

**IVANA MARIA ZENI DE SOUZA**

**CARBONO E NITROGÊNIO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO  
EM ÁREAS REFLORESTADAS COMPARADAS AO CAMPO E MATA  
NATIVA NO PLANALTO DOS CAMPOS GERAIS, SC**

**LAGES**

**2005**

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV**  
**DEPARTAMENTO DE SOLOS – DS**  
**PROGRAMA DE MESTRADO EM AGRONOMIA**  
**CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**IVANA MARIA ZENI DE SOUZA**

**CARBONO E NITROGÊNIO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO**  
**EM ÁREAS REFLORESTADAS COMPARADAS AO CAMPO E MATA**  
**NATIVA NO PLANALTO DOS CAMPOS GERAIS, SC**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Santa Catarina - Centro de Ciências Agroveterinárias como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências do Solo.

**Orientador:** Prof. Dr. Osmar Klauberg Filho

**LAGES (SC)**

**2005**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecer é repartir o sucesso com aqueles que foram realmente os responsáveis por este trabalho.

A Deus, que possibilitou minha chegada até aqui.

À Florestal Gateados, pela concessão da área experimental e pelo apoio nos trabalhos de campo, em especial aos Srs. Valdir Diehl Ribeiro e Élon Ribeiro Sousa, e aos funcionários da Empresa.

À minha família, em especial ao meu marido, pelos momentos ausentes.

Ao orientador Dr. Osmar Klauberg Filho, pela oportunidade, ajuda e carinho.

Ao Prof. Dr. Jaime Antonio Almeida, por seu apoio, fundamental ao desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra, pela atenção, ajuda, compreensão e carinho.

Aos bolsistas Lucélia Cabral e Denice Almeida.

# **CARBONO E NITROGÊNIO DA BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO EM ÁREAS REFLORESTADAS COMPARADAS AO CAMPO E MATA NATIVA NO PLANALTO DOS CAMPOS GERAIS, SC**

## **RESUMO**

**Autora:** Bióloga Ivana Maria Zeni de Souza

**Orientador:** Prof. Dr. Osmar Klauberg Filho

O trabalho foi conduzido em Campo Belo do Sul, SC, num Nitossolo Háplico, originado de riodacito, na profundidade de 0-10 cm de solo. O objetivo deste estudo foi analisar os efeitos dos sistemas de manejo sobre a biomassa microbiana e sua atividade em relações com o C e N do solo. Os sistemas de uso de terra analisados foram: Campo Nativo (CN); Floresta de Pinus (*Pinus taeda*) L. com 12 anos (P12); Floresta de Pinus com 20 anos (P20); Reflorestamento de araucária com 18 anos (FA18); e Mata Nativa de araucária (MA). As amostragens foram realizadas em três épocas distintas: julho e outubro de 2003 e fevereiro de 2004, para a quantificação de teores de carbono da biomassa microbiana (CBM), pelo processo de oxidação úmica após fumigação por 24 horas, carbono orgânico total (COT), através da análise química com oxidação sulfocrômica úmica, nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), nitrogênio total (NT), ambas através da destilação e digestão em duas épocas, outubro de 2003 e fevereiro de 2004, relação CBM:COT, relação NBM:NT, respiração a campo determinada mensalmente, juntamente com a umidade e temperatura do solo. Para a avaliação de CBM e NBM foi utilizado o método da fumigação-extração. A determinação do CBM foi realizada por titulação e NBM por pré-digestão e destilação conforme o método Kjeldahl. A respiração do solo variou sazonalmente em todas as formas de uso do solo. Os teores de C-orgânico total não sofreram alterações entre o campo nativo e os reflorestamentos de araucárias e pinus. A mata nativa, entretanto, apresentou os maiores teores de COT e o N total foi menor nos reflorestamentos em relação as áreas de mata e campo nativo. O C e N da biomassa microbiana foram menores nos reflorestamentos de pinus. As épocas de amostragem influenciaram os teores de C e N totais e de C e N microbianos nos solos, que apresentaram os maiores valores no inverno. A respiração do solo apresentou variação sazonal diferenciada em cada forma de uso, ocorrendo as menores taxas de mineralização. Nas áreas de reflorestamento o campo e a mata nativa apresentaram maior respiração do solo no verão.

**Palavras-chave:** Biomassa microbiana. Carbono orgânico. Nitrogênio. Respiração do solo. *Araucária angustifolia*. *Pinus elliotti*.

# **CARBON AND NITROGEN SOIL MICROBIAL BIOMASS IN PINUS AND NATIVE FORESTS AND NATURAL GRASSLAND IN PLANALTO DOS CAMPOS GERAIS, SANTA CATARINA STATE – BRAZIL**

## **ABSTRACT**

**Author:** Ivana Maria Zeni de Souza, Biologist

**Adviser:** Prof. Dr. Osmar Klauberg Filho

The study was conducted in Campo Belo do Sul, SC, in a Haplic Nitisol, originated of rhyodacite, in a depth of 0-10 cm of ground. The aim of this study was analyse the effects of handling systems on microbial biomass and its activities relationed with ground's Carbon and Nitrogen. The systems of use ground analised were: Native Field (FN); Pinus's Forest (*Pinus taeda*) with 12 years old (P12); Pinus's Forest with 20 years old (P20); Reforestation of araucaria with 18 years old (AF18); and Native Wood of araucaria (AM). Samplings were taken during three different times: June and October of 2003 and February of 2004, for quantification of microbial biomass's carbon texts (MBC), total organic carbon (TOC), nitrogen of biomass microbial (MBN), total nitrogen (TN) in two different times, October of 2003 and February of 2004, relation MBC:TOC, relation MBN:TN, breath at field determined monthly, with moistness and temperature of the ground. For the evaluation of MBC and MBN was used the fumigation-extration method. Determination of MBC were done by titration and the MBC and NBM was assessed by pre-digestion and method e destillation following Kjeldahl's method. Ground's breath varied seasonally in all the ways of ground's use. There were no changes in the texts of total organic Carbon either in the Native Field nor in the reforestation of araucarias and pinus. However, Native Field presented the biggest texts of TOC and total Nitrogen was lesser in the reforetation than in the Native Field and Woods. C and N of microbial biomass were lesser in the pinus's reforestation. The sampling times had influenced the texts of total C and N and also to the C and N microbial grounds, that presented bigger values during the winter. The Breath of the ground presented seasonal variation in each form of use, occuring the lesser losses fo C-CO<sub>2</sub> in the areas of reforestation of *Pinus taeda*. The Native Field and Woods presented bigger ones during the summer. The biological attributes had been presented as good pointers of alterations in the C and N of the ground in function of its use and handling.

**Keywords:** Biomass microbial. Organic Carbon. Nitrogen. Respiration of ground. *Araucaria angustifolia*. *Pinus elliotti*.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** -Área de Campo Nativo e reflorestamento de *Pinus* - 12 anos, localizada em Campo Belo do Sul – SC. (a) Vista geral de campo nativo; (b) interior de reflorestamento de *Pinus* - 12 anos. ....18
- Figura 2** -Área de Reflorestamento de *Pinus* 20 anos e Mata de Araucária. (a) Interior de reflorestamento de *Pinus* - 20 anos; (b) Interior de Reflorestamento de Araucária (*Festuca*)..18
- Figura 3** -Área de mata nativa estudada, localizada na Florestal Gateados, Campo Belo, SC. (a) Vista geral; (b) Detalhe do interior da mata. ....18
- Figura 4** -Detalhe de um transecto de amostragem em área de monocultivo de *Pinus* contendo as armadilhas usadas para determinação da respiração do solo nos pontos de amostragem. ...19
- Figura 5** -Detalhe das armadilhas utilizadas para determinação da respiração do solo à campo; (a) calha contendo água na canaleta, copo plástico e frasco com solução de NaOH 0,5 M no seu interior. (b) colocação da solução de BaCl<sub>2</sub>, 24 horas após a montagem das armadilhas. ....23
- Figura 6** -Respiração do solo (efluxo de CO<sub>2</sub>) e sua variação sazonal nas áreas de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e *pinus*, de julho de 2003 a junho de 2004. Médias seguidas da mesma letra nas barras não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5% de significância. ....25
- Figura 7** -Respiração do solo (efluxo de CO<sub>2</sub>) e sua variação entre as áreas de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e *pinus*, nos meses de efeito significativo ( $P < 0,01$ ). Médias seguidas da mesma letra nas barras não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5% de significância. \* Respiração do solo acumulada em 12 meses (julho de 2003 a junho de 2004). ....27
- Figura 8** -Umidade do solo e sua variação sazonal nas áreas de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e *pinus*, de julho de 2003 a junho de 2004. Médias seguidas da mesma letra nas barras não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância. ....28
- Figura 9** -Temperatura do solo e sua variação sazonal nas áreas de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e *pinus*, de julho de 2003 a junho de 2004. Médias seguidas da mesma letra nas barras não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância. ....29

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Umidade do solo na camada de 0-10 cm, em área de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e pinus em três épocas de amostragem, no Planalto dos Campos Gerais, SC. ....30
- Tabela 2** - Temperatura do solo na camada de 0-10 cm, em área de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e pinus em três épocas de amostragem no Planalto dos Campos Gerais, SC. ....30
- Tabela 3** - Carbono orgânico total do solo na camada 0-10cm, em área de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e pinus em três épocas de amostragem no Planalto dos Campos Gerais, SC. ....33
- Tabela 4** - Carbono da biomassa microbiana na camada de solo de 0-10 cm, em área de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e pinus em três épocas de amostragem no Planalto dos Campos Gerais, SC. ....34
- Tabela 5** - Nitrogênio total do solo na camada 0-10 cm, em área de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e pinus em duas épocas de amostragem no Planalto dos Campos Gerais, SC. ....38
- Tabela 6** - Nitrogênio da biomassa microbiana do solo na camada 0-10cm, em área de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e pinus em duas épocas de amostragem no Planalto dos Campos Gerais, SC. ....39
- Tabela 7** - Relação entre carbono da biomassa microbiana e carbono orgânico total do solo (CBM:COT) na camada 0-10cm, em área de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e pinus em três épocas de amostragem no Planalto dos Campos Gerais, SC. ....41
- Tabela 8** - Relação entre o nitrogênio da biomassa microbiana e o nitrogênio total do solo (NBM:NT) na camada 0-10cm, em área de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e pinus em duas épocas de amostragem no Planalto dos Campos Gerais, SC. ....42

# SUMÁRIO

<b><u>1 INTRODUÇÃO</u></b> .....	<b>8</b>
<u>1.1 HIPÓTESE</u> .....	9
<u>1.2 OBJETIVOS</u> .....	10
<b><u>2 REVISÃO DE LITERATURA</u></b> .....	<b>1</b>
<u>2.1. VEGETAÇÃO E USO DO SOLO</u> .....	1
<u>2.2.1 Campo Nativo</u> .....	3
<u>2.2.2 Matas de <i>Pinus elliottii</i> (Engelm)</u> .....	4
<u>2.2.3 Reflorestamento (<i>Pinus</i> e <i>Araucária</i>)</u> .....	5
<u>2.3 ATRIBUTOS BIOLÓGICOS E MICROBIANOS DO SOLO</u> .....	7
<u>2.3.1 Contribuição para a qualidade do solo</u> .....	7
<u>2.3.2 Diversidade e biomassa</u> .....	8
<u>2.3.3 Dinâmica do carbono e relação com a microbiota</u> .....	10
<u>2.3.4 Carbono microbiano</u> .....	11
<u>2.3.5 Nitrogênio microbiano e N total</u> .....	12
<b><u>3 MATERIAIS E MÉTODOS</u></b> .....	<b>16</b>
<u>3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL</u> .....	16
<u>3.2. TRATAMENTOS E HISTÓRICO DAS ÁREAS</u> .....	17
<u>3.1 AMOSTRAGENS E AVALIAÇÕES</u> .....	19
<b><u>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</u></b> .....	<b>24</b>
<u>4.1 RESPIRAÇÃO DO SOLO</u> .....	24
<u>4.2 UMIDADE E TEMPERATURA DO SOLO NOS PERÍODOS DE DETERMINAÇÃO DE FRACÇÕES DE C E N NO SOLO</u> .....	29
<u>4.3 CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) E CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA (CBM) DO SOLO</u> .....	31
<b><u>5 CONCLUSÕES</u></b> .....	<b>44</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O Planalto dos Campos Gerais, em Santa Catarina, vem se destacando no cenário nacional em razão do plantio de diferentes espécies florestais, o *Pinus elliottii* (Engelm) e *taeda*, para produção de madeira, celulose e para a indústria moveleira. A opção pelo *Pinus* deve-se, entre outros fatores, às condições edafoclimáticas da região, que permitem o rápido desenvolvimento da espécie. Em menor escala, encontram-se, também, na região, algumas áreas de reflorestamento de *Araucaria angustifolia* (Bertol) Kuntze. O número reduzido desta espécie deve-se ao seu crescimento mais lento e às necessidades em termos de profundidade e fertilidade do solo, características exigidas pela *Araucária*.

A quantidade de reflorestamentos aumentou consideravelmente nos últimos anos no Planalto dos Campos Gerais, ocasionando a substituição de extensas áreas de matas e de campos nativos ou naturalizados por plantações de *Pinus*. As conseqüências desta mudança no uso dos solos sobre a sua qualidade e a conservação do ambiente ainda são pouco conhecidas. Neste contexto, a avaliação de aspectos relacionados à dinâmica do C e N no solo, especialmente sua compartimentalização e ciclagem assume papel de destaque quando se pretende estudar alterações na qualidade do solo. Os atributos microbiológicos constituem indicadores importantes da qualidade do solo, em razão de sua versatilidade e rápida resposta

às mudanças e alterações. Entretanto, somente nas últimas décadas passaram a receber maior atenção dos pesquisadores.

A biomassa microbiana e os processos que desempenha no solo são utilizados como indicadores do estado e das mudanças da matéria orgânica total do solo. A biomassa microbiana constitui a parte viva da matéria orgânica do solo e corresponde à fração de maior atividade, controlando funções-chaves como a decomposição e acúmulo de matéria orgânica, assim como as transformações envolvendo nutrientes minerais. Além disso, em alguns ecossistemas a biomassa microbiana representa reserva considerável de nutrientes, com destaque para C, N e P. Mudanças graduais e pequenas na matéria orgânica do solo podem ser difíceis de monitorar e detectar em curto prazo, entretanto, mudanças significativas nos teores de C, N ou P da biomassa microbiana e na sua atividade podem ser observadas muito antes que alterações na matéria orgânica possam ser notadas, possibilitando a adoção de medidas de correção antes que a perda da qualidade do solo seja mais severa.

## **1.1 Hipótese**

As modificações no uso do solo podem afetar seu equilíbrio ecológico, alterando a biomassa microbiana e os teores de C e N nela contidos, com consequência na ciclagem de nutrientes e estoque destes no solo.

## 1.2 Objetivos

O presente estudo tem por objetivo geral estudar a dinâmica do C e N microbiano e do C orgânico e N total no solo e as perdas de C ocasionadas pela respiração do solo no período de um ano, em um Nitossolo Háptico do Planalto dos Campos Gerais, SC, em áreas de monocultivo de *Pinus* e *Araucária*, tendo como sistemas de comparação uma mata e um campo nativo. Assim, os objetivos específicos são:

- Avaliar a evolução de CO<sub>2</sub> (respiração) do solo no período de um ano nos reflorestamentos e sistemas naturais (mata e campo nativo);
- Avaliar os teores de C e N na biomassa microbiana e total no solo, nos reflorestamentos e sistemas de comparação, em diferentes épocas do ano.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Vegetação e uso do solo**

A região sul do Brasil possui extensa área coberta por campos nativos de pastejo. Os campos nativos são cobertos por uma vegetação rasteira constituída por gramíneas herbáceas e pequenos arbustos, caracterizando-se como excelente pastagem natural. Estas áreas apresentam variações que se associam às características físicas locais como clima, solo e relevo (MORAES, 2003). Em Santa Catarina, na região do Planalto Sul, ainda é possível encontrar remanescentes de campos nativos, mantidos como locais de pastagens para o gado. A tendência, porém, é de que estas áreas sejam reduzidas conforme aumenta a demanda por novas áreas de reflorestamentos.

O processo de reflorestamento iniciou-se na Alemanha em 1368, quando, nos arredores de Nuremberg, foram feitos os primeiros plantios artificiais de pinheiros, cedros e abetos. Mais tarde, por volta de 1750, este processo foi adotado nos Estados Unidos. A França implanta o sistema de reflorestamentos a partir do século XIX. No Brasil, os primeiros reflorestamentos de que se tem notícia datam de 1909 e, um ano mais tarde, o plantio de eucalipto foi feito no Horto Florestal da Companhia Paulista de Estrada de Ferro, localizada na cidade de Rio Claro, São Paulo (GALETI, 1973).

As florestas plantadas no Brasil representam algo em torno de 5,5 milhões de hectares, com cerca de 550 mil destes, localizados em Santa Catarina. Aproximadamente 90% da área

reflorestada, em Santa Catarina, constitui-se por plantio de *Pinus* (SIEGA, 2005). Segundo dados do Ministério do Meio Ambiente (apud SIEGA, 2005), o estado possui atualmente cerca de 17% de seu território coberto por mata atlântica nas diversas formas de remanescentes caracterizando-se como o mais alto índice entre os estados da Região Sul.

Na região do Planalto Sul Catarinense, estima-se que as florestas plantadas ocupam cerca de 226 mil hectares. Deste total, as formas de cultivos principais correspondem ao *Pinus*, basicamente *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, os quais são plantados na densidade de 2.000 a 2.600 árvores por hectare. Estes recebem cerca de dois a cinco desbastes até o corte final, dependendo da utilidade e o uso da madeira (VALERIE; REISSMANN; SANTOS FILHO, 1989).

Por ordem de quantidade de hectares reflorestados, se destacam o município de Otacílio Costa, com cerca de 37 mil hectares; Ponte Alta, com aproximadamente 8,8 mil hectares (8,6% da área total plantada). Seguem-se Lages, Campo Belo do Sul e Palmeira, todos com mais de 7 mil hectares de reflorestamento cada. Os municípios de Bocaina do Sul, Correia Pinto, Capão Alto e Bom Retiro possuem pouco mais de 6 mil hectares de reflorestamentos cada. Juntos, estes municípios englobam 96% da área total reflorestada na região.

As matas com predominância de *Araucária angustifolia* (Bertol) Kuntze ocuparam, no passado, 20 milhões de hectares de paisagem no Sul do Brasil. Contudo, as crescentes necessidades de terras para a agricultura e pecuária, bem como as amplas possibilidades de utilização do Pinheiro-do-Paraná têm conduzido, desde a metade do século passado, a exploração e destruição dessas matas de uma forma tão intensa como nenhum outro ecossistema florestal na América do Sul (NUTTO, 2001).

Ameaçada de extinção, o manejo e utilização desta espécie estão sob várias restrições, com a finalidade de preservar os últimos remanescentes em seu habitat natural, ou seja, as

matas nativas. No início da década de 60, os reflorestamentos de áreas desmatadas e devastadas geralmente foram feitos com gêneros exóticos, tais como *Pinus* e *Eucalyptus*, entre outros de maior crescimento do que as espécies nativas, por apresentarem possibilidade de maior lucratividade em solos de baixa fertilidade natural. Nesse período, um certo percentual das áreas potencialmente cultiváveis foi destinado como área de preservação legal para a *angustifolia*.

A Mata Nativa do Planalto dos Campos Gerais, SC, constitui-se por formação vegetal complexa e heterogênea composta de *Pinheiro Brasileiro*, *Canela Lageana*, *Miguel Pintado*, *Cambuata*, *Bugreiro* e *Guavirova*, em razão da diversidade de espécies pertencentes à Mata Atlântica que, no passado, se estendia por quase toda a faixa litorânea do Brasil, do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul (SIMINSKI, 2004).

Poucos são os estudos na região sobre o impacto destes três sistemas, tão distintos entre si como mata nativa, reflorestamento de espécies exóticas e campo nativo pastejado, sobre a compartimentalização e ciclagem de formas de carbono no solo.

### 2.1.1 Campo Nativo

Com vegetação tendendo a gramado com campos com *S. tenerum*, sendo sucedido por *P. notatum*; com grande ocorrência de *Baccharis trimera*, *Baccharis spp* e capões de *Myrcia lombycina*; campo misto de *P. notatum* e *Aristida spp*; campo sujo com predominância de *Baccharis spp*; *P. notatum* e o campo “palha fina” com amplo domínio de *Schizachyrium tenerum*, aparecendo, secundariamente, *Schizachyrium spp*, *Aristida spp*, *Axonopus cfsiccus*, *A. affinis* e *Paspalum notatum*, com solos oriundos de rochas basálticas (GOMES; ALMEIDA; QUADROS; VIDOR; DALL’AGNOL; RIBEIRO, 1989, p. 304-314).

Apesar da exuberância da composição florística dos campos catarinenses, os mesmos necessitam de estudos mais aprofundados de sua flora, da sua dinâmica e de seu potencial produtivo, como vem sendo feito nos vizinhos Estados do Paraná, por ARAÚJO (1949);

SCHREINER (1972) e SCHREINER *et al* (1980) e, Rio Grande do Sul, por RAMBO (1956); BARRETO & KAPPEL (1967); BARRETO (1974); POTT (1974); FREITAS (1975); BARCELOS *et al* (1980); GONÇALVES *et al* (1988) entre outros.

A vegetação dos campos é um importante recurso natural renovável que, além da contribuição sócio-econômica para região como fonte de alimento para a pecuária, também contribui para a conservação do solo e da água.

### **2.1.2 Matas de *Pinus elliottii* (Engelm)**

Segundo Pait (*apud* TONINI; FINGER; SCHNEIDER; SPATHELF, 2002), o *Pinus elliottii* tem como região de ocorrência natural o Estado da Carolina do Sul, até o oeste do Estado de Louisiana, em uma estreita faixa próxima ao Oceano Atlântico, no sudoeste dos Estados Unidos. Em sua região de ocorrência natural, ocupa uma área de 5,1 milhões de hectares, respondendo por cerca de 12% do estoque de madeira existente. A variedade densa de menor importância para plantações comerciais tem sua área de ocorrência natural limitada ao extremo sul da Flórida.

Segundo Lamprecht (1990), o *elliottii*, como espécie heliófita de crescimento rápido, apresenta alta competitividade em relação às gramíneas e arbustos lenhosos, atingindo alturas de 20 a 30 metros (máximo de 40 metros), em um diâmetro à altura do peito de 60 a 90 cm, sendo que o sistema radicular pode penetrar no solo até uma profundidade maior que 5 metros. Essa espécie tem preferência natural por solos ácidos e arenosos localizados, sobretudo, em baixadas e junto a cursos de água, bem como áreas com lençol freático próximo à superfície. Em locais mais secos, em seu ambiente natural, cede lugar ao *Pinus palustris*, passando a formar com este um mosaico de pequenos povoamentos puros e ralos.

A temperatura média anual na região de origem oscila entre 15 e 24° C e os índices de precipitação variam de 650 a 2500 mm, com um período seco de, no máximo, 4 meses, sendo

considerada uma espécie bastante resistente às geadas e amplamente tolerante a ventos com elevados teores de sal (LAMPRECHT, 1990).

Pait (*apud* TONINI; FINGER; SCHNEIDER; SPATHELF, 2002) descreveu os parâmetros de solo mais associados com o bom crescimento em altura para o *Pinus elliottii*, indicando que geralmente áreas planas mal-drenadas e áreas ocasionalmente alagadas, como beira de lagoas rasas e pântanos, são os melhores sítios para a espécie.

Os vegetais necessitam de três elementos em grande quantidade, chamados de macronutrientes, para o seu bom desenvolvimento: o Nitrogênio (N), o Fósforo (P) e o Potássio (K). Na região de Lages, o fósforo (P) existe em pouca quantidade disponível para as plantas. No caso do *Pinus*, existe um microorganismo chamado de micorriza, fungo que, associado às raízes destas plantas, consegue dispor o fósforo do solo para elas em quantidade suficiente para seu desenvolvimento. Talvez por isso, o *Pinus* tenha se adaptado às condições de baixa fertilidade do solo lageano, sem a necessidade de aplicação de adubos (NETO e SANTOS, 2005).

### **2.1.3 Reflorestamento (*Pinus* e *Araucária*)**

O gênero de Araucária da família *Araucariaceae* só ocorre no hemisfério Sul, com duas das 14 espécies na América do Sul, sendo *Araucária angustifolia* a de maior importância no mercado mundial. Para Nutto (2001), isso pode ser reconhecido pelos nomes multinacionais de empresas localizadas nas regiões de ocorrência da espécie como Paraná Pine (inglês), Brasilkiefer (alemão), Araucária du Brésil (francês), Pino Misionero (espanhol) e Pinheiro-do-Paraná (português). Por causa da ameaça de extinção, o volume de exportação de araucária foi contingenciado pelo IBAMA, que estipulou, entre 1995 e 1998, um limite de exportação de 52.000 m<sup>3</sup> por ano.

Segundo Nutto (2001), a região de ocorrência natural da espécie limita-se entre as latitudes de 15° e 30° sul, e longitude de 43° e 57° oeste, com maior distribuição nos Estados



de Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, e menores áreas na província de Misiones (Argentina) e nos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro.

A araucária encontra-se em altitudes entre 600 e 800 metros, subindo até 1200 e 1800 metros na Serra Geral e na Serra da Mantiqueira. O clima na área de ocorrência natural é classificado como subtropical, no qual a temperatura média anual varia de 13 a 18° C, caracterizando-se o clima por verões frescos e invernos relativamente frios e com poucas geadas.

Segundo De Hoogh (*apud* NUTTO, 2001), os povoamentos de bom crescimento geralmente são encontrados em latossolos, essencialmente determinados pela boa estrutura do solo, enquanto litossolos e solos hidromórficos, em consequência das restrições físicas e fisiológicas para o desenvolvimento radical, produzem condições de crescimento extremamente pobres. O nutriente mais importante que limita o crescimento da araucária é o Nitrogênio (N), seguida pela oferta de Fósforo (P). De menor importância aparecem os seguintes nutrientes: Potássio (K), Cálcio (Ca), Cobre (Cu) e Bário (B). Entretanto, o melhor crescimento da espécie observa-se em áreas de agricultura abandonadas, florestas nativas e secundárias.

Um dos aspectos problemáticos da *angustifolia* como espécie para reflorestamento está representado pelas suas elevadas exigências edáficas. Dentro de sua área de ocorrência natural, somente 25% desta área apresenta condições economicamente vantajosas para seu cultivo (IBDF, 1971).

Segundo Scheeren; Gehhardt; Finger; Longhi e Schneider (2000), a determinação de quais características ambientais que influenciam, de maneira quantitativa, o crescimento de araucária é uma tarefa de difícil realização, considerando-se o grande número de fatores envolvidos. Tal fato desperta o interesse em investigar sobre as características do ambiente que influenciam o desenvolvimento de uma espécie de forma significativa.

## **2.2 Atributos biológicos e microbianos do solo**

Os organismos do solo contribuem para a manutenção da qualidade do solo, interferindo no processo de decomposição de plantas e animais; ciclagem bioquímica, incluindo-se a fixação de Nitrogênio; formação de estrutura do solo e degradação de compostos orgânicos adicionados ao solo. Os microrganismos constituem-se em indicadores biológicos muito sensíveis e podem, portanto, ser usados na classificação de sistemas de manejo e seu impacto ambiental. As populações de microrganismos e seus processos podem fornecer evidências de modificações no solo, muitas vezes não detectadas por indicadores físicos ou químicos (TURCO; KENNEDY & JAWSON, 1994).

### **2.2.1 Contribuição para a qualidade do solo**

Para Franzluebbers *et al.* (2000), as variações de Carbono e de Nitrogênio no solo são responsáveis pelas diferenças de produção de micélio e glomalina quando se trata, por exemplo, de fungos micorrízicos arbusculares (FMA). De acordo com Grisi e Gray (1995), a comunidade microbiana sofre influência de grande parte dos nutrientes do solo. Desta forma, além de serem fonte de nutrientes para as plantas, esses processos estão ligados às alterações ocorridas na biomassa microbiana.

As comunidades microbianas, segundo Tótola e Chaer (2002), constituem-se por diferentes espécies que se concentram em diversos nichos disponíveis. Ocorre que algumas comunidades microbianas do solo são formadas por poucas espécies com número elevado de indivíduos, enquanto outras se formam a partir de grande variedade de espécies com poucos indivíduos cada uma. A diversidade biológica, porém, neste caso, é mantida pelas espécies com número de componentes reduzido, enquanto que os fluxos de matéria e de energia na comunidade são mantidos pelas comunidades com população microbiana maior.

### 2.2.2 Diversidade e biomassa

Uma elevada diversidade de espécies contribui para o uso mais eficiente dos recursos disponíveis no solo. Interações interpopulacionais equilibradas também contribuem para maior eficiência no uso desses recursos, especialmente quando envolvem relações sintróficas, ou seja, quando uma população contribui para suprir a demanda nutricional de outra população e vice-versa, como os microorganismos e as micorrizas. Desse modo, comunidades microbianas caracterizadas por alta diversidade necessitam de pouca energia para sustentar a biomassa ali presente, o que se reflete na baixa produtividade primária por unidade de biomassa.

A alta diversidade da biota do solo está geralmente associada à elevada estabilidade da comunidade, onde cada população desempenha papel funcional que determina a manutenção normal dos fluxos de matéria e de energia em cada nível trófico de um ecossistema particular. Em ambientes sujeitos a flutuações, como o solo, o estabelecimento de uma condição ambiental desfavorável poderia resultar na inibição de algumas populações que desempenham papéis vitais dentro da comunidade. Nesse caso, a existência de populações que desempenham um mesmo papel funcional, mas que possuem diferentes exigências em relação aos fatores físicos, químicos e biológicos, ou seja, a redundância funcional, assegura que essas funções vitais sejam desempenhadas independentemente de variações no ambiente.

Conceitualmente, de acordo com Tótola e Chaer (2002), a diversidade é a variedade de espécies em um ecossistema, assim como a variabilidade genética dentro de uma mesma espécie. A diversidade biológica, ou biodiversidade pode ser também definida como a riqueza da porção viva do ecossistema que se reflete na variedade de espécies e nas intrincadas intercomunicações dos processos biológicos que ocorrem nos vários biomas, com especial interesse no solo.

A biomassa e atividade microbiana em sistemas florestais são altamente correlacionadas com características químicas do solo, como potencial de Hidrogênio (pH), capacidade de troca catiônica (CTC) e nutrientes presentes na solução do solo. Além disso, a biomassa nos fornece informações importantes acerca dos microorganismos como um todo, que compõem um reservatório muito lábil de nutrientes da matéria orgânica do solo (WANDER, 1994), imobilizam nutrientes impedindo sua perda por lixiviação como o Nitrogênio (N) ou por adsorção química como o Fósforo (P) e os tornam disponíveis rapidamente, por terem ciclo de vida relativamente curto e serem facilmente decompostos. Desta forma, medidas da biomassa microbiana são usadas para estimar o "status" biológico do solo.

Conforme Wander (1994), avaliações da biomassa-C feitas isoladamente podem fornecer informações relativamente limitadas sobre a resposta ao estresse ou perturbação do sistema do solo. Isto ocorre porque a biomassa microbiana, normalmente, apresenta forte correlação com a matéria orgânica do solo, refletindo com frequência mudanças na concentração de matéria orgânica. Outras avaliações, portanto, podem ser conduzidas concomitantemente com a determinação da biomassa-C microbiana, como o Carbono Orgânico Total (COT) do solo e a respiração microbiana.

A identificação destes indicadores requer a utilização de recursos que permitam uma análise simultânea das múltiplas quantificações de atributos que estão sendo avaliados, o que é possibilitado por técnicas de estatística multivariada. Através da Análise Canônica Discriminante (ACD), as funções canônicas discriminantes (FCD) permitem uma combinação linear de variáveis que contribuem para a separação dos tratamentos, mantendo a menor variação possível dentro de cada um deles. Dentre outros aspectos, a ACD já foi explorada em estudos sobre fauna do solo, variabilidade genética, estágios sucessionais florestais e

produtividade vegetal, revelando-se como recurso de grande confiabilidade para identificar atributos que contribuem para discriminar áreas, grupos ou populações animais e vegetais.

### **2.2.3 Dinâmica do carbono e relação com a microbiota**

A relação Carbono Orgânico Total (COT) e Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) fornece uma medida da qualidade da matéria orgânica do solo. Onde a biomassa está sob estresse, a eficiência de uso do carbono e a imobilização de nutrientes como P e N tende a ser menor do que aquela onde não há estresse. Nesse caso, a relação CBM: COT diminui. Ao contrário, com a adição de matéria orgânica de boa qualidade, a biomassa microbiana pode aumentar rapidamente, mesmo se os níveis de COT permanecerem inalterados (POWLSON; BROOKES; CHRISTENSEN, 1987). Durante o manejo do solo, esta proporção, inicialmente, é submetida à mudanças rápidas e, com o passar do tempo, converge para um "valor de equilíbrio". Se este valor de equilíbrio for conhecido, esta razão pode fornecer uma indicação sobre o quanto um solo está distante de seu "estado de equilíbrio" (INSAN & DOMSH, 1988).

Vale lembrar que a emissão de CO<sub>2</sub> do solo é proveniente da hidrólise da matéria orgânica por microorganismos heterotróficos e pela respiração de raízes. O CO<sub>2</sub> emitido pelo solo é um importante componente em todo o processo de ciclagem do carbono, bem como influencia diretamente nas concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera, sendo que um incremento nas concentrações deste elemento culmina em maior efeito estufa, conseqüentemente em aumento na temperatura média global, ocasionando sérias conseqüências climáticas e ambientais. Na atualidade, procura-se mitigar (atenuar) as emissões de CO<sub>2</sub> do solo. Contudo, este elemento é metabolizável pelas plantas no processo de fotossíntese e está diretamente relacionado com o acúmulo de matéria verde pelas espécies vegetais.

#### 2.2.4 Carbono microbiano

Diversos trabalhos para aferir os efeitos e qualidades do manejo do solo em diferentes agroecossistemas têm-se valido das determinações do Carbono Orgânico Total (COT) e Nitrogênio Total (NT) para avaliar a dinâmica da matéria orgânica. Modelos atuais de dinâmica da matéria orgânica do solo, como os citados por Parton; Sanford; Sanchez & Stewart (1989), consideram três frações principais, com diferentes tempos de ciclagem: ativa (0 a 14 anos), lenta (50 anos) e passiva (150 anos).

Conforme Feigl; Cerri & Bernoux (1998), a resposta da matéria orgânica do solo às mudanças do uso da terra e às técnicas de manejo podem passar despercebidas por décadas, enquanto que a resposta da fração ativa (biodegradável), que contém principalmente a biomassa microbiana e seus metabólitos, ocorre muito mais rapidamente. Informações sobre as alterações da biomassa microbiana são importantes por indicarem mudanças que estão ocorrendo na matéria orgânica através do sistema de manejo empregado. Ou seja, para estudos do efeito de sistemas de manejo do solo na dinâmica da matéria orgânica, as determinações do COT e CBM são imprescindíveis e não devem ser analisadas separadamente, já que a biomassa microbiana tem se apresentado mais sensível à mudança de qualidade do solo que as determinações químicas do COT ou NT isoladamente (FRANZLEUBBERS *et al.*, 1995). A razão CBM: COT tem sido considerada como o parâmetro mais utilizado para monitorar a dinâmica da matéria orgânica do que o CBM considerado isoladamente (SPARLING e WEST, 1992). O mesmo pode ser impetrado para a razão NBM: NT e fornece informações acerca da qualidade da matéria orgânica do solo.

A biomassa microbiana é o principal responsável pela decomposição dos resíduos orgânicos, pela reciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do solo, exercendo influência tanto na transformação da matéria orgânica quanto na estocagem do carbono e

nutrientes minerais, ou seja, na liberação e imobilização de nutrientes minerais na maior parte dos ecossistemas.

De acordo com Melo e Azevedo (1997), a decomposição da matéria orgânica do solo envolve fracionamento físico, transformações bioquímicas e estabilização biofísica do material orgânico. Microrganismos heterótrofos que promovem a decomposição primária utilizam o carbono do material orgânico para seu metabolismo, aproveitando cerca de 95% da energia contida na matéria orgânica do solo. A subsequente decomposição desses organismos e seus produtos resultam na formação de materiais húmicos complexos e heterogêneos.

Na natureza, o solo comporta-se como um sistema aberto, trocando matéria e energia com o meio. O sistema atinge um estado estável quando as taxas de adição e de perdas se equivalem (ADDISCOT, 1992). A adição de matéria orgânica ocorre via adição de carbono pela síntese de compostos orgânicos através da fotossíntese. A quantidade de carbono fixada em determinadas condições edafoclimáticas vai depender das espécies presentes e no tipo de sistema empregado. Entretanto, as perdas de carbono ocorrem principalmente pela liberação de CO<sub>2</sub> através da respiração microbiana, tendo como substratos resíduos vegetais e a matéria orgânica do solo. Outras formas, porém menos acentuadas de perdas, ocorrem pela erosão hídrica e lixiviação de compostos orgânicos.

### **2.2.5 Nitrogênio microbiano e N total**

O Nitrogênio ocupa posição de destaque entre os elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas. Apesar de apresentar-se na camada arável do solo, em alguns casos em quantidade relativamente elevada, sua baixa disponibilidade, somada à grande necessidade pelos vegetais, faz com que seja um dos nutrientes mais limitantes à produtividade da maioria dos sistemas vegetais (STEVENSON, 1982; CAMARGO, 1996). O N é um dos elementos mais sensíveis às modificações das condições ambientais, como

conseqüência dos inúmeros processos químicos e biológicos que controlam a sua disponibilidade e perda (MALUCHE, 2003).

A principal característica do ciclo do Nitrogênio, operando em todo o ecossistema, é a interação entre as atividades de organismos autotróficos e heterotróficos. Através da fotossíntese, os vegetais transformam a energia solar em biomassa. Quando incorporados ao solo, os resíduos vegetais são utilizados como fonte de carbono e energia pelos microorganismos heterotróficos, ocorrendo a transformação no N-orgânico para formas inorgânicas que são absorvidas pelas plantas. Tanto o nitrogênio quanto os outros elementos essenciais são repetidamente utilizados pela circulação contínua entre as fases autotróficas e heterotróficas do ecossistema (SANTOS & CAMARGO, 1999).

A biomassa microbiana do solo compreende fonte potencial de N e outros nutrientes para as plantas e os fluxos através do reservatório microbiano podem ser de particular relevância no solo (SANTOS & CAMARGO, 1999). O nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) indica o potencial de reserva do N. Quanto maior o compartimento do NBM, menores serão as perdas do N no sistema, e maior a fração lábil da matéria orgânica prontamente disponível no solo e potencialmente utilizada para as plantas.

A biomassa microbiana é considerada tanto um agente de transformação, por meio do qual passam todos os materiais orgânicos adicionados ao solo, quanto um reservatório de nutrientes (JENKINSON & LADD, 1981), sendo seu estudo de grande importância em sistemas de manejo do solo, uma vez que influencia na dinâmica dos nutrientes e na fertilidade do solo. As quantidades de nutrientes imobilizadas na biomassa podem atingir valores bastante elevados, acima de  $100\text{hg ha}^{-1}$ , no caso do Nitrogênio (ANDERSOSN & DOMSCH, 1980).

O Nitrogênio retido na biomassa é liberado na medida em que os microorganismos morrem e são mineralizados pela população restante, razão pela qual, em solos submetidos a



estresses ambientais, a maior parte do N mineralizado pode ser de origem microbiana (MARUMOTTO; ANDERSON; DOMSCH, 1982). Portanto, a biomassa microbiana atua como um tampão do Nitrogênio do solo, uma vez que controla a disponibilidade desse nutriente, por meio dos processos de mineralização e imobilização.

A mineralização de Nitrogênio (N) consiste na liberação de amônio a partir da degradação de materiais orgânicos, segundo Tótolá & Chaer (2002). Pode ser efetuada por várias enzimas extracelulares e inespecíficas produzidas por grande diversidade de organismos aeróbios e anaeróbios. Esse processo é geralmente avaliado por meio da incubação do solo sob condições aeróbias e anaeróbias. Como ocorrem simultaneamente mineralização e imobilização, determina-se a mineralização líquida de N, a qual reflete o potencial de mineralização do N no solo. A técnica de incubação aeróbia consiste na medida de N inorgânico produzido durante a incubação do solo sob condições ótimas de umidade, temperatura e aeração, por 28 dias. As concentrações de nitrato e de amônio são determinadas em subamostras de solo antes e após a incubação. A taxa líquida de mineralização é calculada pela subtração de concentração inicial de N inorgânico da concentração final. A taxa de nitrificação também pode ser determinada por este método, por meio da subtração da concentração inicial de  $\text{NO}_3$  da concentração final.

De acordo com Tótolá e Chaer (2002), o conhecimento dos fatores que controlam as taxas de ciclagem de N no solo é importante, em razão dos efeitos desses processos na estrutura e função do ecossistema, como também na qualidade ambiental. A maior parte do N assimilado pelas plantas é derivada dos reservatórios de N – inorgânico,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ , que resultam dos processos de mineralização e nitrificação. Como o N é freqüentemente o nutriente mais limitante para as plantas, juntamente com o P, qualquer diferença nas taxas de mineralização, de imobilização e de nitrificação pode ter profundo efeito sobre a produtividade primária e sobre a qualidade do solo.

Os trabalhos envolvendo análise da biomassa microbiana do solo podem fornecer informações úteis sobre a dinâmica do reservatório lábil da matéria orgânica do solo, pois, a dinâmica do reservatório pode ter conseqüências importantes no funcionamento do ecossistema e na “qualidade” do solo, refletindo na sustentabilidade dos agroecossistemas. Conforme Vance, Brookes & Jenkinson (1987) e Brookes; Landman; Pruden; Jenkinson (1985), a metodologia mais utilizada no Brasil para a determinação do N microbiano do solo (NMS) é aquela baseada na fumigação-extração das amostras, seguida da determinação do N por titulometria, após digestão e destilação.

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 Localização e caracterização da área experimental**

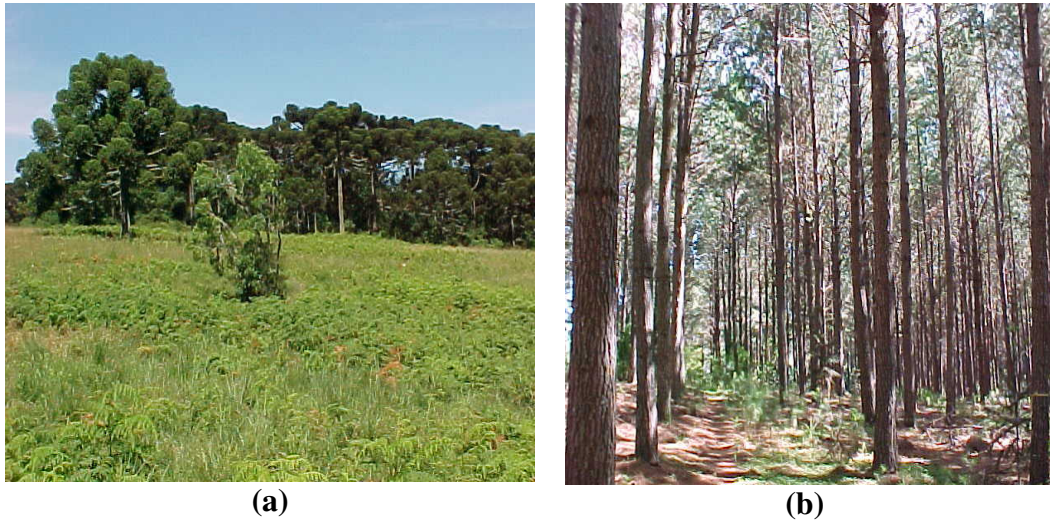
O presente estudo foi realizado em áreas da Empresa Florestal Gateados S.A, situada em Campo Belo do Sul – SC, no período de 06/07/2003 a 07/10/2004. As áreas de estudo apresentam uma associação de Nitossolo Háplico com pH: 4,5. A vegetação das áreas de estudo é composta de *Pinus spp* (Pinus 20 anos); *Pinus spp* (Pinus 12 anos); *Araucária angustifolia*; (Floresta de *Araucária* 18 anos); *Mata Nativa* (Mata) e *Campo Nativo* (Campo).

O clima da região é mesotérmico úmido com o verão ameno e precipitação bem distribuída ao longo do ano, indicado como Cfb, segundo a classificação de Köppen. A temperatura das áreas de coleta de amostragens de solo é variada. A máxima, em janeiro, chega aos 31°C e a mínima, a 22°C. No mês de julho, os termômetros marcam uma temperatura máxima de 14° C e, a mínima, fica em torno dos 8°C, podendo chegar até os -12°C. A temperatura média anual da região é de 15,6°C e a precipitação média anual é cerca de 1.400mm (SANTA CATARINA, 1986).

### 3.2 Tratamentos e histórico das áreas

Os tratamentos constaram de cinco sistemas de uso da terra: 1 - **Campo Nativo Manejado** (CN) - esta área destinava-se à pecuária e, até 1993, faziam-se queimadas de dois em dois anos e roçada anual, geralmente no mês de fevereiro (Figura 1a); 2 - Reflorestamento de ***Pinus* com 12 anos** (P12) – área também destinada à pecuária até 1983 e mantida com queimadas anuais, onde se efetuou o plantio de *Pinus* em 1990 (Figura 1b), esta área distancia-se do *Pinus* - 20 anos em cerca de 20 metros, e a Festuca distancia-se dos demais ecossistemas por 8 quilômetros; 3 - ***Pinus* com 20 anos** (P20) - esta área destinava-se à pecuária e, em 1983, o solo foi preparado com subsolador e enxada rotativa para ser implantado o monocultivo de *Pinus* (Figura 2a); 4 - Reflorestamento de ***Araucária*** com 18 anos - até 1980 esta área destinava-se à pecuária, de 1981 a 1984, foi implantada pastagem (Festuca) e, em 1985, efetuou-se o preparo do solo com subsolador e enxada rotativa para o plantio das mudas de araucária em consórcio com feijão, plantio realizado somente em 1987 (Figura 2b); e, 5 - **Mata Nativa** – esta área mantém as características naturais das matas da região, tendo como vegetação o *Pinheiro Brasileiro*, *Canela Lageana*, *Miguel Pintado*, *Cambuata*, *Bugreiro* e *Guavirova*, sendo que desde 1993 não é permitido o acesso de animais domésticos ao local (Figura 3).

A mata nativa distancia-se do campo nativo aproximadamente 500 metros com as seguintes espécies da trilha ecológica: *Canela Lageana* (*Ocotea lancifolia*); *Pimenteira* (*Capsicocondendron dinisii*); *Guabiroba* (*Camponesia xanthocarpa*); *Pintangá* (*Eugenia uniflora*); *Murta* (*Quilloja brasiliensis*); *Cambuata* (*Cupania vernalis*); *Miguel Pintado* (*Matayaba elaeagnoides*); *Uvaia* (*Eugenia pyriformis*); *Leiteiro de folha miuda* (*Sebastiania brasiliensis*); *Guarapere* (*Lamononia spiciosa*); *Pororoca* (*Rapanea ferruginea*); *Sete sangria* (*Symplocos uniflora*).



**Figura 1** - Área de Campo Nativo e reflorestamento de *Pinus* - 12 anos, localizada em Campo Belo do Sul – SC. (a) Vista geral de campo nativo; (b) interior de reflorestamento de *Pinus* - 12 anos.



**Figura 2** - Área de Reflorestamento de *Pinus* 20 anos e Mata de Araucária. (a) Interior de reflorestamento de *Pinus* - 20 anos; (b) Interior de Reflorestamento de Araucária (*Festuca*).



**Figura 3** - Área de mata nativa estudada, localizada na Florestal Gateados, Campo Belo, SC. (a) Vista geral; (b) Detalhe do interior da mata.

### 3.3 Amostragens e avaliações

A coleta das amostras para determinação dos atributos biológicos, químicos e físicos e da respiração do solo foi realizada de forma sistemática, em dois alinhamentos principais paralelos entre si (“*transectos paralelos*”), em oito pontos equidistantes em 10m (Figura 4). As amostras de solo foram coletadas a uma profundidade de 0 a 10cm da superfície. As amostragens de solo foram realizadas nos meses julho e outubro de 2003 a fevereiro de 2004. A respiração do solo foi determinada mensalmente, de junho a dezembro de 2003 e janeiro a fevereiro de 2004. A temperatura e umidade do solo foram determinadas juntamente com as medidas de respiração do solo.



**Figura 4 -** Detalhe de um transecto de amostragem em área de monocultivo de Pinus contendo as armadilhas usadas para determinação da respiração do solo nos pontos de amostragem.

As amostras de solo coletadas foram armazenadas em sacos plásticos e acondicionadas em caixas térmicas e transportadas em caixas de isopor com gelo para o laboratório de Microbiologia do Solo, no Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages – Santa Catarina, e foram mantidas em

geladeira a 4°C até serem analisadas. No laboratório, foram homogeneizadas e peneiradas (2mm de abertura de malha) e armazenadas em geladeira a (4°C) pelo período de 30 dias, quando foram determinados os teores de Carbono Total (COT) e Nitrogênio Total (NT). Subamostras foram retiradas e secadas ao ar para determinação dos seguintes atributos químicos: COT (Carbono Orgânico Total); NT (Nitrogênio Total); Ca (Cálcio), Mg (Magnésio), K (Potássio), P (Fósforo), Al (Alumínio), pH, SMP e pH em água.

O cálcio, magnésio e alumínio trocáveis do solo foram extraídos da superfície de troca com KCl 1M. A determinação do Ca e do Mg foi realizada por espectro de absorção atômica. O Al foi determinado por titulação com base. O Potássio trocável foi extraído com solução P. A. e determinado por fotometria de chama, e o Fósforo disponível analisado, segundo Tedesco; Volkweiss; Bohnen (1995). A acidez ativa do solo foi determinada através da medição do pH em água (pHH<sub>2</sub>O), na relação gravimétrica solo:água de 1:1.

Para o Nitrogênio Total foram realizadas pré-digestão e destilação, conforme o método Kjeldahl, sendo o destilado titulado com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. O Carbono Orgânico Total (COT) foi determinado pelo método WALKLEY & BLACK, por oxidação úmida com dicromato de potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 1,5 N) e ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1N) e, posteriormente, calculado o teor de matéria orgânica desses solos. Todas as metodologias utilizadas são descritas por Tedesco; Volkweiss; Bohnen (1995).

Para as análises microbiológicas, as amostras coletadas foram homogeneizadas e peneiradas em malha de 2mm. Uma subamostra foi retirada para determinação da umidade (coletas de verão e inverno).

Para determinação do Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) do solo foi utilizado o método de fumigação-extração (VANCE; BROOKES & JENKINSON, 1987), sendo o fator de correção utilizado para o cálculo de 2,78. Para cada ponto amostrado, foram realizadas seis

repetições, sendo três amostras fumigadas e três não fumigadas, cada uma contendo 20 gramas de solo (peso fresco).

Para a fumigação das amostras foram adicionados 25mL de clorofórmio livre de etanol ( $\text{CHCl}_3$ ), sob vácuo de aproximadamente 600 mm de Hg, por cerca de 2 minutos após o início do processo de ebulição das amostras armazenadas em dessecador. Após fumigação com clorofórmio, as amostras foram mantidas pelo período de 24 horas em uma estufa a uma temperatura de  $27 \pm 2$  °C, sendo posteriormente realizadas várias sucções para retirada do excesso de fumigante.

O CBM das amostras fumigadas e não fumigadas foi extraído com 50ml de sulfato de potássio 0,5M ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), sob agitação por 30 minutos e posterior filtragem do extrato em filtro de papel Whatmann 42. Alíquotas de 8ml foram retiradas do filtrado, adicionando 2 mL de dicromato de potássio 66,7 mM ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) e mistura de 2:1 de ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 98%) e ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ , 88%), acrescentando 15mL da mesma. A mistura foi aquecida em chapa térmica por refluxo por 3 minutos após o surgimento da primeira bolha, oxidando o carbono presente nas amostras de solo. Após resfriamento, o  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  residual foi quantificado através da titulação com sulfato ferroso amoniacal 33, 3mM ( $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), na presença de solução de difenilamina (1%).

O Nitrogênio da Biomassa Microbiana (NBM) foi determinado na mesma solução utilizada para análise do CBM. O N contido nos extratos fumigados e não fumigados foi determinado por pré-digestão e destilação pelo método de Kjeldahl (SANTOS & CAMARGO, 1999). Alíquotas de 20mL foram colocadas em tubos de vidro na presença de 3mL de ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e de 1g de catalisador (mistura de  $\text{K}_2\text{SO}_4$ :  $\text{CuSO}_4$ : selênio em pó, na relação 1:01: 0,001), e acondicionadas em bloco digestor, onde foi realizada uma pré-digestão a 80°C por 12 horas, seguida do aumento da temperatura a 150°C e mantida essa temperatura pelo período de 1 hora e 30 minutos. A digestão foi concluída a



300°C, após 3 horas. As amostras digeridas, acrescidas de 10mL de NaOH (10M), foram posteriormente destiladas em 5mL de indicador ácido bórico, procedendo-se então a titulação em ácido sulfúrico 0,025M (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (TEDESCO; VOLKWEISS; BOHNEN, 1995).

A partir dos resultados de CBM e COT, NBM e NT, foram calculadas as relações CBM:COT e NBM:NT, expressas como a percentagem de C e N microbiano em relação ao C e N total do solo (ANDERSON *apud* RITZ & GILLER, 1994).

Para determinação da respiração do solo a campo, inicialmente foram instaladas armadilhas nos pontos de amostragem, nos transectos. Estas armadilhas constituíram-se de calhas em anel cilíndrico, feitas em chapa galvanizada, com 7 cm de altura e 40 cm de diâmetro. Estas calhas foram instaladas e mantidas durante todo o período de determinação da respiração do solo.

A respiração do solo foi determinada pela coleta de amostras de CO<sub>2</sub> produzidas na superfície do solo, diretamente a campo, em armadilhas contendo solução de NaOH, conforme metodologia adaptada de Anderson & Ingram (1993) (Figura 5a). Na parte inferior da armadilha havia um anel com 5cm de altura para sua fixação no solo. No momento da avaliação da respiração do solo, no orifício interno das calhas, foram colocados: um tripé de metal, um copo plástico e um frasco com 5ml de solução de NaOH 0,5M para captura de CO<sub>2</sub>. As calhas tinham, então, suas canaletas preenchidas com água e eram, em seguida, cobertas com baldes brancos cujas bordas eram imersas nas lâminas de água, de forma a impedir a troca de gases com a atmosfera (Figura 5b). Após 24 horas, foi colocado 5ml BaCl<sub>2</sub> (1,5M) dentro dos frascos com NaOH, que foram, então, levados ao laboratório de Biologia do Solo do CAV-UDESC, onde acrescentou-se 5 gotas de solução fenolftaleína 1% para a titulação com HCl 1M.



**Figura 5 -** Detalhe das armadilhas utilizadas para determinação da respiração do solo à campo; (a) calha contendo água na canaleta, copo plástico e frasco com solução de NaOH 0,5 M no seu interior. (b) colocação da solução de BaCl<sub>2</sub>, 24 horas após a montagem das armadilhas.

Os teores de CO<sub>2</sub> evoluído em 24 horas foram calculados utilizando-se a fórmula: CO<sub>2</sub> d<sup>-1</sup> m<sup>2</sup> = [(ml da PB – Vol T) \* 14\*0,5] 0,001436, onde:

**CO<sub>2</sub> d<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>:** dia por metro quadrado

**ml da PB:** ml da prova em branco

**Vol T:** volume titulado

**\*14\*0,5:** normalidade da solução

**0,001436:** resumo de fatores

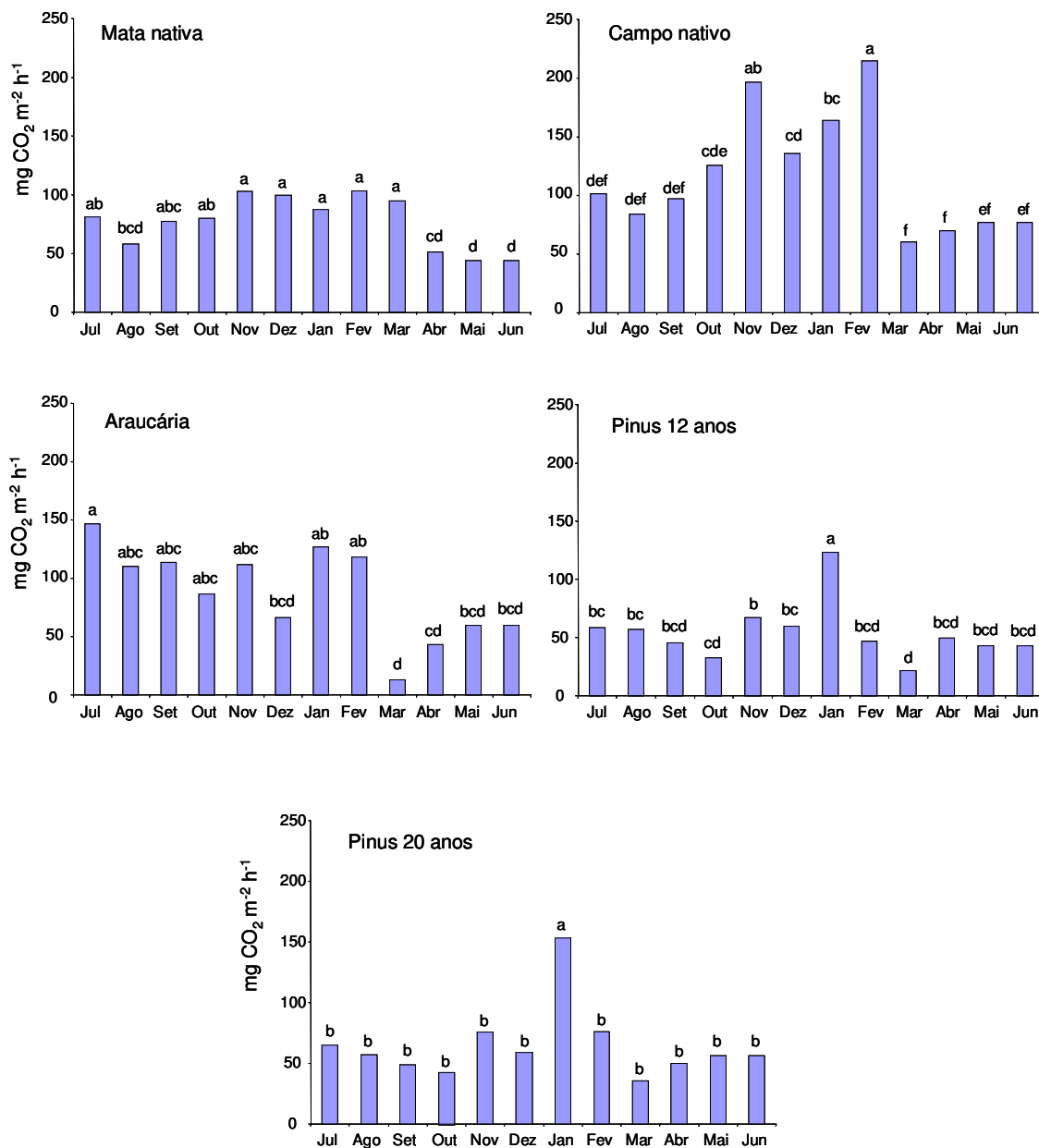
Foram avaliados também os atributos físicos: temperatura e umidade do solo. A temperatura em cada ponto de amostragem foi determinada mensalmente junto às armadilhas de respiração do solo, utilizando termômetro com bulbo de mercúrio. Para determinação da umidade gravimétrica, foram coletadas mensalmente amostras de solo próximo das armadilhas. A umidade foi determinada após 24h de secagem do solo à temperatura de 105°C.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Respiração do solo

A respiração do solo variou sazonalmente em todas as formas de uso do solo (Figura 1). Na mata nativa, a evolução de C-CO<sub>2</sub> variou de 43,82 a 103,08 mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. A taxa de evolução de CO<sub>2</sub> foi aproximadamente constante no período de novembro/2003 a março/2004 (primavera-verão), quando foram observados os maiores valores (em média 97,64 mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). O período de abril-junho (outono) foi o que apresentou os menores efluxos de CO<sub>2</sub>, em média 34,73 mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>.

No campo nativo, observou-se variação de 60,17 a 214,28 mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Nesta área foi possível observar maiores variações nos valores mensais ao longo de um ano, com picos de liberação de C-CO<sub>2</sub> em novembro (196,51 mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) e fevereiro (214,28 mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). Isto indica uma condição de maior influência das condições ambientais sobre a pastagem, em relação às florestas. Foram observados dois períodos distintos de evolução de CO<sub>2</sub>: de outubro a fevereiro (primavera-verão), quando a respiração do solo aumentou, chegando a 139,3 mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> na média mensal, alcançando seu pico em fevereiro; e de março a setembro (outono-inverno), quando foram observados decréscimos significativos na respiração do solo, cujos valores médios mensais do período foram de 80,85 mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>.



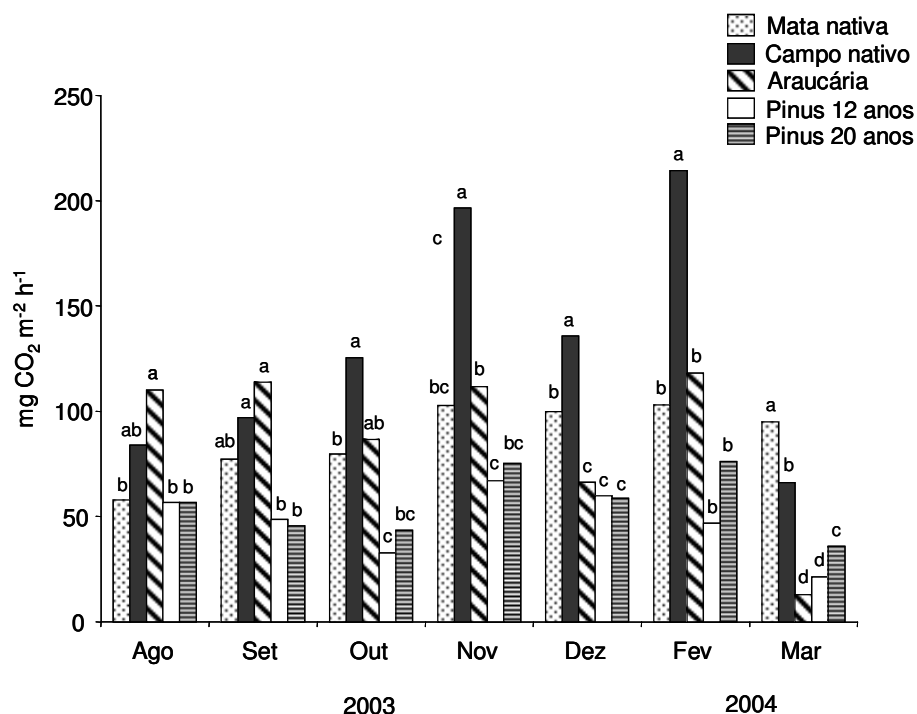
**Figura 6** - Respiração do solo (efluxo de CO<sub>2</sub>) e sua variação sazonal nas áreas de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e *pinus*, de julho de 2003 a junho de 2004. Médias seguidas da mesma letra nas barras não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5% de significância.

No reflorestamento de araucária, a respiração do solo variou de 12,82 a 146,50 mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Nesta área, observou-se elevada respiração do solo durante extenso período, que teve início em julho (146,65 mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) e término em fevereiro (118,06 mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), distinguindo-se das demais. Neste período de oito meses, foram perdidos em média 109,9 mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>.

No caso das áreas com plantios de *pinus*, o comportamento da respiração do solo ao longo de 12 meses foi muito similar. Nas áreas de plantio de *pinus* com 12 e 20 anos, observaram-se picos de evolução de C-CO<sub>2</sub> apenas no mês de janeiro (123,14 e 153,6 mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, respectivamente). Nos demais meses, a respiração permaneceu constante, com valores inferiores a 80 mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, e com média de 52,05 mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, para as duas áreas, no período de 11 meses.

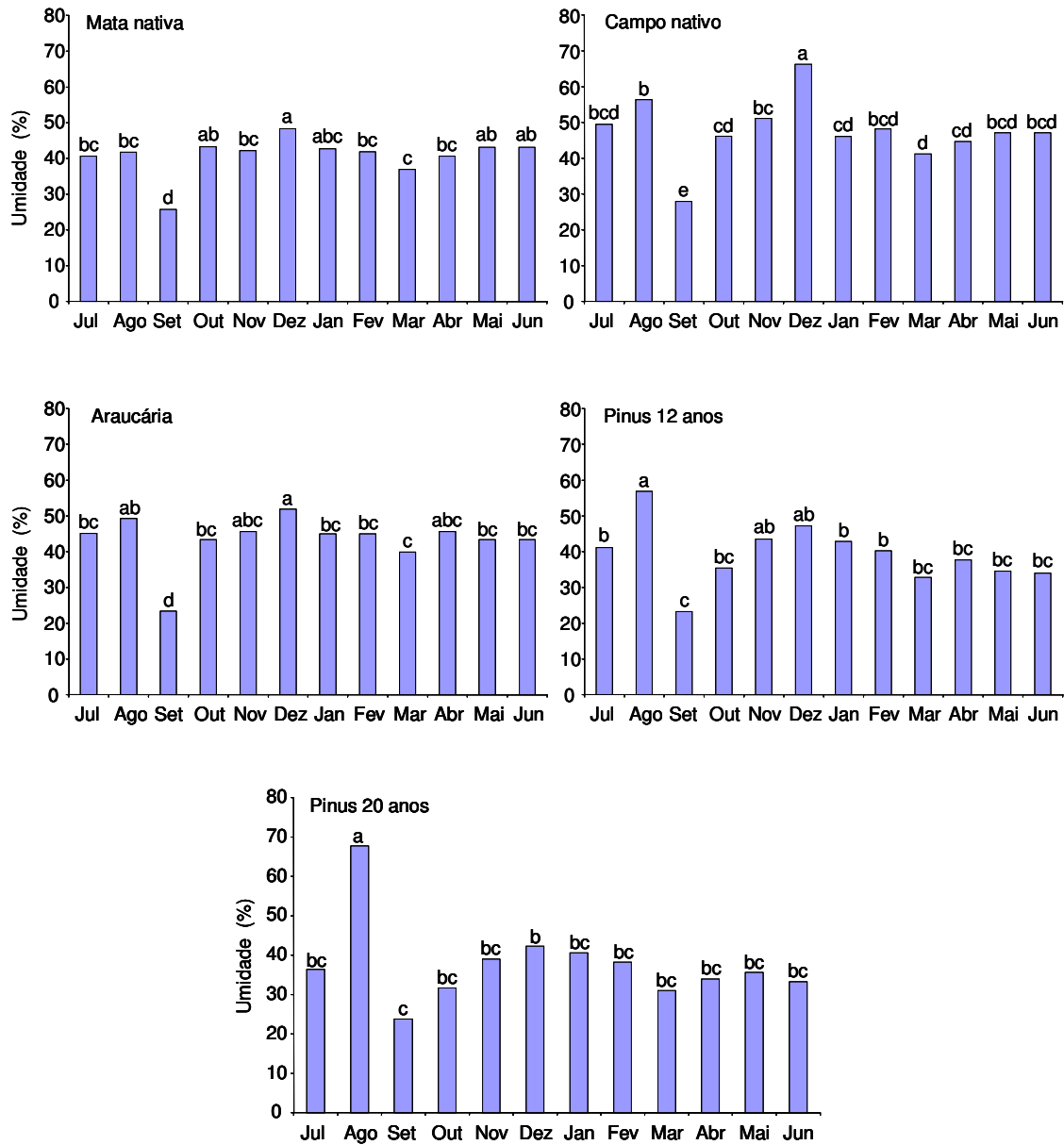
Diferenças na respiração do solo entre as formas de uso foram observadas nos meses de agosto a dezembro de 2003 e fevereiro-março de 2004 (Figura 2). O campo nativo apresentou os maiores valores de respiração do solo nos meses de outubro, novembro, dezembro e fevereiro. As áreas com plantio de *pinus* apresentaram os valores mais baixos em todos os referidos meses.

Os resultados de respiração do solo foram consistentemente menores nas áreas de plantio de *pinus*, o que poderia estar relacionado à qualidade do material orgânico que compõe a serrapilheira, aspecto que desempenha importante papel de regulação da atividade microbiana (Li *et al.*, 2005). Allen & Schlesinger (2004) observaram que a adição de uma solução com fontes variadas de C facilmente degradáveis, ao contrário do material das acículas (incluindo sacarose, manose e outros ingredientes) acelerou a respiração do solo drasticamente em áreas de *pinus*, com incrementos na biomassa microbiana. Aspectos relacionados à quantidade e qualidade do material orgânico de cobertura do solo não foram considerados neste estudo e necessitam investigação.

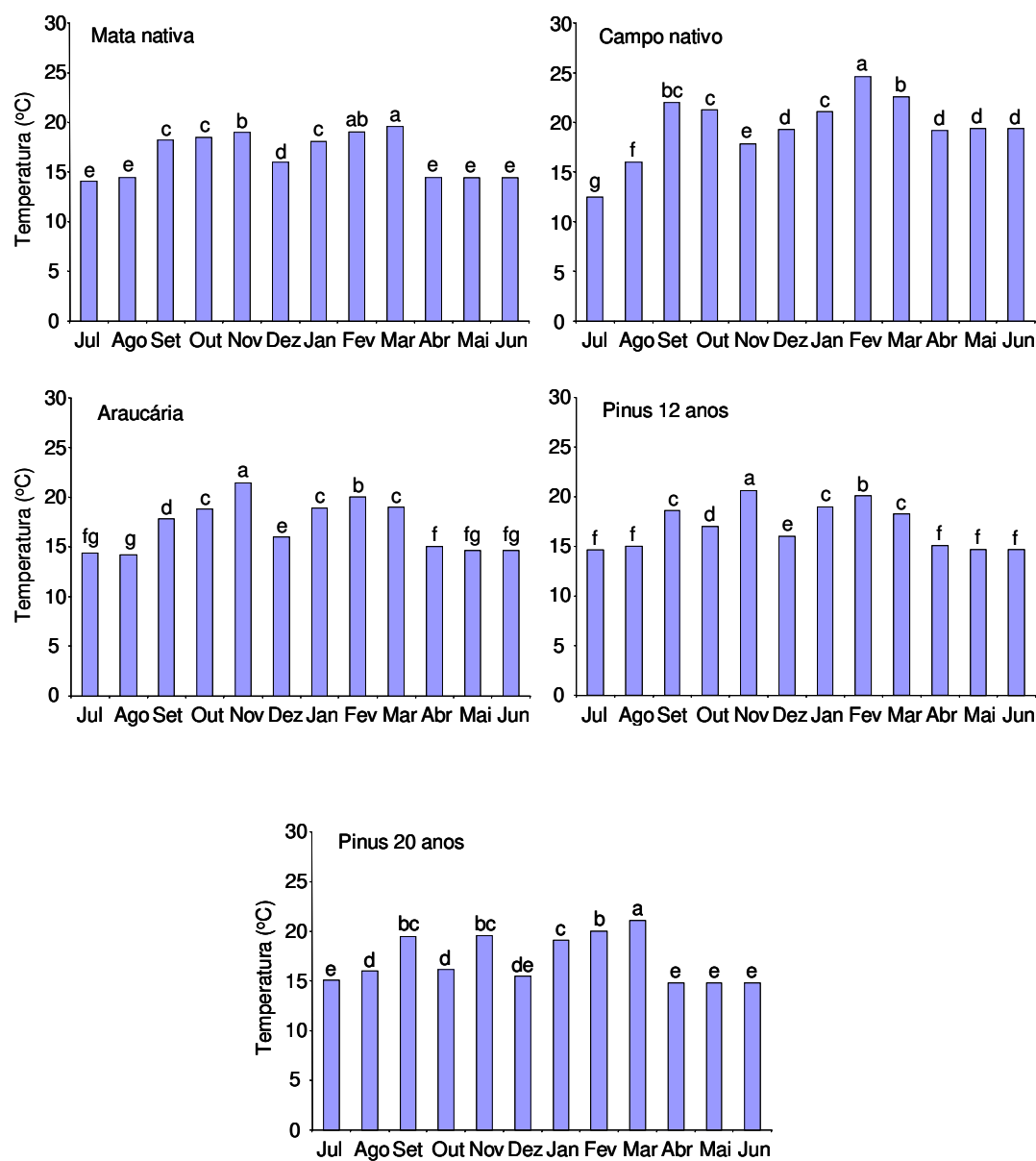


**Figura 7 -** Respiração do solo (efluxo de  $\text{CO}_2$ ) e sua variação entre as áreas de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e *pinus*, nos meses de efeito significativo ( $P < 0,01$ ). Médias seguidas da mesma letra nas barras não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5% de significância. \* Respiração do solo acumulada em 12 meses (julho de 2003 a junho de 2004).

Além disso, diferenças entre os comportamentos de respiração do solo entre áreas apresentaram forte dependência da variação sazonal, como mostra a Figura 2. A atividade das raízes e microbiota do solo são sensíveis às variações de umidade e temperatura (Li et al, 2005), o que estaria contribuindo para as diferenças observadas tanto à nível de variação sazonal dentro de cada forma de uso do solo, como entre elas. A umidade e temperatura do solo foram avaliadas nas formas de uso do solo (Figura 3 e 4), entretanto, a análise de regressão entre a respiração do solo e os atributos físicos, umidade e temperatura do solo, não apresentaram relações significativas entre estes atributos.



**Figura 8 -** Umidade do solo e sua variação sazonal nas áreas de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e *pinus*, de julho de 2003 a junho de 2004. Médias seguidas da mesma letra nas barras não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância.



**Figura 9** - Temperatura do solo e sua variação sazonal nas áreas de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e pinus, de julho de 2003 a junho de 2004. Médias seguidas da mesma letra nas barras não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância.

#### 4.2 Umidade e temperatura do solo nos períodos de determinação de frações de C e N no solo

Os valores de umidade e temperatura do solo em cada área de estudo, nas épocas de amostragem de solo para determinação dos teores de C orgânico total, N total, C e N da



Biomassa Microbiana são apresentadas nas Tabelas 1 e 2. Observou-se que o campo nativo apresentou os maiores valores médios de umidade e temperatura do solo, 47,9 % e 19,4 °C , respectivamente.

**Tabela 1 -** Umidade do solo na camada de 0-10 cm, em área de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e *pinus* em três épocas de amostragem, no Planalto dos Campos Gerais, SC.

Tratamento	Umidade (%)				
	Julho/2003	Outubro/2003	Fevereiro/2004	Média	CV (%)
Mata Nativa	40,6	43,2	41,8	41,9 C	11,9
Campo Nativo	49,4	46,2	48,1	47,9 A	4,5
Araucária	45,1	43,3	44,9	44,4 B	7,2
Pinus 12 anos	41,1	35,4	40,2	38,9 D	14,6
Pinus 20 anos	36,3	31,7	38,2	35,4 E	8,1
Média	42,5 a	40,0 b	42,6 a		
CV (%)	10,2	7,8	10,4		

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5% de significância.

**Tabela 2 -** Temperatura do solo na camada de 0-10 cm, em área de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e pinus em três épocas de amostragem no Planalto dos Campos Gerais, SC.

Tratamento	Temperatura (°C)				
	Julho/2003	Outubro/2003	Fevereiro/2004	Média	CV (%)
Mata Nativa	14,1 Bc	18,5 Bb	19,1 Ca	17,2 B	3,0
Campo Nativo	12,5 Cc	21,2 Ab	24,6 Aa	19,4 A	6,5
Araucária	14,4 ABc	18,8 Bb	20,0 Ba	17,7 B	2,8
Pinus 12 anos	14,6 ABc	17,0 Cb	20,1 Ba	17,2 B	3,1
Pinus 20 anos	15,1 Ac	16,2 Db	20,0 Ba	17,1 B	3,1
Média	14,1 c	18,3 b	20,8 a		
CV (%)	5,8	4,3	2,7		

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância.

A umidade do solo variou entre as áreas (Tabela 1), sendo que apenas nos reflorestamentos com *pinus* os valores de umidade do solo foram inferiores a 40%. Maiores

conteúdos de água também foram observados em pastagem, em comparação com plantio misto de *Pinus ponderosa* Dougl. ex P. et C. Lawson e *Pinus nigra* Arnold (19 anos de idade), na Nova Zelândia (CHEN; CONDRON; DAVIS; SHERLOCK, 2003). A variação da temperatura na mata nativa e nos reflorestamentos não diferiu, sendo em média de 17,3°C (Tabela 2). Os menores valores de umidade do solo nos plantios de *pinus* podem estar relacionados com a maior demanda por água pelas plantas, o que merece investigação adicional sobre o impacto dos reflorestamentos sobre a dinâmica da água no solo e suas relações com a atividade microbiana e transformações da matéria orgânica.

A umidade do solo apresentou pequena variação com a época de amostragem, com redução de aproximadamente 2% no seu valor em outubro. A temperatura do solo, entretanto, apresentou variação sazonal com elevação de 4°C do inverno para a primavera e de 2°C da primavera para o verão.

#### **4.3 Carbono Orgânico Total (COT) e Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) do solo**

Os teores de Carbono Orgânico Total (COT) no solo variaram em função das formas de uso da terra (Tabela 3). O maior teor de COT foi observado na área de mata nativa (51,7 g kg<sup>-1</sup> de C no solo). As áreas de reflorestamento com araucária e *pinus* 20 anos apresentaram teores diferentes de COT daqueles observados na mata, sendo 15,7% e 14,5% menores. O COT na área de *pinus* com 12 anos não diferiu do observado na mata nativa, entretanto, apresentou-se 8% menor. Guedes (2005) também observou valores entre 23 e 56 g kg<sup>-1</sup> de COT na camada de 0-5 cm do solo, nas mesmas áreas, sendo que a mata nativa e o campo nativo apresentaram os maiores teores em relação às áreas de *pinus*. Dinesh; Ghoshal Chaudhuri; Ganeshamurthy; Dey (2003) observaram diferenças marcantes nos conteúdos de

C orgânicos do solo entre florestas naturais e plantadas na Índia, com 24 e 7 mg g<sup>-1</sup> de COT. Em geral, a substituição de sistemas naturais por plantios apresenta efeitos de redução do conteúdo de MO e COT. Os sistemas naturais caracterizam-se por um estado estacionário (“steady state”) onde não ocorrem variações nos conteúdos de matéria orgânica o que não ocorre em plantio (ADDISCOTT, 1992).

Ao contrário do observado por Guedes (2005), os teores de COT dos reflorestamentos de araucária e *pinus* não diferiram estatisticamente dos encontrados no campo nativo, entretanto, deve-se considerar que este autor trabalhou com amostras de 0-5 cm de profundidade, enquanto neste estudo o COT foi estudado de 0-10 cm. No Paraná, Lima *et al.* (1995) verificaram maior conteúdo de C em áreas reflorestadas com *Pinus* (20 anos) que no campo natural. Paul *et al.* (2002) reuniram dados de 204 áreas de plantio de espécies florestais em todo o mundo e observaram que o C do solo, na camada <10 cm, diminuiu em média 3,46% por ano em relação ao conteúdo de C observado nos cinco primeiros anos de plantio. Estes autores observaram ainda que a maioria das perdas de C do solo ocorreram em plantações de *Pinus radiata*. Parfitt; Scott; Ross e Salt (2003), ao estudarem o efeito da mudança de uso do solo pela substituição de pastagens por florestas de *Pinus radiata*, observaram que as concentrações de C no solo (0-10 cm) seguiram a seguinte ordem: pastagem > *pinus* = floresta. Como no Brasil, em outros países as áreas de plantio de florestas crescem rapidamente e, por isso, estudos têm sido realizados com vistas à quantificação das mudanças no C do solo. Os efeitos da substituição de floresta e pastagens, naturais ou introduzidas, por reflorestamentos de *pinus* são pouco conhecidos em solos ácidos, como os que ocorrem no Brasil, mas de grande interesse tendo em vista a importância da matéria orgânica na sustentabilidade dos ecossistemas.

Os teores de COT do solo também variaram com a época de amostragem sendo maiores no inverno (mês de julho/2003) e apresentando reduções nos meses de outubro de

2003 e fevereiro de 2004 (primavera-verão). Variações sazonais nos teores de COT não são esperadas em solos sob vegetação natural e mesmo em sistemas florestais, onde as variações ocorrem a longo prazo (GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2005; ADDISCOTT, 1992).

**Tabela 3** - Carbono orgânico total do solo na camada 0-10cm, em área de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e pinus em três épocas de amostragem no Planalto dos Campos Gerais, SC.

Tratamento	Carbono Orgânico Total - (g kg <sup>-1</sup> solo)				
	Épocas de amostragem			Média	CV (%)
	Julho/2003	Outubro/2003	Fevereiro/2004		
Mata Nativa	57,88	49,43	47,78	51,7 A	21,80
Campo Nativo	49,23	50,80	45,27	48,4 AB	13,06
Araucária	47,17	42,05	41,61	43,6 B	17,99
Pinus - 12 anos	55,61	45,89	41,44	47,6 AB	20,01
Pinus - 20 anos	48,46	43,57	40,43	44,2 B	12,12
Média	51,7 a	46,4 b	43,3 b	47,1	
CV(%)	20,00	15,68	17,68		

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5% de significância.

Os teores de Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) do solo variaram entre as formas de uso do solo (Tabela 4). O campo nativo apresentou o maior conteúdo de CBM no solo (836,37 mg kg<sup>-1</sup>), sendo este 26% maior que o observado na mata nativa e 47% maior que a média do CBM observado nos reflorestamentos (araucária e *pinus*). A mata nativa também apresentou valores de CBM 28% superiores aos dos reflorestamentos, o que pode estar relacionado à qualidade da serrapilheira. Neste caso, a serrapilheira seria mais facilmente decomposta que nas áreas de reflorestamento, favorecendo a biomassa microbiana. O maior acúmulo de serrapilheira observado visualmente nos plantios de *pinus*, por sua vez, deve estar relacionado a uma menor taxa de decomposição microbiana e/ou a maior entrada de material do sistema do solo. Tais hipóteses, entretanto, merecem atenção e carecem de confirmação experimental.

Os valores de CBM observados nas áreas estudadas estão dentro das variações apresentadas na literatura para sistemas florestais e pastagens naturais (DINESH; GHOSHAL

CHAUDHURI; GANESHAMURTHY; DEY, 2003; LEE & JOSE, 2003; CHEN; CONDRON; DAVIS; SHERLOCK, 2003; MERINO, 2004; NSABIMANA *et al.*, 2004; BARETTA; SANTOS; MANFROI; TASCA; DOMINGOS; KLAUBERG-FILHO & MAFRA, 2003).

**Tabela 4** - Carbono da biomassa microbiana na camada de solo de 0-10 cm, em área de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e pinus em três épocas de amostragem no Planalto dos Campos Gerais, SC.

Tratamento	Carbono da biomassa microbiana (mg kg <sup>-1</sup> solo)				
	Épocas de coleta			Média	CV(%)
	Julho/2003	Outubro/2003	Fevereiro/2004		
Mata Nativa	858,56	573,85	427,86	620,09 B	26,45
Campo Nativo	1007,26	863,82	638,04	836,37 A	30,65
Araucária	603,29	328,53	356,81	429,54 C	30,88
Pinus - 12 anos	512,54	338,07	409,11	419,90 C	39,59
Pinus - 20 anos	606,29	504,37	330,36	480,34 C	25,40
Média	717,59 a	521,73 b	432,44 c	557,25	
CV(%)	26,11	35,21	31,26		

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5% de significância.

Maiores níveis de CBM em áreas de mata e pastagem nativa são comumente observados quando comparados àqueles determinados em solos que sofreram algum tipo de alteração no uso ou manejo (TÓTOLA & CHAER, 2002). Cattelan & Vidor (1990), por exemplo, estudando as flutuações da biomassa em solo submetido a sete sistemas de cultivo em Eldorado do Sul (RS), encontraram maior biomassa no campo nativo (61,5 mg kg<sup>-1</sup>), na camada de 0-5 cm. Neste estudo, entretanto, a mata nativa apresentou menores teores de CBM que no campo nativo, o que pode estar relacionado à prática de roçadas do campo no outono.

O efeito negativo do plantio de *pinus* sobre o CBM do solo, observado neste trabalho, também foi relatado por outros pesquisadores. Ross *et al.* (1999) observaram declínio consistente do CBM, na camada de 0-10 cm do solo, após a substituição de áreas de pastagem por plantios de *Pinus radiata* D. Don, na Nova Zelândia. As reduções nos valores de CBM da

pastagem para o plantio de *pinus* foram da ordem de 53%. Rutigliano *et al.* (2004), ao estudarem a introdução de *pinus* em áreas nativas degradadas pelo fogo no Mediterrâneo, ao sul da Itália, concluíram que o plantio de *pinus* retardou o desenvolvimento do solo mantendo baixos os conteúdos de nutrientes e do CBM, quando comparado aos valores em área de regeneração natural. Enquanto na área de *Pinus pinea* L. foram observados valores de CBM de aproximadamente  $0,5 \text{ mg g}^{-1}$  ( $500 \text{ mg kg}^{-1}$ ), na área de regeneração natural os valores de CBM na rizosfera de *Q. Ilex* foram superiores a  $1,5 \text{ mg g}^{-1}$  ( $1500 \text{ mg kg}^{-1}$ ). O CBM constitui uma medida crítica para avaliação da condição de um solo, porque esta representa a fração de solo responsável pela ciclagem de energia e nutrientes e pela regulação das transformações da matéria orgânica e permite acessar o funcionamento de um sistema em função da forma de uso ou manejo do solo.

O CBM apresentou diferenças marcantes entre a área de campo nativo e os reflorestamentos, o que não foi possível observar pela análise do COT no solo, o que confirma a maior sensibilidade do CBM a mudanças na dinâmica do C no solo. Alterações mais sensíveis no CBM em relação à matéria orgânica do solo também foram detectadas em solos brasileiros (GAMA-RODRIGUES, 2005; MATSUOKA; MENDES; LOUREIRO, 2003).

O teor de CBM do solo também variou com a época de amostragem (Tabela 4), sendo maior no inverno (julho de 2003),  $717 \text{ mg C kg}^{-1}$  de solo (Tabela 4). Na primavera (outubro de 2003) e no verão (fevereiro de 2004), o CBM apresentou reduções significativas em relação ao inverno, da ordem de 27,3% e 39,7%, respectivamente. Maiores valores de CBM no inverno também foram observados em solo com pomar de maçã. Segundo Maluche (2003, p. 22, 23), “os maiores teores de CBM foram observados no pomar orgânico (PO), sendo 61,7% e 46,6% superiores aos do pomar convencional”.

O aumento da temperatura do solo e da umidade normalmente tem efeito positivo sobre a biomassa microbiana, estimulando sua atividade. Gama-Rodrigues *et al.* (2005) no seu

estudo com plantios de eucalipto, descrito anteriormente, verificaram que aumentos na precipitação pluviométrica levaram a aumentos nos teores de CBM nas regiões estudadas. Araújo (2003), trabalhando com solos de pastagem do Noroeste Fluminense-RJ, observou maiores teores de CBM no verão do que no inverno e demonstrou que o aumento da quantidade de água e nutrientes no solo na época do verão favoreceu a atividade microbiana, e conseqüentemente, a eficiência da biomassa microbiana em imobilizar C. Li et al. (2005) também observaram diferentes conteúdos de CBM em floresta secundária e plantios de pinus em Porto Rico na época das chuvas e época seca; 804 e 460 mg C kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para a floresta secundária e 550 e 480 mg C kg<sup>-1</sup>, respectivamente, no pinus. Isto talvez, devido ao tipo de solo, a temperatura (maior atividade microbiana), a localização, latitude e sazonalidade.

O efeito da variação sazonal nos níveis de COT e CBM, em todas as forma de uso do solo, indicam a influência das condições ambientais na atividade microbiana do solo. Esta influência aparentemente é mais acentuada para o CBM que para o COT nas épocas avaliadas. O COT tende a ser mais estático ao longo do ano, como observado por Gama-Rodrigues et al. (2005) em plantios comerciais de eucalipto, onde avaliou o efeito da variação sazonal sobre o COT e o CBM de solos em cinco municípios brasileiros (Aracruz-ES; Guanhões-MG; Luis Antônio-SP, Lençóis Paulistas-SP e Três Marias-MG). O CBM apresentou correlação de Pearson positiva com a temperatura do solo (em outubro  $r = 0,51$ ,  $P < 0,001$ ; em fevereiro  $r = 0,54$ ,  $P < 0,001$ ), indicado que o aumento da temperatura do solo levou a um aumento da CBM, o que poderia ser interpretado como resultante da maior taxa de decomposição da matéria orgânica. Para o COT, entretanto, não foram observadas correlações significativas com a umidade e temperatura do solo.

Convém destacar que as variações sazonais no CBM descritas por Gama-Rodrigues et al. (2005) e Araújo (2003) foram observadas em regiões de clima tropical. Em regiões mais

frias e com regime de chuvas bem distribuído, como ocorre na região do Planalto dos Campos Gerais, SC, onde este estudo foi conduzido, os resultados apontam para um comportamento contrário, com aumentos do CBM no inverno, o que merece investigações adicionais. Neste caso, um conjunto de fatores ambientais parece estar influenciado a atividade microbiana do solo, enquanto em regiões mais quentes e com regime de chuvas restrito a poucos meses do ano, a umidade do solo parece ser mais importante.

#### **4.4 Nitrogênio total (NT) e Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) do solo**

As áreas de mata nativa e campo nativo apresentaram os maiores teores de NT (8,2 e 7,6 g kg<sup>-1</sup>) no solo (Tabela 5). O teor de NT do solo não diferiu entre as áreas de reflorestamento e em média foram 20 e 14% menores que os teores na mata e campo nativo, respectivamente. Este resultado está relacionado à qualidade da matéria orgânica depositada no solo que possivelmente é mais rica em N na mata e campo nativo, devido a presença de leguminosas e a maior variedade de espécies presentes que nos monocultivos de pinus e araucária.

Os teores de NT do solo também variaram com a época de amostragem, sendo 8% menor no verão (fevereiro/2004) que na primavera (outubro/2004). Esta redução pode estar relacionada a maior mineralização da matéria orgânica em períodos mais quentes do ano e a maiores perdas de N por aumento da nitrificação, entretanto, tais hipóteses necessitam averiguação.



**Tabela 5** - Nitrogênio total do solo na camada 0-10 cm, em área de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e pinus em duas épocas de amostragem no Planalto dos Campos Gerais, SC.

Tratamento	Nitrogênio total - (g kg <sup>-1</sup> solo)			
	Épocas de amostragem		Média	CV (%)
	Outubro/2003	Fevereiro/2004		
Mata Nativa	8,9	7,6	8,2 A	19,32
Campo Nativo	8,1	7,2	7,6 A	9,02
Araucária	6,4	6,9	6,6 B	12,47
Pinus - 12 anos	7,0	6,1	6,6 B	15,20
Pinus - 20 anos	6,5	6,2	6,4 B	10,82
Média	7,4 a	6,8 b	7,1	
CV(%)	15,82	12,2		

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância.

Os teores médios de NBM observados neste estudo variaram de 64,90 a 164,22 mg kg<sup>-1</sup> na mata e campo nativo e de 47,15 a 152,34 mg kg<sup>-1</sup> nos reflorestamentos. Para o teor de NBM no solo, observou-se variação entre as formas de uso do solo dentro de cada época de amostragem (Tabela 6).

Na primavera (outubro/2003) o teor de NBM foi maior na mata nativa (156,11 mg kg<sup>-1</sup>) e no campo nativo, mas não diferiram bastante nos reflorestamentos de *pinus*, diferiram estatisticamente entre si. O reflorestamento de araucária apresentou NBM inferior aos demais. No verão (fevereiro/2004) o NBM apresentou comportamento diferenciado da primavera: o campo nativo apresentou o maior teor de NBM (164,22 mg N kg<sup>-1</sup> de solo), sendo que as áreas de mata, araucária e *pinus* 12 anos apresentaram valores similares e inferiores a 90 mg kg<sup>-1</sup> de NBM no solo. O *pinus* 20 anos apresentou o menor valor de NBM no solo, sendo inferior a 50 mg kg<sup>-1</sup>.

**Tabela 6 -** Nitrogênio da biomassa microbiana do solo na camada 0-10cm, em área de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e pinus em duas épocas de amostragem no Planalto dos Campos Gerais, SC.

Tratamento	Nitrogênio da biomassa microbiana - (mg kg <sup>-1</sup> solo)			
	Épocas de amostragem		Média	CV (%)
	Outubro/2003	Fevereiro/2004		
Mata Nativa	156,11 Aa	64,90 BCb	110,51 A	50,40
Campo Nativo	152,34 Aa	164,22 Aa	158,28 B	41,77
Araucária	63,33 Ba	64,19 BCa	63,76 C	34,10
Pinus - 12 anos	93,40 Aba	83,37 Ba	88,38 BC	44,30
Pinus - 20 anos	152,34 Aa	47,15 Cb	99,74 BC	61,66
Média	123,50 a	84,77 b	104,14	
CV(%)	53,84	35,08		

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância.

Elevados conteúdos de biomassa microbiana no solo são interessantes já que permitem o armazenamento de nutrientes em sua biomassa (SWEZEY et al., 1998), representando um reservatório lábil desses nutrientes (WARDLE & HUNGRIA, 1994). GAMA-RODRIGUES et al. (2005) observaram em solos com plantios de eucaliptos, que o teor de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no solo aumentou com os teores de C e N totais e reduziu como o aumento do NBM. Segundo estes resultados, a biomassa microbiana funcionaria como um compartimento de reserva para a mineralização de N e a inter-relação do estoque de C e N com a biomassa microbiana seria refletida na disponibilidade de N para a cultura do eucalipto durante o ano. Isto é de especial importância para nutrientes como o N, que sofre inúmeras transformações no ambiente, sendo facilmente perdido quando da sua alta disponibilidade na solução. O inverso, ou seja, a redução dos conteúdos de NBM, como observado nos reflorestamentos de *pinus* e araucária, indica uma menor capacidade de armazenamento do NT na forma de N microbiano. Informações sobre as perdas de N em sistemas florestais e sua relação com a biomassa

microbiana são praticamente inexistentes, mas de grande importância pela participação da microbiota na dinâmica deste nutriente no solo.

Os resultados deste estudo indicam um declínio nos conteúdos de NT e NBM do solo devido à substituição da mata e/ou campo nativo por plantio de pinus e araucária. Reduções nos conteúdos de NT e NBM do solo também foram observadas por Dinesh; Ghoshal Chaudhuri, Ganeshamurthy e Chanchal (2003) ao compararem florestas e plantios de espécies arbóreas na Índia. Neste caso, os valores de NT declinaram de 1,8 para 0,83 mg g<sup>-1</sup> e os de NBM de 47,7 para 11,5 :g g<sup>-1</sup>, respectivamente. Na Nova Zelândia, a substituição de pastagem por plantio de *Pinus radiata* (19 anos de idade) ocasionou redução no NBM do solo de 242 mg kg<sup>-1</sup> na pastagem para 98 mg kg<sup>-1</sup> no pinus (ROSSss et al., 1999).

Reduções no NT e NBM servem como indicadores de perdas de N ocasionadas pela mudança na forma de uso do solo e/ou por alterações na atividade microbiana em função do preparo para o plantio do pinus e araucária e manejos adotados durante a condução da floresta. Neste sentido, Merino et al. (2004) relataram que a remoção da matéria orgânica ocasionada pelo manejo intensivo do solo e por perdas via erosão do solo nos primeiros anos após o plantio foram responsáveis por reduções nos níveis de NT e NBM em plantios de *Pinus radiata*, no Norte da Espanha. Este mesmo estudo observou que o revolvimento do solo e remoção de matéria orgânica durante o preparo da área levaram a reduções na produtividade de *P. radiata* de 8,4 para 2,4 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, isto em 9 anos de avaliação.

#### 4.5 Relação entre C-microbiano e C-orgânico total (CBM:COT) e N-microbiano e N-total (NBM:NT) do solo

A contribuição do C microbiano para o C orgânico total (COT) variou de 0,8 a 2% (Tabela 7) enquanto a contribuição do N da biomassa microbiana para o NT do solo variou de 2,29 a 0,74% (Tabela 8). Resultados semelhantes de contribuição do C microbiano foram observados por Baretta; Santos; Manfroi; Tasca; Domingos; Klauberg-Filho e Mafra (2005) em área de campo nativo e pinus na região do Planalto dos Campos Gerais, SC, em um Latossolo Bruno, variando de 1,3 a 2,2%.

**Tabela 7 -** Relação entre carbono da biomassa microbiana e carbono orgânico total do solo (CBM:COT) na camada 0-10cm, em área de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e pinus em três épocas de amostragem no Planalto dos Campos Gerais, SC.

Tratamento	CBM:COT (%)				
	Épocas de amostragem			Média	CV (%)
	Julho/2003	Outubro/2003	Fevereiro/2004		
Mata Nativa	1,5 Ba	1,2 Bb	0,9 Bb	1,2 B	24,65
Campo Nativo	2,0 Aa	1,7 Aab	1,4 Ab	1,7 A	24,65
Araucária	1,3 Ba	0,9 Bb	0,8 Bb	1,0 C	29,53
Pinus - 12 anos	1,0 Ca	0,8 Ba	1,1 Ba	0,9 C	45,01
Pinus - 20 anos	1,2 BCa	1,2 Ba	0,8 Bb	1,0 BC	23,58
Média	1,4 a	1,1 b	1,0 c	1,2	
CV(%)	21,97	33,84	33,41		

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância.

A relação CBM:COT teve comportamento similar ao do CBM (Tabela 4), apresentando a mesma tendência, ou seja, o campo nativo teve a maior relação CBM:COT, com média de 1,7%, seguida dos demais sistemas estudados. Considerando a época de amostragem, observamos que esta tendência não varia, sendo que no inverno a relação

CBM:COT é maior que na primavera e no verão. No estudo realizado por Baretta; Santos; Manfroi; Tasca; Domingos; Klauberg-Filho e Mafra (2005), descrito anteriormente, a maior relação CBM:COT foi observada na mata (2,2%) seguida dos sistemas campo nativo e pinus, que não diferiram entre si. Segundo Jenkinson e Lad (1981) a relação CBM:COT de 2,2% pode ser considerada como sendo o nível no qual estaria ocorrendo equilíbrio, no entanto, esta relação pode sofrer influência do manejo do solo e do grau de estabilização do C orgânico (BARETTA; SANTOS; MANFROI; TASCA; DOMINGOS; KLAUBERG-FILHO & MAFRA, 2005).

**Tabela 8 -** Relação entre o nitrogênio da biomassa microbiana e o nitrogênio total do solo (NBM:NT) na camada 0-10cm, em área de mata nativa, campo nativo e reflorestamentos de araucária e pinus em duas épocas de amostragem no Planalto dos Campos Gerais, SC.

Tratamento	NBM:NT (%)			
	Épocas de amostragem		Média	CV (%)
	Outubro/2003	Fevereiro/2004		
Mata Nativa	1,70 Aa	0,80 Cb	1,25 B	39,87
Campo Nativo	1,96 Aa	2,29 Aa	2,12 A	47,57
Araucária	1,05 Aa	0,95 BCa	1,00 B	42,76
Pinus - 12 anos	1,38 Aa	1,44 Ba	1,41 B	48,43
Pinus - 20 anos	2,34 Aa	0,74 Cb	1,54 B	59,25
Média	1,69 a	1,25 b	1,46	
CV(%)	54,99	39,20		

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância.

No caso da relação NBM:NT, não foi realizada avaliação na época de inverno e variações significativas deste índice entre as áreas de estudo ocorreram somente no verão (fevereiro de 2004), o que pode estar associado a maior atividade microbiana resultante do aumento da temperatura do solo, já que a biomassa microbiana é um compartimento que reflete mudanças conforme os fatores abióticos e práticas de manejo (GAMA-RODRIGUES,

2005). No verão, o maior percentual foi observado no campo nativo (2,29%) e em média, esta tendência se confirmou, sendo o NBM:NT maior no campo nativo e igual nas demais áreas.

As relações CBM:COT e NBM:NT são consideradas medidas da qualidade nutricional da matéria orgânica do solo, expressando a eficiência da biomassa microbiana em imobilizar o C e o N orgânico do solo. Além disso, constituem boas indicadoras das alterações dos processos no solo, e aqueles que apresentarem valores maiores ou menores podem expressar ocorrência de acúmulo ou perda de C do solo, respectivamente (BARETTA; SANTOS; MANFROI; TASCA; DOMINGOS; KLAUBERG-FILHO & MAFRA, 2005). Em solos com adição de resíduos de baixa qualidade nutricional, os microrganismos encontram-se sob estresse, tornando-se incapazes de utilizar totalmente o N e o C orgânico (WARDLE, 1993). Neste estudo, os menores valores de CBM:COT e NBM:NT observados nas áreas de reflorestamento de araucária de *pinus* indicam a influência da substituição de áreas de campo nativo pelos reflorestamento na qualidade e acúmulo de C orgânico no solo estudado. Portanto os valores destes índices confirmam seu potencial como indicadores de qualidade do solo.

## 5 CONCLUSÕES

1. As amostragens de solo no inverno apresentaram maiores valores de C e N total e C e N microbiano.
2. Os reflorestamentos de pinus apresentaram menores teores de C e N da biomassa microbiana, e para os compartimentos totais (CBM:COT e NBM:NT).
3. A mata nativa apresentou maior teor de COT. O campo nativo e reflorestamento de araucária e pinus apresentaram semelhantes teores de C orgânico total, sendo que a mata nativa e campo nativo apresentaram menor teor de N total.
4. A respiração do solo apresentou variação sazonal diferenciada em cada forma de uso solo, com maiores taxas de mineralização na área de campo nativo, e menores nas áreas de reflorestamento de *Pinus taeda*.
5. As áreas de mata e campo nativo apresentaram maior mineralização no verão.
6. Mais estudos se fazem necessários para melhores esclarecimentos dos resultados obtidos nesta pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDISCOTT, T.M. Entropy and sustainability. *Eur. J. Soil Sci.*, 46:161-168, 1992.

ALBUQUERQUE, P. P. **Aspectos ecológicos de populações de fungos micorrizicos arbusculares em reflorestamentos e em mata nativa de Araucária angustifolia**. Lages: UDESC, 2003. (dissertação de Mestrado).

ALMEIDA, J. A. ERNANI, P. R. Influência do solvente, da relação solo/solvente, e da incubação das amostras úmidas na variação do pH de solos catarinenses. **Ciência Rural**, v.26, n.1, 1996. p. 81-85.

ALLEN, A.S. & SCHLESINGER, W.H. Nutrient limitations to soil microbial biomass and activity in loblolly pine forests. **Soil Biochem**, v.36 581-589, 2004.

AMATO, M.; LADD, J. N. Assay for microbial biomass base don ninhydrin-reactive nitrogen in extracts of fumigated soils. **Soil Biol. Biochem. Oxford**, v. 20, n. 1, p. 107-114, 1988.

ANDERSON, D. W.; PAUL, E. Organo-mineral particles and their study by radiocarbon dating. **Soil Science Society of America Journal**, v. 42, p. 298-301, 1984.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. 2. ed. **CAB Internacional**, 1993.

ANDERSON, J.R.E.; DOMSCH, K.H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. **Soil Sci.**, Baltimore, v. 130, n. 4, p. 211-216, 1980.

ANDERSON, T.H. Physiological analysis of microbial communities in soil: applications and limitations. In: RITZ, K.D. & GILLER, K.E., eds. Beyond de biomass. **London British Societv of Soil Science**, 1994. p. 67-76.

ARAÚJO, S.P. **Atributos biológicos do solo sob diferentes coberturas vegetais amostrados em duas estações do ano numa topossequência no Noroeste Fluminense – RJ**. Campo dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2003. 51p. (Tese de Doutorado).

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; MANFROI, A. F.; TASCA, F. A.; DOMINGOS, M. D.; KLAUBERG-FILHO, O. & MAFRA, A. L. Diversidade da fauna edáfica em mata nativa, floresta de pinus e campo nativo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, Ribeirão Preto, 2003. Resumos expandidos. Ribeirão Preto, SBCS/UNESP, 2003. p.1-4. CD ROM.



- BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 687-694, 1999.
- 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 soil microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, v.17, n. 6, p. 837-842, 1985.
- CAMARGO, F.A. de O. **Fracionamento e dinâmica do nitrogênio orgânico em solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 1996. 151f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- CATTELAN, A.J. & VIDOR, C. Flutuação na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 14:133-142, 1990.
- CERRI, C.C. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em Latossolo Amarelo da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. V.9, n.1, jan/abr. 1985.
- CHEN, C.R.; CONDRON, L. M.; DAVIS, M. R.; SHERLOCK, R. R. Seasonal changes in soil phosphorus and associated microbial properties under adjacent grassland and forest in New Zealand. **Forest Ecology and Management**, v. 177, p. 539-557, 2003.
- CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; DESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:425-432, 1999.
- DINESH, R., GHOSHAL CHAUDHURI, AN GANESHAMURTHY & CHANCAL DEY. Changes in soil microbial indices and their relationships following deforestation and cultivation in wet tropical forests. **Applied. Soil Ecology**., v. 24, p. 17-26. 2003.
- Empresa BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2 ed., Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.
- FASSBENDER, H.W. Química de suelos: com ênfase em suelos de América Latina. San José, Costa Rica: **Instituto Interamericano de Ciências Agrárias**, 1980.
- FRANZLUEBBERS, K. Mineralization of carbon and nitrogen from cowpea leaves decomposing in soils with different levels of microbial biomass. **Biology and Fertility of Soils**. Berlin, v. 19, 2000.
- FEIGL, B.J.; CERRI, C.C. & BERNOUX, M. Balanço de carbono e biomassa microbiana em solo da Amazônia. In: MELO, I.S. & AZEVEDO, J.L., eds. **Ecologia Microbiana**. Jaguariúna, Embrapa-CNPMA, 1998. p. 423-441.
- GALETI, Paulo Anestar. **Conservação do solo; reflorestamento; clima**. 2ª ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973.
- GAMA-RODRIGUES, E.F. **Biomassa-C microbiana de solos de Itaguaí**: comparação entre os métodos da fumigação-incubação e fumigação-extração. Itaguaí, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1992. 108p. (Dissertação de Mestrado).
- GARCIA, A.; MORON, A. Estudos de C, N y P em la biomassa microbiana Del suelo em três sistemas de rotación agrícola. **Rev. INIA Inv. Agr.**, Montevideo, v. 1, n. 1, p. 111-126, 1992.
- GOMES, K.E.; ALMEIDA, J. A.; QADROS, F. L. F; VIDOR, M. A.; DALL'AGNOL, M.; RIBEIRO, A. M. L. Zoneamento das pastagens naturais do Planalto Catarinense. In:

REUNIÃO DO GRUPO TÉCNICO REGIONAL DO CONESUL EM MELHORAMENTO E UTILIZAÇÃO DE RECURSOS FORRAGEIROS DAS ÁREAS TROPICAL E SUBTROPICAL, 11, 1989, Lages SC. Anais ... Lages SC: EMPASC, 1990, p. 304-314.

GRISI, B.M.; GRAY, T.R.B. Biomassa microbiana de solo estimada do biovolume com o uso da microscopia de fluorescência. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 9, p. 131-138. 1985.

GUEDES, Sulamita de Fátima Figueiredo. **Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais no Planalto dos Campos Gerais, SC**. Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo CAV-UDESC. Lages, 2005.

INSAM, H.; DOMSCH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**, New York, v.15, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Zoneamento econômico florestal do Estado do Rio Grande do Sul**. Curitiba: IBDF, 1971. 125p.

JANZEN, H.H., CAMPBELL, C.A. BRANDT, S.A. LAFOND, G.P., TOWNLEY-SMITH, L. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. **Soil Science Society of America Journal**, 56:1799-1806, 1992.

JENKINSON, D. S. Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil. In: Wilson, J. R. **Advances in nitrogen cycling in agricultural systems**. Wallingford: CAB International, p. 368-386, 1988.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-V. A method for measuring soil biomass. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, v. 8, n. 3, p. 209-213. 1976.

JENKINSON, D.S. & LADD, J.N. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. In: PAUL, E.A. & LADD, J.M., eds. **Soil Biochem.**, nº. 5:415-471, 1981.

KAISER, E. A.; MUELLER, T; JOERGENSEN, RG; INSAM, H; HIENEMEYER, O. Evaluation of methods to estimate soil microbial biomass and the relationship with soil texture and organic matter. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 395-401, 1995.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas**. Rossdorf: TZ Verl. 1990.

Li, Y. C.; ALVA, A. K; CALVERT, D. V. e ZHANG, M. A rapid nondestructive technique to predict leaf nitrogen status of grapefruit tree with various nitrogen fertilization practices. **Hort technology**: 8, 81, 2005

LEE, Kye-Han & JOSE, Shibu. Soil respiration, fine root production, and microbial biomass in cottonwood and loblolly pine plantations along a nitrogen fertilization gradient. **Forest Ecology. Management.**, v. 185, p. 263-273. 2003.

LIMA, V.C.; LIMA, J. M. J. C.; CERRI, C. C. Efeito da substituição de campo natural por *Pinus* na dinâmica do carbono do solo. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, v. 14, p. 7-12, 1995.

LYNCH, J. M.; PANTING, L. M. Cultivation and the soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**. Biochem., Oxford, v. 12, n. 5, p. 469-475. 1982.

MALUCHE, Carolina Riviera Duarte. **Atributos microbiológicos e químicos do solo em sistemas de Produção de Maças convencional e orgânica**. Lages: UDESC, 2003. (Dissertação de Mestrado).

- MARUMATTO, T.; ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. Mineralization of nutrients from soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**. Oxford, v. 14, p. 469-475, 1982.
- MATTOS, J.R. **Espécies de pinus cultivados no Brasil**. São Paulo: Chácaras e Quintas, s.d.
- MEDRI, I. M.; LOPES, J. Scarabaeidae (Coleoptera) do Parque Estadual Mata dos Godoy e da área de pastagem, no norte do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, 18 (supl. 1): 135 – 141, 2001.
- MELO, I.S.; AZEVEDO, J.L. **Microbiologia ambiental**. Jaguariúna: Embrapa, 1997
- MERINO, A. Soil changes and tree growth in intensively managed *Pinus radiata* in northern Spain. **Forest Ecology. Management.**, v. 196, p. 393-404. 2004.
- MORAES, P. R. **Geografia geral e do Brasil**. 2<sup>a</sup> ed. São Paulo: Harbra, 2003.
- NSABIMANA, D. Size, activity and catabolic diversity of the soil microbial biomass as affected by land use. **Applied Soil Ecology**, v. 26, p. 81-92, 2004.
- NETO, J. G.; SOARES, R.V. Influência da queima controlada no pH do solo em povoamento de *Pinus* spp, na região de Sacramento, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.5, n.1, p. 87-101, 1995.
- NETO, J. S.; SANTOS, C. B. *Pinus*. **Correio Lageano**. 3 ago/2005, p. 3.
- NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucária angustifolia* (Bert.) O. Kutze. Baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, v.11, n.2, p. 9-14, 2001.
- OCIO, J.A.; BROOKES, P.C. Na evaluation of methods for measuring biomass in soils following recent additions of wheat straw the characterization of the biomass that develops. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 22, n. 5, p. 685-694, 1990.
- PARFITT, R.L. Land-use change effects on soil C and N transformations in soils of high N status: comparisons under indigenous forest, pasture and pine plantation. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, n. 66, p. 203-221, 2003.
- PARTON, W.J.; SANFORD, R. L.; SANCHEZ, P. A. & STEWART, J. W. B. Modeling Soil organic matter dynamics in tropical soils. In: COLEMAN, D.C. et al, eds. Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Honolulu, **NifTal Project**, p. 153-171. 1989.
- PAUL. K.I. Change in soil carbon following afforestation. **Forest Ecology and Management**. 168, p. 241-257, 2002.
- PAVAN M. A.; CHAVES, J. C. D. **A importância da matéria orgânica nos sistemas agrícolas**. Londrina: IAPAR, 1998.
- PFENNING, L.; EDUARDO, B. de p.; CERRI, C.C. Os métodos da fumigação-incubação e fumigação-extração na estimativa da biomassa microbiana de solos da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, n. 1. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 31-37.
- POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**. Oxford. V. 19, p. 159-164. 1987.
- REVISTA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS DO SOLO. v. 29, n.5. Minas Gerais: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.

REVISTA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS DO SOLO. v. 29, n.6. Minas Gerais: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.

ROS, D. J. Modifications to the fumigation procedure to measure microbial biomass C in wet soils under pasture: influence of seasonal fluctuations in the soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, n. 3. Oxford, 1988. p. 377-383.

ROS, D. J. Land-use change: effects on soil carbon, nitrogen and phosphorus pools and fluxes in three adjacent ecosystems. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, p. 803-813, 1999.

RUTIGLIANO, F.A. Soil microbial metabolism and nutrient status in a Mediterranean área as affected by plant cover. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 36, p. 1719-1729, 2004.

SAMPAIO, E.V.S.B. Limitações no cálculo da biomassa microbiana determinada pelo método da fumigação em solos com adição recente de substrato orgânico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 10, n. 1. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1986. p. 31-35.

SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação geral Sub-chefia de Estatística, Geografia e Informática. Atlas de Santa Catarina. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1986. 176p.

SANTOS, G.A.; CAMARGO. Fundamentos da matéria orgânica do solo. **Gênesis**, s.d.

SCHEEREN, L. W.; GEHARDT, E. J.; FINGER C. A. G.; LONGHI, J.; SCHNEIDER, P. R.. Agrupamentos de unidades amostrais de *Araucária angustifolia*. O Kutze em função de variáveis do solo, da serapilheira e das acículas, na região de Canela, RS. **Ciência Rural**, 10-39-57, 2000.

SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONOMICO. **Inventário diagnóstico da base florestal na região de Lages**. Lages: Prefeitura Municipal, Curitiba: UFPR, 2002. 29p.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO URBANO E MEIO AMBIENTE. **Plano Básico de Desenvolvimento ecológico- econômico**. Florianópolis, 1999.

SIEGA, L. O que seria de nós sem as florestas plantadas? **Revista Expressiva**. n. 41, p. 21-24, 2005.

SILVA, C.; ANDERSON, S.; VALE, F. R. Carbono, nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois latossolos submetidos à calagem e adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n 23. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. p. 593-602.

SIMINSKI, A. Sucessão de florestal secundária no município de São Pedro de Alcântara, litoral de Santa Catarina: estrutura e diversidade. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 1. , Santa Maria, s/d. p. 21-33.

SOARES, R.V. **Curso de prevenção e controle de incêndios florestais**. Curitiba: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior, 1986.

SPARLING, G.P.; WEST, A.W. Modifications to the fumigation-extraction technique to permit simultaneous extraction and estimation of soil microbial C and N. Commun. In: **Soil Sci. Plant. Anal.**, New York, v. 19, n. 3, p. 327-344, 1988.

STEVENSON, F.J. Organic forms of soil nitrogen. In: STEVENSON, F.J. (Ed.) **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: ASA/SSSA, p. 67-122. 1982a.

- STEVENSON, F.J. Origen and distribution of soil nitrogen. In: STEVENSON, F.J. (Ed.) **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: ASA/SSSA, p. 1-14. 1982b.
- TEDESCO, M. J. VOLKWEISS, S.J., BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995.
- TONINI, H.; FINGER, C. A.; SCHNEIDER, P. R.; SPATHELF, P.. Índice de sítio para *Pinus elliottii* Engelm, em três unidades de mapeamento de solo, nas regiões da serra do sudoeste e litoral, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, p. 61-73. 2002.
- TÓTOLA, M. R.; BORGES, C. G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade. 2002.
- TURCO, R. F.; KENNEDY, A. C.; JAWSON, M. D. Microbial indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994.
- VALERI, S. V.; REISSMANN, C. B.; SANTOS FILHO, A. Exportação de nutrientes de povoamentos de *Pinus taeda* L. desbastados em diferentes idades. *Revista Floresta*, v. 19, p. 62-68, 1989.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.
- VARGAS, K.L. & SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO<sub>2</sub> e N mineral de um podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. V.24, n.35, jan/abr. 2000.
- VELHO, Ana Elisa. **Avaliação integrada de indicadores químicos, físicos e biológicos de qualidade do solo e produtividade das culturas no sistema de plantio direto**. Lages: UDESC, 2001. (Relatório final de projeto de pesquisa).
- WANDER, M. M.; TRAINA, B.R. Organic and conventional management effects on biologically active soil organic matter pools. **Soil Science Society of America Journal**, 58-1130-1139, 1994.
- WARDLE, D.A. & HUNGRIA, M.A. A biomassa microbiana do solo e sua importância nos ecossistemas terrestres. In: ARAUJO, R.S. & HUNGRIA, M., eds. *Microrganismos de importância agrícola*. Brasília, **EMBRAPA-SPI**. p. 193-216, 1994.
- YOUNG, J. L.; SPYCHER, G. Water dispersible soil organic-mineral particles.I Carbon and nitrogen distribution. **Soil Science Society of America Journal**, 43, p. 24-328, 1979.