

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS**

355193

**AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA VARIAÇÃO ESPACIAL DE  
NITROGÊNIO INORGÂNICO EM SOLOS DE OCORRÊNCIA  
DE *ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA***

Autor: Mário Luís Garbin

Orientadora: Lúcia Rebello Dillenburg

Trabalho apresentado como um dos requisitos para obtenção do grau de  
Bacharel no Curso de Ciências Biológicas Ênfase Ambiental.

Março de 2003

"A identificação de um problema depende da *teoria* na qual se baseia *nossa interpretação* sobre o que *observamos* no mundo."

Bjørn Lomborg (2002)

"Dadas as forças moleculares nas costeletas de um carneiro deduza, a partir daí, Hamlet ou Fausto."

Thomas Henry Huxley

*apud* Desmond & Moore (2000)

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, professores e colegas, por minha formação acadêmica.

À minha orientadora Profª Lúcia Rebello Dillenburg por todo o apoio.

À minha família em especial à minha mãe, Ilda Francisca Sentena por tudo.

Aos professores do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia Humberto Bohnen e Marino José Tedesco por abrirem-me as portas de seus laboratórios para as análises e pelo inestimável apoio técnico também disponibilizado pelos funcionários e integrantes desse Departamento.

Aos professores e colegas do Laboratório de Ecofisiologia Vegetal: Roberta Boscaini Zandavalli, Leandro da Silva Duarte, Luiz Gustavo Rabaiolli da Silva, Profª João Ito Bergonci (de sempre proveitosas conversas), Gilson Schindwein, Carolina C. Duarte, Cláudia C. Blesch, Guilherme A. Roesler, Ana Maria Franco, Morgana Mósena e Simone Yamasaki. Pelos quatro anos de convívio (parece que foi ontem!).

Em especial à Roberta por todo apoio, compreensão (e incompreensão!), amizade e carinho.

Aos demais professores e colegas do Departamento de Fisiologia Vegetal.

Ao Seu Darci pelas agradáveis viagens à FLONA.

Ao IBAMA/FLONA de São Francisco de Paula pela permissão para as coletas e disponibilização de infra-estrutura para as atividades.

À FAPERGS pela bolsa concedida.

## RESUMO

O reflorestamento com *Araucaria angustifolia* exige conhecimentos acerca da biologia da espécie; neste aspecto, a relação dela com o solo de sua ocorrência é de fundamental importância. A forma de nitrogênio inorgânico disponibilizado para espécie, pode ter grande influência no seu estabelecimento e no seu desenvolvimento. Assim, torna-se central a compreensão dos padrões de heterogeneidade espacial na disponibilidade de nitrogênio inorgânico em solos onde a espécie ocorre. O objetivo do presente estudo é caracterizar esta variabilidade quanto às quantidades líquidas de  $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{N-NH}_4^+$ . Para isso foram escolhidos três sítios: uma plantação de *Pinus taeda*, uma área de mata nativa e uma área de campo, onde foi constatada a presença de *A. angustifolia*. Para cada sítio foi delimitado um "quadrat" de 30x9 m e coletou-se amostras (compostas de 3 subamostras) de 60 g de solo, espaçadas 3 m entre si, com 20 cm de profundidade. As amostras foram avaliadas quanto aos teores de  $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$  e  $\text{N-NH}_4^+$ . Os resultados indicam que o amônio está presente nestes solos em quantidades bem maiores que o nitrato (de 1,5 a 6 vezes, em média). O que está associado ao caráter fortemente ácido desses solos. Os sítios diferem parcialmente entre si, e a variabilidade espacial dentro dos sítios foi bastante alta ( $P \leq 0,001$ ) tanto para amônio quanto para nitrato. Tais resultados indicam que a espécie pode seguir o mesmo padrão preferencial por amônio, como fonte de nitrogênio, identificado para muitas coníferas que crescem em solos ácidos de climas temperados com altos teores de amônio e fortemente ácidos. Estudos futuros devem avaliar variações em escalas menores de espaço, associando-se parâmetros como taxas de mineralização e de nitrificação, bem como variações de pH e temperatura, além de avaliações sazonais.

## ÍNDICE

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>14</b>
2.1 ÁREA DE ESTUDO .....	14
2.2 AMOSTRAGEM, COLETA E ANÁLISES.....	15
2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	17
<b>3 RESULTADOS</b> .....	<b>18</b>
3.1 VARIAÇÃO ENTRE OS SÍTIOS.....	18
3.2 VARIAÇÃO DENTRO DOS SÍTIOS .....	22
<b>4 DISCUSSÃO</b> .....	<b>28</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>31</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>32</b>

## RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 1. Resultados das análises de variância via aleatorização entre os sítios.....	21
Tabela 2. Sumário dos resultados encontrados para cada sítio (média $\pm$ desvio padrão) para $\text{N-NH}_4^+$ e $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$ , apresentando a razão entre as duas variáveis.....	21
Tabela 3. Resultados das análises de variância via aleatorização entre pontos base dentro dos sítios.....	23

## RELAÇÃO DE FIGURAS

- Figura 1. (a) Diagrama dos pontos de amostragem para os três sítios. Cada ponto amostral (ponto base) dista 3 m um do outro e para cada um foram coletadas três subamostras (A, B, C) de acordo com o esquema em (b). Para cada ponto base foi retirada também uma subamostra adicional para determinação da umidade.....16
- Figura 2. Quantidades médias de nitrogênio inorgânico (a) conteúdo médio gravimétrico de água ( $\text{g H}_2\text{O}[\text{g solo seco}]^{-1}$ ) (b) para os três sítios. Barras não seguidas de letras iguais diferem significativamente ( $P \leq 0,001$ ). Letras minúsculas indicam diferença entre sítios para cada uma das variáveis. Letras maiúsculas indicam diferenças entre variáveis ( $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$ ), dentro de um mesmo sítio. As linhas verticais sobre as barras indicam o desvio padrão.....20
- Figura 3. Histogramas com frequência relativa e intervalos de classe para os diferentes sítios para cada ponto base. Para cada histograma são fornecidos a média e o coeficiente de variação.....24
- Figura 4. Gráficos demonstrando as quantidades medidas para cada ponto base de nitrogênio inorgânico e umidade no sítio Pinus. Valores nulos assinalados com asterisco indicam perda da amostra.....25
- Figura 5. Gráficos demonstrando as quantidades medidas para cada ponto base de nitrogênio inorgânico e umidade no sítio Mata. Valores nulos assinalados com asterisco indicam perda da amostra.....26
- Figura 6. Gráficos demonstrando as quantidades medidas para cada ponto base de nitrogênio inorgânico e umidade no sítio Campo. Valores nulos assinalados com asterisco indicam perda da amostra.....27

## 1 INTRODUÇÃO

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze é uma gimnosperma nativa do sul do Brasil de grande importância madeireira econômica para os estados onde ocorre. A exploração madeireira da primeira metade do século XX praticamente esgotou as reservas de *A. angustifolia* do país (Mattos, 1972), restando, como alternativa de reflorestamento, espécies como o *Pinus* e *Eucalyptus* de crescimento mais rápido, porém com madeira de qualidade inferior. O reflorestamento com *A. angustifolia* exige conhecimentos acerca da biologia da espécie; neste aspecto, a relação dela com o solo de sua ocorrência é de fundamental importância. Dentre os componentes do solo que influenciam a vida das plantas de forma mais drástica, além da água, sem dúvida, são os nutrientes que o compõem e, associado diretamente a eles, sua acidez.

Dentre os macronutrientes necessários ao estabelecimento, crescimento e reprodução das espécies vegetais, o nitrogênio pode ser considerado como o mais estudado (Gutschick, 1981). Isto se deve, principalmente, a ser ele o constituinte de diversos componentes das células vegetais, como aminoácidos e ácidos nucleicos. Sua deficiência implica diretamente em diminuição no crescimento da planta, dada a conseqüente diminuição nas taxas fotossintéticas e o acúmulo de carboidratos, que não são utilizados na síntese de aminoácidos (Taiz & Zeiger, 1998).

Nitrato e amônio são as principais fontes de nitrogênio inorgânico absorvidos pelas plantas, compondo cerca de 80% do total de cátions e ânions absorvidos. A forma de nitrogênio suprido tem grande impacto na captação de outros cátions e ânions e interfere no pH da rizosfera (Marschner, 1995). De forma geral, admite-se que plantas calcícolas (solos alcalinos) têm preferência por nitrato, dada ser esta a forma mais disponível; e plantas calcífugas (solos ácidos) crescem melhor quando o nitrogênio disponível encontra-se na forma amoniacal (Gigon & Rorison, 1972; Rorison, 1985; Falkengren-Grerup & Lakkenborg-Kristensen, 1994). Entretanto, Marschner (1991) coloca que estes conceitos devem ser revistos, uma vez que a acidificação observada na rizosfera deve-se à própria absorção preferencial das raízes



por amônio. O nitrato é considerado a forma predominantemente disponível de nitrogênio para as plantas, dado o custo energético relativamente baixo na sua absorção (Marschner, 1995) e sua rápida translocação para outros tecidos da planta, podendo, inclusive, ser acumulado sem efeitos tóxicos (Imsande & Touraine, 1994). Entretanto, para outras espécies, o amônio pode ser a fonte principal de nitrogênio absorvido via raiz, principalmente em coníferas que se desenvolvem em solos ácidos ( $\text{pH} < 5$ ) (Van den Driessche, 1971; Arnold & Van Diest, 1991; Arnold, 1992) semelhantemente aos solos de ocorrência de *A. angustifolia* (Cassol & Zago, 1983; Zandavalli, 2001; Duarte *et alii* 2002).

No que tange a trabalhos de cunho experimental visando uma melhor compreensão da nutrição mineral da espécie, observa-se uma escassez bastante grande de estudos. Simões *et alii* (1973) realizaram experimento testando as respostas da planta a teores crescentes de alumínio em solução nutritiva. Somente Simões (1979) realizou um experimento de nutrição mineral com a espécie, com o objetivo específico de avaliar o desempenho dela frente a ausência de nutrientes. Seus resultados colocam a deficiência de nitrogênio como a mais limitante para o crescimento da planta. Em estudo recente, Duarte & Dillenburg (2000) sugeriram que a taxa de assimilação de nitrogênio pela espécie, sob altas irradiâncias, não foi alta o suficiente para igualar o alto grau de assimilação de carbono, nas condições experimentais. A atividade das nitrato redutases em plântulas de *A. angustifolia* mostrou-se presente nas raízes e muito baixa, ou mesmo imensurável, nas folhas. Estes dados, segundo os autores, sugerem que haja preferência da espécie por amônio.

Cabe ressaltar que uma planta não assimila, necessariamente, nitrato ou amônio, exclusivamente, mas apenas mostra uma preferência por uma forma ou outra (Olsson & Falkengren-Grerup, 2000). Arnold (1992) coloca que o termo "preferência por amônio" pode não estar correto num sentido mecanístico. Para o autor, as plantas podem não preferir uma forma, mas somente suprimir outra. Para obter tal evidência de captação de nitrato ou amônio, estes íons devem ser fornecidos individualmente, o que pode ser feito facilmente em experimentos com soluções nutritivas (Arnold,

1992). Garbin & Dillenburg (dados não publicados) demonstraram, em experimento com soluções nutritivas, que plântulas de *A. angustifolia* possuem melhor desenvolvimento sob nutrição com amônio em relação a nitrato.

O nitrogênio é absorvido pelas plantas em quantidades maiores que qualquer outro nutriente (Arnold & Van Diest, 1991), e a captação preferencial por amônio de diversas espécies arbóreas (principalmente coníferas) têm sido vista como um dos principais fatores influenciando a acidificação de solos onde essas espécies ocorrem (Arnold, 1992; Arnold & Van Diest, 1991; Marschner, 1991). Assim, tal acidificação da rizosfera, causada pelo próprio padrão de captação, pode interferir fortemente na forma de nitrogênio mais disponível para essas plantas sendo que a tolerância à acidez é favorecida por uma captação preferencial do íon amônio (Olsson & Falkengren-Grerup, 2000).

Cody (1974 *apud* Odum, 1988) sugere que além de se estudar variações experimentalmente induzidas, devemos estudar variações que ocorrem naturalmente no ambiente para revelar padrões significativos. Diversos estudos recentes caracterizam a heterogeneidade espacial dos teores líquidos de  $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{N-NH}_4^+$  (Gross *et alii*, 1995; Prasolova *et alii*, 2000; Laverman *et alii*, 2002). A disponibilidade de nitrogênio é tida como bastante heterogênea em comunidades terrestres e está associada com a distribuição das espécies (Berendse *et alii*, 1998; Ste-Marie & Paré, 1999) e diferentes estádios sucessionais no que tange, especialmente, ao nitrogênio inorgânico e às taxas de mineralização e nitrificação (Berendse, 1998). Dentro de um mesmo sítio os níveis de nutrientes podem variar de uma a cinco ordens de magnitude em espaços relativamente pequenos (Robertson *et alii*, 1988; Gross *et alii*, 1995; Farley & Fitter, 1999; Laverman *et alii*, 2002).

Assim, a compreensão de processos microbiológicos dos solos de ocorrência da *A. angustifolia* é de fundamental importância para o entendimento da ecologia da espécie e tal conhecimento será muito útil para projetos de reflorestamento. Em todos os ecossistemas, os processos microbiológicos desempenham um papel fundamental no ciclo do nitrogênio e são responsáveis pelos principais processos vitais, como fixação, nitrificação, mineralização (ou amonificação) e desnitrificação. As atividades

relativas dos microrganismos nas diferentes etapas do ciclo têm grande influência no acúmulo nos solos de produtos intermediários como  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ , ou seja, na acumulação líquida (Rosswall, 1982).

A mineralização é definida como a liberação de nitrogênio na forma de amônio a partir da forma orgânica deste nutriente, sendo conduzida principalmente por microrganismos. Seu destino subsequente é dependente de um grande número de fatores bióticos e abióticos (Rosswall, 1982). Ele pode tanto ser volatilizado, nitrificado, ser imobilizado em argilas ou tornar-se substrato para microrganismos heterotróficos e plantas. Rosswall (1982) coloca que esses diversos fatores competem entre si pelo  $\text{NH}_4^+$  disponível e que concentrações muito baixas (menos de  $5 \text{ mg kg}^{-1}$ ) são bastante comuns em solos com cobertura vegetal. Isto no entanto não é indicativo de baixas taxas de mineralização, mas pode sim significar, por exemplo, rápidas taxas de nitrificação e de captação por plantas. As atividades dos microrganismos dependem de fatores como a relação carbono:nitrogênio (C:N) do substrato comparado a dos microrganismos decompositores, sendo que se a relação C:N do solo é baixa, o nitrogênio está em excesso e amônio será liberado, o inverso implica imobilização do  $\text{NH}_4^+$  (Rosswall, 1982; Hodge *et alii*, 2000). Outros parâmetros importantes nos processos microbiológicos em solos são o conteúdo de nitrogênio dos microrganismos e sua eficiência assimilatória. Van der Krift & Berendse (2001) demonstraram que plantas (tanto gramíneas quanto dicotiledôneas) de ambientes com alta fertilidade aumentaram as taxas de mineralização e a nitrificação dos solos sob as condições experimentais e isto influenciaria o ciclo do nitrogênio e as taxas de mudanças na composição de espécies durante a sucessão.

Pela nitrificação o amônio é oxidado a nitrito e a nitrato, principalmente por bactérias autotróficas nitrificadoras dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, e é um processo chave na determinação do destino do nitrogênio em um ecossistema (Rosswall, 1982). A nitrificação autotrófica é um processo estritamente aeróbico e é freqüentemente inibido sob baixos valores de pH, mesmo tendo sido demonstrado que pode ocorrer sob valores de pH inferiores a quatro ou até mesmo três (Bhuya & Walker, 1977 *apud* Rosswall, 1982; De Boer *et alii*, 1992 *apud* De Boer &

Kowalchuck, 2001). Embora baixos valores de pH pareçam não excluir a nitrificação dos solos com vegetação, há também muitos solos ácidos onde a nitrificação parece ser ausente (De Boer & Kowalchuck, 2001). O nitrato é mais móvel que o amônio e portanto mais sujeito à lixiviação que este último, estando também sujeito a perdas por desnitrificação, além disso, outros processos ocorrentes com o nitrato são as reduções assimilatórias e dissimilatórias (Rosswall, 1982).

Solos florestais mostram um grande grau de variação temporal e espacial na mineralização e nitrificação do nitrogênio, sendo que variações nestes processos estão relacionadas com temperatura, umidade, disponibilidade de substrato e pH (Laverman *et alii*, 2000). A temperatura tem forte influência nos processos bioquímicos. Plantas de ambientes onde as temperaturas são extremamente baixas, com solos congelados na maior parte do ano, são capazes de captar nitrogênio na forma orgânica (Näsholm *et alii*, 1998), uma vez que a mineralização e a nitrificação estão, em grande parte, inibidas. A umidade é tida como o principal fator influenciando a taxa de mineralização de nitrogênio nos solos (Stanford & Epstein, 1974 *apud* Prasolova *et alii* 2000). À medida que mais água é acumulada no solo, o oxigênio molecular, O<sub>2</sub>, sofre depleção, dada sua baixa solubilidade em água e o consumo pela atividade biológica, levando a um aumento das condições redutoras com conseqüente acúmulo de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (McBride, 1994). Como foi mencionado anteriormente, a acidez é determinante da taxa de nitrificação nos solos (Gigon & Rorison, 1972; Rorison, 1985; Falkengren-Grerup & Lakkenborg-Kristensen, 1994; De Boer & Kowalchuck, 2001).

Schneider (1994) coloca que é de grande interesse saber que fatores geram ou reduzem a variabilidade em quantidades ecológicas, e que uma das maiores contribuições do pensamento biológico é a idéia de que a variabilidade é uma quantidade, sujeita a perda e ganho. Ele coloca ainda que a variância espacial não é uma quantidade estática, ela aumenta e cai pela produção e perda, sendo que um dos maiores desafios em estudos ecológicos é o entendimento da geração e erosão da variabilidade espacial como uma função da escala espacial. Apesar disso são raros os estudos comparativos, com relação aos teores de nitrogênio inorgânico, entre sítios

que diferem em composição de espécies, cobertura e "status" sucessional (Gross *et alii*, 1995).

Há bastante tempo é posto por diversos autores a existência de um condicionamento de ordem climática, edáfica, biótica e histórica, para a ocorrência da *A. angustifolia* na sua distribuição atual (*e.g.* Oliveira, 1948; Rambo, 1953, 1956; Klein, 1960; La Bastide & Van Goor, 1970; Bakes, 1988). Apesar disso muito pouco esforço tem sido dedicado às relações da espécie com os solos onde ela ocorre, principalmente no que tange às interações com o nitrogênio e, até o momento, nenhum esforço havia sido feito para caracterizar os solos de ocorrência da espécie quanto à heterogeneidade espacial das formas de nitrogênio captadas pela planta. O objetivo do presente trabalho é caracterizar a variabilidade espacial em solos de ocorrência de *A. angustifolia* quanto às quantidades líquidas de  $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{N-NH}_4^+$ .

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi conduzido na Floresta Nacional de São Francisco de Paula (FLONA), na porção leste do planalto sulbrasileiro, no município de São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul (29°24'S e 50°22'O; cota 912m). A precipitação anual é de 2.469,0mm (Mota *et alii*, 1970), com temperatura média anual de 14,5°C (DNMMA-INMET/8° Distrito). Segundo Köppen, o clima é do tipo "Cfblg" (subtropical, úmido e sem estiagem) (Mota, 1951). Os solos são classificados como Cambissolos de textura argilo-siltoso com substrato basáltico, fortemente ácido, com teores altos de alumínio trocável e de matéria orgânica (IBGE, 1986).

Três sítios foram escolhidos para a realização do trabalho: uma plantação de *Pinus taeda* (Pinus), uma área de mata nativa (Mata) e uma área de campo (Campo). Estes sítios possuem diferentes distribuições populacionais de *A. angustifolia* e diferentes padrões florísticos e estruturais, os quais foram estudados em trabalhos anteriores com a espécie em questão (Zandavalli, 2001; Duarte *et alii* 2002). Os sítios Mata e Campo distam em torno de 300 m entre si e ambos distam em torno de 1 km do sítio Pinus. Os sítios são topograficamente semelhantes (a maior variação estimada é de 2 m, entre os pontos amostrais mais distais) e correspondem a topos de elevações. A área de Pinus corresponde a uma plantação, com vistas à exploração madeireira, de aproximadamente 10 anos, realizada sobre o que era anteriormente uma área de campo nativo. Observa-se nesta área a regeneração de espécies como a *A. angustifolia*, *Podocarpus lambertii* (Podocarpaceae) e algumas Myrtaceae, todas não ultrapassando 20 cm de altura, sendo que a altura do dossel é de aproximadamente 10 m. A Mata é um fragmento de mata nativa, com um mínimo grau de perturbação sendo composta por *A. angustifolia*, diversas Myrtaceae, *Ilex* spp, *Sapindaceae* entre outros, sendo o estrato herbáceo composto por samambaias, gramíneas, Piperaceae, Melastomataceae, *Mollinedia elegans* (Monimiaceae), além

de regenerantes das espécies arbóreas. A altura do dossel é de, em torno, 20 m. A área de campo caracteriza-se pela presença diversas de gramíneas, gravatás (*Apiaceae*), *Senecio* spp, *Bacharis* spp, entre outros, sendo que a altura da vegetação é de aproximadamente 1 m. Nesta área de campo também encontram-se algumas plântulas, bastante isoladas, de *A. angustifolia*, sendo que não está sujeita à queimadas nem pressão de pastagem por gado ou outro animal doméstico.

## 2.2 AMOSTRAGEM, COLETA E ANÁLISES

As coletas foram realizadas em 13 e 14 de outubro de 2002; foram dias de sol - temperatura máxima 26°C e mínima de 21°C e sem precipitações. No dia 9/12 choveu 30 mm e no dia 11/12 ocorreram fracas chuvas esparsas (IBAMA, FLONA). Para cada sítio, delimitou-se um "quadrat" de 30 x 9 m e pontos base de coleta espaçados 3 m entre si (Fig. 1a). Para cada ponto base, foram extraídas três subamostras, cada uma com 20 cm de profundidade e 60 g de solo úmido. Para tal utilizou-se uma pá de corte e retirou-se uma fatia de solo na profundidade especificada, sendo as subamostras retiradas seqüencialmente a cada 3 cm desta fatia com o uso de uma faca (Fig. 1b). Amostras adicionais, para cada ponto base, foram coletadas para determinação de umidade do solo (conteúdo gravimétrico). Isto totalizou 132 pontos de amostragem e 396 subamostras (excetuando-se as amostras para umidade) que possibilitaram avaliar a variabilidade espacial de nitrogênio inorgânico.

As subamostras foram homogeneizadas e introduzidas em sacos plásticos impermeáveis e colocadas imediatamente em caixas de isopor contendo gelo para posterior congelamento (ainda no alojamento da FLONA) e transporte até o laboratório, onde foram mantidas congeladas até o momento das análises. Coleta, processamento e transporte para o alojamento foram realizados em 6 horas para cada sítio. O congelamento possibilita guardar as amostras por tempo indeterminado (Tedesco *et alii*, 1995).

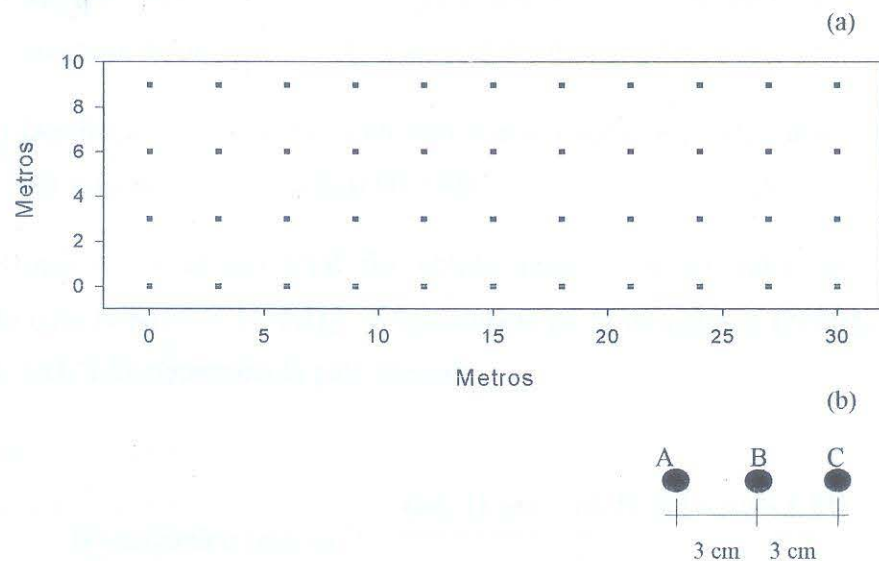


Figura 1. (a) Diagrama dos pontos de amostragem para os três sítios. Cada ponto amostral (ponto base) dista 3 m um do outro e para cada um foram coletadas três subamostras (A, B, C) de acordo com o esquema em (b). Para cada ponto base foi retirada também uma subamostra adicional para determinação da umidade.

Após 56 dias as amostras foram avaliadas quanto às quantidades de  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$  de acordo com o método de destilação descrito por Tedesco *et alii* (1995), no Laboratório de Análises de Solos da Faculdade de Agronomia desta Universidade. As subamostras foram descongeladas em temperatura ambiente, novamente homogeneizadas, e retirou-se, de cada, uma alíquota de 10 g a qual foi submetida à extração em 50 mL de KCl 1M. Deste extrato foi retirado uma alíquota de 20 mL o qual foi submetido à destilação. Segundo Tedesco *et alii* (1995), os métodos de destilação a vapor têm sensibilidade adequada para a maioria dos solos e são livres de interferências por outros compostos orgânicos nitrogenados. Basicamente, e de forma bastante simplificada, o processo pode ser descrito da seguinte forma:

- (1) Alcalinização do meio com MgO para liberação de  $\text{N-NH}_3$ ;



- (2) Redução dos compostos remanescentes,  $N\text{-NO}_3^- + N\text{-NO}_2^-$  a  $N\text{-NH}_3$ , na presença de liga Devarda (50% Cu, 45% Al e 5% Zn);
- (3) Destilação com solução indicadora e titulação respectiva dos destilados em solução ácida ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,0025M).

Nitrogênio inorgânico total foi obtido pela soma do valor de  $N\text{-NH}_4^+$  encontrado com  $N\text{-NO}_3^- + N\text{-NO}_2^-$ . A quantidade de N inorgânico ( $N\text{-NH}_4^+$  ou  $N\text{-NO}_3^- + N\text{-NO}_2^-$ ) foi determinada pela fórmula:

$$\text{N inorgânico (mg kg}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{mL H}^+\text{am} - \text{mL H}^+\text{br}) \times \mu\text{gN} \times \text{FD}}{\text{PS}}$$

Onde:  $\text{H}^+\text{am}$  = solução ácida para titulação da amostra;

$\text{H}^+\text{br}$  = solução ácida para titulação do branco;

N = quantidade de nitrogênio para 1 mL de ácido;

FD = fator de diluição, no caso 2,5;

PS = peso seco do solo.

### 2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise estatística dos dados foi utilizado o programa estatístico MultivMinor v.2.1.1 (Pillar, 1999). Foram avaliados a heterogeneidade espacial dentro dos sítios e entre estes. Para tal as variáveis ( $N\text{-NH}_4^+$ ,  $N\text{-NO}_3^-$ , N inorgânico total e umidade) foram avaliadas individualmente por análise de variância com testes de aleatorização (Pillar & Orlóci, 1996), e como medida de semelhança foi utilizada a distância euclidiana. Para cada aleatorização foram consideradas 1.000 iterações. A análise considera a probabilidade (P) de uma soma de quadrados aleatória (dentro do universo amostrado) entre grupos, ser maior ou igual que a soma encontrada. Para comparação entre os sítios foram considerados os valores médios das subamostras de cada ponto base. Já para a comparação das variáveis dentro dos sítios foram fornecidos os valores das subamostras e cada ponto base pôde ser comparado um com

o outro. Para comparação das variáveis (nitrato e amônio) dentro dos sítios foi realizado uma teste t utilizando-se o pacote estatístico SigmaStat 2.03 (SPSS Inc.).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 VARIAÇÃO ENTRE OS SÍTIOS

As diferenças para conteúdo de nitrogênio inorgânico foram altamente significativas nas três áreas, à exceção de  $N-NH_4^+$ , entre os sítios Pinus e Mata,  $N-NO_3^- + N-NO_2^-$  entre os sítios Pinus e Campo e nitrogênio inorgânico total entre os sítios Mata e Campo (Fig. 2 e Tab. 1). O conteúdo gravimétrico de água diferiu significativamente entre os três sítios avaliados ( $P \leq 0,060$ ) (Fig. 2 e Tab. 1). A tabela 2 apresenta as quantidades médias de nitrogênio inorgânico encontradas e a razão entre amônio e nitrato para os três sítios. As quantidades médias de nitrogênio inorgânico total foram maiores na Mata ( $12,37 \pm 5,97 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e no Campo ( $12,95 \pm 5,28 \text{ mg kg}^{-1}$ ) comparadas às quantidades do Pinus ( $7,60 \pm 3,01 \text{ mg kg}^{-1}$ ). No sítio Pinus houve as menores concentrações de  $N-NH_4^+$ , sendo que o sítio Mata apresentou quantidades intermediárias e o Campo apresentou os maiores valores. As maiores concentrações de  $N-NO_3^- + N-NO_2^-$  foram encontradas no sítio Mata (Tab. 2).

Em todos os sítios, o íon  $N-NH_4^+$  foi encontrado em quantidades significativamente maiores do que  $N-NO_3^- + N-NO_2^-$ . Na tabela 2 a razão amônio/nitrato mostrou-se bastante elevada, especialmente no sítio Campo, o que evidencia a importância do amônio em relação ao nitrato para estes sítios.

O conteúdo gravimétrico de água do solo também diferiu significativamente entre os sítios, sendo que os maiores valores foram encontrados no sítio Campo

( $0,63 \pm 0,09$  g H<sub>2</sub>O[g solo seco]<sup>-1</sup>), diminuindo na Mata ( $0,52 \pm 0,10$  g H<sub>2</sub>O[g solo seco]<sup>-1</sup>) e no Pinus ( $0,47 \pm 0,05$  g H<sub>2</sub>O[g solo seco]<sup>-1</sup>), que teve a menor média (Fig. 2).

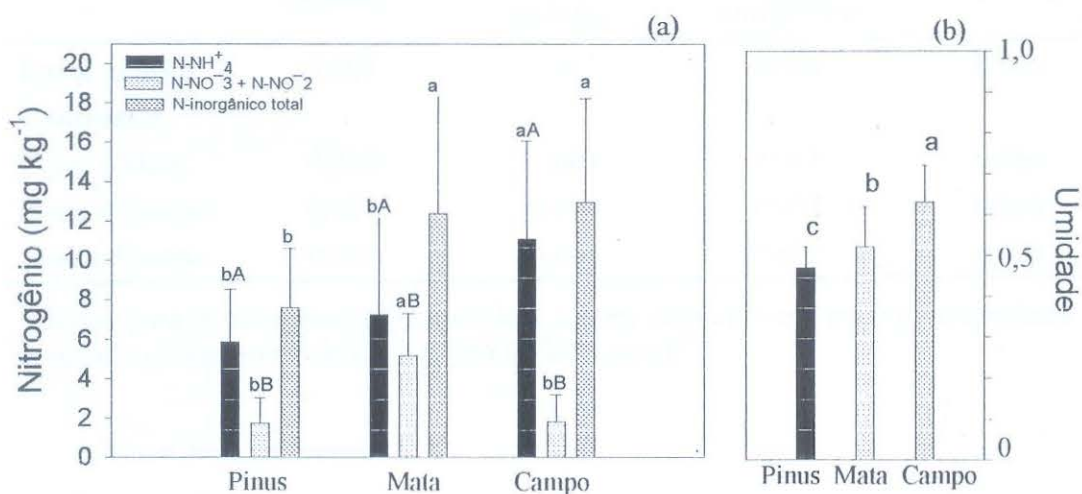


Figura 2. Quantidades médias de nitrogênio inorgânico (a) conteúdo médio gravimétrico de água ( $\text{g H}_2\text{O}[\text{g solo seco}]^{-1}$ ) (b) para os três sítios. Barras não seguidas de letras iguais diferem significativamente ( $P \leq 0,001$ ). Letras minúsculas indicam diferença entre sítios para cada uma das variáveis. Letras maiúsculas indicam diferenças entre variáveis ( $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$ ), dentro de um mesmo sítio. As linhas verticais sobre as barras indicam o desvio padrão.

Tabela 1. Resultados das análises de variância via aleatorização entre os sítios.

	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Nitrogênio inorgânico	Umidade
<b>Entre grupos</b>	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>Contrastes</b>				
Pinus x Mata	0,230	0,001	0,001	0,060
Pinus x Campo	0,001	0,804	0,001	0,001
Mata x Campo	0,001	0,001	0,638	0,001

Valores para o nitrogênio correspondem ao seu conteúdo em mg kg<sup>-1</sup> e umidade ao conteúdo gravimétrico de água (g H<sub>2</sub>O[g solo seco]<sup>-1</sup>).

Tabela 2. Sumário dos resultados encontrados para cada sítio (média ± desvio padrão) para N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, apresentando a razão entre as duas variáveis.

Variável	Pinus	Mata	Campo
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	5,87±2,65	7,23±4,97	11,11±4,97
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	1,73±1,31	5,14±2,17	1,84±1,35
Razão N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> / N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	3,39	1,41	6,04

### 3.2 VARIAÇÃO DENTRO DOS SÍTIOS

As diferenças foram altamente significativas para as variáveis avaliadas dentro dos sítios. A tabela 3 sumariza os resultados dos testes comparativos entre os pontos base. Os coeficientes de variação (CVs) mostraram-se bastante altos (Fig. 3), sendo que os maiores valores foram para o sítio Pinus (75,90%) e para o Campo (73,01%), ambos com relação ao nitrato, e os mais baixos para nitrogênio inorgânico total, no Pinus (39,61%) e no Campo (40,78%). Para o amônio o maior CV encontrado foi no sítio Mata (68,68%) e o menor para o Campo (44,73%). Para o conteúdo gravimétrico de água o maior CV encontrado foi no sítio Mata (19,04%), sendo o menor valor para o sítio Pinus (11,05%).

Os histogramas, no geral, apresentaram um padrão de curva assimétrica deslocados para a esquerda, onde a média e a mediana não coincidem (Sokal & Rohlf, 1981). Analisando-se a distribuição dos valores nos histogramas, observa-se que para o sítio Pinus há uma preponderância de valores nas classes inferiores (as médias são mais baixas neste sítio com relação às quantidades de nitrogênio inorgânico). Para umidade neste sítio, a distribuição é mais homogênea, com valores entre 0,45 e 0,50 g H<sub>2</sub>O (g solo seco)<sup>-1</sup> ocorrendo com a maior frequência. Para o sítio Mata observa-se alguns intervalos nas classes superiores; isto aumentou a amplitude de distribuição dos valores, elevando as médias. Para a umidade, neste sítio, observa-se uma distribuição mais homogênea das classes, o que é demonstrado também pelo maior CV desta variável entre os sítios. No Campo, as variáveis, à exceção da distribuição para o nitrato, tenderam a uma distribuição mais simétrica dos valores. Para o amônio e para o nitrogênio inorgânico total, neste sítio, as distribuições tenderam a ser mais homogêneas. Existe ainda, uma baixa correlação entre quantidade de amônio e umidade dentro dos sítios (Pinus:  $r = 0,44$ ; Mata:  $r = 0,33$ ; Campo:  $r = 0,16$ ). As figuras 4, 5 e 6 mostram, para fins descritivos e de forma esquemática, as quantidades de nitrogênio inorgânico e de umidade encontradas para os três sítios para cada um dos pontos base.

Tabela 3. Resultados das análises de variância via aleatorização entre pontos base dentro dos sítios.

<b>Pinus</b>			
Variável	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	N inorgânico
P	0,001	0,001	0,001

<b>Mata</b>			
Variável	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	N inorgânico
P	0,001	0,001	0,001

<b>Campo</b>			
Variável	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	N inorgânico
P	0,001	0,001	0,001

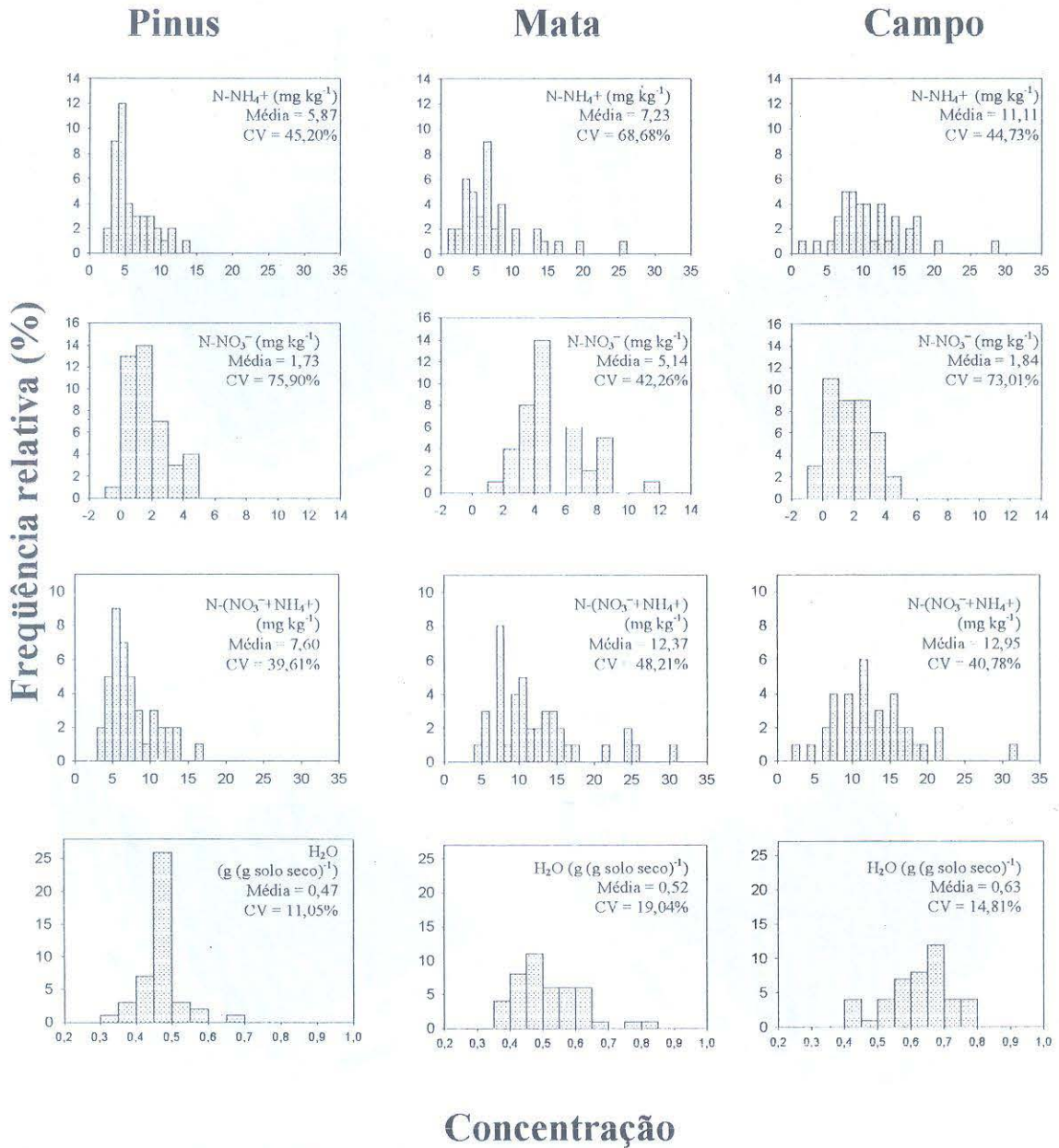


Figura 3. Histogramas com frequência relativa e intervalos de classe para os diferentes sítios para cada ponto base. Para cada histograma são fornecidos a média e o coeficiente de variação.



## Pinus

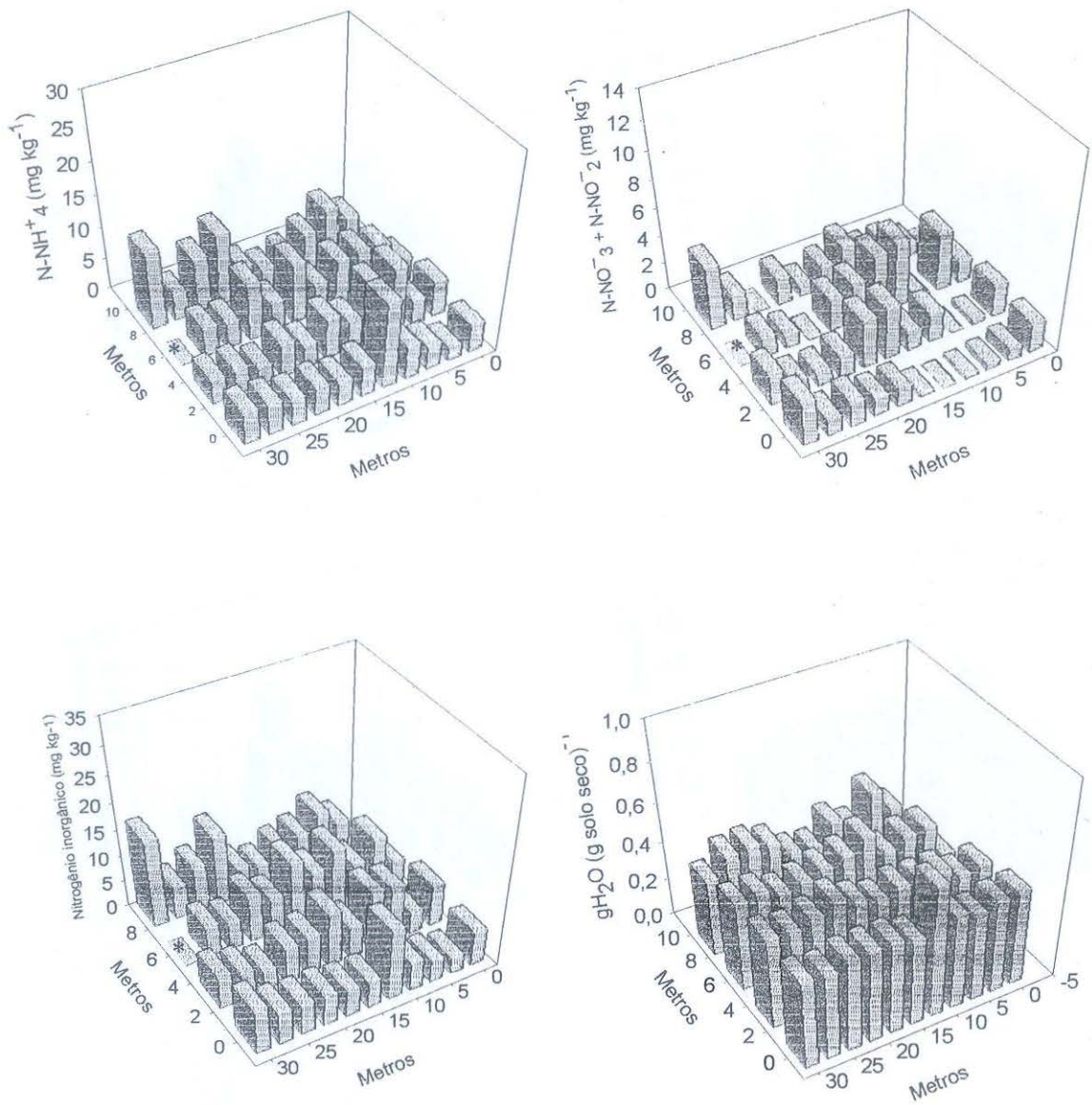


Figura 4. Gráficos demonstrando as quantidades medidas para cada ponto base de nitrogênio inorgânico e umidade no sítio Pinus. Valores nulos assinalados com asterisco indicam perda da amostra.

## Mata

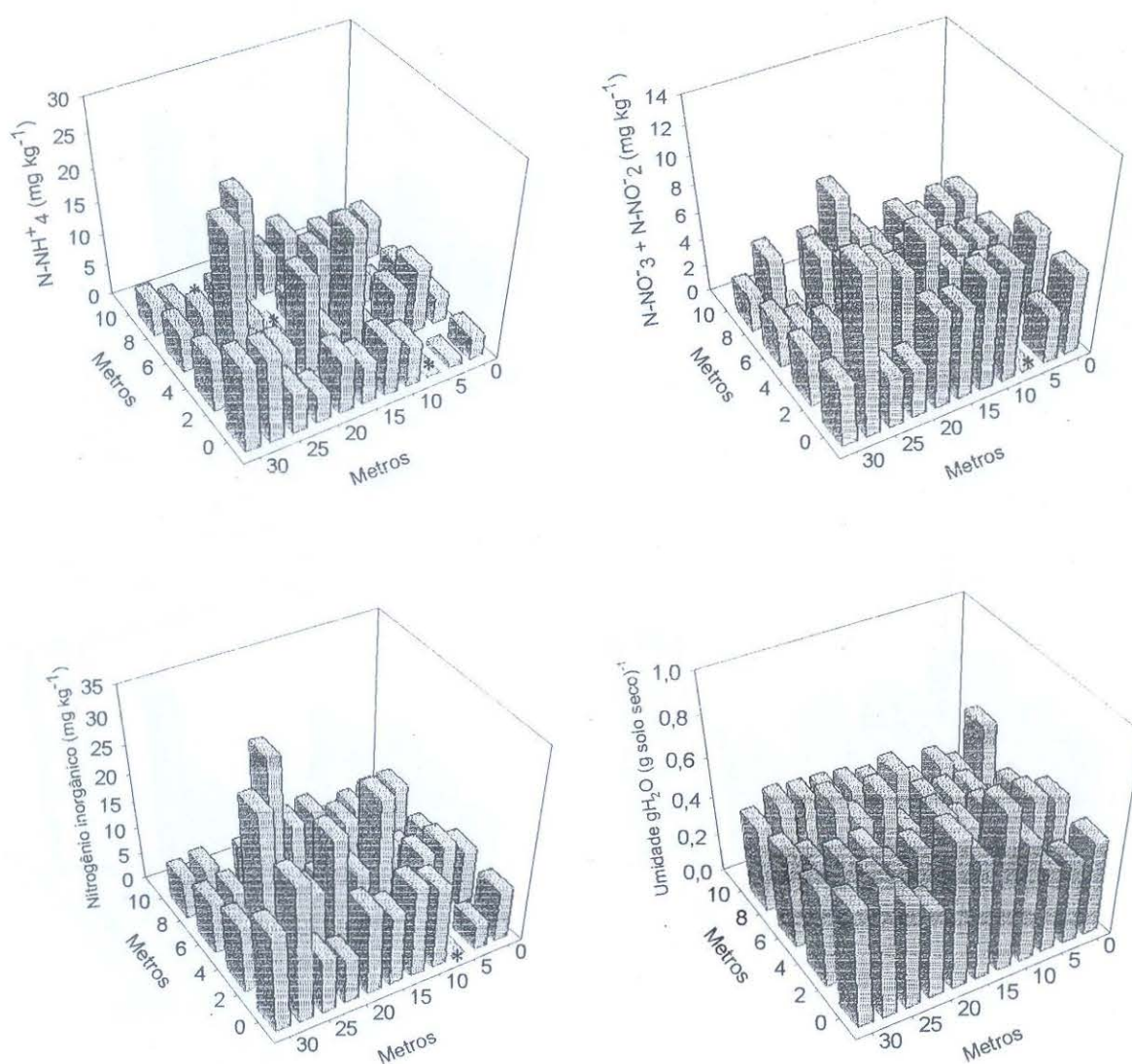


Figura 5. Gráficos demonstrando as quantidades medidas para cada ponto base de nitrogênio inorgânico e umidade no sítio Mata. Valores nulos assinalados com asterisco indicam perda da amostra.

## Campo

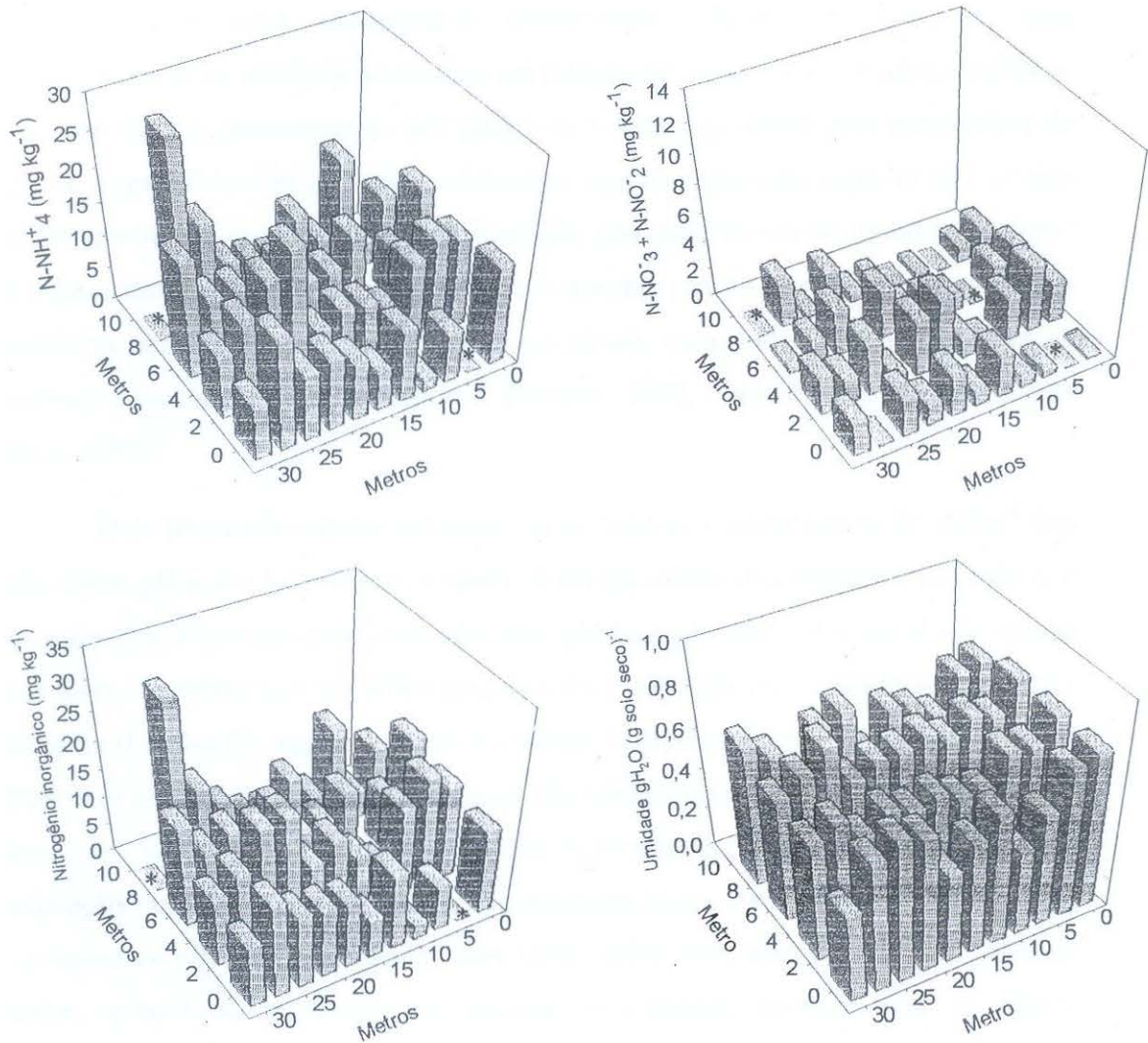


Figura 6. Gráficos demonstrando as quantidades medidas para cada ponto base de nitrogênio inorgânico e umidade no sítio Campo. Valores nulos assinalados com asterisco indicam perda da amostra.

## 4 DISCUSSÃO

Os resultados encontrados demonstram, claramente, que há uma preponderância no acúmulo do amônio em relação ao nitrato nos três sítios avaliados. Isto corrobora a demonstração por Garbin & Dillenburg (dados não publicados) de que *A. angustifolia* têm um desenvolvimento significativamente superior (em termos de parâmetros de crescimento) quando nutrida com amônio em detrimento de nitrato e sugere fortemente que a espécie segue o mesmo padrão identificado para muitas coníferas que crescem em solos ácidos de climas temperados com altos teores de amônio e fortemente ácidos (Gigon & Rorison, 1972; Arnold, 1992; Arnold & van Diest, 1991).

Dois fatores devem ter influenciado as maiores concentrações de amônio nos três sítios: pH e umidade. Provavelmente, o pH foi o mais determinante. É sabido que os solos dos sítios das áreas avaliadas têm pH bastante ácido. Em geral, os valores elevados de amônio nos três sítios tendem a ser explicados pela elevada acidez desses solos (pH 4,0-4,8) registrados em trabalhos lá desenvolvidos (Zandavalli, 2001; Duarte *et alii*, 2002). Embora tal variável não tenha sido avaliada no presente estudo, deve ser investigada em maior detalhe futuramente. Torna-se necessária uma avaliação mais detalhada da variação de pH numa escala de microssítio, associada às variações de nitrogênio inorgânico para uma melhor avaliação da situação. Deve-se, assim, considerar variações em escalas semelhantes àquelas para nitrogênio inorgânico e umidade do presente estudo, a fim de se verificar se os padrões de variação na acidez correspondem àqueles do nitrogênio inorgânico. Laverman *et alii* (2002) em estudo numa floresta de conífera (*Pinus sylvestris* L.) demonstraram que a umidade, a temperatura e o pH tiveram uma variação tão pequena, que não podem ser responsáveis por variações nas taxas de nitrificação. Um segundo fator que deve ter influenciado as maiores concentrações de amônio é a umidade. Há uma correspondência entre as maiores médias de amônio e de umidade nos sítios, ou seja, quanto mais úmido o sítio, maiores seus teores de amônio. A maior umidade do sítio

Campo pode explicar em grande parte as maiores concentrações de amônio lá encontradas. Prasolova *et alii* (2000) encontrou uma correlação positiva significativa entre umidade e conteúdo de amônio nas amostras. Porém as correlações entre umidade e concentração de amônio no presente trabalho foram baixas, o que demonstra que a umidade não afetaria tanto as concentrações de amônio em escalas menores (pontos base) de microssítio, em relação ao sítio como um todo.

Outros fatores devem ter influenciado as concentrações de amônio e de nitrato nos sítios, entre eles, a temperatura, quantidades de substrato, compostos alelopáticos, e a relação C:N do solo.

Com relação a um possível efeito da temperatura nos resultados encontrados, deve-se verificar que os dias de coleta foram de temperaturas relativamente altas (ver item 2.2) e, assim, não seria esperada uma inibição da atividade dos microrganismos do solo, mas sim um estímulo. No entanto variações em escalas menores são esperadas, uma vez que a cobertura diferenciada do dossel entre as áreas pode influenciar as temperaturas em escalas relativamente pequenas (3 m ou menos). Moody & Jones (2000) avaliaram concentrações de nitrato e nitrogênio inorgânico total em relação à posição do dossel de *Quercus agrifolia* e seus resultados colocam que a variação na cobertura pode interferir de forma significativa na variação temporal e espacial do nitrogênio inorgânico dos solos. Deve-se realizar uma avaliação mais precisa do papel de variações nas temperaturas nas quantidades líquidas de nitrogênio nos sítios.

As baixas concentrações de nitrato não podem ser explicadas pelas concentrações de amônio, dada a abundância deste substrato. Laverman *et alii* (2002) colocam que em solos saturados de nitrogênio o amônio é presente em grandes concentrações; assim sendo, é pouco provável que limite a nitrificação. Os autores também colocam que a inibição da nitrificação por compostos alelopáticos (como monoterpenóides em florestas de *Pinus sylvestris*) pode ocorrer com bastante frequência e que variações locais nas concentrações e composição desses compostos podem levar uma variação espacial da nitrificação. Possivelmente, as baixas concentrações de nitrato no sítio Pinus, principalmente, podem estar sob forte

influência de compostos alelopáticos. Em oposição, as concentrações relativamente altas de nitrato no sítio Mata devem ser avaliadas com bastante cuidado e provavelmente estão relacionadas com a qualidade da liteira. Sariyildiz & Anderson (2003), em estudo onde incubaram por um ano serrapilheira de duas diferentes espécies provenientes de matas com solos diferenciados nutricionalmente, encontraram um alto grau de variação intra-específica em liteiras de diferentes matas. Os autores salientam as complexidades envolvidas nas taxas de decomposição, que podem ser mascaradas em estudos no nível sistêmico. Tanto o papel desempenhado por compostos alelopáticos quanto a qualidade da serrapilheira merecem estudos detalhados.

Nos três sítios foi encontrado um alto grau de variabilidade espacial (variação dentro) nos índices de nitrogênio inorgânico (entre 40-76%). Embora os coeficientes de variação digam respeito à área total de cada sítio (270 m<sup>2</sup>), é possível que percentuais de variação maiores sejam encontrados em escalas bem menores, sendo que uma avaliação mais detalhada neste sentido torna-se indispensável para a compreensão da heterogeneidade destes sítios. Farley & Fitter (1999) encontraram diferenças de até cinco vezes nas concentrações de amônio e de nitrato em uma escala de 20 cm. Para os autores, tal grau de heterogeneidade espacial pode influenciar as plantas no sentido de estas concentrarem seus sistemas de raízes em áreas de maior disponibilidade de nutrientes. Ainda, diferenças numa escala de dois metros podem ser muito grandes para influenciar plantas herbáceas perenes, mas podem ser importantes para árvores.

Odum (1988) coloca que saber as quantidades presentes em cada compartimento do sistema não significa saber o quanto é transferido de um compartimento para o outro. Em outras palavras, muitas vezes é interessante complementar as quantificações de nitrato e de amônio presentes nos solos com avaliações das taxas de nitrificação e de mineralização do solo. As taxas de nitrificação e de "turnover" de nitrato em florestas de coníferas podem ser bastante elevados (Stark & Hart, 1997). Isto impediria que quantidades significativas de nitrato se acumulassem nos solos. O fato de nos sítios acumularem-se quantidades

mais baixas de nitrato em relação ao amônio não significa que o nitrato seja formado em quantidades pequenas, mas apenas que ele pode ser rapidamente captado pelas plantas ou outro organismo, não havendo tempo para um acúmulo nos solos.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do presente estudo foi caracterizar os solos de ocorrência de *A. angustifolia* com relação às quantidades de nitrogênio inorgânico nos solos onde a espécie ocorre. Foi constatado que esses solos acumulam quantidades maiores de amônio em relação a nitrato, sendo este predomínio do amônio, provavelmente, um fator que favorece a presença da espécie nesses ambientes.

Estudos futuros devem estar focados numa caracterização dos fatores relacionados ao acúmulo diferencial das diferentes formas de nitrogênio inorgânico nos sítios. Parâmetros como pH, temperatura e relação C:N devem ser explorados. Além das quantificações dos teores líquidos de nitrogênio inorgânico, devem ser realizadas incubações dos solos a fim de se determinar as taxas potenciais de mineralização e de nitrificação dando assim uma consistência maior para conhecimento dos processos relacionados ao acúmulo desses compostos. Além disso, avaliações sazonais fornecerão uma melhor base de dados para uma compreensão mais aprofundada dos processos envolvendo o nitrogênio nos solos de ocorrência de *A. angustifolia*.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARNOLD, G. & VAN DIEST, A., 1991. Nitrogen supply, tree growth and soil acidification. *Fertilizer Research*, **27**: 29-38.
- ARNOLD, G., 1992. Soil acidification as caused by the nitrogen uptake pattern of Scots pine (*Pinus sylvestris*). *Plant and Soil*, **142**: 41-51.
- BACKES, A., 1988. Condicionamento climático e distribuição geográfica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no Brasil. *Pesquisas (Botânica)* **39**: 5-39.
- BERENDSE, F., 1998. Effects of dominant plant species on soils during succession in nutrient-poor ecosystems. *Biogeochemistry*, **42**: 73-78.
- BERENDSE, F., LAMMERTS, E. J. & OLFF, H., 1998. Soil organic matter and its implications for nitrogen mineralization and plant species composition during succession in coastal dune slacks. *Plant Ecology*, **137**: 71-78.
- CASSOL, C. A. & ZAGO, A., 1983. Relações entre características químicas do solo e crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., em Passo Fundo RS. *Ciência e Natura, Santa Maria*, **5**: 95-101.
- DE BOER, W & KOWALCHUCK, G. A., 2001. Nitrification in acid soils: microorganisms and mechanisms. *Soil Biology and Biochemistry*, **33**: 853-866.
- DESMOND, A. & MOORE, J., 2000. *Darwin, a vida de um evolucionista atormentado*. Geração, São Paulo, 796p.
- DUARTE, L. S. & DILLENBURG, L. R., 2000. Ecophysiological responses of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) seedlings to different irradiance levels. *Australian Journal of Botany*, **48**(4): 531-537.



- DUARTE, L. S.; DILLENBURG, L. R. & ROSA, L. M. G., 2002. Assessing the role of light availability in the regeneration of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae). *Australian Journal of Botany*, **50**:741-751.
- FALKENGREN-GRERUP, U. & LAKKENBORG-KRISTENSEN, H., 1994. Importance of ammonium and nitrate to the performance of herb-layer species from deciduous forest in southern Sweden. *Environmental and Experimental Botany*, **34**: 31-38.
- FARLEY, R. A. & FITTER, A. H., 1999. Temporal and spatial variation in soil resources in a deciduous woodland. *Journal of Ecology*, **87**: 688-696.
- GIGON, A. & RORISON, I.H., 1972. The response of some ecologically distinct plant species to nitrate- and to ammonium-nitrogen. *Journal of Ecology*, **60**: 93-102.
- GROSS, K.L., PREGITZER, K.S. & BURTON, A.J., 1995. Spatial variation in nitrogen availability in three successional plant communities. *Journal of Ecology*, **83**: 357-367.
- GUTSCHICK, V. P., 1981. Evolved strategies in nitrogen acquisition by plants. *The American Naturalist*, **118**(5): 607-637.
- HODGE, A., ROBINSON, D. & FITTER, A., 2000. Are microorganisms more effective than plants at competing for nitrogen? *Trends in Plant Science*, **5**(7): 304-308.
- IBGE, 1986. *Levantamento de recursos naturais*. Rio de Janeiro, IBGE, **33**, p.791.
- IMSANDE, J. & TOURAINÉ, B., 1994. N demand and the regulation of nitrate uptake. *Plant Physiology*, **105**: 3-7.
- KLEIN, R. M., 1960. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. *Sellowia*, **12**:17-44.
- LA BASTIDE, J. G. A. & VAN GOOR, C. P., 1970. Growth-site relationships in plantations of *Pinus elliottii* and *Araucaria angustifolia* in Brasil. *Plant and Soil*, **32**: 349-366.

- LAVERMAN, A. M., BORGERS, P. & VERHOEF, H. A., 2002. Spatial variation in net nitrate production in a N-saturated coniferous forest soil. *Forest Ecology and Management*, **161**: 123-132.
- LAVERMAN, A. M., ZOOMER, H. R., VAN VERSEVELD, H. W. & VERHOEF, H. A., 2000. Temporal and spatial variation of nitrogen transformations in a coniferous forest soil. *Soil Biology and Biochemistry*, **32**: 1661-1670.
- LOMBORG, B., 2002. *O ambientalista cético: medindo o verdadeiro estado do mundo*. CAMPUS, Rio de Janeiro, 541p.
- MARSCHNER, H., 1991. Mechanisms of adaptations of plants to acid soils. *Plant and Soil*, **134**: 1-20.
- MARSCHNER, H., 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, London, 2nd ed., 889p.
- MATTOS, J.R. de, 1972. *O Pinheiro Brasileiro*. Lages, 1 vol., 2 ed., 228 p.
- McBRIDE, M. B., 1994. *Environmental Chemistry of Soils*. Oxford University Press, New York, 406p.
- MOODY, A. & JONES, J. A., 2000. Soil response to canopy position and feral pig disturbance beneath *Quercus agrifolia* on Santa Cruz Island, California. *Applied Soil Ecology*, **14**: 269-281.
- MOTA, F. S., 1951. Estudos do clima do estado do Rio Grande do Sul segundo o sistema de W. Köeppen. *Revista Brasileira de Geografia*, Abril-Junho, p. 107-116.
- MOTA, F. S., GOEDERT, C. O., LOPES, N. F., GARDEZ, J. R. B. & GOMES, A. S., 1970. Balanço hídrico do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **5**: 1-27.
- NÄSHOLM, T., EKBLAD, A., NORDIM, A., GIESLER, R., HÖGBERG, M. & HÖGBERG, P., 1998. Boreal forest plants take up organic nitrogen. *Nature*, **392**: 914-916.

- ODUM, E. P., 1988. *Ecologia*. Guanabara, Rio de Janeiro, 434p.
- OLIVEIRA, B., 1948. As Regiões de ocorrência normal da Araucária. *Anuário Brasileiro de Economia Florestal*, 1(1): 185-199.
- OLSSON, M. O. & FALKENGREN-GRERUP, U., 2000. Potential nitrification as an indicator of preferential uptake of ammonium or nitrate by plants in an oak woodland understorey. *Annals of Botany*, 85: 299-305.
- PILLAR, V. P. & ORLÓCI, L., 1996. On randomization testing in vegetation science: multifactor comparisons of relevé groups. *Journal of Vegetation Science*, 7: 585-592.
- PILLAR, V. P., 1999. MULTIV – Multivariate exploratory analysis and randomization testing – user's guide. Porto Alegre.
- PRASOLOVA, N. V., XU, Z. H., SAFFIGNA, P. G. & DIETERS, M. J., 2000. Spatial-temporal variability of soil mixture, nitrogen availability indices and other chemical properties in hoop pine (*Araucaria cunninghamii*) plantations of subtropical Australia. *Forest Ecology and Management*, 136: 1-10.
- RAMBO, B., 1953; A história da flora do planalto riograndense. *Anais Botânicos do HBR*, 5: 185-232.
- RAMBO, B., 1956; A flora fanerogâmica dos aparados riograndenses. *Anais Botânicos do HBR*, 7: 235-297.
- ROBERTSON, G. P., HUSTON, M. A., EVANS, F. C. & TIEDJE, J. M., 1988. Spatial variability in a successional plant community: patterns of nitrogen availability. *Ecology*, 69: 1517-1524.
- RORISON, I. H., 1985. Nitrogen source and the tolerance of *Deschampsia flexuosa*, *Holcus lanatus* and *Bromus erectus* to aluminium during seedling growth. *Journal of Ecology*, 73: 83-90.
- ROSSWALL, T., 1982. Microbiological regulation of the biogeochemical nitrogen cycle. *Plant and Soil*, 67, 15-34.

- SARIYILDIZ, T. & ANDERSON, J. M., 2003. Interactions between litter quality, decomposition and soil fertility: a laboratory study. *Soil Biology and Biochemistry*, **35**: 391-399.
- SCHNEIDER, D., 1994. *Quantitative Ecology: spatial and temporal scaling*. Academic Press, San Diego, 395p.
- SIMÕES, J. W., 1979. Efeitos da omissão de nutrientes na alimentação mineral do pinheiro do paraná *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze cultivada em vaso. In: *Congresso Florestal Brasileiro*, Curitiba, FIEP. Anais p.112-121.
- SIMÕES, J. W., DO COUTO, H. T. Z. & KAJIYA, S., 1973. Tolerância do pinheiro do paraná (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze) a teores crescentes de alumínio. In: *II Congresso Florestal Brasileiro*, Curitiba, FIEP. Anais p.93-102.
- SOKAL, R. R. & ROHLF, F. J. 1981. *Biometry*. W.H. Freeman and Company, New York, 859p.
- STARK, J. M. & HART, S. C., 1997. High rates of nitrification and nitrate turnover in undisturbed coniferous forests. *Nature*, **385**: 61-64.
- STE-MARIE, C. & PARÉ, D., 1999. Soil, pH and N availability effects on net nitrification in the forest floor of a range of boreal forest stands. *Soil Biology and Biochemistry*, **31**: 1579-1589.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E., 1998. *Plant Physiology*. Sinauer Associates, Inc., Massachusetts, 2nd ed., 792p.
- TEDESCO, M. J., GIANELLO, C., BISSANI, C. A., BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. J., 1995. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre.
- VAN DEN DRIESSCHE, R., 1971. Response of conifer seedlings to nitrate and ammonium sources of nitrogen. *Plant and Soil*, **34**: 421-439.

VAN DER KRIFT, T. A. J. & BERENDSE, F., 2001; The effect of plant species on soil nitrogen mineralization. *Journal of Ecology*, **89**: 555-561.

ZANDAVALLI, R. B., 2001. *Aspectos ecológicos e fisiológicos de micorrizas em Araucaria angustifolia (Bertoloni) Otto Kuntze*. Dissertação de Mestrado em Botânica, Instituto de Biociências, Porto Alegre, UFRGS, 103p.

## ERRATA

- A segunda citação na página 2 diz respeito a uma crítica, bastante irônica, sobre E. J. Tyndall e seu determinismo cosmológico, na página 575 do referido livro;
- A primeira citação na página 2 encontra-se na página 45 do referido livro;
- Na página 4, onde se lê: "Para cada sítio foi delimitado um "quadrat" de 30x9 m e coletou-se amostras (compostas de 3 subamostras) de 60 g de solo, espaçadas 3 m entre si, com 20 cm de profundidade." Leia-se: "Para cada sítio foi delimitado um "quadrat" de 30x9 m<sup>2</sup> e coletou-se amostras (compostas de 3 subamostras) de 60 g de solo, espaçadas 3 m entre si, com 20 cm de profundidade.";
- Na página 4, onde se lê: "Tais resultados indicam que a espécie pode seguir o mesmo padrão preferencial por amônio, como fonte de nitrogênio, identificado para muitas coníferas que crescem em solos ácidos de climas temperados com altos teores de amônio e fortemente ácidos." Leia-se: "Tais resultados indicam que a espécie pode seguir o mesmo padrão preferencial por amônio, como fonte de nitrogênio, identificado para muitas coníferas que crescem em solos ácidos de climas temperados com altos teores de amônio.";
- Na página 8, onde se lê: "A exploração madeireira da primeira metade do século XX praticamente esgotou as reservas de *A. angustifolia* do país (Mattos, 1972), restando, como alternativa de reflorestamento, espécies como o *Pinus* e *Eucalyptus* de crescimento mais rápido, porém com madeira de qualidade inferior." Leia-se: "A exploração madeireira da primeira metade do século XX praticamente esgotou as reservas de *A. angustifolia* do país (Mattos, 1972), restando, como alternativa de reflorestamento, espécies de *Pinus* e *Eucalyptus* de crescimento mais rápido, porém com madeira de qualidade inferior.";
- Na página 14, onde se lê: "Três sítios foram escolhidos para a realização do trabalho: uma plantação de *Pinus taeda* (*Pinus*), uma área de mata nativa (*Mata*) e uma área de campo (*Campo*)." Leia-se: "Três sítios foram escolhidos para a realização do trabalho: uma plantação de *Pinus taeda* (*Pinus*), uma área de mata nativa (*Mata*) e uma área de campo nativo (*Campo*).";
- Na página 15, onde se lê: "Nesta área de campo também encontram-se algumas plântulas, bastante isoladas, de *A. angustifolia*, sendo que não está sujeita à queimadas nem pressão de pastagem por gado ou outro animal doméstico." Leia-se: "Nesta área de campo também encontram-se algumas plântulas, bastante isoladas, de *A. angustifolia*, sendo que não está sujeita à queimadas nem pressão de pastejo por gado ou outro animal doméstico.";
- Na página 15, onde se lê: "No dia 9/12 choveu 30 mm e no dia 11/12 ocorreram fracas chuvas esparsas (IBAMA, FLONA)." Leia-se: "No dia 9/10 choveu 30 mm e no dia 11/10 ocorreram fracas chuvas esparsas (IBAMA, FLONA).";
- Na página 15, onde se lê: "Para cada sítio, delimitou-se um "quadrat" de 30 x 9 m e pontos base de coleta espaçados 3 m entre si (Fig. 1a)." Leia-se: "Para cada sítio, delimitou-se um "quadrat" de 30 x 9 m<sup>2</sup> e pontos base de coleta espaçados 3 m entre si (Fig. 1a).";
- Na página 16, figura 1, onde se lê: "Cada ponto amostral (ponto base) dista 3 m um do outro e para cada um foram coletadas três subamostras (A, B, C) de acordo com o esquema em (b). Para cada ponto base foi retirada também uma subamostra adicional para determinação da umidade." Leia-se: "Cada ponto amostral (ponto base) dista 3 m um do outro e para cada um foram coletadas três subamostras (A, B, C) distantes entre si de acordo com o esquema em (b). Para cada ponto base foi retirada também uma amostra adicional para determinação da umidade.";
- Na página 22, onde se lê: "Para o amônio e para o nitrogênio inorgânico total, neste sítio, as distribuições tenderam a ser mais homogêneas." Leia-se: "Para o amônio e para o nitrogênio inorgânico total, neste sítio, as distribuições das classes tenderam a ser mais homogêneas.";
- Na página 24, figura 3, onde se lê: "Frequência relativa (%)" leia-se: "Frequência absoluta";
- Na página 24, figura 3, onde se lê: "Histogramas com frequência relativa e intervalos de classe para os diferentes sítios para cada ponto base." Leia-se: "Histogramas com frequência absoluta e intervalos de classe para os diferentes sítios para cada ponto base.";
- Na página 28, onde se lê: "...quando nutrida com amônio em detrimento de nitrato e sugere fortemente que a espécie segue o mesmo padrão identificado para muitas coníferas que crescem em solos ácidos de climas temperados com altos teores de amônio e fortemente ácidos..." Leia-se: "...quando nutrida com amônio em detrimento de nitrato e sugere fortemente que a espécie segue o mesmo padrão identificado para muitas coníferas que crescem em solos ácidos de climas temperados com altos teores de amônio..."

BIO  
BIO  
233

Q5048458

[0355193] Garbin, Mário Luis. Avaliação preliminar da variação espacial de nitrogênio inorgânico em solos de ocorrência de *Araucaria Angustifolia*. 2003. 37 p. : il.



UFRGS

SABi



Q5048458