. de e DIETRICH, A. B. **Avaliação de sitio para *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze em povoamentos artificiais**. Brasil Florestal, Brasília, v. 10, n. 37, p. 120 19-92, 1979.

DE HOOG, R.J. **Site-Nutrition-Growth relationships of Araucaria angustifolia (Bert.) O. Kuntze in southern Brazil**. Tese (Doutorado em Ciencia Florestal) – Albert-Ludwigs-Universitat. 1981.

DELITTI, W. B. C. **Aspectos Comparativos da Ciclagem de Nutrientes Minerais na Mata Ciliar, no campo de Cerrado e na Floresta Implantada de *Pinus elliottii* Engelm. Var. *elliottii* (Mogi-Guaçu,SP)**. 1994. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** – Atualizado. Rio de Janeiro, 1999.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Metodologia para Estimar o estoque de Carbono em Diferentes Sistemas de Uso da Terra**. Colombo - PR, 2002.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Classificação de Solos** – Atualizado. Rio de Janeiro, 2006.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras-MG: UFLA, (1994).

FERREIRA, M.M. **Física do Solo**. LAVRAS–MG:UFLA, (1994), pg. 17 – 19.

FIGUEIREDO FILHO, A. Avaliação do incremento em diâmetro com o uso de cintas dendrométricas em algumas espécies de uma Floresta Ombrófila Mista localizada no Sul do Estado do Paraná. In: **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Vol. 5, no 1, Jan/Jun 2003

FLORENCE, R. O. e LAMB, D. Influence of stand and site on radiate pine litter in south Australia. **New Zeland Journal of Forestry Science**, Rotorua, 4(3): 502-10, 1974.

FREITAS, A. R. de. A cultura do Pinus no Brasil [Prefácio]. In: KRONKA, F. J. N; *et al.* **A cultura do Pinus no Brasil**. São Paulo: SBS, 2005.

GALVÃO, F.; *et al.* (1999) Avaliação da deposição da serapilheira em diferentes fases serais de Floresta Ombrófila Mista. **Anais V Congresso e Exposição Internacional sobre Floresta**. Curitiba. Bio 1068, CD ROOM.

GARAY, I; KINDEL, A; CARNEIRO, R; FRANCO, A. A; BARROS, E; ABBADIE, L. Comparação de Matéria Orgânica e outros Atributos do Solo entre Plantações de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*. In: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. N. 27, p 705-712, 2003.

GARAY, I.; ANDRADE, F. N.; KINDEL, A. Evolução da serapilheira e da fertilidade do solo em região de Mata Atlântica de tabuleiros: de plantios a mata nativa. In: CONGRESSO

DE ECOLOGIA: ambiente e sociedade, 5., 2001. Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre:UFRGS/Centro de Ecologia, 2001. p. 242.

GARDNER, R. H. e MANKIN, J. B. Analysis of biomass allocation in forest ecosystems of the IBP. In: REICHLE, P. D. **Dynamic properties of forest ecosystems**. Cambridge: Cambridge University Press, 1981. p. 451-497.

GOLLEY, F. B. Forest leaf production. In: MONTGOMERY, G.G. (Ed.). **The Ecology of Arboreae Folivores**. Washington: Smithsonian Institution, 1978. p.17-22.

GONÇALVES, M. A. M. *et al.*. Produção de Serapilheira em um Fragmento de Floresta Atlântica no Sul do Estado do Espírito Santo. In: **Anais XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação** – Universidade do Vale do Paraíba 2007.

HAAG, H.P. e ROCHA FILHO, J.V.C. & OLIVEIRA, G.D. de. Ciclagem de nutrientes em florestas implantadas de *Eucalyptus* e *Pinus*: 2- contribuição das espécies de nutrientes na manta. **O solo**, Piracicaba, **70**(2): 28-31, 1978.

HARLOW, W. M.; *et al.* **Textbook of dendrology**. 6th. New York, 1979.

HOOGH, R. J. de. **Site nutrition growth relationship of Araucaria angustifolia O. Kuntze, in southern Brasil**. 170 f. 1981. Tese (Doutorado) - Freiburg: Forstwissenschaftlichen Fakultät.

HUECK, K. **As florestas da América do Sul**. São Paulo: Polígloto, 1972.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro, 1991. 124p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE – **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Manuais Técnicos em Geociências, n. 1 IBGE, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mesorregiões Brasileiras**, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Demográfico** – dados gerais, 2007.

IRATI, Prefeitura Municipal de – Departamento de Imprensa- **dados gerais**, 2006.

IRATI, Prefeitura Municipal de – Departamento de Imprensa- **dados gerais**, 2006. Andrade e Souza (1995, p. 1)

KLEIN, R.M. **O aspecto dinâmico do pinheiro-brasileiro**. Sellowia, Itajaí, v. 12, n. 12, p. 17-48, 1960.

KLEINPAUL, I. S. *et al.* Suficiência amostral para coleta de serapilheira acumulada sobre o solo em *Pinus elliottii* Engelm, *Eucalyptus* sp. E floresta estacional decidual. In: **Rev. Árvore** [online]. 2005, vol.29, n.6, pp. 965-972.

KOEHLER, *et al.* Deposição de resíduos orgânicos (serapilheira) e nutrientes em plantio de *Araucária angustifolia* em função do sítio. In: **Revista do Setor de Ciências Agrárias**. Vol 9. Curitiba/UFPR, 1987.

KOZLOWSKI, T.T.; PALLARDY, S.G. **Physiological of woody**. 2. ed. San Diego: Academic, 1996. 432p.

KRAPFENBAUER, A. e ANDRAE, F. Inventur einer 17 jaehrigen Araukarienaufforstung in Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasilien. **Forstwesen**, v. 93, n. 2, p. 70-87, 1976.

KRONKA, F. J. N. *et al.* **A Cultura de Pinus no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005.

LACERDA, A.E.B. **Levantamento florístico e estrutura de vegetação secundária em área de contato da Floresta Ombrófila Densa e Mista-PR**. Curitiba, 1999. 114f. Tese (Mestrado em Botânica) - Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLET, R. F. Pedospheric Processes and the carbon cycle. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLET, R. F.; STEWART, B.A (ed) **Soil processes and carbon cycle**. CRC Press LLC, 1998. P. 1-8.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos Trópicos**. Deutsche:Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit Eschborn 1990.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2000. 531p.

LE BOURLEGAT, J.M.G.; *et al.*. Estrutura e Massa de Serapilheira em Reflorestamentos de Diferentes Idades e Fragmentos Florestais no Norte do Paraná. In: **Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil, 23 a 28 de Setembro de 2007**, Caxambu – MG.

LEPSCH, I.F. Influência do cultivo de Eucalyptus e Pinus nas propriedades químicas de solos sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 4, p. 103-107, 1980.

LONGHI, S. J. **A Estrutura de uma Floresta Natural de Araucaria angustifolia (Berth) O. Ktze., no Sul do Brasil**. Curitiba: UFPR, 1980, 198 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal do Paraná, 1980.

LONGMAN, K. A. e JENIK, J. **Tropical Forest and its environment**, pg. 211-213, Second Edition 1987.

LOPES, M.I.M.S. **Influência do cultivo de Pinus sobre algumas características de um Latossolo Vermelho-Escuro primitivamente sob vegetação de cerrado**. 1983. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1983.

MAFRA, Luiz; GUEDES, Sulamita de Fátima Figueiredo; KLAUBERG FILHO, Osmar; SANTOS, Júlio César Pires; ALMEIDA, Jaime Antônio de; DALLA ROSA, Jaqueline. Carbono Orgânico e Atributos Químicos do Solo em Áreas Florestais. In: **Revista Árvore**, v.32, n. 2, março/abril 2008.

MAGALHÃES, L.M.S. e BLUM, W.E.H. Concentração e distribuição de nutrientes nas folhas de espécies florestais, na Amazônia Ocidental. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 6, n. 1, p. 127-137, jan./dez., 1999.

MALAVOLTA, E. e VITTI, S. A. **Avaliação do estado das plantas**; princípios e aplicações, 2ª Ed. Piracicaba: Potafos, 1997.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MANASSÉS, J. P. **Inventário de Plantio *Pinus Elliottii* Engelm.** [dados não publicados - trabalho de campo realizado pelo professor e Engenheiro Florestal do Colégio Florestal Presidente Costa e Silva] 2007.

MATTOS, P. P.; *et al.* Dendrocronologia de espécies da Floresta Ombrófila Mista do Município de Candói, PR. In: **Pesq. Flor. bras.**, Colombo, n.54, p 153-156, jan./jun. 2007

MARTINELLI, L. A.; *et al.* Nitrogen stable isotopic of leaves and soil: tropical versus temperate Forest. In: **Rev.Biogeochemistry. Dordrecht**, v. 46, n. 1/3, p. 45-65, Jul. 1999.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. San Diego: Academic, 1997.

MEDEIROS, R. P. **Composição florística do fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana, na área do Colégio Florestal** [trabalho de campo realizado pelo professor e Engenheiro Florestal do Colégio Florestal Presidente Costa e Silva 2000 - 2008].

MEDRI, P. S. *et al.* Análise comparativa do acúmulo de serapilheira e abertura de dossel entre floresta nativa e reflorestamentos comerciais de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus grandis* W. Hill *Ex Maiden*. In: **Anais IX Congresso de Ecologia do Brasil**, 13 a 17 de Setembro de 2009, São Lourenço – MG.

MIYAZAWA, M. *et al.* Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F.C. (Ed). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Slos, 1999. (Comunicação para Transferência de Tecnologia) p. 171-223.

MONTEIRO, L. L. e DELITTI, W. Silvicultura em Solos de Cerrado: implicações para o acúmulo de carbono. In: **Anais do Congresso de Ecologia do Brasil**, 23 a 28 de setembro de 2007, Caxambu – MG.

MORELLATO, L. P. C. Nutrient cycling in two south-east Brazilian forest. I Litterfall and litter standing crop. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v.8, n.1, p. 205-215, 1992.

MULLER DOMBOIS, D. e ELLEMBERG, H. **Tentative physiognomic-ecological classification of plants formation of the hearth**. Bericht Uber das Geobot. Inst. Rübel Zurich, v. 37, p. 21-25, 1995-1995.

NEVES, J. C. L. **Produção e participação de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. 2000. 191 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2000.

NILSSON, L. O. *et al.* Nutrient uptake and cycling in forest ecosystems – present status and future research directions. **Plant and Soil**, The Hague, v. 168/169, p. 5-13, 1995.

NOVAIS, R.F. e POGGIANI, F. Deposição de folhas e nutrientes em plantações florestais puras e consorciadas de *Pinus* e *Liquidambar*. **Revista IPEF**, Piracicaba, v. 23, p. 57-60, 1983.

O'CONNELL, A.M. e SANKARAN, K.V. Organic matter accretion, decomposition and mineralisation. In: NAMBIAR, E.K.S., BROWN, A.G. (Ed.) **Management of soil, nutrients and water in tropical plantations forests**. Canberra: ACIAR Australia/CSIRO, 1997. p. 443-480. (Monograph; n.43).

OLIVEIRA, L. P. de. **Levantamento de solos em topossequência para fins de avaliação da fertilidade natural no Colégio Florestal Estadual Presidente Costa e Silva em Irati – PR** [dados não publicados],1990.

PAGANO, S. N. e DURIGAN, G. Aspectos da ciclagem de nutrientes em matas ciliares do oeste do estado de São Paulo, Brasil. In: RODRIGUES, R. R. LEITÃO FILHO, H. F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2000. p. 109-123.

PÉLLICO NETTO, S. e BRENA, D. A. **Inventário Florestal**, v. 1. Curitiba, 1977. P. 241.
PRITCHETT, W.L. **Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento**. Mexico: John Wiley & Sons, Inc., 1990. 634p.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Madeiras do Brasil**. Florianópolis. Lunardelli, 1979.p. 320.

REZENDE, MAURO Resende *et al.*. **Pedologia e Fertilidade do Solo: Interações e Aplicações**. Brasília, DF,1988.

RICHARDS, P. W. **The tropical rainforest**. London: Cambridge University, 1952. 450p.

ROCHADELLI, R. **A estrutura de fixação dos átomos de carbono em reflorestamentos (Estudo de caso: *Mimosa scabrella* Bentham, bracatinga)**. 2001. 86 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

RODRÍGUEZ JIMÉNEZ, L.V.A. **Consideraciones sobre la biomasa, composición química y dinámica del bosque pluvial tropical de colinas bajas. Bajo Calima Buenaventura, Colombia**. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal, Bogotá: Serie (Documentación; n.16). 1988. 36p.

SAIDELLES, F. L. F.; *et al.*. Uso de equações para estimar carbono orgânico em plantações de *Acacia mearnsii* De Wild. no Rio Grande do Sul – Brasil. **Rev. Árvore** v. 33, n. 5, Viçosa sept/oct. 2009.

SANQUETTA, C. R. Métodos de Determinação de Biomassa Florestal. In: SANQUETTA, C.R. *et al.*. **As florestas e o carbono**. Curitiba: UFPR, p.119–69, 2002.

SANTOS FILHO, A. e ROCHA, H. O. Principais características dos solos que influem no crescimento de *Pinus taeda*, no Segundo Plantalto Paranaense. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, v. 9, p. 107-111, 1987.

SBS, Sociedade Brasileira de Silvicultura. Área Plantada com Pinus e Eucaliptos no Brasil (Ha) em 2000. São Paulo, 2010. Disponível em: http://www.sbs.org.br/area_plantada.htm. Acessado em 16/06/2010.

SCHEER, M. B. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar e um trecho de Floresta Ombrófila Densa Aluvial em Regeneração, Guaraqueçaba (PR). In: **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 2, Abril./jun. 2008.

SCHNITZER, M. e KHAN, S. U. **Soil Organic Matter**. Amsterdam: Elsevier, p. 319, 1978.

SCHLESINGER, W. H. Carbon balance in terrestrial detritus. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.8, p.51-81, 1977.

SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes como base da produção sustentada em ecossistemas florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS NATURAIS DO MERCOSUL: O AMBIENTE DA FLORESTA, 1., 1996, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM/ CEPEF, 1996. p. 65-77.

SCHUMACHER, M. V. **Quantificação do carbono orgânico em florestas de *Pinus taeda* L., com diferentes idades**. Santa Maria: UFSM, 2000. (Relatório de pesquisa).

SCHUMACHER, M.V. *et al.* **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes no corte raso de uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. na região de Quedas de Iguaçu-PR**. Santa Maria: UFSM, 2002. (Relatório de pesquisa).

SIRTOLI, A. E. *et al.* **Diagnóstico e Recomendações de Manejo do Solo**: aspectos teóricos e metodológicos, Cap. VII, pg. 113-132, UFPR/Setor de Ciências Agrárias 2006.

SPAIN, A.V. Litterfall and the standing crop litter in three tropical Australian rainforests. **The Journal of Ecology**, Oxford, v. 72, p. 947-961, 1984.

SOUSA, S. G . A. de. *et al.* Vegetação do Sub-bosque de uma floresta ripária do rio Barigui, Araucária Paraná. In: Congresso Nacional de Botânica, 53, Recife, PE. **Resumos...** Recife: SBB/SRP/UFRPE/UFPE, 2002.

SOUZA, L. C. de (2006) **Dinâmica de nutrientes na precipitação, em solução de solo e lençol freático em três tipologias florestais sobre espodosolo, no litoral do Paraná**. Tese de Doutorado, UFPR, Curitiba, PR. 93 p.

STAPE, J. L. Aprimoramento no manejo de florestas plantadas. In: **SIMPÓSIO IPEF...**, 1996, 6., São Pedro. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF, 1996. v. 2, p. 31-37.

STAPE, J. L. Valores IMA (Incremento Médio Anual) em m³/ha/ano, idade, na localidade de Agudos, SP. In: KRONKA, J.N.; *et al.* **A Cultura do Pinus no Brasil**. São Paulo: SBS, 2005, 107-108.

STUDENT (pseudônimo de William Sealey Gosset, 1876-1937). **The probable error of a mean**. *Biometrika*, 1908, p.1-25.

SYERS, J. K.; CRASWELL, E. T. Role of soil organic matter in sustainable agricultural systems. In: LEFROY, R. D. B.; BLAIR, G. J.; CRASWELL, E. T. (Ed.). **Soil organic matter management for sustainable agriculture**. Canberra: ACIAR, 1995. p. 7-14.

TANNER, E. V. J. Litterfall in montane rain forests of Jamaica and its relations to climate. **The Journal of ecology**, Oxford, v. 68, n.3, p. 833-848, 1980.

TEDESCO, M. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2ª Ed. UFRGS: Porto Alegre, 1995.

TOSIN, J. C. **Influência do *Pinus elliottii* Engelm, da *Araucaria angustifolia* (Bert) O. KTZE e da mata nativa sobre a atividade de microflora do solo**. SCA/UFPR. (Tese de Mestrado) p.111, 1977.

VALE, F. R. do; *et al.* **Fertilidade do Solo: dinâmica e disponibilidade de nutrientes**. Lavras, Minas Gerais: UFLA/ESAL/ FAEPE, 1994.

VALÉRIO, A. F.; *et al.* Análise Florística e Estrutural do Componente Arbóreo de um Fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Clevelândia, Sudoeste do Paraná. In: **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 239-248, abr./jun. 2008

VELOSO, H. P.; RANGEL-FILHO, A. L. R.; LIMA, I. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

WATZLAWICK, L. F. e CALDEIRA, M. V. W. Estimativa de Biomassa e Carbono Orgânico em Povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes idades. **Ver. Biomassa e Energia**, v. 1, n.4, p. 371-380, 2004.

WATZLAWICK, L.F; *et al.*, Inventário do carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda*, aos 5 anos de idade, no Rio Grande do Sul. In: **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, n. 1, Jan/Jun 2003.

WATZLAWICK, L.F. **Análise e estimativa de biomassa e carbono em floresta ombrófila mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite IKONOS II**. Curitiba, [2003]. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

WEBB, D. B. *et al.* A Guide to species selection for tropical and sub-tropical plantations. In: **CFI Tropical Forestry Papers**.n 15, Oxford, 1980.

WISNIEWSKI, C. (coord.) (1997) **Caracterização do ecossistema e estudo das relações solo-cobertura vegetal em planície pleistocênica do litoral paranaense**. Projeto Integrado – CNPq, Curitiba, 55p.

WISNIEWSKI, C. e REISSMANN, C. B. Deposição de serapilheira e de nutrientes em plantios de *Pinus taeda* L. na região de Ponta Grossa – PR. **Arq. Biol. Tecnol.** 39 (2): 435-442, jun., 1996.