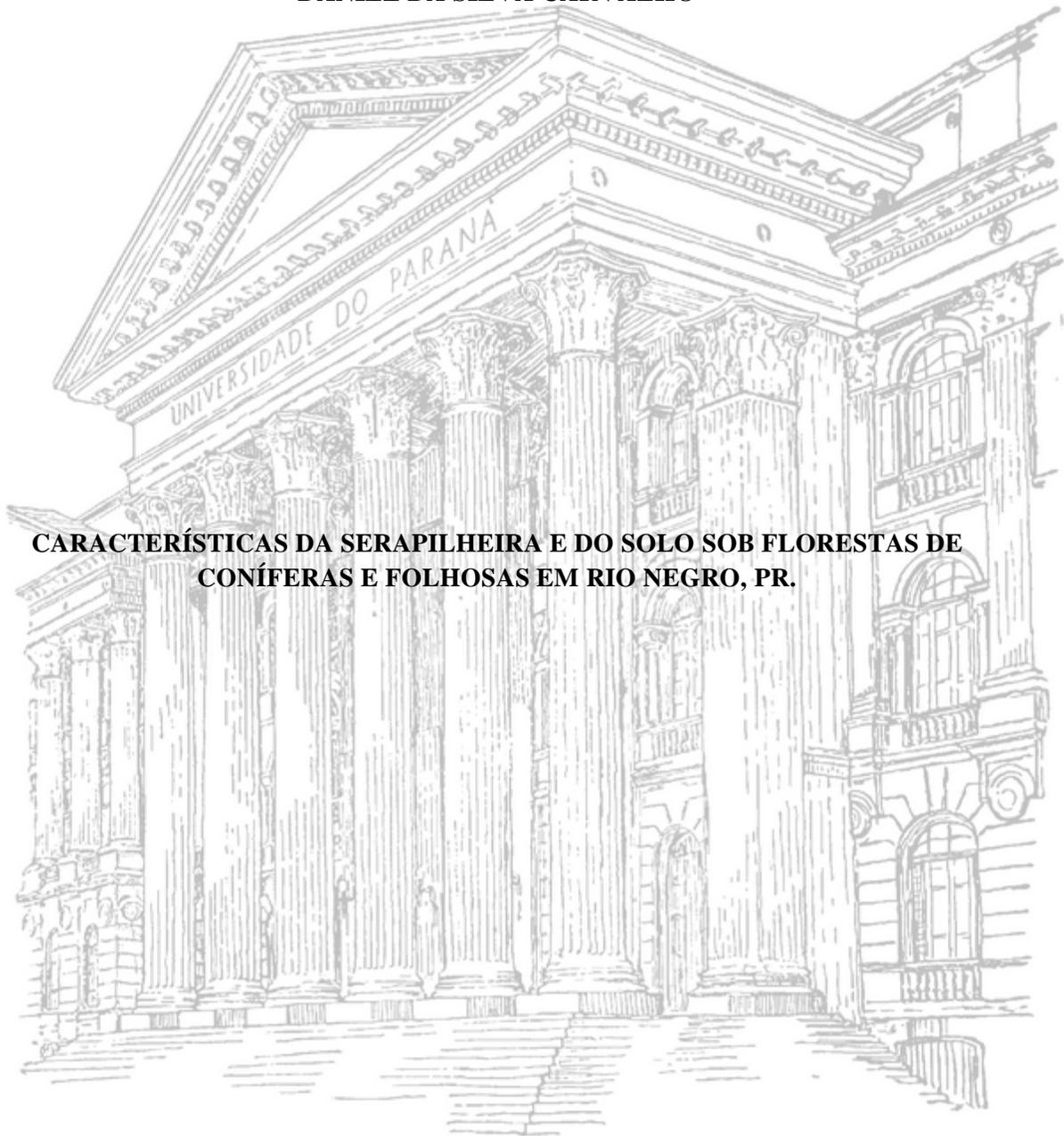


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**DANIEL DA SILVA CARVALHO**



**CARACTERÍSTICAS DA SERAPILHEIRA E DO SOLO SOB FLORESTAS DE  
CONÍFERAS E FOLHOSAS EM RIO NEGRO, PR.**

**CURITIBA**

**2011**

**DANIEL DA SILVA CARVALHO**

**CARACTERÍSTICAS DA SERAPILHEIRA E DO SOLO SOB FLORESTAS DE  
CONÍFERAS E FOLHOSAS EM RIO NEGRO, PR.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Solo e Ambiente, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Renato Marques

**CURITIBA**

**2011**



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

## PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **DANIEL DA SILVA CARVALHO**, sob o título: "**Características da serapilheira e do solo sob florestas de coníferas e folhosas em Rio Negro, PR**", requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Concentração: Química e Biologia do Solo e Nutrição de Plantas, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração: "Química e Biologia do Solo e Nutrição de Plantas"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 31 de agosto de 2011.

Prof. Dr. Renato Marques, Presidente

Prof. Dr. Celso Garcia Auer, Iº. Examinador

Profª. Drª. Fabiane Machado Vezzani, IIª. Examinadora

# CARACTERÍSTICAS DA SERAPILHEIRA E DO SOLO SOB FLORESTAS DE CONÍFERAS E FOLHOSAS EM RIO NEGRO, PR.

## RESUMO

Apesar da grande expansão das áreas reflorestadas no país, seja para produção de polpa e madeira, seja recuperação de áreas degradadas pouco ainda se sabe do efeito de diferentes espécies florestais sobre a acumulação da fitomassa e sobre os atributos químicos e microbiológicos nos solos, após longos períodos de cultivo. O objetivo desse trabalho foi avaliar a morfologia e composição química da serapilheira, as características químicas e microbiológicas do solo e a mineralização do nitrogênio do solo sob os diferentes cultivos florestais. Esse estudo foi realizado na Fazenda Experimental de Rio Negro, pertencente a Universidade Federal do Paraná, localizada no município de Rio Negro, Paraná. Foram selecionados sete talhões de seis diferentes espécies, sendo dois de pinus, diferenciados pela sua posição topográfica e suas proximidades com talhões de diferentes espécies, sendo os demais tratamentos compostos pelos respectivos plantios: *Eucalipto saligna*, Castanha, Araucária e Criptoméria. As amostras de serapilheira foram coletadas e secas em estufa de circulação forçada, em seguida separadas pelos horizontes L, F, H, miscelânea e raízes, para a obtenção da fitomassa de cada fração e após, a caracterização química das frações L, F e H. Nos solos, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, avaliaram-se os teores de macro e micro nutrientes e os parâmetros de fertilidade do solo, os atributos microbiológicos: carbono (CBM) e nitrogênio (NBM) da biomassa microbiana, respiração basal (RA), quociente metabólico da biomassa microbiana e o potencial de mineralização do N. Os maiores valores de fitomassa foram encontrados no tratamento com eucalipto e as menores nos tratamentos com imbuia e castanha. Nos horizontes L e F, criptoméria e pinus apresentaram as maiores fitomassa, respectivamente, apresentando também os maiores valores de relação C/N. O horizonte H só foi encontrado nos plantios de eucalipto e araucária. Em relação aos teores dos nutrientes encontrados na serapilheira, com exceção de C, Ca, as diferenças entre os diferentes cultivos foram de pequena magnitude. De maneira geral, todos os solos se apresentaram ácidos, com baixos teores de bases trocáveis e de fósforo, caracterizando-se como de baixa fertilidade. Apesar da acidez encontrada em todos os solos, os teores de nitrato encontrados foram superiores aos de amônio, sendo os valores mais elevados encontrados nos solos com eucalipto. A mineralização do nitrogênio mostrou-se influenciada pela vegetação, como padrões diferenciados conforme as espécies florestais. Não foram encontradas diferenças significativas na concentração CBM entre as espécies e entre as diferentes profundidades. Além disso, os valores de CBM, da RA e do quociente metabólico foram baixos em relação a outros solos sob florestas. O NBM diferiu entre os tratamentos, sendo os maiores valores encontrados na criptoméria e imbuia. Os atributos microbiológicos, juntamente com a mineralização do nitrogênio do solo, foram as variáveis que se demonstraram mais eficientes em discriminar os efeitos das espécies florestais no solo.

**Palavras-chave:** solos florestais, horizonte orgânico, mineralização, microbiologia do solo, fitomassa, fertilidade.

## LITTER CHARACTERISTICS AND THE SOIL IN FOREST THE CONIFERS AND BROADLEAF IN RIO NEGRO, PARANÁ, BRAZIL.

### ABSTRACT

Despite the great expansion of forested areas in the country, both for homogeneous crops, mainly pine and eucalyptus, but also for reforestation of degraded areas and permanent restoration of natural areas. However, little is known of the dynamics of nutrients in the soil on these ecosystems and the impacts after long periods of cultivation. This study aimed to evaluate the morphology of the litter, the chemical characteristics of soil and litter and biochemical attributes of soil under various crops forest. Seven plots were selected from six different species, they are castanea, cryptomeria, eucalyptus, imbuya, araucaria and two treatments with *pine sp.*, distinguished by its topographic position and its proximity to stands of different species. Samples of litter were collected and dried in a forced circulation then classified by the horizons L, F, OH, and Miscellaneous. After the samples were ground and subjected to analysis of macronutrients and micronutrients by the method of extraction with HCl 3N, N, C and C/N by dry digestion. In soils evaluated the levels of macronutrients and micronutrients nutrients and fertility parameters. As for the biochemical attributes analyzed the carbon and nitrogen, basal respiration and metabolic quotient of the microbial biomass and potential mineralization of N. The highest values of biomass were found in the treatment with eucalyptus and the lowest in treatments with imbuya and castanea. In the L and F horizons, cryptomeria and pine had the highest biomass, respectively, and may assign these values the relationship C/N found in these treatments. The horizon H was only found in eucalyptus plantations and araucaria. Regarding the contents of the nutrients found in litter, with the exception of C, Ca. In general, all soils showed acidic, with low levels of phosphorus and exchangeable bases, characterizing a low fertility. Despite the acidity found in all soils, the nitrate form found superior to ammonium, with the highest values found in soils with eucalyptus. Found effects of species as the mineralization of organic matter, suggesting behaviors among three species: one with an intense and rapid mineralization, a more gradual and a third where mineralization tends to increase slowly and gradually decreases. There were no significant differences in the concentration of carbon in biomass (CBM) between species and between different depths. Moreover, here the values for this attribute and for the basal respiration (RA) and metabolic quotient were low relative to other crops and other land already described. The biomass nitrogen (NBM) differed between treatments, and the highest values found in cryptomeria and imbuya, attributing this difference to the presence of roots in the surface layers of soil. Among the variables studied, along with biochemical attributes matter mineralization have been shown more effective in measuring the effects of dissimilarity of species in the soil.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: LOCALIZAÇÃO DA FAZENDA EXPERIMENTAL DE RIO NEGRO (A) EM RELAÇÃO AO CENTRO DO MUNICÍPIO.....	12
FIGURA 2: MÉTODO DE COLETA DA SERRAPILHEIRA, DEMONSTRANDO A DIMENSÃO DO GABARITO E ACONDICIONAMENTO DAS AMOSTRAS.....	14
FIGURA 3: CARACTERIZAÇÃO DOS HORIZONTES ORGÂNICOS L, F, H E RAÍZES EM CRYPTOMERIA.....	14
FIGURA 4: CURVAS DE MINERALIZAÇÃO ANAERÓBIA DE N PARA AS CAMADAS DE 0-5 E 5-10cm, DOS SOLOS AMOSTRADOS NOS DIVERSOS SÍTIOS FLORESTAIS.....	30
FIGURA 5: ANÁLISE DE AGRUPAMENTO PELOS ELEMENTOS QUÍMICOS DA SERRAPILHEIRA NAS DIFERENTES ESPÉCIES ESTUDADA.....	35
FIGURA 6: ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS DAS CORELAÇÕES DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO HÁ 0-5 E 5-10cm DE PROFUNDIDADE ENTRE AS ESPÉCIES ESTUDADAS.....	36
FIGURA 8: ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS DA CORELAÇÃO DOS ATRIBUTOS BIOQUÍMICOS DO SOLO A 0-5 E 5-10cm DE PROFUNDIDADE ENTRE AS ESPÉCIES ESTUDADAS.....	37

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: FITOMASSA DOS HORIZONTES ORGÂNICOS E RAÍZES DA SERAPILHEIRA DEPOSITADA NOS PLANTIOS COM DIFERENTES ESPÉCIES FLORESTAIS.....	21
TABELA 2: TEORES DE NUTRIENTES, CARBONO E RELAÇÃO CN NOS HORIZONTES ORGÂNICOS DOS DIFERENTES PLANTIOS.....	23
TABELA 3: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE FERTILIDADE DO SOLO NAS PROFUNDIDADES 0-5 E 5-10cm, NOS PLANTIOS COM DIFERENTES ESPÉCIES FLORESTAIS.....	26
TABELA 4: TEORES DE MICRONUTRIENTES, N, C E RELAÇÃO CN NAS PROFUNDIDADES DE 0-5 E 5-10cm, NOS PLANTIOS COM DIFERENTES ESPÉCIES FLORESTAIS.....	27
TABELA 5: TEORES DE NITRATO, AMÔNIO E UMIDADE NO SOLO, NAS PROFUNDIDADES DE 0-5 E 5-10cm, DOS PLANTIOS COM DIFERENTES ESPÉCIES FLORESTAIS.....	28
TABELA 6: MÉDIA DOS ATRIBUTOS BIOQUÍMICOS DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0-5 E 5-10cm.....	33

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2.0 MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
2.1 LOCAL E INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	12
2.2 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DOS HORIZONTES ORGÂNICOS.....	13
2.2.1 ANÁLISE QUÍMICA DA SERRAPILHEIRA.....	14
2.3 COLETA DO SOLO.....	14
2.3.1 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	15
2.4 AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO.....	15
2.4.1 CARBONO E NITROGENIO DA BIOMASSA MICROBIANA.....	15
2.4.2 RESPIRAÇÃO BASAL (RBM).....	17
2.4.3 QUOCIENTE METABÓLICO.....	17
2.5 MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO.....	17
2.6 AVALIAÇÕES ESTATÍSTICAS.....	19
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
3.1 FITOMASSA DOS HORIZONTES ORGÂNICOS DO SOLO.....	20
3.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA FITOMASSA DOS HORIZONTES ORGÂNICOS DO SOLO.....	22
3.3 ATRIBUTOS QUÍMICOS DE FERTILIDADE DOS SOLOS.....	24
3.4 NITROGÊNIO INORGÂNICO E MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO DO SOLO.....	27
3.5 ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO.....	32
3.6 AGRUPAMENTOS DOS TRATAMENTOS SEGUNDO OS DIFERENTES ATRIBUTOS DA SERRAPILHEIRA E DO SOLO.....	35
4 CONCLUSÕES.....	38
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

## 1 INTRODUÇÃO

Dados da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2010) indicam que no país são cultivados cerca de 6.310.450 ha, números relevantes, porém muito inferiores se comparados com os de áreas de cultivos agrícolas, tendo como principais espécies nos sistemas de produção, o Pinus e o Eucalipto.

Existe uma perspectiva no aumento da demanda mundial por madeira certificada e com isso a expansão de sistemas integrados lavoura-pecuária-floresta e uso estratégico das florestas no sequestro de carbono pressionam o aumento de tecnologias voltadas à sustentabilidade da produção florestal e por estudos sobre os impactos dessa atividade no ambiente (SILVA *et al.*, 2009).

Há de se destacar o fato de que ocorre, na grande maioria dos casos, um descaso à correção de acidez e nutrientes no solo antes dos estabelecimentos dos povoamentos, somados a um espaçamento altamente competitivo, o que vem agravando a qualidade do solo e também um decréscimo na produtividade nesses sítios, observado pelos aspectos de deficiência apresentado pelas plantas (MORAIS, 1999; LILIENFEIN *et al.*, 2000; CHAVES e CORREA, 2005).

Diferentemente dos cultivos agrícolas, as plantações florestais requerem períodos mais longos de cultivo ou rotação. Além dos impactos normalmente causados durante a colheita florestal, como compactação do solo entre outros, os plantios se caracterizam por retirar dos solos grandes quantidades de nutrientes para formação da biomassa florestal. Por outro lado, através da ciclagem da serapilheira, grande quantidade de nutrientes retorna ao solo. O balanço entre estas entradas e saídas, ao médio-longo prazo, acaba modificando a superfície do solo e provocando mudanças em sua qualidade física, química e biológica. O impacto ambiental desta atividade tem sido questionado, com destaque no que se refere às alterações nas propriedades químicas e físicas das diferentes classes de solos utilizadas (CHAVES e CORREA, 2005).

O tipo de vegetação plantada implica na qualidade da serapilheira depositada. Com isso, materiais com altas relações, principalmente, C/N, C/P, C/Ca e C/K, levarão mais tempo para se decompor. A substituição de florestas de folhosas por coníferas pode acarretar em redução no pH e aumento nas relação de C com os demais nutrientes; conseqüentemente gerando uma menor taxa de decomposição e menor disposição de nutrientes para as plantas e até mesmo degradação dos solos. Entretanto, a menor taxa de decomposição e a maior humificação pode trazer consigo benefícios, como maior aprisionamento de carbono a longo prazo, auxiliando no seu sequestro e fixação (BRUN, 2008) e, ainda, contribuindo para o aumento de cargas negativas associadas à matéria orgânica do solo.

A qualidade do solo se refere à qualidade do mesmo em sustentar a diversidade biológica dentro das fronteiras do ecossistema, mantendo o equilíbrio ambiental e a saúde dos animais,

plantas e do próprio ser humano (DORAN *et al.*, 1996; SPOSITO e ZABEL, 2003), compreendendo então o equilíbrio entre os condicionantes geológicos, biológicos, químicos e físicos do solo (BRUGGEN e SEMENOV, 2000).

Para se avaliar a qualidade do solo torna-se necessária, então, a seleção de indicadores que possam identificar alterações nos principais processos associados a esta qualidade. Apesar da idéia do uso de indicadores de qualidade não ser recente, ainda existe a dificuldade de se chegar a um consenso sobre quais parâmetros são capazes de atestar a qualidade dos solos (ZILLI *et al.*, 2003).

Segundo Karlen *et al.* (1994), as práticas de manejo que estão associadas à adição ou manutenção de carbono orgânico no solo parecem estar entre as mais importantes para manter e restabelecer a qualidade do solo. Assim, alguns indicadores empíricos, dentre eles a presença de algumas plantas e minhocas, além das análises de fertilidade do solo (ZILLI *et al.*, 2003), da atividade microbiana e o tamanho e diversidade de macro e microrganismos (TURCO e BLUME, 1999) estariam entre os indicadores sensíveis da qualidade do solo, pois todos eles têm ampla relação com a matéria orgânica do solo.

Em grande parte, a manutenção da produtividade dos sítios florestais depende dos processos que envolvem a transformação da matéria orgânica e conseqüentemente da biomassa microbiana do solo; portanto esta representa um importante indicador ecológico, pela sua decomposição e mineralização; considerada como um importante reservatório de nutrientes potencialmente disponíveis às plantas (JENKINSON e LADD, 1981; GAMA-RODRIGUES *et al.*, 1997).

Estima-se que 2 a 5 % do carbono orgânico e 3 % do nitrogênio do solo estejam armazenados na biomassa microbiana (JENKINSON e LADD, 1981, SMITH e PAUL, 1990; DE-POLLI e GUERRA, 1996), sendo as variações desta biomassa um indicador sensível para aferir as alterações na matéria orgânica causadas pelo manejo do solo e pelas práticas de cultivo ou por devastações. E também para avaliar processos de regeneração dos solos, após retiradas de perfis ou contaminação (POWLSON *et al.*, 1987).

Existe uma estreita relação da matéria orgânica com os potenciais de mineralização dos solos, sendo que, teoricamente, quanto maior o potencial produtivo de biomassa do ecossistema, maior é o aporte de matéria orgânica ao solo e conseqüentemente, maior a quantidade de N mineralizada e maior a disponibilidade de N (GONÇALVES *et al.*, 2001).

Tem sido observado que alguns plantios florestais extensivos têm apresentando baixa resposta à adubação nitrogenada, sob condições de climas tropical e subtropical (BARROS *et al.*, 1990; HERBERT e SCHÖNAU, 1990;), atribuindo-se esse fato à manutenção do estoque de N no solo, principalmente pela mineralização ao longo do ciclo dessas culturas (GONÇALVES *et al.*, 1997).

Apesar da importância social e econômica das florestas, ainda são escassos, principalmente na região Sul do Brasil, estudos com enfoque no efeito das espécies florestais sobre a qualidade dos solos. A compreensão dos processos predominantes nos diferentes ecossistemas florestais é importante para a gestão da produção florestal de longo prazo e também para a gestão ambiental dos plantios florestais. A seleção de indicadores que possam refletir os processos predominantes ou avaliar possíveis mudanças nos processos biogeoquímicos em sítios florestais é fator chave para auxiliar nesta compreensão do funcionamento dos ecossistemas.

Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de plantios com diferentes espécies florestais na quantidade, morfologia e química da serapilheira acumulada sobre o solo, nos atributos químicos e microbiológicos do solo, na mineralização do nitrogênio, na ciclagem biogeoquímica do solo; e correlacionar as mudanças promovidas no solo com as espécies florestais no sistema solo-planta-microbiota. Adicionalmente, o presente trabalho teve o objetivo de identificar a sensibilidade de diferentes métodos analíticos quanto às alterações promovidas no solo pela vegetação.

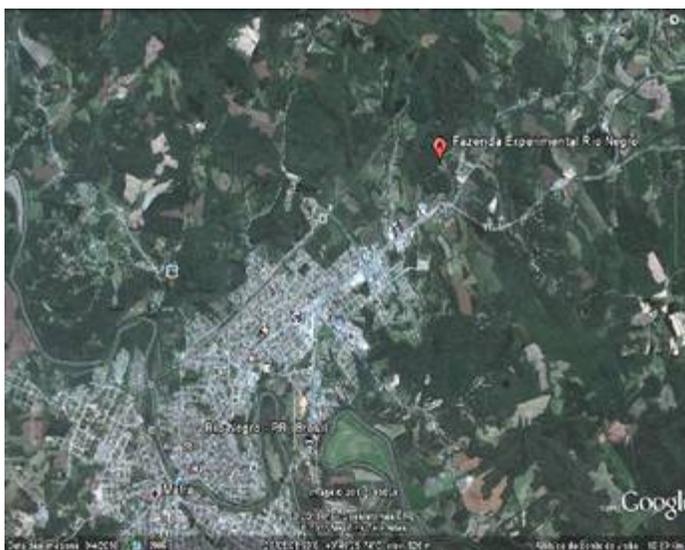
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização e descrição da área experimental

O presente trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental de Rio Negro, pertencente à Universidade Federal do Paraná (UFPR), município de Rio Negro, Estado do Paraná, Brasil, situada à latitude de 26° 06' S, longitude de 49° 48' W e altitude de 847 m, localizada a poucos km do centro da cidade (Figura 1).

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é caracterizado como Cfb, com temperatura média do mês mais quente apresentando temperatura inferior a 22° C, onze meses com temperatura superior a 10° C e com mais de cinco geadas por ano (MAACK, 2002). De acordo com o Instituto Tecnológico Simepar (2008), a precipitação histórica para o local do estudo situa-se entre 1400 e 1600 mm anualmente, com distribuição regular ao longo do ano (SOARES e BATISTA, 2004).

Nesta fazenda, no início dos anos 60, foram instalados vários plantios monoespecíficos com diferentes espécies nativas e exóticas. O objetivo era testar a adaptação de diferentes procedências florestais às condições climáticas da região. Para tal, foram construídos vários terraços ao longo do declive do terreno e neles foram instalados os plantios. As árvores estão hoje (2011) com cerca de 48 anos e os plantios não sofreram nenhuma ação de manejo, exceto retirada de algumas árvores mortas em alguns talhões.



**FIGURA 1:** Localização da Fazenda Experimental de Rio Negro (A) em relação ao centro do Município.

Por meio de uma caracterização feita por Shimizu e Maiochi (2007) na Fazenda de Rio Negro, o solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, de baixa fertilidade, com altos teores de alumínio, ácido e baixo teor de bases trocáveis e fósforo. Esta classificação deve ser reavaliada após abertura de novos perfis de solo ao longo do declive na propriedade, uma vez que a mesma foi realizada em apenas um ponto da fazenda e as amostras coletadas no presente trabalho indiquem solo mais arenoso.

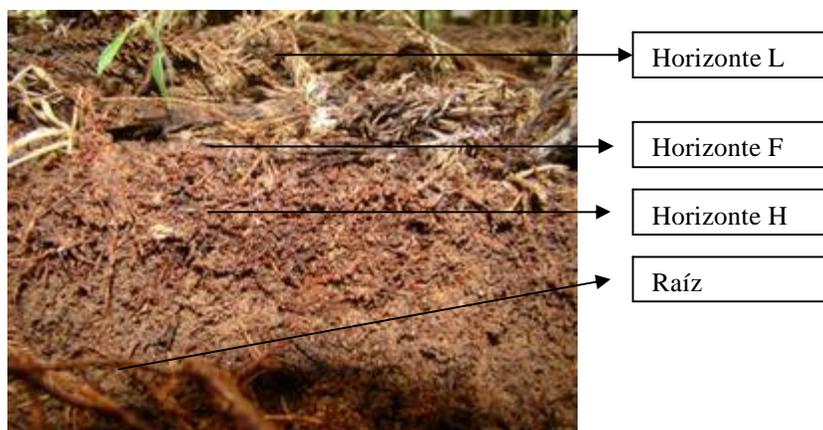
Para este estudo foram selecionadas 6 espécies florestais, localizadas em sete povoamentos distintos ao longo do declive, sendo adotados dois talhões compostos de *Pinus* diferenciados pela sua posição topográfica, na seguinte sequência do topo à parte mais baixa no terreno: *Eucalyptus saligna* (Eucalipto), *Castanea sativa* (Castanha), *Pinus sp* (Pinus), *Cryptomeria japonica* (Criptoméria), *Ocotea porosa* (Imbuia), *Pinus sp* (Pinus) e *Araucaria angustifolia* (Araucária). Os tratamentos compostos com *Pinus* foram identificados apenas em nível de gênero, denominando-se esses tratamentos como Pinus I e Pinus II. Desta maneira esperava-se checar ao mesmo tempo o efeito da espécie e do terreno sobre as variáveis estudadas.

## **2.2 Coleta e caracterização dos horizontes orgânicos**

A época de coleta da serapilheira se deu em janeiro de 2011, sendo realizada uma única coleta, supondo que esse seja resultado da deposição ao longo de aproximadamente 48 anos de plantio. A serapilheira foi coletada em área definida utilizando-se como área padrão a dimensão de bandejas de plástico de 20,0 x 27,5 cm (Figura 2), que também foram usadas para o transporte das amostras “indeformadas” do campo ao laboratório. Após corte da serapilheira, com auxílio de serra de poda, o material contendo os diferentes horizontes orgânicos foi acondicionado nas bandejas revestidas com sacos plásticos, com o cuidado de não alterar a disposição das diferentes camadas. Somente na área com Imbuia isto não foi possível, pois as folhas e demais materiais encontravam-se soltos sobre o solo. No Laboratório de Biogeoquímica e Nutrição de Plantas da Universidade Federal do Paraná (LABINP - UFPR), as amostras foram, ainda nas bandejas, secadas em estufa de circulação forçada a 60 °C por 72 horas. Os horizontes orgânicos foram divididos em L, F, H, (REISSMANN, 1983) e mais duas frações: Miscelânea (material que passou em peneira de 9 mm) e Raízes (Figura 3), determinando-se a fitomassa total de cada uma das frações acima definidas. Porém, para comparação estatística entre as médias e para determinação da fitomassa não foram considerados os pesos do horizonte H, pois não foi possível identificá-lo em todos os tratamentos.



**FIGURA 2:** Imagem ilustrativa da coleta da serapilheira, mostrando o gabarito-bandeja e o acondicionamento de amostra de *Eucalyptus saligna*.



**FIGURA 3:** Micro-perfil de solo mostrando os horizontes orgânicos L, F, H e raízes de Criptoméria.

### 2.2.1 Análise química da serapilheira

Após as avaliações da fitomassa, as frações da serapilheira foram moídas em moinho do tipo Wiley para posteriores análises químicas. Seguindo a metodologia descrita por Martins e Reissmann (2007), as amostras foram incineradas em mufla a 500 °C e posteriormente solubilizadas em HCl 3 mol/L. O elemento P foi determinado por colorimetria com vanadato-molibdato de amônio e leitura em espectrofotômetro UV/VIS. As determinações do elemento K foram realizadas por fotometria de emissão. Os elementos Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn e Al foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

Os teores de N total e C orgânico total foram determinados por combustão em analisador elementar da marca ELEMENTAR, modelo Vario EL III.

### 2.3 Coleta do solo

As amostras de solo foram coletadas em Fevereiro de 2011, nas profundidades de 0-5, 5-10 cm, após abertura de micro-perfil com uma pá reta, utilizando-se de uma régua para auxílio da medição da profundidade de coleta. Em seguida as amostras foram acondicionadas de acordo com a metodologia sugerida para as análises posteriores, conforme descrito a seguir.

### **2.3.1 Atributos químicos do solo**

As amostras trazidas do campo acondicionadas em saco plástico foram mantidas em casa de vegetação para secagem ao ar e em seguida foram passadas em peneiras de 2 mm. Para análise dos atributos químicos utilizou-se apenas as amostras na profundidade de 0-5 e 5-10cm.

Os procedimentos analíticos foram realizados conforme descrito por Marques e Motta (2003). Fósforo (P) Mehlich, potássio (K) Mehlich, cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) trocáveis foram extraídos por KCl 1 mol/L e os micronutrientes manganês (Mn), ferro (Fe), cobre (Cu) e zinco (Zn), extraídos por HCl 0,1 mol/L. Após extração, as determinações de micronutrientes, Ca e Mg foram realizadas por absorção atômica, P por colorimetria de Vanadato de Amônio e leitura em espectrofotômetro UV-Vis e K por fotometria de chama. A acidez do solo foi medida pela determinação da acidez ativa (pH  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol/L – 1:2,5) e da acidez potencial (pH SMP). O alumínio trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) foi extraído por KCl 1 mol/L e analisado por titrimetria utilizando azul de bromotimol como indicador e titulação com NaOH. Com parte dos resultados determinou-se a soma de bases (SB), a saturação por bases (V%), a saturação por alumínio (m%) e a CTC a pH 7,0.

### **2.4 Atributos microbiológicos do solo**

Para avaliação dos atributos microbiológicos utilizou-se amostras nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, seguindo-se os procedimentos metodológicos descritos a seguir para as diferentes determinações analíticas.

#### **2.4.1 Carbono (CBM) e Nitrogênio (NBM) da Biomassa Microbiana**

As amostras recém-chegadas de campo foram passadas em peneira de 4 mm retirando-se manualmente as partículas de folhas e raízes encontradas; encaminhando-se, em seguida, as amostras para o Laboratório de Biologia do solo, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná.

Para extração do Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) e do Nitrogênio da Biomassa Microbiana (NBM) do solo, utilizou-se o método de irradiação-extração, pelo fato do solo apresentar baixos valores de pH e altos teores de matéria orgânica, conforme descrito por Ferreira *et al.*, (1999). Foram pesados 40g de solo e colocados em frascos plásticos de 200 mL. Para

padronização da umidade das amostras foi realizado o teste de capacidade de campo para cada tratamento. Para a realização desse teste utilizou-se 40 g de solo, colocados em funil com papel filtro sobre erlenmeyer de 200 mL. Foram adicionados 100 g de água deionizada, deixando-se percolar por 12 horas e certificando-se que após esse período não havia mais água gotejando pelo funil. Foi obtida, dessa forma, a diferença da água adicionada sobre o solo menos a água percolada, utilizando-se como fator de correção da água absorvida pelo filtro a amostra em branco. O resultado obtido foi multiplicado por 0,6 sendo o resultado final equivalente à quantidade de água a ser adicionada por amostra por tratamento, para obtenção de um valor de 60% da capacidade de campo do solo.

Em seguida, as amostras foram irradiadas em forno microondas marca Sanyo Prosdócimo, modelo EM 9003 B, tensão de alimentação 120 V (60 Hz), frequência de microondas de 2.450 MHz e concentração de energia 1,35 KW, durante um tempo de 120 segundos (s) por amostra. A quantidade de energia utilizada, em relação ao tempo de radiação foi de  $1,62 \cdot 10^5$  J, como sugerido por Ferreira *et al.*, (1999), obtendo-se esse valor através da seguinte fórmula:

$$T = P \cdot \Delta t$$

onde T (trabalho/energia); P (potência) =  $W = J s^{-1}$  e  $\Delta t$  (tempo).

Para proceder à extração, foram adicionados aos frascos 50 mL de  $K_2SO_4$  0,5 mol  $L^{-1}$ , utilizando uma relação solo: extrator 1:1,25 (Vance *et al.*, 1987), seguido de agitação por meia hora. Após a decantação do solo retirou-se o sobrenadante passando-o em filtro Whatman n° 42. As alíquotas foram então armazenadas em geladeira para posterior determinação do CBM e do NBM.

O CBM foi determinado seguindo a metodologia de Silva *et al.*, (2007a), utilizando-se  $K_2Cr_2O_7$  0,066 mol  $L^{-1}$ . Retirou-se uma alíquota de 8 mL do extrato armazenado, adicionando-se 2 mL de dicromato de potássio 0,066 mol  $L^{-1}$ , 10 mL de ácido sulfúrico P.A. e 5 mL de ácido ortofosfórico P.A., obedecendo essa ordem cronológica e tomando sempre o cuidado de esperar as amostras esfriarem após a adição dos respectivos ácidos. Por fim, adicionou-se 70 mL de água deionizada, esperando-se a solução esfriar novamente. Em seguida foram adicionadas 3 gotas da solução indicadora de difenilamina, titulando-se as amostras com sulfato ferroso amoniacal 0,033 mol  $L^{-1}$ .

O cálculo da biomassa microbiana do solo é dado pela diferença de C encontrado na amostra irradiada e o C recuperado na amostra não irradiada, aplicando-se o fator de correção de 0,45 (De-POLLI e GUERRA, 1996), representados na seguinte equação:

$$C_{mic} = (CFI - CNFI) / KC = \mu g g^{-1} \text{ de C no solo,}$$

em que Cmic = carbono presente na biomassa microbiana do solo; CFI = carbono presente na amostra fumigada ou irradiada; CNFI = carbono presente na amostra não fumigada ou não irradiada; KC = fator de Correção.

O NBM foi determinado pela obtenção dos dados de nitrato por UV e amônio por colorimetria, ambos os métodos descritos a seguir, utilizando-se a mesma equação para o carbono, porém usou-se como fator de correção o valor de KN 0,54 (BROOKES *et al.*, 1985).

#### 2.4.2 Respiração Basal Acumulada (RA)

Para determinação da RA, incubou-se as amostras em incubadora na temperatura de 25° pelo período de 10 dias. Para esse procedimento utilizou-se 50g de solo, peneirado em malha de 2 mm. As amostras tiveram sua umidade padronizada em 60% como metodologia descrita anteriormente, sendo em seguida colocadas em potes plásticos de 2 L, juntamente com 10mL de NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> e 10 mL de H<sub>2</sub>O deionizada, com o intuito de manter a umidade das amostras durante o período de incubação.

Após o período de incubação foram retirados os frascos contendo NaOH, e imediatamente adicionados 2 mL de BaCl<sub>2</sub>, afim de completar a precipitação do CO<sub>2</sub>. Logo após, titulou-se esta solução com HCl 0,5 mol L<sup>-1</sup>, utilizando-se como indicador uma solução de fenolftaleína 1% (SILVA *et al.* 2007b).

#### 2.4.3 Quociente metabólico

O quociente metabólico é dado pela razão entre RA e unidade de CBM pelo tempo (ANDERSON e DOMSCH, 1993). Estima-se dessa forma, o uso eficiente do substrato do solo pelos microrganismos, sendo um indicativo sensível ao estresse quando o CBM é afetado. Assim o quociente metabólico é dado pela seguinte equação:

$$qCO_2 = \frac{RA \text{ (mg C-CO}_2\text{.kg}^{-1} \text{ solo.h}^{-1}\text{)}}{CBM \text{ (mg C.kg}^{-1} \text{ solo).}10^{-3}}$$

Onde,  $qCO_2$  (quociente metabólico), CBM (concentração de carbono da biomassa) e RA (respiração basal).

#### 2.5 Mineralização do Nitrogênio Orgânico do Solo

A coleta e preparo das amostras para o ensaio de mineralização foram adaptados do trabalho de Jussy (1998). As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, e

passadas em peneiradas de 4 mm de malha, ainda no campo. Com auxílio de um cachimbo metálico ( $8 \text{ cm}^{-3}$ ), foram retiradas duas subamostras, uma para determinação da umidade de campo e outra para o ensaio de mineralização. Esta última foi colocada em tubo de centrífuga contendo 30 mL de solução extratora de KCl  $2 \text{ mol L}^{-1}$ . No laboratório, 24 horas após a coleta, realizou-se a extração das alíquotas, após agitação das amostras por 45 minutos e centrifugação por 10 minutos a uma velocidade de 2000 rpm. As amostras então foram filtradas com filtro de filtragem rápida, porém, antes da filtragem, os mesmos foram lavados com 20 mL de KCl  $2 \text{ mol L}^{-1}$  e 3 lavagens consecutivas de 20 mL de  $\text{H}_2\text{O}$  deionizada para eliminar resíduos de amônia que possam contaminar as amostras (MULVANEY, 1996). Essa primeira extração de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  foi denominada de ponto zero, sendo em seguida o extrato submetido às análises de nitrato e amônio. O solo restante precipitado no tubo foi utilizado no ensaio de mineralização do N.

Para as leituras de nitrato foi utilizado o método por UV a 210 nm com redução química do nitrato, utilizando-se zinco metálico (HEINZMANN *et al.*, 1984). Essa redução do nitrato a amônio com Zn se dá a fim de expor à leitura apenas os compostos interferentes na leitura (os quais são lidos no mesmo comprimento de onda), eliminando-se assim o nitrato, o qual é obtido por diferença na leitura feita sem zinco metálico. Os principais interferentes são:  $\text{NO}_2^-$ , Fe, Pb, Cu, Cl,  $\text{SO}_4^{2-}$  e substâncias orgânicas (NORMAN & STUCKI, 1981).

O preparo das amostras para leitura de  $\text{NO}_3^-$  se deu da seguinte forma: foram retirados 0,5mL de alíquota das amostras e adicionados 0,2mL de ácido sulfúrico 10% e 4,3mL de  $\text{H}_2\text{O}$  deionizada. O preparo das amostras contendo Zn ocorreu da mesma forma, adicionando-se 0,2 g de zinco metálico granulado 20 mesh, porém a leitura se deu em um prazo de 24 horas. A obtenção do teor de nitrato se dá pela diferença entre as leituras feitas na presença e ausência de Zn.

Para determinação do  $\text{NH}_4^+$  utilizou-se metodologia baseada no método de determinação do amônio em extrato aquoso, segundo Apha *et al.* (1995). Esse método tem como princípio que, em meio alcalino, e na presença do catalizador nitroprussiato, o amônio ao reagir com o fenol e com o hipoclorito sódico, forma o azul de indofenol, que se torna susceptível à determinação por colorimetria no comprimento de onda de 640nm.

Para essa determinação, prepararam-se as amostras com 0,5 mL do extrato, adicionando-se 0,2 mL de solução alcoólica de fenol, 0,2 mL de solução de nitroprussiato sódico e 0,5 mL de solução oxidante composta de citrato alcalino e hipoclorito de sódio e 3,6 mL de  $\text{H}_2\text{O}$  deionizada. As leituras foram realizadas após o desenvolvimento da cor azul.

O ensaio de mineralização foi iniciado pela incubação anaeróbica das amostras conforme descrito por Gonçalves *et al.*, (2001). Em cada tubo, foram adicionados 30 mL de solução nutritiva contendo  $\text{NaH}_2\text{PO}_4\text{H}_2\text{O}$  ( $0,005 \text{ mol L}^{-1}$ ),  $\text{MgSO}_4$  ( $0,002 \text{ mol L}^{-1}$ ) e  $\text{CaCl}_2$  ( $0,005 \text{ mol L}^{-1}$ ). Os tubos

foram então agitados manualmente para dispersão do solo e levados para incubadora, onde permaneceram a uma temperatura de 30°C. A segunda extração de amônio (ponto 1) se deu aos 15 dias após a incubação, as demais foram realizadas com 30, 45 e 60 dias, totalizando 5 pontos de extração. Para as respectivas extrações foi adicionado, na solução nutritiva de cada tubo, 5,2 g de KCl (sal anidro), para obter uma concentração de 2 mol L<sup>-1</sup> de KCl. Os tubos foram em seguida agitados e centrifugados da mesma forma descrita para extração do ponto zero, assim como as determinações de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

## 2.6 Avaliações estatísticas

Apesar do declive existente entre a parcela mais ao topo e a parcela na parte mais baixa do terreno, foi adotado o Delineamento Inteiramente Casualizado, sendo os tratamentos representados pelos sete povoamentos e as repetições localizadas em pontos distintos dentro de cada talhão. Foram adotadas 5 repetições para as análises dos atributos microbiológicos e da serapilheira e 10 repetições para as análises dos atributos químicos dos solos.

Os dados foram previamente submetidos à checagem da homogeneidade de variância mediante o teste de Bartlett a 5%. Os dados que demonstraram homogeneidade foram submetidos à análise de variância com um fator (one-way anova). As diferenças entre as médias foram asseguradas pelo teste de Duncan (5% de significância). As variáveis que não apresentaram homogeneidade de variância foram submetidas ao teste de Kruskal-Wallis (não paramétrica) conforme proposto por Zar (1999).

Para visualizar e comparar agrupamentos formados mediante: variáveis microbiológicas (carbono, nitrogênio e respiração da biomassa microbiana), atributos pedológicos químicos (pH CaCl<sub>2</sub>, Al, Ca, Mg, K, P, N, C, C/N, Fe, Zn, Mn, Cu, Soma de Base, V%, CTC e m%) e a composição química da serapilheira (P, K, N, C, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn) em seus diferentes horizontes orgânicos e frações assim separados: (L, F, Miscelânea e fitomassa total) nos diferentes povoamentos estudados, foram efetuadas análises de agrupamentos. Para tanto, cada povoamento foi representado por um conjunto de dados acima descritos. O centróide ou centro de gravidade deste conjunto foi calculado mediante um método (*Linkage method*), posteriormente os centróides foram agrupados em um dendrograma (*cluster*) pelas respectivas distâncias (*distance measures*). Os métodos de ligação devem ser compatíveis com as distâncias (McCune e Grace, 2002). Neste estudo usamos como *Linkage method: Farthest neighbor* e as distâncias entre os centróides dos agrupamentos foram medidas pela distância euclidiana (*Euclidian distance*).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Fitomassa dos horizontes orgânicos do solo

Na Tabela 1 são apresentados os valores de fitomassa dos horizontes orgânicos e das raízes separados da serapilheira coletada sob os plantios florestais. Os resultados mostram que a fitomassa total obtida no tratamento com Eucalipto foi significativamente maior que aquelas dos demais tratamentos. Na sequência decrescente vêm os sítios com plantio de Araucária, Pinus II, Pinus I e Criptoméria, sendo as menores fitomassas encontradas nos tratamentos com Imbuia e Castanha, respectivamente. Estas diferenças podem ser associadas às taxas de deposição de serapilheira e/ou de decomposição dos materiais depositados. Os resultados de fitomassa nos diferentes horizontes orgânicos ajudam a entender um pouco mais os processos.

Para os horizontes L, as maiores quantidades de fitomassa foram encontradas no plantio com Criptoméria, seguido dos plantios com Pinus I, Araucária e Pinus II; no extremo oposto observa-se a Castanha com valores bem baixos de fitomassa e em situação intermediária a Imbuia e o Eucalipto (Tabela 1). Parte deste comportamento pode ser atribuído a uma relativamente mais baixa relação C:N da Castanha (Tabela 2), que favoreceria a decomposição. Mas esta não seria a única explicação, uma vez que as acículas de Araucária, por exemplo, apresentam relação C:N similar e valores bem maiores de fitomassa neste horizonte. Certamente a quantidade depositada e outros fatores não avaliados como teor de lignina, por exemplo, poderiam ajudar a melhor entender os resultados observados.

Para o horizonte F, observam-se maiores acúmulos de fitomassa em ambos os plantios de Pinus e no de Eucalipto e os menores nos plantios de Imbuia e Castanha, ficando os plantios de Araucária e Criptoméria em posição intermediária. Estes resultados também podem ser, em parte, explicados por maiores valores de relação C:N (Tabela 2) e, paralelamente, maior deposição nos plantios de Pinus e Eucalipto.

O horizonte H foi encontrado apenas nos plantios de Eucalipto e Araucária, contribuindo esta fração da serapilheira de forma expressiva para os maiores valores totais de fitomassa nestes plantios. Nos demais plantios não foram encontrados horizonte H propriamente dito. A formação do horizonte orgânico é caracterizada pela acumulação de material orgânico da serapilheira em decomposição, onde as estruturas originais e materiais não são reconhecidos, sendo que a quantidade de substâncias finas apresenta-se superior a 70 % do seu volume (JABIOL *et al.* 1995; CORRÊA, 2007). Mas nem sempre este material acumula-se de forma sequencial, formando o horizonte H. A presença do horizonte H na superfície do solo indica que o material fino está sendo

pouco incorporado no solo mineral. Isto geralmente é associado a condições desfavoráveis como clima frio e/ou solos muito ácidos (JABIOL *et al.*, 1995). Como as condições de clima e solo são similares nos diferentes tratamentos, sugere-se que o acúmulo de horizonte H, nos plantios de Eucalipto e Araucária são em grande parte, explicados pelas grandes quantidades de serapilheira depositadas nestes plantios. A incorporação no solo mineral parece ocorrer como mostram os teores de carbono na superfície do solo mineral (Tabela 4), mas estaria ocorrendo por organismos de pequeno tamanho localizados na interface serapilheira-solo mineral. Para as demais espécies, que não apresentaram formação de horizonte H, a fitomassa mais fina é certamente encontrada na fração aqui denominada Miscelânea; e parte pode ter sido incorporada ao solo mineral. O monitoramento da deposição da serapilheira e estudos de decomposição ajudariam a melhor explicar estes comportamentos diferenciados.

**TABELA 1:** Fitomassa dos horizontes orgânicos e raízes da serapilheira acumulados nos plantios com diferentes espécies florestais.

TRATAMENTO	L	F	H	RAIZ	MISCELÂNIA	Fitomassa total
.....kg,ha <sup>-1</sup> .....						
<b>Eucalipto</b>	247,3 c	1672,7 ab	4500,0	558,2 b	1190,9 b	8169,1 a
<b>Castanha</b>	10,9 d	449,1 c	0,0	210,9 c	892,7 bc	1563,6 d
<b>Criptoméria</b>	880,0 a	925,5 b	0,0	620,0 a	245,5 d	2670,9 cd
<b>Pinus I</b>	709,1 ab	1512,7 ab	0,0	98,2 c	1520,0 a	3840,0 c
<b>Imbuia</b>	307,3 c	349,1 c	0,0	87,3 c	523,6 c	1269,1 d
<b>Pinus II</b>	414,5 b	2109,1 a	0,0	18,2 c	1574,5 a	4116,4 c
<b>Araucária</b>	696,4 ab	1181,8 b	2641,8	592,7 ab	1100,0 b	6214,5 b

Médias seguidas pelas mesmas letras, na vertical, não diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Kruskal-Wallis a 5% de probabilidade

Quanto à fitomassa de raízes na serapilheira, observa-se na Tabela 1 maiores valores nos plantios de Criptoméria, Araucária e Eucalipto, respectivamente. Estas raízes foram principalmente retiradas dos horizontes H nos plantios de Araucária e Eucalipto, indicando que as plantas estariam absorvendo nutrientes diretamente do material vegetal em decomposição. Para Criptoméria, a fitomassa de raízes é proveniente da grande quantidade de gramíneas existentes sob o horizonte L, podendo estar ocorrendo um favorecimento de crescimento dessas gramíneas nesse plantio. A quantificação das raízes nos horizontes minerais superficiais dos solos ajudaria a melhor entender onde as plantas estariam buscando os nutrientes nos diferentes plantios.

Pela época de coleta da serapilheira, juntamente com os dados da relação C:N, como exposto, a fenologia das espécies também contribui diretamente nos valores dos horizontes L encontrados nos plantios. Segundo Souza e Davide (2001), nos meses de dezembro e fevereiro ocorre a maior deposição de serapilheira para Eucalipto. Sob plantios de Araucária, Backes *et al.*,

(2000) e Schumacher *et al.*, (2004), observaram que a maior queda de serapilheira se deu nos meses da primavera e verão e Brites *et al.*,(1992), constataram maior deposição na primavera, quando houve um aumento na temperatura e na pluviosidade. Em plantios homogêneos de *Pinus*, Koehler (1989) e Vieira e Schumacher, (2010), reportaram que o maior acúmulo de serapilheira se dá no outono seguido do verão. Para *Criptoméria* e Castanha, supõe-se que a maior deposição de material ocorra entre o outono e o inverno, segundo observações a campo e pela avaliação visual do estágio de decomposição em que a serapilheira de encontrava nos sítios. Com isso pode-se concluir que a fenologia das espécies possui estreita correlação com os plantios avaliados, corroborando com os valores mais altos encontrados no Eucalipto, *Pinus*, *Araucária* e *Criptoméria* e os baixos valores na Castanha. Na Imbuia, apesar da deposição ocorrer constantemente durante o ano, a baixa fitomassa reforça ainda mais a questão da alta decomposição para esse sítio.

### **3.2 Composição química da fitomassa dos horizontes orgânicos do solo**

Os resultados dos teores de nutrientes, de carbono e da relação C:N presentes na fitomassa vegetal da serapilheira podem ser observados na Tabela 2. Ao comparar os elementos analisados, nos três horizontes estudados, observa-se que a maior parte dos elementos, com exceção de C, Ca e do Cu, apresentou maiores teores no horizonte F e os mais baixos teores na Miscelânea. Em posição intermediária ficou o horizonte L. Os materiais mais particulados da Miscelânea e do horizonte H apresentam maior área de contato com a água da chuva favorecendo assim maior lixiviação dos elementos (DICKOW *et al.*,2009), o que explicaria em parte os menores teores observados.

No caso específico do carbono, o material recentemente depositado (horizonte L) normalmente é mais rico em carboidratos solúveis facilmente perdidos por lixiviação (PIRES *et al.*, 2006; SCHEER, 2008), o que ajuda a explicar a diminuição dos teores de C ao longo do processo de decomposição da serapilheira. Outras razões para a perda de C seriam a liberação de CO<sub>2</sub> e a imobilização pela biomassa microbiana durante a decomposição.

Por outro lado, segundo Arunachalam *et al.* (1997), substratos com relação C/N menores que 25 possuem maiores taxas para liberação de N, diminuindo seus teores nos materiais remanescentes. Inversamente, outras fontes podem ajudar a enriquecer os teores de nutrientes na serapilheira; entre elas as precipitações atmosféricas, a fixação simbiótica e assimbiótica, pela colonização e utilização pela biota decompositora e a contaminação do material via queda de materiais de origem animal e vegetal (THOMPSON e VITOUSEK, 1997).

Os valores baixos de K, Mg e P, também evidenciados por Schumacher *et al.* (2008), em plantio de *Pinus taeda*, são em parte devido à baixa disponibilidade desses nutrientes neste solo ácido. Segundo Borém e Ramos (2002), para Ca, Mg, K e P, a quantidade contida na serapilheira é

comparável à quantidade disponível desse elemento no solo, nos primeiros dez centímetros. Sendo que, no caso do K e do Mg, eles podem sofrer lixiviação pela água da chuva que atravessa o dossel e lava a serapilheira, o que poderia explicar os teores baixos desses elementos na serapilheira analisada.

**TABELA 2:** Teores de nutrientes, carbono e relação CN nos horizontes orgânicos dos diferentes plantios.

Tratamento	C	N	CN	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Fe	Zn
	.....%.....				.....g kg <sup>-1</sup> .....				.....mg kg <sup>-1</sup> .....		
<b>HORIZONTE L</b>											
<b>Eucalipto</b>	42,0ab	1,18a	43,42ab	0,7b	1,0a	0,09b	0,02a	7,6ab	1002,6a	280,2b	8,4bc
<b>Castanha</b>	40,9b	1,52a	29,83b	0,7b	1,0a	0,1a	0,02a	9,2a	1149,8a	552,0a	16,2 <sup>a</sup>
<b>Criptoméria</b>	46,7a	1,14a	41,65ab	0,6b	0,4b	0,1a	0,02a	5,8b	64,8e	468,6a	7,6bc
<b>Pinus I</b>	38,1bc	1,28a	36,61ab	0,6b	0,6b	0,03c	0,01c	7,4ab	411,8c	285,8bc	6,2c
<b>Imbuia</b>	39,5bc	1,77a	30,63b	0,7b	0,5b	0,1a	0,02a	7,6ab	510,0b	676,6a	9,6abc
<b>Pinus II</b>	44,0ab	0,93ab	48,56a	0,6b	0,6b	0,04c	0,01c	8,2ab	300,2d	197,6bc	13,2ab
<b>Araucária</b>	33,3c	0,5b	30,91b	0,9a	0,6b	0,1a	0,02a	10,2a	321,6cd	149,0c	14,2ab
<b>Médias</b>	42,55	1,26	37,37	0,7	0,7	0,1	0,02	7,2	537,3	372,8	11,5
<b>HORIZONTE F</b>											
<b>Eucalipto</b>	39,94a	1,39a	30,88a	1,0ab	0,8ab	0,07a	0,02a	5,5b	1025,2ab	1029a	11,01a
<b>Castanha</b>	43,67a	1,53a	28,86a	0,8cd	1,0a	0,06a	0,02a	5,8b	1991,2a	1380a	15,2a
<b>Criptoméria</b>	39,64a	1,36a	29,54a	0,7d	0,4c	0,06a	0,01b	6,2b	175,6b	1393a	12,6a
<b>Pinus I</b>	38,50ab	1,36a	26,57a	0,7d	0,6bc	0,02b	0,01b	5,6b	262,0b	1259a	4,8b
<b>Imbuia</b>	32,79ab	1,64a	21,14a	0,9bc	0,8ab	0,05ab	0,02a	9,4a	621,6ab	1140a	18,2a
<b>Pinus II</b>	41,21a	1,61a	27,05a	0,7d	0,7bc	0,02b	0,01b	5,2bc	272,0b	1263a	13,4a
<b>Araucária</b>	34,79ab	1,28a	24,83a	1,1a	0,5bc	0,04ab	0,02a	2,3c	347,2b	1229a	15,4a
<b>Médias</b>	38,65	1,45	26,98	0,8	0,7	0,04	0,02	6,1	670,7	1242,0	12,9
<b>MISCELÂNEA</b>											
<b>Eucalipto</b>	40,37a	1,44a	31,04a	0,9ab	0,8ab	0,03a	0,01b	5,4b	298,2d	768,2a	3,6b
<b>Castanha</b>	36,98a	1,13a	33,48a	0,6d	1,0a	0,02b	0,02a	5,8b	180,8d	654,2a	4,0b
<b>Criptoméria</b>	24,62a	0,94a	28,40a	0,7cd	0,5c	0,08a	0,02a	6,8b	410,8a	401,6a	4,4b
<b>Pinus I</b>	38,65a	0,92a	41,93a	0,6d	0,5bc	0,02b	0,01b	5,6b	167,2c	974,2a	18,0a
<b>Imbuia</b>	33,88a	1,86a	25,99a	0,8bc	0,7ab	0,03ab	0,01b	5,2a	385,2c	1034,8a	10,2a
<b>Pinus II</b>	40,37a	1,10a	42,62a	0,6d	0,6ab	0,03ab	0,01b	2,8bc	97,4e	799,6a	4,6b
<b>Araucária</b>	36,80a	1,29a	29,76a	1,0a	0,5bc	0,03ab	0,01b	2,3c	191,4c	1413,8a	11,2a
<b>Médias</b>	35,95	1,24	33,32	0,7	0,4	0,04	0,01	12,7	247,3	863,8	8,0

Médias seguidas pelas mesmas letras, na vertical, não diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, e de Kruskal-Wallis a 5% (C (L), Fe (F), Mn (F), Zn (M)).

As comparações quanto aos teores de nutrientes entre as diferentes espécies florestais também é mostrada na Tabela 2. Os resultados, apesar de indicarem diferenças estatísticas para alguns micronutrientes como Fe e Mn, por exemplo, são de difícil interpretação, pois os materiais coletados no campo podem ter sofrido diferentes interações na superfície do solo e as concentrações aqui apresentadas não serem fruto único da composição química original das plantas. Diferentes taxas de decomposição também devem ter interferido nos valores observados. Caracteristicamente a decomposição de acículas necessita de períodos maiores que das folhas, necessitando assim de períodos mais longos para disponibilização de nutriente. O fato de se ter realizado apenas uma coleta e o longo período desde a deposição da serapilheira até a coleta do material no campo também podem ter contribuído para o fato de não se encontrar diferenças expressivas nos teores dos elementos químicos.

Os altos teores de Fe e Mn, como os mostrados na Tabela 2, também foram encontrados por Schumacher *et al.*, (2008) e segundo estes autores, os altos níveis desses nutrientes são decorrentes das altas concentrações desses elementos no solo, o que pode ser observado também neste trabalho (Tabela 4).

Os dados que podem ser considerados mais consistentes com a composição química original das diferentes espécies são aqueles do horizonte F. Os teores de carbono estão um pouco abaixo do que se esperaria encontrar em material recém depositado, ou seja, valores próximos a 50%. No caso específico deste elemento, as diferenças entre as espécies florestais poderiam estar relacionadas com a degradabilidade do material vegetal, o que sugere a Criptoméria, o Pinus II e o Eucalipto como materiais de mais difícil decomposição e a Araucária como o material de maior degradabilidade.

### **3.3 Atributos químicos de fertilidade dos solos**

Nas tabelas 3 e 4 são apresentados os resultados das análises químicas realizadas nas amostras de solo coletadas nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm.

De maneira geral, os solos se apresentam ácidos, sendo a maior parte desta acidez associada à matéria orgânica do solo (vide teores de  $H^+$ ), em ambas as profundidades (Tabela 3). De acordo com o Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004), os teores de P, K, Ca e Mg são considerados entre baixo e muito baixo.

Entre os elementos analisados não foram observadas diferenças significativas para Ca e K (Tabela 3) entre os tratamentos. No plantio com Eucalipto foram obtidos os maiores teores de Mg, N, C e da relação CN (Tabela 4). Comparando plantios de Eucalipto com leguminosas *Acacia*

*mangium*, Garay *et al.* (2003), citam que nos plantios de Eucalipto a relação C/N foi maior, resultado semelhante ao observado neste estudo.

No plantio de Eucalipto encontrou-se a menor concentração de Al, sendo a maior encontrada na Araucária. O menor pH entre os plantios avaliados também foi encontrado no tratamento com Eucalipto sendo o maior no Pinus II, que apesar da pouca variação diferiu significadamente dos demais. Decréscimo no pH, nos teores de K, Ca e Mg e diminuição no V% e no m% foram relatados por Silva *et al.*, (2009), comparando plantio de Pinus com áreas de Cerrado. Em comparação com área de pastagens na Nova Zelândia (GIDDENS *et al.*, 1997) e na Austrália (SAGGAR *et al.*, 2001), também identificaram decréscimo de pH em áreas de Pinus, sendo esse decréscimo atribuído por Giddens *et al.*,(1997), à liberação de ácidos orgânicos, por acículas em decomposição, e à maior absorção de cátions do que de ânions, sendo estas as possíveis causas da acidificação dos solos sob Pinus. Esse decréscimo clássico dos valores de pH em plantios de coníferas não ficou muito claro neste estudo. A acidez potencial (H + Al), que incorpora a acidificação por parte da matéria orgânica (H<sup>+</sup>), mais aquela associada aos óxidos e hidróxidos de alumínio (Al<sup>3+</sup>), talvez seja um parâmetro mais apropriado para caracterizar o efeito acidificante por parte da vegetação. E, neste caso, observa-se na Tabela 3 um maior efeito acidificante dos plantios de Araucária e Pinus I e um menor efeito do plantio de Imbuia.

A saturação por bases (V%), por outro lado, pode indicar a contribuição da vegetação para o enriquecimento da CTC do solo com bases trocáveis. A Araucária e a Castanha parecem ter fornecido as menores contribuições e o Eucalipto a maior contribuição em bases, sendo as diferenças explicadas principalmente pelos valores de Ca no complexo de troca (Tabela 3).

Outro parâmetro importante da fertilidade do solo é o teor de fósforo e os resultados mostram maiores teores de P no tratamento com Castanha e o menor teor no plantio de Pinus II, podendo estes resultados estar associados com a diferente contribuição das espécies ao solo mineral. Nos estudos conduzidos por Fonseca *et al.* (1993), em Latossolo sob vegetação natural, Eucalipto e pastagem e por Silva *et al.* (2009), comparando plantios de carvoeiro, Eucalipto, Pinus e vegetação de cerrado, em Latossolo, também não foram encontradas diferenças significativas nos teores de P entre os tratamentos com diferentes espécies vegetais.

Na profundidade de 5-10 cm as principais características de fertilidade do solo (Tabela 3) sofreram poucas alterações em comparação com a camada de 0-5 cm, sendo a mais evidente uma pequena diminuição dos teores de Ca e, conseqüentemente, dos valores da Soma de Bases. As mais expressivas mudanças foram caracterizadas por uma redução nos teores de Fe e Mn e uma pequena elevação nos teores de Cu, para a maioria das espécies e uma redução nos teores de C e N para o Eucalipto (Tabela 4).

**TABELA 3:** Características químicas de fertilidade do solo nas profundidades 0-5 e 5-10 cm, nos plantios com diferentes espécies florestais.

Tratamento	pH		H + Al	Al	K	Ca	Mg	SB	T	P	V	m
	CaCl <sub>2</sub>	SMP	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>					g/dm <sup>3</sup>		%	%	
<b>0-5 cm de profundidade</b>												
<b>Eucalipto</b>	3,1d	4,7c	10,9bc	2,3d	0,06a	0,98a	0,18a	1,216a	12,1bc	4,3b	10,03a	65c
<b>Castanha</b>	3,5ab	5,2a	11,9ab	2,36cd	0,05a	0,76a	0,11b	0,924a	12,8ab	5,7a	7,19c	72c
<b>Criptoméria</b>	3,4cd	4,9b	10,4bc	2,4cd	0,06a	0,94a	0,13b	1,128a	11,5bc	4,3b	9,78ab	68bc
<b>Pinus I</b>	3,4cd	4,9b	13,3a	2,73bc	0,06a	0,91a	0,11b	1,08a	14,3a	4,1b	7,54bc	72b
<b>Imbuia</b>	3,5ab	5,1ab	9,6e	2,39cd	0,06a	0,71a	0,15ab	0,972a	10,6c	3,2bc	9,16abc	71bc
<b>Pinus II</b>	3,6a	5,0b	10,7bc	2,91b	0,06a	0,86a	0,11b	1,034a	11,7bc	3,0c	8,80abc	74b
<b>Araucária</b>	3,4cd	4,7c	13,2a	3,73a	0,06a	0,77a	0,12b	0,948a	14,2a	4,0bc	6,69c	80 <sup>a</sup>
<b>5 – 10 cm de profundidade</b>												
<b>Eucalipto</b>	3,3c	4,9c	10,4bc	2,2d	0,05ab	0,88a	0,1a	1,04a	11,5bc	4,2a	9,06a	68b
<b>Castanha</b>	3,7a	5,3a	9,8c	2,25cd	0,05ab	0,69a	0,1a	0,838a	10,6c	2,7ab	7,91a	73b
<b>Criptoméria</b>	3,6b	5,2b	10,2bc	2,16d	0,04abc	0,92a	0,1a	1,062a	11,3bc	2,1b	9,44a	67b
<b>Pinus I</b>	3,6b	5,1bc	11,6ab	2,52bc	0,04abc	0,89a	0,1a	1,034a	12,7ab	2,6ab	8,17a	71b
<b>Imbuia</b>	3,6b	5,0bc	8,4d	2,42bcd	0,05ab	0,64a	0,1a	0,786a	9,2d	1,8b	8,58a	75b
<b>Pinus II</b>	3,7a	5,0bc	10,2c	2,74b	0,06a	0,73a	0,1a	0,886a	11,0bc	2,8ab	8,03a	76b
<b>Araucária</b>	3,3c	4,6d	12,9a	3,89a	0,03c	0,74a	0,1a	0,874a	13,7a	2,7ab	6,37a	82 <sup>a</sup>

Médias seguidas pelas mesmas letras, na vertical, não diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade; m: saturação por alumínio =  $100[Al^{3+}/(Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Al^{3+})]$ ; CTC =  $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + H^{+} + Al^{3+}$ ; V(%): saturação por bases =  $100[(Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+})/CTC]$ .

O presente estudo carece de uma área testemunha, com vegetação nativa, que não existe mais nas proximidades dos plantios estudados. Desta forma, fica difícil definir se houveram impactos negativos ou positivos no solo em comparação com a situação pré-plantio. As diferenças observadas entre os diferentes sítios quanto à fertilidade do solo são de pequena magnitude para a maior parte dos parâmetros avaliados. Estudos realizados em outras regiões do Brasil têm mostrado o efeito da introdução de novas espécies florestais nas características químicas do solo. Comparando a vegetação do cerrado com plantio de Eucalipto, Silva *et al.* (2009) observaram que o plantio de Eucalipto promoveu um acréscimo no teor de K, conforme também observado por Fonseca *et al.* (1993) e Gama-Rodrigues *et al.* (2008).

Na Austrália, Noble e Randall (2005) observaram que o retorno de nutrientes de *Eucalyptus cloeziana*, na forma de serapilheira, aumentou os teores de Ca, Mg, K e Na no solo. Zaia e Gama-Rodrigues (2004) observaram, em estudos conduzidos no norte fluminense, que o *E. grandis*, em razão dos seus menores teores de lignina, apresentou taxas mais elevadas de decomposição de serapilheira e possibilitou maior taxa de ciclagem de nutrientes.

Apesar da diversidade de resultados quanto ao efeito dos plantios florestais, principalmente Eucalipto e Pinus, sobre os atributos químicos do solo, as diferenças edáficas, as espécies e variedades plantadas, os diversos ecossistemas nativos usados como referência e o manejo das áreas reflorestadas tornam imprópria a generalização desses efeitos (SILVA *et al.*, 2009).

**TABELA 4:** Teores de micronutrientes, N, C e relação CN nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, nos plantios com diferentes espécies florestais.

Tratamento	Cu	Mn	Fe	Zn	N	C	CN
	mg/kg solo				%		
<b>0-5 cm de profundidade</b>							
Eucalipto	0,24d	4,97ab	29,72b	0,53a	0,43a	10,19a	22,13a
Castanha	0,28d	1,38b	11,52d	0,45b	0,14ab	2,40abc	16,39ab
Criptoméria	0,63a	5,49a	42,95a	0,66a	0,07b	1,13c	11,55b
Pinus I	0,44bc	7,84a	27,99b	0,66a	0,30a	4,13a	13,88b
Imbuia	0,56ab	7,97a	25,85bc	0,70a	0,18ab	2,86ab	14,12b
Pinus II	0,65a	8,03 <sup>a</sup>	19,64cd	0,42b	0,20ab	1,93b	14,75b
Araucária	0,34cd	5,30ab	17,68cd	0,71a	0,20ab	2,52abc	15,86ab
<b>5-10 cm de profundidade</b>							
Eucalipto	0,30b	3,08ab	21,89ab	0,58a	0,14b	2,79a	19,52a
Castanha	0,24b	1,18b	10,84d	0,50a	0,13b	1,95bc	15,01b
Criptoméria	0,93a	3,20 <sup>a</sup>	24,50a	0,37ab	0,23ab	3,49a	15,19b
Pinus I	0,65b	4,76 <sup>a</sup>	24,76a	0,72b	0,30a	4,16a	13,69b
Imbuia	0,87a	3,02ab	20,08abc	0,54a	0,20ab	2,09b	11,34c
Pinus II	1,03a	4,30 <sup>a</sup>	16,38bc	0,32ab	0,20ab	1,71c	17,34ab
Araucária	2,32a	3,10ab	16,15c	0,58a	0,20ab	2,26ab	15,5b

Médias seguidas pelas mesmas letras, na vertical, não diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade e no teste de Kruskal-Wallis (Mn, N, C/N a 0-5 cm).

### 3.4 Nitrogênio inorgânico e mineralização do nitrogênio do solo

As concentrações de nitrogênio inorgânico no solo mineral superficial são mostradas na Tabela 5. Os teores de nitrato são bastante superiores aos de amônio apesar da acidez do solo mineral (Tabela 3). Em solos ácidos sob florestas espera-se encontrar nitrogênio inorgânico principalmente na forma amoniacal. Como foi feita apenas uma coleta para caracterizar estas formas iônicas de N no solo fica difícil entender qual a razão dos resultados observados. Uma hipótese para os baixos teores de amônio obtidos é que as plantas, na época da coleta de solo (fevereiro de 2011), estariam em pleno crescimento e todo o amônio mineralizado estaria sendo consumido pelas plantas. No caso particular do Eucalipto, existe estudo mostrando sua preferência pela absorção de amônio (VALE *et al.*, 1984).

Comparando-se os teores de nitrato entre os diferentes tratamentos, observa-se valores mais elevados sob Eucalipto (tabela 5). Isto parece ser consequência da maior fitomassa de serapilheira e dos maiores teores de N total e carbono, também observados para esta espécie, sobretudo na profundidade de 0-5 cm (Tabela 4). O Pinus II é o tratamento com o segundo maior teor de nitrato e curiosamente apresenta baixos teores de N total e carbono no solo (Tabelas 4), o que dificulta a compreensão do resultado obtido. Por outro lado, apresenta grande quantidade de fitomassa (sobretudo no horizonte F e na Miscelânea – Tabela 1) que pode estar mineralizando e produzindo nitrato.

Outro fator que pode interferir na mineralização da matéria orgânica do solo e estar associado aos teores de nitrogênio inorgânico nos solos é a granulometria e mais especificamente os teores de argila (VOLKOFF *et al.*, 1984). Segundo Gama-Rodrigues *et al.* (2005), solos sob plantio de Eucalipto, dependendo dos teores de argila, além de apresentarem maior estoque de N e C apresentariam maior potencial de fornecimento de N para as plantas e uma biomassa microbiana mais ativa.

**TABELA 5:** Teores de nitrato, amônio e umidade no solo, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, dos plantios com diferentes espécies florestais.

	Profundidade	Eucalipto	Castanha	Criptoméria	Pinus I	Imbuia	Pinus II	Araucária
µg NH <sub>4</sub> ou NO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup> de solo								
<b>Nitrato</b>	0 - 5cm	53,64a	9,88c	8,04c	7,42c	6,02c	22,45b	2,70c
	5 - 10cm	53,00a	1,90d	2,91cd	3,31c	3,24c	25,20b	65,70a
<b>Amônio</b>	0 - 5cm	0,00b	0,00b	0,00b	0,00b	0,22a	0,45a	0,39 <sup>a</sup>
	5 - 10cm	0,30b	0,00d	0,00d	0,00d	0,06c	0,78a	0,37b
%								
<b>Umidade</b>	0 - 5cm	23,00ab	22,00b	20,00b	20,00b	18,00bc	16,00c	29,00a
	5 - 10cm	27,00ab	25,00b	25,00b	25,00b	21,00b	16,00c	31,00a

Letras diferentes, na horizontal, representam tratamentos diferentes significadamente pelo teste de Kruskal-Wallis a 5% de probabilidade (NO<sub>3</sub>) e pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade (NH<sub>4</sub> e umidade).

A umidade do solo é outro fator que exerce forte influência sobre a nitrificação nos solos (LUIZÃO *et al.*, 1992; EATON, 2001; GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2005). Estudando solos de florestas úmidas na Índia, Arunachalam *et al.* (1997) observaram que a umidade do solo influencia diretamente a atividade da biota do solo e conseqüentemente a disponibilidade de nutrientes. Na Tabela 5 pode-se observar que os maiores teores de umidade do solo foram encontrados sob os plantios de Eucalipto e a Araucária, que também apresentaram as maiores fitomassa de serapilheira (Tabela 1). Pelo menos no tratamento com Eucalipto os maiores teores de umidade ajudam a explicar os maiores teores de nitrato.

Para compreender melhor a dinâmica do nitrogênio no solo, um monitoramento ao longo do ano seria necessário. Vários fatores interferem nos processos de mineralização e os íons nitrato e amônio são muito instáveis no ecossistema, podendo ser rapidamente absorvidos pelas plantas, serem imobilizados pela microbiota, perdidos por lixiviação (nitrato) ou sofrerem transformações e serem perdidos por volatilização ou desnitrificação. Particularmente, o monitoramento da composição química da solução do solo é técnica bastante útil para obtenção de informações da dinâmica de nutrientes no solo (MARQUES *et al.*, 1996).

Ensaio de mineralização conduzidos em laboratório, na ausência de monitoramentos ao campo, podem ajudar na compreensão desta dinâmica do nitrogênio.

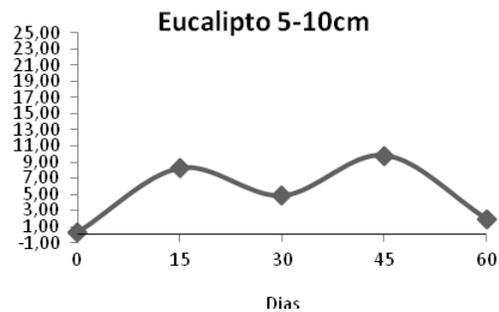
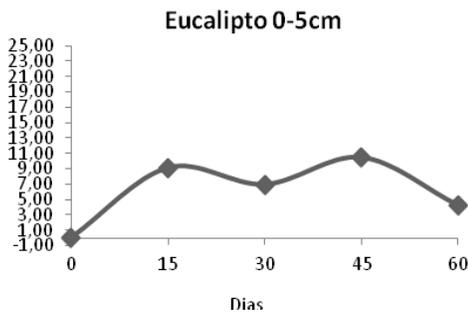
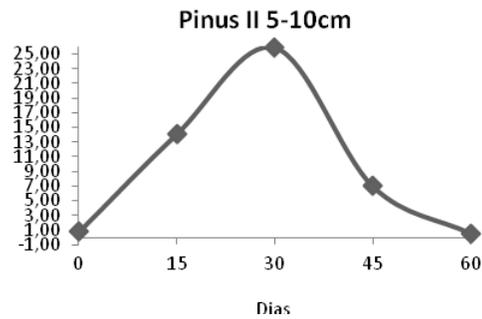
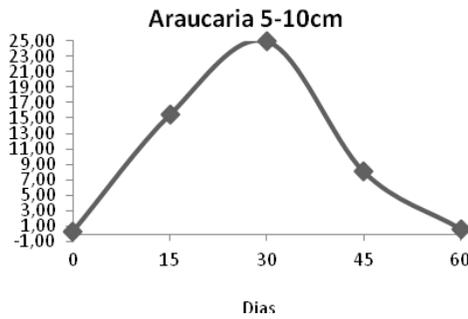
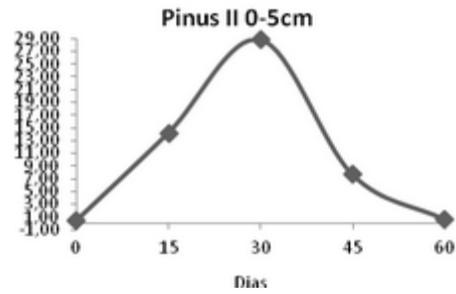
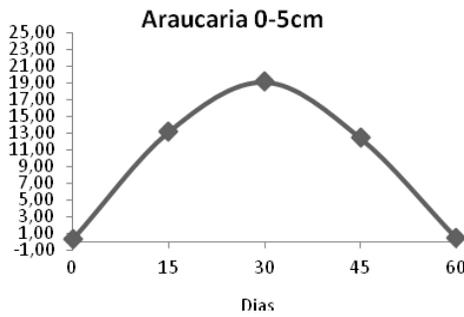
Na figura 4 são mostrados os resultados dos ensaios de mineralização conduzidos com os solos coletados nos plantios com diferentes espécies florestais. Observa-se que a produção de amônio mostra picos em diferentes épocas de ocorrência para os diferentes plantios, indicando um efeito das espécies florestais sobre a mineralização da matéria orgânica do solo.

Para Castanha, Criptoméria, Imbuia e Pinus I, as maiores quantidades de N mineralizado se deram aos 15 dias de incubação. Para Araucária e Pinus II teores mais elevados se deram aos 30 dias e para Eucalipto aos 15 e 45 dias, independentemente da profundidade considerada. Nota-se, entretanto, que na profundidade mais superficial do solo (0-5 cm) ocorreu maior mineralização, podendo ser atribuída à maior atividade de microrganismos nessa região, levando-se em consideração a maior disponibilidade de C e N e outros nutrientes (Tabelas 4). Ao final de 60 dias de incubação os teores de amônio praticamente zeraram, para todos os tratamentos, caracterizando o esgotamento da fonte mineralizável.

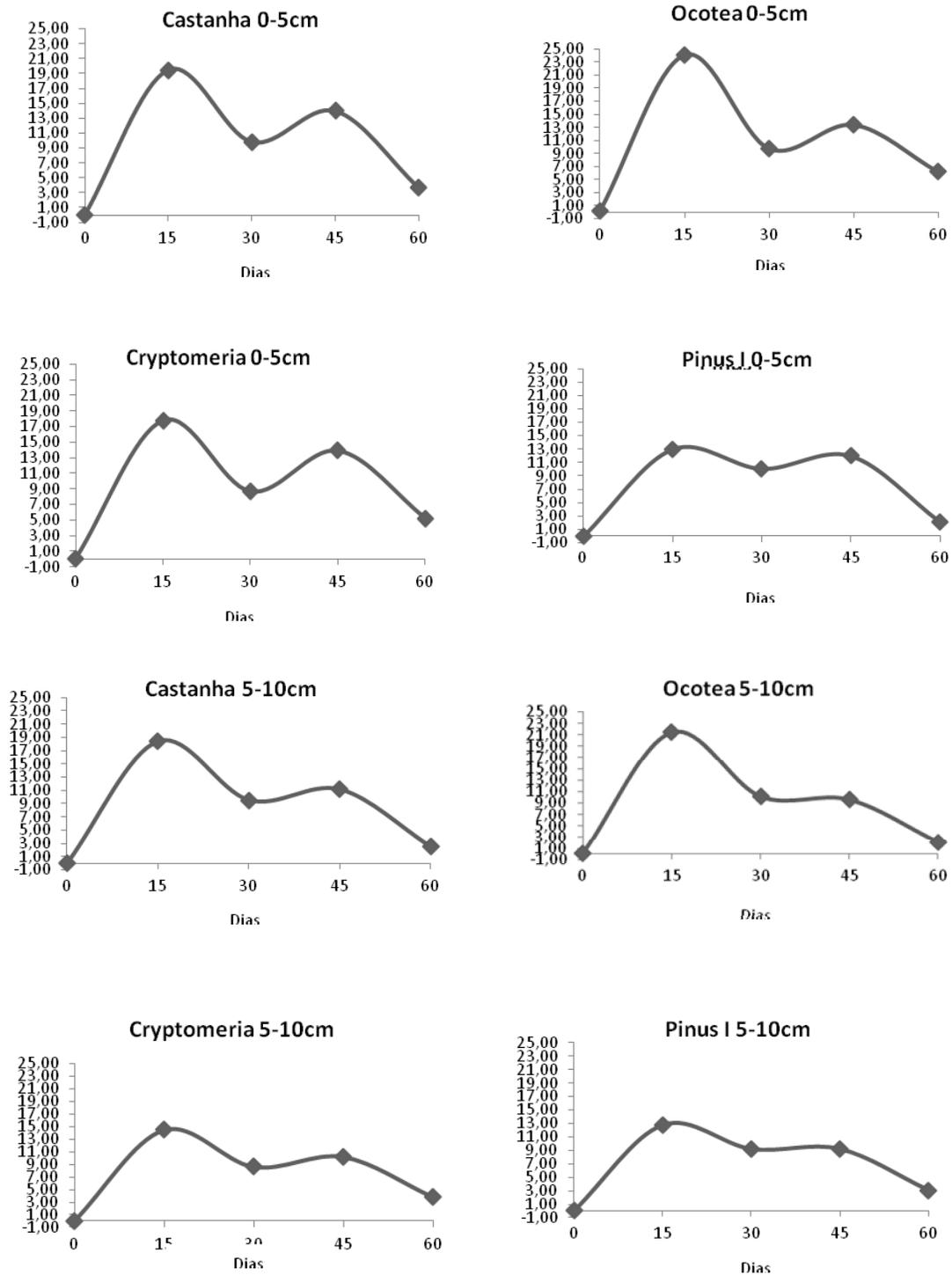
A configuração dos picos sugere três tipos de comportamento para o processo de mineralização: o primeiro é caracterizado por um rápido pico mais intenso de mineralização, seguido de queda decrescente e lenta do processo (Castanha, Criptoméria, Imbuia e Pinus I); no segundo tipo a mineralização vem mais tarde, é mais intensa e decresce gradualmente (Araucária e Pinus II) e no terceiro tipo a mineralização tende a aumentar lentamente e decresce gradualmente mais no final do processo (Eucalipto). Esta é uma interpretação baseada apenas na configuração das curvas de produção/consumo de N. Os cálculos de potencial de mineralização propostos por Stanford e Smith (1972) não foram aqui aplicados. Mas com base nestas figuras pode-se dizer que em alguns sítios a liberação de N pelo processo de mineralização se dá mais rapidamente e em outros sítios demora mais tempo, o que deve estar associado à qualidade da matéria orgânica, entre outros fatores. Gonçalves *et al.* (2001) citam, por exemplo a produção de matéria orgânica proveniente da decomposição de raízes e a incorporação da serapilheira no solo pela atividade da

fauna edáfica. Segundo Carlyle *et al.* (1990), florestas nativas com grandes diversidade de espécies folhosas são mais decomponíveis provavelmente em decorrência de maiores teores de aminoácidos, ácidos nucléicos e hexoaminas, relativamente a povoamentos homogêneos com Pinus (CARLYLE, 1986). Porém, nota-se que não houve diferenças expressivas entre os povoamentos estudados. Gonçalves *et al.* (2001) destacam o grande efeito de florestas adultas sobre os estoques de N-potencialmente mineralizável, encontrando valores similares em plantios de Eucalipto adultos e em florestas nativas. Para Reis e Barros (1990) esses se valores se devem principalmente às grandes quantidades de N cicladas biogeoquimicamente.

N-Mineralizado  $\mu\text{g NO}_3 \text{ dm}^{-3} \text{ d}^{-1}$  de solo



N-Mineralizado  $\mu\text{g NO}_3 \text{ dm}^{-3-1}$  de solo



**FIGURA 4:** curvas de mineralização anaeróbica de N para as camadas de 0-5 e 5-10 cm, dos solos amostrados nos diversos sítios florestais, sendo Y ( $\mu\text{g NH}_4/\text{dm}^3$  de solo) e X (período de incubação do solo)

### 3.5 Atributos microbiológicos do solo

Alguns atributos microbiológicos foram analisados também com o intuito de caracterizar a qualidade dos solos sob os plantios florestais. Os resultados são mostrados na Tabela 6. O nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) mostra valores mais altos na camada mais superficial do solo, o mesmo ocorrendo para a respiração basal (R). Os maiores teores de nutrientes e carbono na superfície do solo (Tabelas 3 e 4), uma maior oxigenação e presença de exsudados liberados das raízes podem explicar boa parte destes resultados. O carbono da biomassa microbiana (CBM), por sua vez, não mostrou valores muito diferenciados entre profundidades do solo; nem entre os diferentes plantios. Apesar de existirem diferenças entre os atributos químicos do solo, sob os diferentes plantios, e entre profundidades, estas não são de grande amplitude (Tabelas 3 e 4) o que pode explicar a ausência de diferenças para os valores de CBM encontrados. Mas chama atenção a similaridade entre os resultados dos diferentes plantios e os valores observados que se mostram muito inferiores aos encontrados em outros trabalhos (GAMA-RODRIGUES *et al.*, 1997; GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2005; BARRETO *et al.* 2008, GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2008). Proporcionalmente, a biomassa é a menor fração de C no solo, entretanto constitui uma parte significativa e potencialmente mineralizável do N disponível para as plantas, apresentando rápida ciclagem, respondendo intensamente às flutuações sazonais de umidade e temperatura, ao cultivo e ao manejo de resíduos (GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2005). A idade avançada dos plantios e a ausência de manejo nos mesmos, por longo período, pode talvez ter conduzido a uma estabilização do CBM nos diferentes sítios, apesar das diferenças de estoque e de teores de C na serapilheira e no solo dos diferentes plantios.

A comparação entre os tratamentos (Tabela 6) na profundidade de 0-5 cm, mostra que a maior concentração de NBM foi encontrada no plantio com Imbuía seguido pelos plantios com Castanha, Criptoméria, Eucalipto e Pinus I e os mais baixos valores para os plantios de Pinus II e Araucária. Conforme já observado por Gama-Rodrigues *et al.* (2008), os resultados de NBM mostram esta análise como boa discriminante de mudanças na cobertura vegetal, o que a coloca como técnica eficiente na aferição de dissimilaridades entre coberturas florestais.

Não foram identificadas correlações entre estes resultados e os atributos químicos da serapilheira e do solo. Os únicos dados que poderiam eventualmente explicar os valores de NBM são aqueles relativos à umidade do solo (Tabela 5). Um solo mais seco no plantio do Pinus II explicaria os baixos valores de NMB, mas a umidade por outro lado não poderia

explicar os baixos valores de NBM observados para Araucária. A qualidade da matéria orgânica do solo (MOS) e dos exsudados liberados pelas raízes poderia eventualmente explicar estas diferenças e ser o fator determinante destas diferenças, sendo necessária uma caracterização da estrutura da MOS e da composição dos exsudados para checar esta hipótese.

**TABELA 6:** Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração acumulada (RA) e quociente metabólico ( $qCO_2$ ) do solo na profundidade de 0-5 cm, nos plantios com diferentes espécies florestais

Tratamentos	NBM	CBM	RA	$qCO_2$
	..... $\mu g g^{-1}$ .....			$\mu g g^{-1} h^{-1}$
<b>Profundidade 0-5 cm</b>				
<b>Eucalipto</b>	27,17ab	3,70a	8,36b	2,26ab
<b>Castanha</b>	33,12ab	3,70a	5,69b	1,54b
<b>Criptoméria</b>	32,02ab	3,69a	10,52ab	2,85a
<b>Pinus I</b>	24,83ab	3,71a	7,42b	2,00ab
<b>Imbuía</b>	37,52 <sup>a</sup>	3,69a	7,64b	2,07ab
<b>Pinus II</b>	16,22b	3,70a	15,78 <sup>a</sup>	4,26a
<b>Araucária</b>	17,14ab	3,70a	10,66ab	2,88a
<b>Profundidade 5-10cm</b>				
<b>Eucalipto</b>	11,80b	3,70a	2,88ab	0,78ab
<b>Castanha</b>	11,43b	3,66ab	1,30b	0,35b
<b>Criptoméria</b>	25,25 <sup>a</sup>	3,58b	1,73ab	0,48ab
<b>Pinus I</b>	15,26ab	3,68ab	3,69ab	1,00ab
<b>Imbuía</b>	21,54ab	3,69ab	7,64ab	2,07ab
<b>Pinus II</b>	14,19ab	3,69ab	10,45 <sup>a</sup>	2,83a
<b>Araucária</b>	14,11ab	3,67ab	8,86ab	2,42ab

Letras diferentes diferenciam estatisticamente no teste de Duncan 5% de probabilidade (NBM, CBM, R). Letras diferentes diferenciam estatisticamente entre si no teste de Kruskal-Wallis ( $q CO_2$ )

Na profundidade de 5-10 cm, também foram observados valores diferenciados de NBM entre os diferentes plantios florestais. Em números absolutos, os valores mais elevados foram encontrados nos plantios com Criptoméria e Imbuía, dois entre os três tratamentos com maiores NBM na camada de 0-5 cm. Nas observações de campo, durante as coletas de serapilheira e solo, duas coisas chamaram a atenção nestes sítios: a pouca quantidade de serapilheira nas áreas de Imbuía, sugerindo um material mais suscetível à decomposição e

também, uma espessa malha de raízes no solo do plantio com Criptoméria, fatores talvez associados à disponibilização de N no solo. A determinação do N na biomassa microbiana é de grande importância em ecossistemas florestais, permitindo o monitoramento do nitrogênio durante determinados períodos, estimando, assim, a quantidade do nutriente que poderá ser reabsorvido pelas plantas, melhorando a compreensão do ciclo desse elemento nesses sistemas de plantio, auxiliando o planejamento da adubação nitrogenada para florestas plantadas (GAMA-RODRIGUES, 1997).

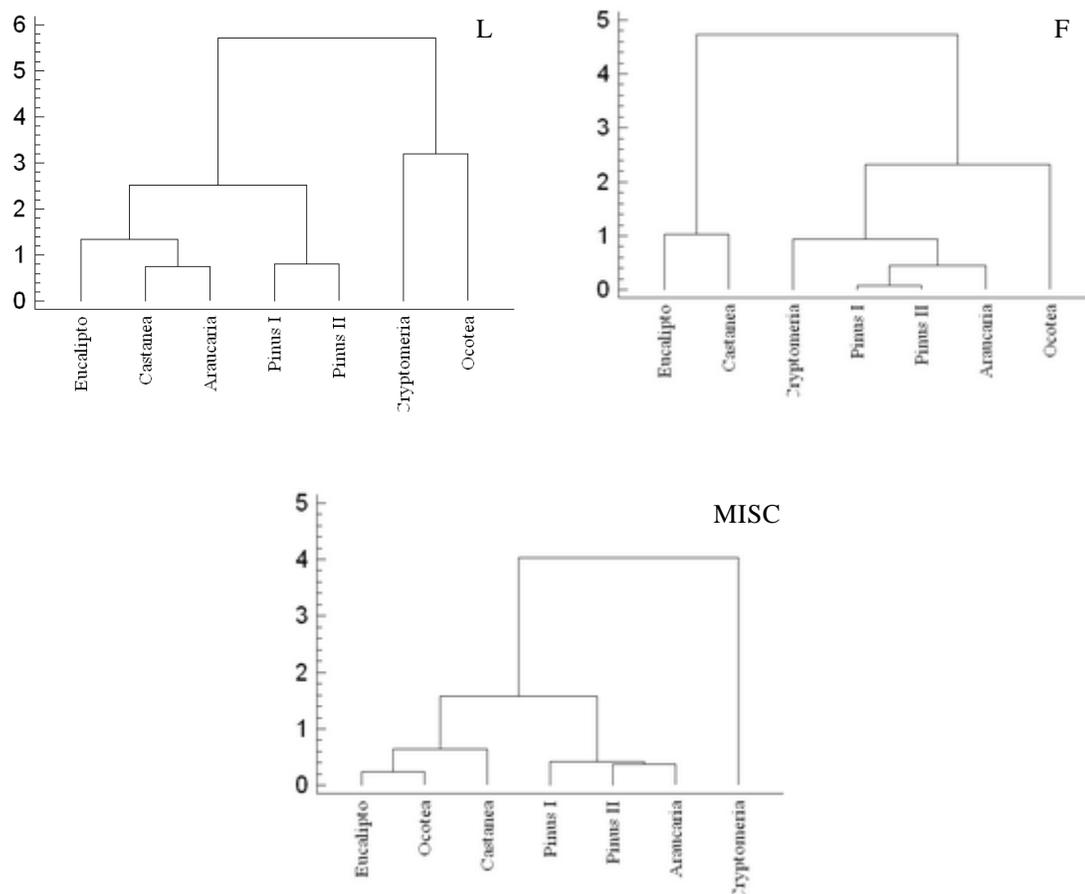
Os valores de respiração (RA) variaram entre tratamentos, em ambas as profundidades, mas não da mesma maneira, com exceção dos plantios de Pinus II e Araucária, onde foram observados os dois maiores valores absolutos em ambas as profundidades. Também não foi identificada correlação entre os valores de respiração e os de NBM. E os valores aqui observados estão bem abaixo da maior parte dos valores de respiração observados por Barreto *et al.* (2008) e Gama-Rodrigues *et al.* (2008), em plantios de Eucalipto, apesar do período de incubação destes trabalhos ser inferior ao usado aqui. Estes baixos valores de RA parecem corroborar os baixos valores de CBM, indicando uma lenta mineralização da MOS nestes sítios.

Segundo Chander e Brookes (1998), altos valores de respiração microbiana podem ser atribuídos a um alto consumo de energia, em consequência da alta reciclagem da comunidade microbiana e, nesse sentido, prediz que, à medida que uma determinada biomassa microbiana se torna mais eficiente, menos C é perdido como CO<sub>2</sub> com a respiração e maior será a fração de C incorporada ao tecido microbiano. No cultivo com a castanha foram encontrados os menores valores de quociente metabólico ( $qCO_2$ ) e os maiores no tratamento com pinus II. Os baixos valores encontrados para o CBM e RA vão de encontro aos de  $qCO_2$  dos respectivos sítios estudados.

O  $qCO_2$  estabelece as relações entre o tamanho e a atividade da biomassa microbiana e as condições do solo, relacionando RA e o CBM, sendo assim, um bom indicador para a qualidade do solo (TUCO e BLUME, 1999). Segundo Anderson e Domsch (1990), o  $qCO_2$  é um sensível indicador dos efeitos dos sistema de cultura na microbiologia do solo, sendo que baixos valores de  $qCO_2$  implicam em maior estabilidade e maturidade do sistema de cultivo (BOEHM e ANDERSON, 1997). Os baixos valores de quociente metabólico, muito menores do que os observados por Behera *et al.* (2003), Baretta *et al.* (2005) e Gama-Rodrigues *et al.* (2008) e , parecem corroborar o “amadurecimento” dos solos em estudo, que seriam resultado do longo período de existência dos plantios e da ausência de manejo nos mesmos.

### 3.6 Agrupamentos dos tratamentos segundo os diferentes atributos da serapilheira e do solo

As análises de agrupamento para a serapilheira foram realizadas separadamente para cada fração estudada, exceto para as Raízes, com base na composição química das diferentes frações (figura 5).



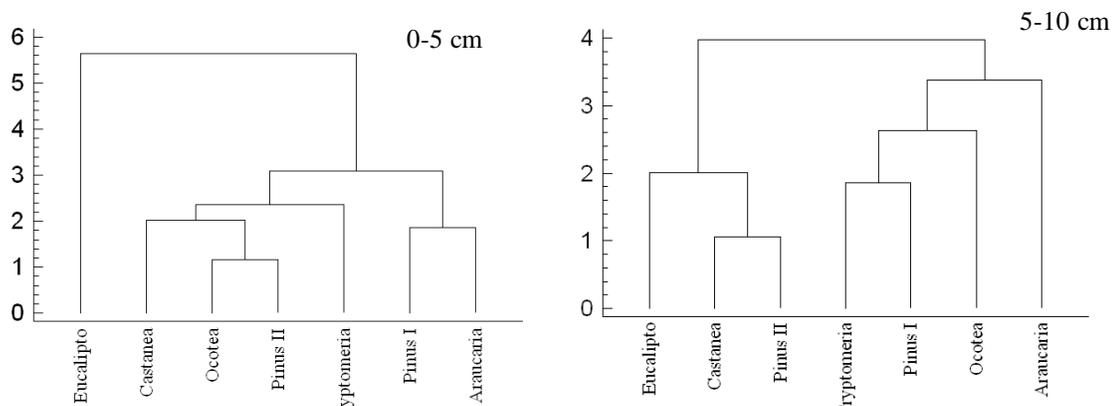
**FIGURA 5:** Análise de agrupamento entre tratamentos pelos elementos químicos em diferentes frações da serapilheira.

No horizonte L houve um agrupamento entre Eucalipto, Castanha e Araucária, outro entre Pinus I e II e outro entre Criptoméria e Imbuía. No horizonte F as quatro espécies coníferas se agruparam, havendo alta correlação entre o Pinus I e II; um segundo agrupamento foi formado entre Eucalipto e Castanha e a Imbuía ficou separada dos demais. Na Miscelânea os agrupamentos são um pouco distintos, um grupo com alta correlação entre Eucalipto e

Imbuía e outro menos significativo com a Castanha; mais um grupo entre Pinus I, Pinus II e Araucária e a Criptoméria ficando separada dos demais grupos.

O que aparece em comum nas três frações da serapilheira é o agrupamento dos Pinus I e II e desses com a Araucária no horizonte F e na Miscelânea (material orgânico mais particulado), indicando semelhanças entre os materiais destas coníferas. A Criptoméria, que também é conífera, aparece sempre separada destas outras espécies. O fator que parece estar contribuindo para esta separação da Criptoméria é o teor de Mn nos tecidos vegetais; em comparação com as demais espécies ele tende a ser mais baixo nos horizontes L e F e mais alto na Miscelânea da Criptoméria (Tabela 2).

Os agrupamentos com base na composição química do solo mineral (profundidades de 0-5 e 5-10 cm) são mostrados na Figura 6.

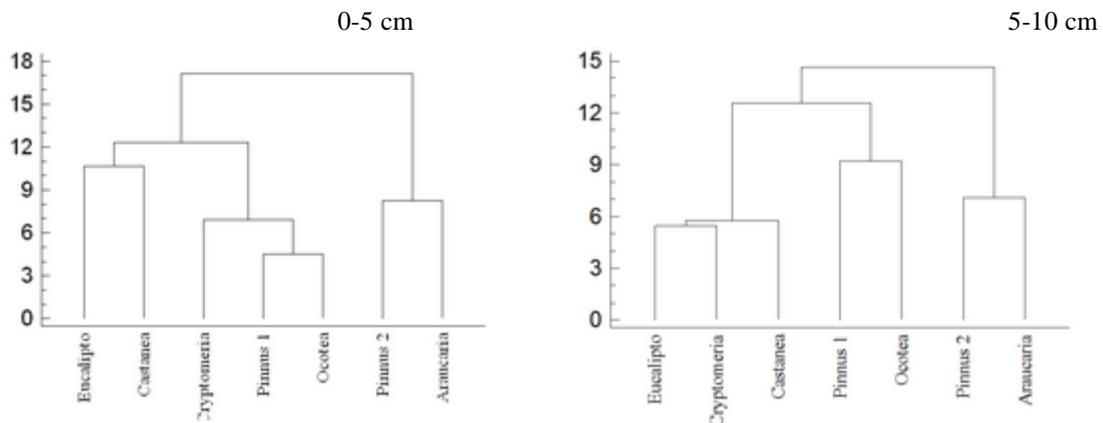


**FIGURA 6:** Análise de agrupamento entre tratamentos pelos elementos químicos, em diferentes profundidades do solo.

Observa-se que para ambas as profundidades os agrupamentos não seguiram as mesmas tendências dos agrupamentos dos elementos químicos dos horizontes orgânicos. Nota-se que houve correlação significativa entre Pinus II e Imbuía e entre Pinus I e Araucária, sendo que Castanha se relacionou com menor significância com Pinus II e Imbuía e o Eucalipto que não se relacionou com as demais espécies na profundidade de 0-5 cm. Na camada inferior do solo, a maior relação foi encontrada entre Castanha e Pinus II e entre Criptoméria e Pinus I, sendo a maior parte das correlações de baixa significância. Essa formação de agrupamentos entre os diferentes plantios deve-se principalmente às baixas

concentrações dos elementos em todos os solos, sobretudo na camada de 5-10 cm, onde o efeito das espécies sobre a composição química do solo é certamente menor.

Os agrupamentos com base nos atributos microbiológicos do solo, para ambas profundidades, são mostrados na Figura 7. As correlações são de baixa significância também, semelhante ao que foi observado para os atributos químicos. Para ambas as profundidades o grupo Pinus II com Araucária se repete e para as demais espécies os agrupamentos se modificam em função da profundidade do solo. E o fator que parece estar gerando estes agrupamentos é o NBM (tabela 6).



**FIGURA 7:** Análise de agrupamento entre tratamentos pelos atributos microbiológicos, em diferentes profundidades do solo.

Estas análises de agrupamentos tiveram por objetivo identificar se haveriam semelhanças nos agrupamentos realizados segundo diferentes atributos da serapilheira e do solo, não havendo intenção de identificar os atributos responsáveis pelos diferentes agrupamentos. Outras análises, como por exemplo, a Análise de Componentes Principais (ACP), são mais indicadas para atingir este objetivo. As figuras 5, 6 e 7 mostram, contudo, que os diferentes atributos da serapilheira e do solo podem gerar diferentes agrupamentos, sendo necessárias análises adicionais para identificar o porquê destas diferenças.

## 4 CONCLUSÕES

A quantidade de fitomassa e também as características morfológicas da serapilheira acumulada no solo mostrou-se influenciada pelas diferentes espécies florestais, assim como a composição química das diferentes frações avaliadas.

As diferenças nos atributos químicos de fertilidade do solo entre os diferentes plantios foram de pequena magnitude e mais expressivas na camada mais superficial do solo mineral.

As formas de nitrogênio inorgânico nos solos mostraram-se mais influenciadas pela cobertura vegetal, mas devido a sua instabilidade no solo outras análises seriam necessárias para checar se os resultados observados se repetem.

A mineralização do nitrogênio do solo mostrou-se influenciada pelas diferentes espécies florestais, sendo identificados diferentes padrões de mineralização nos solos, podendo esta avaliação ser usada como indicadora de mudanças no solo associadas a diferentes coberturas vegetais.

Entre os atributos microbiológicos avaliados, o NBM se mostrou melhor discriminante com relação aos efeitos das espécies cultivadas sobre a biomassa microbiana do solo.

Os baixos valores de CBM, independentemente da espécies cultivadas, podem estar indicando uma estabilização da interação solo-biota, resultante do longo período de plantio e da ausência de manejo na cobertura vegetal.

As análises de agrupamento geraram diferentes “clusters”, dependendo da matriz de dados usadas, não havendo uma homogeneidade no efeito das espécies sobre os diferentes atributos avaliados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FLORESTA PLANTADA. Anuário estatístico da ABRAF 2010 ano base 2009, ABRAF. Brasília, 2010.

ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. Application of eco-physiological quotients ( $qCO_2$  and  $qD$ ) on microbial biomass from soils of different cropping histories. *Soil Biol. Biochem.*, v. 25, p. 251-255, 1990.

ANDERSON, J. P. E. & DOMSCH, K. H. The metabolic quotient ( $qCO_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol. Biochem.*, v. 25, p. 393-395, 1993.

APHA, A. E. G.; AWWA, A. D. E.; WEF, L. S. C. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington D. C.; American Public Health Association, 19 ed., 1995.

ARUNACHALAM, K.; ARUNACHALAM, A.; TRIPATHI, R. S.; PANDEY, H. N. Dynamics of microbial population during the aggradation phase of a selectively logged subtropical humid forest in north-east India. *Trop. Ecol.*, 38:333-341, 1997.

BACKES, A.; FERNANDES, A. V.; ZENI, D. J. Produção de folheto em uma floresta com *Araucaria angustifolia* no sul do Brasil. *Revista de Pesquisas – Botânica*, v. 50, p. 97-117, 2000.

BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; FIGUEIREDO, S.R.; KLAUBERG-FILHO, O. Efeito do monocultivo de *Pinus* e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul-Catarinense. *R. Bras. Ci. Solo*, v.29, p.715-724, 2005.

BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F.; FONSECA, S. Atividade microbiana, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de Eucalipto, em sequência de idades. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 32, p. 611-619, 2008.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F., eds. *Relação solo-eucalipto*. Viçosa, Folha de Viçosa. p.127-186, 1990.

BEHERA, N. & SAHANI, U. Soil microbial biomass and activity in response to *Eucalyptus* plantation and natural regeneration on tropical soil. *Forest Ecology and Management*, v.174, p.1-11, 2003.

BOEHM, M.M. & ANDERSON, D.W. A landscape-scale study of soil quality in three prairie farming systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 61, n.4, p. 1147-1159, 1997.

BORÉM, R. A. T. & RAMOS, D. P. Variação estacional e topográfica de nutrientes na serapilheira de um fragmento de mata atlântica. *Cerne*, Lavras, v. 8, n. 2, p. 042-059, 2002.

BRITEZ, R. M.; REISSMANN, C.B.; SILVA, S. M.; SANTOS FILHO. Deposição estacional de serapilheira e macronutrientes em uma floresta de araucária, São Mateus do, PR. In:

Congresso Nacional sobre Essências Nativas, 2., 1992, São Paulo: Revista do Instituto Florestal, v. 4, p. 766-772, 1992

BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in the soil. *Soil Biology & Biochemistry*, v.17, n.6, p.837-842, 1985.

BRUN, J. E. Matéria orgânica do solo em plantios de *Pinus taeda* e *P. elliottii* em duas regiões do Rio Grande do Sul. Santa Maria, Tese. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

CARLYLE, J. C. Nitrogen cycling in forested ecosystems. *For.Abstract.*, v. 47, p. 307-336, 1986.

CARLYLE, J. C.; LOWTHER, J. R.; SMETHURST, P. J.; NAMBIAR, E. K. S. Influence of chemical properties on nitrogen mineralization and nitrification in podzolized sands. Implications for forest management. *Aust. J. Soil Res.*, v. 28, p. 981-1000, 1990.

CHAER, G. M. & TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.1381-1396, 2007.

CHANDER, K. & BROOKES, P. C. Residual effects of zinc, copper and nickel in sewage sludge on microbial biomass in a sandy loam. *Soil Biology and Biochemistry*, v.25, n.9, p. 1231-1239, 1993.

CHAVES, R. Q & CORRÊA, G. F. Macronutrientes no sistema solo-*Pinus caribaea* Morelet em plantios apresentando amarelecimento das acículas e morte de plantas. *Revista Árvore*, v.29, p.691-700, 2005.

CORRÊA, D. R. Horizontes orgânicos sob floresta ombrófila densa no litoral paranaense. Curitiba, Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, 2007.

DE-POLLI, H & GUERRA, J.G.M. Biomassa microbiana: perspectiva para o uso e manejo do solo. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E .F.; FONTES, M. P. F. O Solo nos Grandes Domínios Morfoclimáticos do Brasil e o Desenvolvimento Sustentado. Viçosa: SBCS. p. 551-56, 1996.

DE-POLLI, H. & GUERRA, J.G.M. C, N e P na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G.de A.; CAMARGO, F. A.de O. (Eds.) Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, p. 389-412, 1999.

DICKOW, K. M. C., MARQUES, R.; PINTO, C. B. lixiviação de nutrientes da serapilheira recém depositada em sucessão ecológica na Floresta Atlântica, litoral do Paraná. *FLORESTA*, Curitiba, PR, v. 39, n. 1, p. 145-156, jan./mar. 2009.

- DORAN, J. W. & ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15:3-11, 2000.
- EATON, W. D. Microbial and nutrient activity in soils from three different subtropical forest habitats in Belize, Central America, before and during the transition from dry to wet season. *Appl. Soil Ecol.*, v. 16, pg. 219-227, 2001.
- FERREIRA, A. S.; CAMARGO F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 23, p. 991-996, 1999.
- FONSECA, S.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; COSTA, L. M.; LEAL, P. G. L.; NEVES, J. C. L. Alterações em um Latossolo sob eucalipto, mata natural e pastagem. I. Propriedades físicas e químicas. *Revista Árvore*, v.17, p.271-288, 1993.
- GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa-C Microbiana de Solos de Itaguaí: Comparação entre os Métodos da Fumigação-Incubação e Fumigação-Extração. Dissertação. Itaguaí, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 108p, 1992.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais *R. Bras. Ci. Solo*, v. 21, p. 361-365, 1997.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 29, pg. 393-901, 2005.
- GAMA-RODRIGUES, E. F. da; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; PAULINO, G. M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1521-1530, 2008.
- GARAY, I.; KINDEL, A.; CARNEIRO, R.; FRANCO, A. A.; BARROS, E.; ABBADIE, L. Comparação da matéria orgânica e de outros atributos do solo entre plantações de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 705-712, 2003.
- GONÇALVES, J. L. M.; POGGIANI, F.; STAPE, J. L.; SERRANO, M. I. P.; MELLO, S. L. M.; MENDES, K. C. F. S.; BENTIVINHA, S. R. P.; OLIVEIRA, L. E. G. Efeito de práticas de cultivo mínimo e intensivo do solo sobre a ciclagem de nutrientes, fertilidade do solo, configuração do sistema radicular e nutrição mineral de povoamentos de *Eucalyptus grandis*. Piracicaba, 1997. 83p. (Relatório para a FAPESP, processo no 1994/4248-7).
- GONÇALVES, J. L. M.; MENDES, K. C. F. S.; SASAKI, C. M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do Estado de São Paulo. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 25, p. 601-616, 2001.
- GIDDENS, K. M.; PARFITT, R. L.; PERCIVAL, H. J. Comparison of some soil properties under *Pinus radiata* and improved pasture. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v. 40, p. 409-416, 1997.

- HEINZMANN, F.X.; MIYAZAVA, M.; PAVAN, M.A. Determinação de nitrato por espectrofotometria de absorção ultravioleta. R. Bras. Ci. Solo, v.8, p.159-163, 1984.
- HERBERT, M.A. & SCHÖNAU, A.P.G. Fertilising commercial forest species in Southern Africa: research progress and problems. Part 2. South Afr. For. J., v. 152. p.: 34-42, 1990.
- JABIOL, B., BRETHERS, A., PONGE, J.F., TOUTAIN, F., BRUN, J.J., 1995.- L'humus sous toutes ses formes. ENGREF, Nancy, 60 photographies, 64 p.
- JENKINSON, D. S. & LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, N., eds., Soil Biol. Biochem., v. 5, p. 415-471, 1981.
- JUSSY, J. H. Minéralisation de l'azote, nitrification et prélèvement racinaire dans différents écosystèmes forestiers sur sol acide. Effets de l'essence, du stade de développement du peuplement et de l'usage ancien des sols. Thèse du grade de Docteur en Sciences de La Terre, l'Université Henri Poincaré, Nancy-I, p. 161, 1998.
- LILIENFEIN, J.; WILCKE, W.; AYARZA, M.A.; VILELA, L.; LIMA, S.D.C.; ZECH, W. Soil acidification in *Pinus caribaea* forests on Brazilian savanna Oxisols. Forest Ecology and Management, v. 128, p. 145-157, 2000.
- LUIZÃO, R. C. C.; BONDE, T. A.; ROSSWALL, T. Seasonal variation of soil microbial biomass – the effects of clearfelling a tropical rainforest and establishment of pasture in the Central Amazon. Soil Biol. Biochem., v. 8, pg. 805-813, 1992.
- KARLEN, D. L.; WOLLENHAUPT, N. C.; ERBACH, D. C.; BERRY, E. C.; SWAN, J. B.; EASH, N. S.; JORDAHL, J. L. Crop residue effects on soil quality following 10 years of no-till corn. Soil Tillage Res. v. 31, p.149-167, 1994.
- KOEHLER, C. W. Variação estacional da deposição de serapilheira e de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* na região de Ponta Grossa-PR. Tese. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, 1989.
- MAACK, R. Geografia física do Estado do Paraná. 3. ed. – Curitiba: Imprensa Oficial, 2002. 440p.
- MARQUES, R.; RANGER, J.; GELHAYE, D.; POLLIER, B.; PONETTE, Q.; GOEDERT, O. Comparison of chemical composition of soil solutions collected by zero-tension plate lysimeters with those from ceramic-cup lysimeters in a forest soil. Eur. J. Soil Sci. 47: 407-417, 1996.
- MARQUES, R. & MOTTA, A. C. V. Análise química de solo para fins de fertilidade. In: Marcelo Ricardo de Lima. (Org.). Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas. 2 ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, p. 82-102, 2003.
- MARTINS, A. P. L.; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. Scientia Agraria, v.8, n.1, p.1-17, 2007.
- MCCUNE, B. & GRACE, J. B. Analysis of Ecological Communities. MJM, Oregon USA. 300p, 2002.

- MONTEIRO, M. T. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana: Indicadores a qualidade do solo e da serapilheira em sítios florestais do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes, Dissertação, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 75p, 2001.
- MORAIS, F.A. Perfil de distribuição de nutrientes em diferentes sistemas de uso e manejo do solo na região de Iraí de Minas, MG. 1999. 49 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2001.
- MULVANEY, R. L. Nitrogen inorganic forms in: Methods of soil analysis part 3, chemical methods, books series number 5. Madison, USA. Soil Science Society of America, number 5, p. 1123, 1996.
- NOBLE, A. D. & RANDALL, P. J. The impact of trees and fodder shrubs on soil acidification. Barton: Rural Industries Research and Development Corporation, 2005.
- NORMAN, R. J. & STUCKI, J. W. The determination of nitrate and nitrite in soil extracts ultraviolet spectrophotometry. Soil Science Society of America Journal. n. 45, p. 347-353, 1981.
- PIRES, L.A.; BRITZ, R.M.de; MARTEL, G.; PAGANO, S.N. Produção e acúmulo e decomposição da serapilheira em uma restinga da Ilha do Mel, Paranaguá, PR, Brasil. Acta bot. bras., v.20, n.1, p.173-184, 2006.
- POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. Soil Biology & Biochemistry, Elmsford, v.19, n.2, p.159-164, 1987.
- REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F., eds. Relação solo-eucalipto. Viçosa, Folha de Viçosa, p. 265-301, 1990.
- REISSMANN, C. B. Morfologia dos horizontes de húmus em florestas de coníferas exóticas no Sul do Brasil. Revista do Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, v. 5, p.11-16, 1983.
- SAGGAR, S.; HEDLEY, C. B.; SALT, G. J. Soil microbial biomass, metabolic quotient, and carbon and nitrogen mineralisation in 25-year-old *Pinus radiata* agroforestry regimes. Australian Journal of Soil Research, v.39, p. 491-504, 2001.
- SCHEER, M. B. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em um trecho de floresta ombrófila densa aluvial em regeneração, Guaraqueçaba (PR). FLORESTA, v. 38, n. 2, abr./jun. 2008.
- SHIMIZU, J. Y. & MAIOCHI, R. A. Cryptoméria como espécie alternativa para produção de madeira no Paraná. Pesq. Flor. bras., Colombo, n. 54, p. 63-70, 2007.

SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; HERNANDES, J. I.; KÖNIG, F. G. Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no município de Pinhal Grande-RS. R. Árvore, v. 28, n. 01, p. 29-37. 2004.

SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M.; WITSCHORECK, R. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes em área de segunda rotação com floresta de *Pinus taeda* L. no município de Cambará do Sul, RS. Ciências. Florestais, Santa Maria, v. 18, n. 4, out.-dez., 2008.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo. Comunicado Técnico, EMBRAPA, n. 98, 2007a.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal e do quociente metabólico do solo. Comunicado Técnico, EMBRAPA, n. 99, 2007b.

SILVA, L. G.; MENDES, I. C.; REIS Jr, F. B.; FERNANDES, M. F.; MELO, J. T.; KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.44, n.6, p.613-620, jun. 2009.

SMITH, J. L. & PAUL, E. A. The significance of soil microbial biomass estimations. p. 357-396. In: BOLLAG, J. M.; STOTZKY, G. Soil Biochemistry. v. 6. Marcel Dekker, New York. p. 367 1990.

SOARES, R. V. & BATISTA, A. C. Meteorologia e Climatologia Florestal. UFPR Curitiba, 2004. 195 p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Núcleo Regional Sul. Comissão de Química e de Fertilidade do Solo - RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre, 400p, 2004.

SOUZA, A. J. & DAVIDE, A. C. Deposição de serapilheira e nutrientes em uma mata não mineralizada e em plantações de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e de eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineralização de bauxita. Cerne, v. 7, n. 001, p. 101-114, 2001.

SPOSITO, G. & ZABEL, A. The assessment of soil quality. Geoderma, Amsterdam, v.114, n.3/4, p. 143-144, 2003.

STANFORD, G. & SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potential of soil. Proc. Soil Sci. Soc. Am. J., 36:465-472, 1972.

THOMPSON, M. & VITOUSEK, P. M. Asymbiotic nitrogen fixation and litter decomposition on a long soil-age gradient in Hawaiian montane rain forest. Biotropica, v. 29, n. 2, p. 134-144, 1997.

TURCO, R. F. & BLUME, E. Indicators of soil quality. In: SIQUEIRA, J. O; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. G. R.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Org.). Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Viçosa: SBCS; Lavras: UFLA/DCS, p. 529-549, 1999.

VALE, F. R.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N. F.; SANT' ANA, R. Efeito do alumínio sobre a cinética de absorção de amônio e nitrato em raízes intactas de *Eucalyptus alba*. Revista Árvore, v. 8, n.2, p. 123-132, 1984.

VAN BRUGGEN A. H. C. & SEMENOV, A. M. In search of Biological Indicators for Soil Health and Disease suppression. Applied Soil Ecology. v. 15, n. 1, pg. 13-24, 2000.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biol. Biochem., v.19, p.703-707, 1987.

VIEIRA, M. & SCHUMACHER, M. V. Variação mensal da deposição de serapilheira em povoamento de *Pinus taeda* L. em área de campo nativo em Cambará do Sul-RS. Revista Árvore, v.34, n.3, p.487-494, 2010.

VOLKOFF, B.; CERRI, C. C.; MELFI, J. A. Húmus e mineralogia dos horizontes superficiais de três solos de campo da altitude dos Estados de Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina. R. Bras. Ci. Solo, v. 8, pg. 277-283, 1984.

ZAIA, F. C. & GAMA-RODRIGUES, A. C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na Região Norte-Fluminense. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, p.843-852, 2004.

ZAR, J. H. Biostatistical analysis. Prentice-Hall, New Jarsey, p. 666, 1999.

ZILLI, J. É.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R.; COUTINHO H. L. DA C.; NEVES, M. C. P. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. Caderno de Ciência & Tecnologia, v. 20, pg. 391-411, 2003.