

MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO E
NITRIFICAÇÃO NOS SOLOS DE UMA FLORESTA
MONODOMINANTE NA AMAZÔNIA, ILHA DE
MARACÁ, RR, BRASIL

D.M. Villela

Laboratório de Ciências Ambientais, CBB, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ

J. Proctor

Department of Biological and Molecular Sciences, University of Stirling, Scotland, UK

ABSTRACT

A forest type dominated *Peltogyne gracilipes* is common throughout the Maracá Island, RR. The aim of this study was to investigate if *Peltogyne* forest is characterised by unusual features of its soil N supply. Three plots (50x50m) were set up in each of three forest types: (1) *Peltogyne*-rich forest (FRP); (2) *Peltogyne*-poor forest (FPP); (3) forest without *Peltogyne* (FSP). The concentrations of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in the soil samples ($n=5$ per plot) were determined in 10 g fresh soil, extracted with KCl 1.5 M, and 50 g of soil were incubated (30 d) to estimate the mineralization and nitrification rates, in dry and wet seasons. FRP soils were characterised by low concentrations of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and low mineralization rates in comparison with FSP soils, in spite of higher $\text{NO}_3^-\text{-N}$ concentrations. The predominance of $\text{NO}_3^-\text{-N}$ is a feature of mineral N dynamics in FRP, FPP and FSP soils.

RESUMO

Uma floresta dominada pela espécie arbórea *Peltogyne gracilipes* é comum na ilha de Maracá, RR. O objetivo deste estudo foi investigar se este tipo florestal, dominado por *Peltogyne*, possui características distintas quanto ao suprimento de N no solo. Três parcelas (50 m x 50 m) foram aleatoriamente alocadas em cada um dos três tipos florestais estudados: floresta rica em *Peltogyne* (FRP); floresta pobre em *Peltogyne* (FPP); e floresta sem *Peltogyne* (FSP). As concentrações de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ e $\text{NO}_3^-\text{-N}$ nas amostras de solo ($n=5$ por parcela) foram determinadas em 10 g de solo fresco, extraídos com KCl 1,5 M, e 50 g de solo foram incubados (30 d) para a estimativa das taxas de mineralização e de nitrificação, nas estações seca e chuvosa. Os solos da FRP foram caracterizados pelas baixas concentrações de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ e baixas taxas de mineralização, em comparação com os solos da FSP, apesar de suas altas concentrações de $\text{NO}_3^-\text{-N}$. A predominância de $\text{NO}_3^-\text{-N}$ é uma característica da dinâmica do N mineral nos solos da FRP, FPP e da FSP.

INTRODUÇÃO

A maior parte do N do solo está na matéria orgânica, sendo liberado, por decomposição (mineralização), para a forma disponível para as plantas. A mineralização de nitrogênio é freqüentemente medida por técnicas de incubação, que fornecem um índice de disponibilidade de N, através da determinação da liberação de N da matéria orgânica em condições específicas e em um determinado período de tempo (Hesse, 1971; Binkley & Vitousek, 1991). Embora existam limitações nos métodos de incubação (ex. os resultados são afetados pelas condições que prevalecem no solo no momento da coleta e pela estrutura do solo), estes são geralmente considerados os mais confiáveis

para a obtenção de um índice de disponibilidade de N (Hesse, 1971).

Muitos trabalhos têm sido publicados sobre os processos de mineralização do N e nitrificação em florestas tropicais nas duas últimas décadas (Lamb, 1980; Robertson, 1984; Chandler, 1985; Marrs et al., 1988; Montagnini & Buschbacher, 1989; Barrios & Herrera, 1994). Na Ilha de Maracá (Roraima, Brasil), as taxas de mineralização de N foram medidas em solos de florestas de terra firme, rica em espécies, e na transição floresta-savana (Marrs et al., 1991; Ross et al., 1992; Luizão et al., 1995). Embora Vitousek & Sanford (1986) tenham relacionado as taxas de mineralização de N e de nitrificação com o tipo e a fertilidade do solo, o único

padrão encontrado para as taxas de nitrificação nos solos dos trópicos úmidos está relacionado com distúrbios ambientais (Robertson, 1989). Estudos sobre a relação entre a riqueza de espécies em florestas tropicais e o suprimento de N do solo são raros, sendo do nosso conhecimento apenas o de Montagnini & Buschbacher (1989) para uma floresta dominada por *Monopterix uauacu*, na Venezuela.

Uma floresta dominada pela espécie arbórea *Peltogyne gracilipes* Ducke (Caesalpinaceae) ocorre em manchas na Ilha de Maracá. Apesar da floresta de *Peltogyne* ser uma das mais pobres em espécies já registrada para a Amazônia brasileira (Nascimento et al., 1996), apenas recentemente estudos ecológicos foram realiza-

dos com o intuito de investigar os possíveis fatores relacionados com a dominância dessa espécie (Nascimento, 1994; Nascimento et al., 1996; Villela, 1995).

Este trabalho teve por objetivo investigar se a floresta dominada por *Peltogyne* possui características distintas quanto ao suprimento de N no solo.

ÁREA DE ESTUDO

A Ilha de Maracá, uma das maiores ilhas fluviais do mundo (101.000 ha), está localizada a 130 km norte de Boa Vista, RR (3°15' - 3°35' N; 61°22' - 61°58' W) (Fig. 1). A pluviosidade média anual na ilha é de 1783 mm, com uma estação seca bem definida de setembro a fevereiro e temperatura mensal entre 38°C e 23°C (Fig. 2). A parte leste da ilha é

plana, com algumas elevações de 200 a 400 m no centro-oeste e ocasionais elevações graníticas nas áreas baixas. A geologia da região data do Pré-Cambriano, sendo parte do Complexo Guianense: Escudo Basal. Maracá possui uma geomorfologia dinâmica, que mostra uma série de eventos erosivos e deposicionais, resultando em um mosaico de material residual e de deposição.

O solo da região estudada é Podzólico vermelho-amarelo, plúntico de textura arenosa, sem horizonte orgânico ou manto de raízes. O pH dos solos das florestas estudadas (4,4 - 4,6) está dentro da média encontrada para florestas tropicais na América do Sul, enquanto os teores de carbono orgânico (0,4 % - 1,1 %) e as concentrações de fósforo disponível (0,8 $\mu\text{g}^{-1} \text{g}^{-1}$ - 2,1 $\mu\text{g}^{-1} \text{g}^{-1}$), N total (0,34

mg g^{-1} - 0,72 mg g^{-1}), sódio (0,03 mequiv.kg^{-1} - 0,05 mequiv.kg^{-1}) e cálcio (0,5 mequiv.kg^{-1} - 1,3 mequiv.kg^{-1}) disponíveis são baixos quando comparados com os solos de outras florestas tropicais, enquanto as concentrações de magnésio disponível (0,6 mequiv.kg^{-1} - 3,4 mequiv.kg^{-1}) nos solos da floresta rica em *Peltogyne* são relativamente altas (Nascimento et al., 1996; Villela, 1995).

MATERIAIS E MÉTODOS

Três parcelas de 50 m x 50 m (subdivididas em parcelas de 10 m x 10 m) foram aleatoriamente alocadas em cada um dos três tipos florestais, selecionados de acordo com a densidade de *Peltogyne*: floresta rica em *Peltogyne* (FRP); floresta pobre em *Peltogyne*

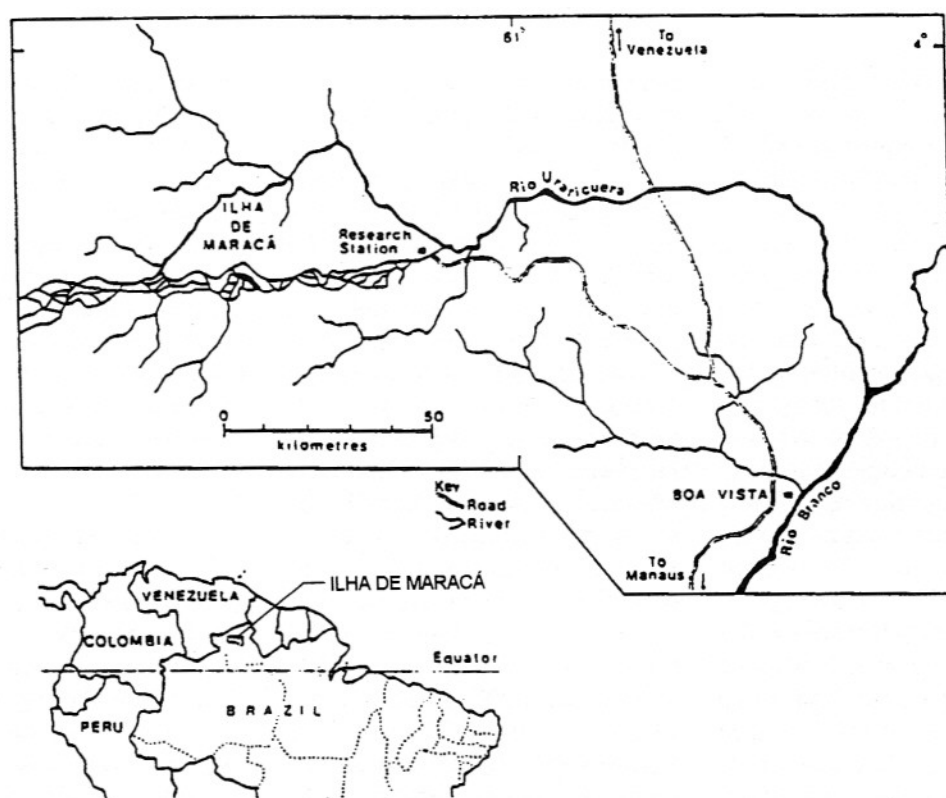


Figura 1 - Localização da Ilha de Maracá.

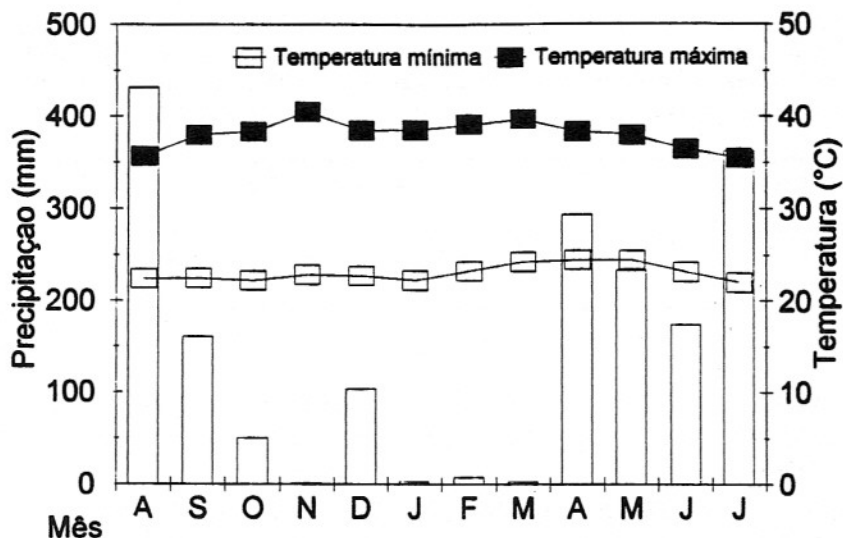


Figura 2 - Precipitação média mensal (representada por barra) e temperaturas máximas e mínimas mensais na Estação Ecológica de Maracá, de 1 de agosto de 1991 a 31 de julho de 1992.

(FPP); e floresta sem *Peltogyne* (FSP).

Cinco amostras de solo superficial (0-10 cm) foram coletadas aleatoriamente durante as estações seca (17/03/92) e chuvosa (01/07/92) em cada uma das parcelas alocadas. Os fragmentos de madeiras, pedras e raízes foram removidos e as amostras de solo fresco foram separadas em 2 frações: 1) subamostras de 10 g, que foram extraídas com 50 ml KCl 1,5 M, contendo $1 \text{ mg.l}^{-1} \text{ HgCl}_2$ (Robertson, 1984), para a determinação da concentração inicial de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ e de $\text{NO}_3^-\text{-N}$; 2) subamostras de 50 g, contendo 6ml de água deionizada, que foram incubadas em sacos de polietileno, no escuro, por 30 dias (Robertson, 1984; Marrs et al., 1991), no laboratório de campo, à uma temperatura variando entre 21°C e 35°C . Os sacos de incubação foram frouxamente amarrados para permitir a troca gasosa com a atmosfera (Robertson, 1984).

Após a incubação, sub-

amostras de 20 g foram utilizadas para estimar a perda de água durante o experimento, e 10 g de solo incubado foram extraídos com 50 ml KCl 1,5 M, para a determinação da concentração final de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ e de $\text{NO}_3^-\text{-N}$. Cada solução foi agitada manualmente cinco vezes durante cada extração, deixada em repouso por 8 h, filtrada e estocada em garrafas de polietileno. Devido à localização remota da área, os extratos da estação seca foram mantidos cinco meses e os da estação chuvosa seis semanas, antes da leitura. Nitrito não foi determinado e nitrito/nitrato foi considerado como $\text{NO}_3^-\text{-N}$ somente, já que esta é a forma que ocorre mais freqüentemente nos solos de florestas. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ foi determinado pelo método do indofenol (Gine et al., 1980) e $\text{NO}_3^-\text{-N}$ pelo método de redução de cádmio (Henriksen & Selmer-Olsen, 1970), utilizando-se o sistema de injeção de fluxo (FIA).

As taxas de minerali-

zação foram calculadas pela diferença entre as concentrações de nitrogênio mineral ($\text{NH}_4^+\text{-N} + \text{NO}_3^-\text{-N}$) incubado e as de nitrogênio mineral inicial, e as taxas de nitrificação pela diferença entre as concentrações de $\text{NO}_3^-\text{-N}$ incubado e as concentrações de $\text{NO}_3^-\text{-N}$ inicial (Robertson & Vitousek, 1981).

As comparações das concentrações de $\text{NH}_4^+\text{-N} + \text{NO}_3^-\text{-N}$ e das taxas de mineralização e de nitrificação entre e dentro das estações foram feitas através da análise de variância *nested desing*, considerando-se parcelas como fator randômico e as florestas ou estações como fator fixo. As comparações múltiplas entre as médias das florestas foram feitas pelo teste de Tukey. As diferenças foram consideradas estatisticamente significantes, ao nível de 5%. Os dados foram analisados estatisticamente, utilizando-se o pacote estatístico MINITAB 9.0 (Minitab Inc., 1990). Coeficientes de correlação foram calculados para as concentrações iniciais e finais de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ e de $\text{NO}_3^-\text{-N}$ e para as taxas de mineralização e de nitrificação com o teor de água, parâmetros físicos e químicos do solo.

RESULTADOS

Concentrações de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ e de $\text{NO}_3^-\text{-N}$

$\text{NO}_3^-\text{-N}$ predominou e $\text{NH}_4^+\text{-N}$ não foi detectado nos solos da FRP (Tabela 1). As concentrações de N mineral inicial foram maiores na estação seca, quando a FSP apresentou as maiores concentrações iniciais e finais de $\text{NH}_4^+\text{-N}$. As concentrações iniciais de $\text{NO}_3^-\text{-N}$ também foram maiores na estação seca do que na chuvosa (Tabela 1), embora estas dife-

Tabela 1 - Concentração (mg g⁻¹ peso seco) de NH₄⁺-N e de NO₃⁻-N antes (inicial) e depois (final) de 30d de incubação em solos da FRP, FPP e FSP, na Ilha de Maracá, nas estações seca e chuvosa. Os valores são média por tipo florestal, com os limites em parênteses. As diferenças significativas entre as florestas dentro de cada estação são representadas por diferentes letras na mesma coluna (*Nested design* ANOVA, p ≤ 0.05).

Estação	Inicial (mg g ⁻¹)			Final (mg g ⁻¹)		
	NH ₄ ⁺ - N	NO ₃ ⁻ - N	N _{mineral}	NH ₄ ⁺ - N	NO ₃ ⁻ - N	N _{mineral}
Seca						
FRP	0.00 ^a (0.00-0.00)	3.53 ^a (1.47-5.29)	3.53 ^a (1.47-5.29)	0.00 ^a (0.00-0.00)	4.66 ^a (0.00-13.7)	4.66 ^a (0.00-13.7)
FPP	0.62 ^{ab} (0.00-1.85)	3.61 ^a (2.87-4.12)	4.22 ^a (2.87-5.68)	3.72 ^a (0.00-7.84)	22.8 ^a (0.50-36.1)	26.5 ^a (0.50-39.5)
FSP	1.75 ^b (1.14-2.28)	2.21 ^a (1.70-2.95)	3.96 ^a (3.12-4.78)	10.0 ^b (9.01-10.6)	12.6 ^a (7.93-21.3)	22.6 ^a (18.5-30.2)
Chuvosa						
FRP	0.00 ^a (0.00-0.00)	2.01 ^a (1.11-1.92)	2.01 ^a (1.11-1.92)	0.00 ^a (0.00-0.00)	26.4 ^a (19.7-30.1)	26.4 ^a (19.7-30.1)
FPP	0.00 ^a (0.00-0.00)	2.09 ^a (1.87-2.25)	2.09 ^a (1.87-2.25)	0.34 ^a (0.00-1.02)	38.2 ^a (32.8-43.3)	38.6 ^a (33.7-43.3)
FSP	0.00 ^a (0.00-0.00)	1.13 ^a (0.81-1.32)	1.13 ^a (0.81-1.32)	0.00 ^a (0.00-0.00)	39.5 ^a (32.1-45.7)	39.5 ^a (32.1-45.7)

renças tenham sido estatisticamente significante apenas nos solos da FPP (p = 0,019). Na estação chuvosa, NH₄⁺-N foi detectado somente na FPP depois da incubação (Tabela 1). Apesar de não ter havido nenhuma diferença significativa nas concentrações iniciais de NO₃⁻-N entre as florestas, a amplitude de seus valores e as suas concentrações iniciais máximas foram maiores na FRP e na FPP do que na FSP (Tabela 1).

Na estação seca, não houve nenhuma correlação entre as concentrações iniciais de NH₄⁺-N e as diferentes propriedades físicas e químicas do solo. Entretanto, na estação chuvosa as concentrações iniciais de NH₄⁺-N foram significativamente correlacionadas

com íons de hidrogênio (r = -0,65, p ≤ 0,01) e com potássio (r = 0,58, p ≤ 0,05) na FPP, e com a queima da matéria orgânica (*loss-on-ignition*) (r = -0,55, p ≤ 0,05) nos solos da FSP. Em relação às concentrações iniciais de NO₃⁻-N, houve uma correlação positiva entre estas e os teores de água nos solos na FRP (r = 0,65, p ≤ 0,001) e na FSP (r = 0,52, p ≤ 0,05), durante a estação seca. Nesta estação, a concentração inicial de NO₃⁻-N também teve uma correlação significativamente positiva com os cátions analisados e com a capacidade de troca catiônica (CTC) (r = 0,76, p ≤ 0,001) dos solos da FRP e com o cálcio (r = 0,58, p ≤ 0,05) e a saturação de bases (r = 0,70, p ≤ 0,01) dos solos da FPP.

Taxas de mineralização de N e de nitrificação

As taxas de mineralização de N e de nitrificação foram menores na FRP do que na FSP, embora não significativamente diferentes na estação seca (Fig. 3), quando ambas as taxas foram muito variáveis. Durante a estação seca, as taxas de mineralização e de nitrificação da maioria das amostras da FRP foram negativas, indicando uma imobilização do NO₃⁻-N. Apenas a FRP apresentou uma mineralização significativamente menor (p = 0,008) na estação seca do que na chuvosa, embora isto tenha sido um padrão observado para os três tipos florestais (Fig. 3).

Houve uma correlação positiva entre as taxas de

mineralização de N ($r = 0,55$, $p \leq 0,05$) e de nitrificação ($r = 0,55$, $p \leq 0,05$) e o teor de água nos solos da FRP na estação seca e nos solos da FPP na estação chuvosa (ambas com $r = 0,68$, $p \leq 0,01$). As taxas de mineralização de N e de nitrificação tiveram uma correlação significativa com o teor de matéria orgânica (*loss-on-ignition*) somente na FPP e durante a estação chuvosa (ambas as taxas com $r = 0,74$, $p \leq 0,001$). Houve uma forte correlação positiva entre as taxas de mineralização de N e as de nitrificação nas duas estações, nos solos da FRP (estações seca e chuvosa: $r = 1,00$, $p \leq 0,001$), da FPP (estações seca e chuvosa: $r = 1,00$, $p \leq 0,001$) e da FSP (estação seca: $r = 0,99$, $p \leq 0,001$; estação chuvosa: $r = 1,00$, $p \leq 0,001$).

DISCUSSÃO

Concentrações de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ e de $\text{NO}_3^-\text{-N}$

As baixas concentrações de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ e as altas de $\text{NO}_3^-\text{-N}$ (embora não significativamente diferentes) nos solos da FRP e FPP, em comparação com os solos da FSP na estação seca, foram inesperadas, já que a FRP e a FPP estão em solos menos arenosos, mais úmidos e com maior CTC (Villela, 1995). A correlação positiva entre as concentrações de $\text{NO}_3^-\text{-N}$ e o teor de umidade nos solos da FRP e da FSP na estação seca, indica que o conteúdo de água é um fator importante para a disponibilidade de $\text{NO}_3^-\text{-N}$. Entretanto, alto conteúdo de água é bem conhecido por estimular a formação de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ e inibir a de $\text{NO}_3^-\text{-N}$. Os resultados obtidos também contrastam com a conclusão de Robertson (1989) de

que os solos das florestas tropicais com maior CTC tendem a reter íons de $\text{NH}_4^+\text{-N}$. Uma redução na concentração de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ nos solos da FRP, poderia ser possivelmente ocasionada por uma maior habilidade de *Peltogyne* em competir por íons de amônio ou por uma maior imobilização por parte dos microorganismos.

A surpreendente ausência de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ nos solos, na estação chuvosa, indica que esses solos não estavam em condi-

ções anaeróbias. Uma outra FSP em Maracá (R.H. Marrs, comunicação pessoal) e florestas subtropicais na Austrália (Lamb, 1980), também, apresentaram menor concentração de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ na estação chuvosa do que na seca (Tabela 2). Embora os íons de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ sejam citados como a principal forma de N mineral em muitas florestas tropicais (Jordan et al., 1979), a predominância de $\text{NO}_3^-\text{-N}$ não é incomum (Lamb, 1980; Chandler, 1985; Marrs et

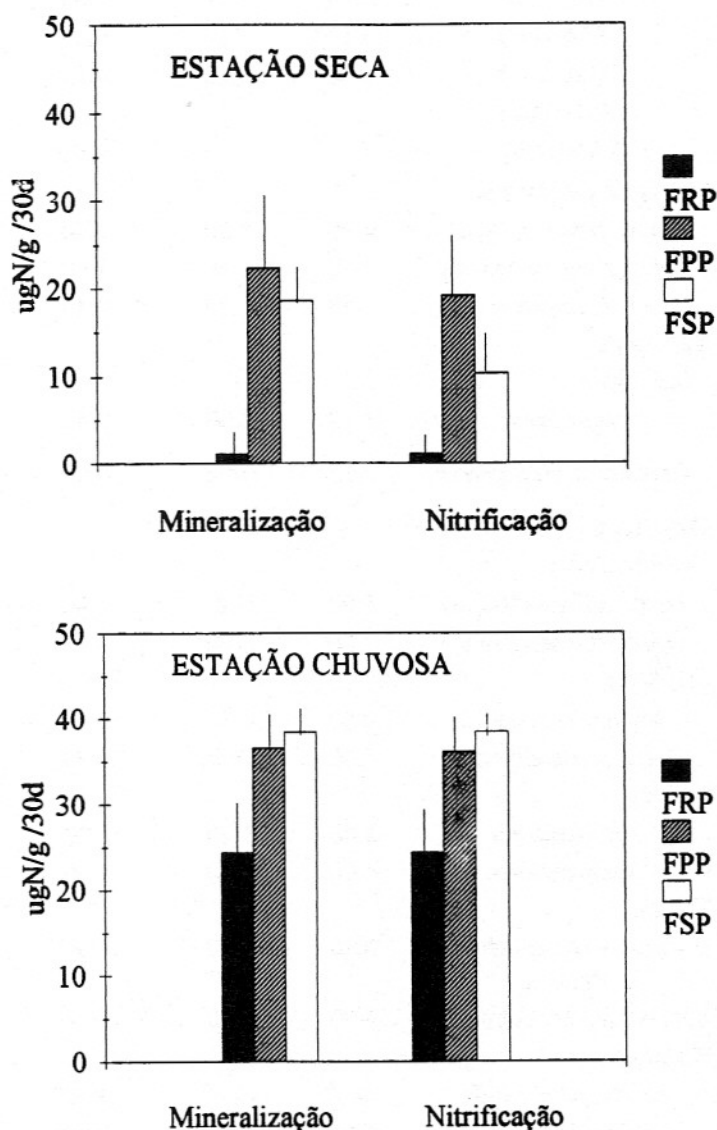


Figura 3 - Taxas de mineralização de nitrogênio e de nitrificação nas FRP, FPP e FSP.

Tabela 2 - Concentrações de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ e de $\text{NO}_3^-\text{-N}$ e taxas de mineralização de N e de nitrificação em amostras superficiais de solo (0-10 cm) de florestas em Maracá, na estação seca (ES) e na estação chuvosa (EC), e em outras florestas sub-tropicais e tropicais selecionadas.

Localidade	Concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$)		Taxa ($\mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$)		Referência	
	Tipo Florestal	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	Mineralização		Nitrificação
Brasil						
Maracá						
	PRFa (ES)	0.00	3.53	0.04	0.04	Este estudo
	PRFa (EC)	0.00	2.01	0.81	0.81	
	PPF (ES)	0.62	3.61	0.74	0.64	Este estudo
	PPF (EC)	0.00	2.09	1.22	1.20	
	FWPa (ES)	1.75	2.21	0.62	0.35	Este estudo
	FWPa (EC)	0.00	1.13	1.28	1.28	
	FWPb (ES)	5.43 [*]	2.17 [*]	0.68	0.57	Marrs <i>et al.</i> (1991)
	FWPb (EC)	1.53 [*]	2.26 [*]	0.28	0.33	
	FWPc (EC)	4.00 [*]	1.20 [*]	0.51 [*]	0.28 [*]	Ross, Luizão & Luizão (1992)
	FWPd (ES)	-	-	0.30 [*]	0.07 [*]	Luizão <i>et al.</i> (1995)
	FWPd (EC)	-	-	0.70 [*]	0.66 [*]	
80 km N de Manaus						
	<i>terra firme</i> no topo	4.20	1.30	1.90	2.20	Vitousek & Matson (1988) ^a
	<i>terra firme</i> no declive	2.70	1.40	1.40	1.50	Vitousek & Matson (1988) ^a
	<i>campinarana</i>	2.50	0.50	0.80	0.60	Vitousek & Matson (1988) ^a
Venezuela						
San Carlos						
	<i>terra firme</i>	1.18	2.88	0.46	0.50	Montagnini & Buschbacher(1988)
	<i>floresta de Monopterix</i>	3.13	1.22	0.06	0.12	Montagnini & Buschbacher(1988)
Costa Rica						
Volcán Barva						
	baixa altitude (100 m)	5.00	11.6	0.86 [*]	0.6-0.7 [*]	Marrs <i>et al.</i> (1988) ^a
	baixa altitude (500 m)	2.00 [*]	5.00 [*]		0.50 [*]	Marrs <i>et al.</i> (1988) ^a
La Selva						
	sobre solo residual	8.50	6.80	3.90	2.50	Vitousek & Matson (1988) ^a
	sobre solo aluvial	4.60	11.70	2.70	1.80	Vitousek & Matson (1988) ^a
Panama						
	semi-decídua	5.40	7.30	1.20	1.20	Vitousek & Matson (1988) ^a
	semi-decídua	6.00	4.00	1.60	1.60	Vitousek & Matson (1988) ^a
Malasia						
	<i>dipterocarp</i> em terras baixas	0.90	0.60	0.88 [*]	0.45 [*]	Chandler (1985)
	<i>dipterocarp</i> em montanhas	0.90	2.20	0.65 [*]	0.26 [*]	Chandler (1985)
Austrália						
	sub-tropical úmida	10.0 [*]	12.0 [*]	4.50 [*]	4.50 [*]	Chandler & Goosen (1982)
	sub-tropical úmida	3.00 [*]	16.0 [*]	2.80 [*]	2.50 [*]	Lamb (1980) ^b

^{*}comunicação pessoal; ^{*}dados estimados à partir de gráficos; ^{*}dados estimados à partir dos dados de concentrações de amônio e de nitrato; ^aprofundidade do solo 0 - 15 cm; ^bprofundidade do solo 0 - 5 cm.

al., 1988) (Tabela 2).

As concentrações de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ nos solos de FRP e FPP são mais baixas do que as reportadas para outras florestas em Maracá e para florestas tropicais em geral, enquanto que as concentrações dos solos da FSP estão no limite inferior destes valores (Tabela 2). Embora a perda de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ por lixiviação seja, em geral, pequena, esta pode ser importante em solos muito arenosos (Binkley & Vitousek, 1991), como estes de Maracá. As concentrações de $\text{NO}_3^-\text{-N}$ estão dentro da média reportada para florestas tropicais (Tabela 2). Perdas de $\text{NO}_3^-\text{-N}$ por lixiviação são mais comuns do que as de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ na maioria dos tipos de solos. Porém, os solos tropicais, que contêm grandes quantidades de hidróxido de ferro e de alumínio, são capazes de reter $\text{NO}_3^-\text{-N}$ como parte da capacidade de troca aniônica, prevenindo a rápida lixiviação de $\text{NO}_3^-\text{-N}$ (Cameron & Haynes, 1989).

Taxas de mineralização de N e de nitrificação

As baixas taxas de mineralização de N e de nitrificação nos solos da FRP podem ter sido ocasionadas por um baixo suprimento de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ e pelo alto nível do lençol freático na estação chuvosa (Villela, 1995). Entretanto, os solos da FPP, que tem características físicas semelhantes às da FRP, apresentou maiores taxas de nitrificação e de mineralização. A estrutura da comunidade vegetal pode afetar propriedades do solo como porosidade, disponibilidade de água, entrada de matéria orgânica e absorção de $\text{NH}_4^+\text{-N}$, que exercem uma influência indireta, importante nas taxas de nitrificação (Robertson, 1989). As baixas

taxas de nitrificação e de mineralização na FRP podem indicar que *Peltogyne* possui um mecanismo alternativo de absorção de N via micorrizas ou que o principal fluxo da ciclagem de N ocorre através dos decompositores na camada superficial da serapilheira no solo, como já foi sugerido para outras florestas de Maracá (Marrs et al., 1991). *Peltogyne* não possui nódulos fixadores de nitrogênio ou ectomicorrizas, porém possui micorrizas do tipo vesicular-arbuscular (VAM) (Nascimento, 1994).

A textura arenosa pode ser o principal fator responsável para as altas taxas de nitrificação, já que uma grande proporção da fração de areia promove poros maiores e melhor aeração. Altas taxas de nitrificação também foram reportadas para outras florestas em Maracá e nos trópicos (Tabela 2). Porém, como nas FRP, FPP e FSP, não houve uma relação clara entre o suprimento de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ e a taxa de nitrificação.

As baixas taxas de mineralização e de nitrificação nas FRP, FPP e na FSP na estação seca contrastam com os resultados obtidos por Marrs et al. (1991), que encontrou as maiores taxas no final da estação seca (quando já havia registro de fortes chuvas ocasionais). No entanto, altas taxas de mineralização e de nitrificação na estação chuvosa foram reportadas para outra FSP em Maracá (Luizão et al., 1995) e para uma floresta sazonal na Índia (Singh et al., 1989). A alta produção de N, na estação chuvosa, nas florestas estudadas, pode estar relacionada com a decomposição da serapilheira, já que esta coincide com um período de rápida decomposição foliar, enquanto que, na es-

tação seca, a decomposição foliar foi muito lenta (Villela, 1995). Singh et al. (1989) sugeriram que há uma rápida ciclagem de N na estação chuvosa, proveniente da massa microbiana morta. Pulsos de liberação de nutrientes têm demonstrado serem necessários para a manutenção de altas taxas de mineralização, absorção pelas plantas e produtividade em florestas tropicais (Lodge et al., 1994).

As taxas de mineralização na FRP são baixas em comparação com outras florestas tropicais, enquanto as da FPP e FSP ficaram na média reportada (Tabela 2). As baixas taxas de mineralização encontradas para a FRP na estação seca foram similares às encontradas para a floresta monodominante de *Monopterix*, na Venezuela (Montagnini & Buschbacher, 1988), que apresentou menores taxas de mineralização e de nitrificação do que a floresta rica em espécies por eles estudada (Tabela 2).

CONCLUSÕES

Os solos da FRP foram caracterizados por baixas concentrações dos íons $\text{NH}_4^+\text{-N}$ e baixas taxas de mineralização, em comparação com os solos da FSP, apesar de possuir maiores concentrações iniciais de $\text{NO}_3^-\text{-N}$. A predominância dos íons $\text{NO}_3^-\text{-N}$ é uma característica da dinâmica do N mineral nos solos das três florestas estudadas (FRP, FPP e FSP).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq e à Fundação Botânica Margaret Mee pelo apoio financeiro e ao

IBAMA - RR pelo apoio logístico. Somos gratos ao Dr. Marcelo T. Nascimento pelo apoio no trabalho de campo e pelas críticas ao manuscrito, à Dr^a. Regina C.C. Luizão pela utilização do laboratório do Departamento de Ecologia do INPA, ao Dr. Robert H. Marris pelos seus comentários ao manuscrito, e ao Sr. Guttemberg Moreno (Estação Ecológica de Maracá) pelo apoio recebido durante a estadia naquela ilha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRIOS, E. & HERRERA, R. (1994) Nitrogen cycling in a Venezuelan tropical seasonally flooded forest: soil, nitrogen mineralization and nitrification. *J. Trop. Ecol.*, **10**:399-419.
- BINKLEY, D. & VITOUSEK, P. (1989) Soil nutrient availability. In: R.W. Pearcy; J. Ehleringer; H.A. Mooney; P.W. Rundel (Eds). *Plant Physiological Ecology Field Methods and Instrumentation*, p.75-96.
- CAMERON, K.C. & HAYNES, R.J. (1986) Retention and movement of nitrogen in soils. In: R.J. Haynes (Ed.). *Mineral Nitrogen in The Plant-Soil System*. Academic Press, London, p.166-241.
- CHANDLER, G. (1985) Mineralization and nitrification in three Malaysian forest soils. *Soil Biol. & Bioch.*, **17**:347-353.
- GINE, M.F.; BERGAMIN FILHO, H.; ZAGATTO, E.A.G.; REIS, B.F. (1980) Simultaneous determination of nitrate and nitrite by flow analyses. *Analytica Chimica Acta*, **114**:192-197.
- HENRIKSEN, S. & SELMER-OLSEN, A.R. (1970) Automatic methods for determining nitrite and nitrate in water and soil extracts. *Analyst*, **95**:514-518.
- HESSE, P.R. (1971) *A Textbook of Soil Chemical Analysis*. J. Murray, London.
- JORDAN, C.F.; TODD, R.L.; ESCALANTE, G. (1979) Nitrogen conservation in a tropical rainforest. *Oecologia*, **39**:123-128.
- LAMB, D. (1980) Soil nitrogen mineralization in a secondary rainforest succession. *Oecologia*, **47**:257-263.
- LOADGE, D.J.; MCDOWELL, W.H.; MCSWINEY, C.P. (1994) The importance of nutrient pulses in tropical forests. *Tr. Ecol. & Evol.*, **9**:384-387.
- LUIZÃO, F.J.; PROCTOR, J.; THOMPSON, J.; LUIZÃO, R.C.C.; MARRS, R.H.; SCOTT, D.A.; VIANNA, V. (1995) Ecological studies on lowland evergreen rain forest on Maracá Island, Roraima, Brazil III. Artificial feelings, soil chemistry and litter decomposition. *J. Ecol.*, (no prelo).
- MARRS, R.H.; PROCTOR, J.; HEANEY, A.; MOUNTFORD, M.D. (1988) Changes in soil nitrogen-mineralization along an altitudinal transect in tropical rain forest in Costa Rica. *J. Ecol.*, **76**:466-482.
- MARRS, R.H.; THOMPSON, J.; SCOTT, D.A.; PROCTOR, J. (1991) Nitrogen mineralization and nitrification in terra firme forest and savanna soils on Ilha de Maracá, Roraima, Brazil. *J. Trop. Ecol.*, **7**:123-137.
- MINITAB (1993) *Minitab Reference Manual. Release 9 for Windows*. Minitab Inc, Lebanon, USA. Minitab Inc., 1990.
- MONTAGNINI, F. & BUSCHBACHER, R. (1989) Nitrification rates in two undisturbed tropical rain forests and three slash-and-burn sites of the Venezuelan Amazon. *Biotropica*, **21**:9-14.
- NASCIMENTO, M.T. (1994) *A Monodominant Rain Forest on Maracá Island, Roraima, Brazil: Forest Structure and Dynamics*. PhD. Thesis. University of Stirling, Stirling, Scotland.
- NASCIMENTO, M.T.; PROCTOR, J.; VILLELA, D.M. (1996) Forest structure, floristic composition and soils of an Amazonian monodominant forest on Maracá Island, Brazil. *Edinburgh J. Bot.*, (no prelo).
- ROBERTSON, G.P. (1984) Nitrification and nitrogen mineralization in a lowland rainforest succession in Costa Rica, Central America. *Oecologia*, **61**:99-104.
- ROBERTSON, G.P. (1989) Nitrification and denitrification in humid tropical ecosystems: potential controls on nitrogen retention. In: J. Proctor (Ed.) *Mineral Nutrients in Tropical Forest and Savanna Ecosystems*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, p.55-69.

- ROBERTSON, G.P. & VITOUSEK, P.M. (1981) Nitrification potentials in primary and secondary succession. *Ecology*, **62**:376-86.
- ROSS, S.M. (1989) *Soil Processes. A Systematic Approach*. Routledge, London.
- SINGH, J.S.; RAGHUBANSHI, A.S.; SINGH, R.S.; SRIVASTAVE, S.C. (1989) Microbial biomass acts as a source of nutrients in dry tropical savanna. *Nature*, **338**:499-500.
- VILLELA, D.M. (1995) Nutrient cycling in a monodominant and other rain forest types on Maracá Island, Brazil. PhD. Thesis. University of Stirling, Stirling, Scotland.
- VITOUSEK, P.M. & SANFORD Jr., R.L. (1986) Nutrient cycling in moist tropical forest. *An. Rev. Ecol. Syst.*, **17**:137-167.