

# Nitrogênio mineral e microbiano do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia oriental

Willen Ramos SANTIAGO<sup>1</sup>, Steel Silva VASCONCELOS<sup>2</sup>, Osvaldo Ryohei KATO<sup>2</sup>, Carlos José Capela BISPO<sup>3</sup>, Lívia Gabrig Turbay RANGEL-VASCONCELOS<sup>4</sup>, Débora Cristina CASTELLANI<sup>3</sup>

## RESUMO

O sucesso da produção de palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) em sistemas agroflorestais (SAFs) na Amazônia está condicionado ao manejo sustentável do solo, em especial dos atributos químicos e microbiológicos. Nosso objetivo foi avaliar o impacto de SAFs com palma de óleo sobre os teores de nitrogênio (N) mineral e microbiano do solo, em função da sazonalidade pluviométrica. Avaliamos diferentes formas de N do solo (N microbiano, nitrato, amônio), além da concentração de carbono (C) do solo, em SAFs com baixa e alta diversidade de espécies cultivadas, os quais foram comparados com uma floresta secundária adjacente de 13 anos de idade. Para a maioria das variáveis analisadas (N total, relação C:N, N microbiano, relação N microbiano:N total, amônio) houve diferença significativa somente entre as épocas de amostragem. A concentração média de C no solo sob o SAF com alta diversidade (15,6 mg g<sup>-1</sup>) foi maior do que na floresta (13 mg g<sup>-1</sup>). Na época chuvosa a concentração de nitrato no SAF com alta diversidade foi 5,1 mg (N) kg<sup>-1</sup> (solo), maior do que nos demais tipos de vegetação, resultando em menor concentração média de amônio no solo sob esse SAF, cujo valor foi 9,6 mg (N) kg<sup>-1</sup> (solo). A mineralização do N no SAF com baixa diversidade, na época seca, foi 0,1 mg (N) kg<sup>-1</sup> (solo) dia<sup>-1</sup>, menor do que nos demais tipos de vegetação. As variáveis analisadas foram mais sensíveis à sazonalidade da precipitação pluviométrica do que à conversão de floresta secundária em SAFs com palma de óleo.

**PALAVRAS-CHAVE:** amônio, dendezeiro, *Elaeis guineensis*, nitrato

## Soil mineral and microbial nitrogen in oil palm-based agroforestry systems in eastern Amazon

### ABSTRACT

The success of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.)-based agroforestry systems (oil palm-AFS) depends on sustainable soil management, especially of soil chemical and microbiological characteristics. Our objective was to evaluate the impact of oil palm-AFS on soil mineral and microbial nitrogen (N) in contrasting rainfall seasons. We evaluated different soil nitrogen (N) forms (microbial-N, nitrate, ammonium) and soil carbon concentration in oil palm-AFS with low and high diversity of species planted, which were compared with an adjacent 13-yr-old secondary forest. Most variables (total N, C:N ratio, microbial-N, microbial-N:total N ratio, ammonium, and net nitrification rate) varied only in response to rainfall seasonality. Soil C was significantly higher in the high diversity AFS (15.6 mg g<sup>-1</sup>) than in the secondary forest (13.0 mg g<sup>-1</sup>). In the rainy season, nitrate concentration (5.1 mg N kg<sup>-1</sup> soil) was higher in the high diversity AFS than in other vegetation types; consequently, the average soil ammonium concentration (9.6 mg N kg<sup>-1</sup> soil) was significantly lower in the high diversity AFS. Net N mineralization in the low diversity AFS (0.1 mg N kg<sup>-1</sup> soil day<sup>-1</sup>) in the dry season was significantly lower than in other vegetation types. The soil variables were more sensitive to the rainfall seasonality than to the conversion of secondary forest to oil palm-based agroforestry systems.

**KEYWORDS:** ammonium, *Elaeis guineensis*, nitrate

<sup>1</sup> Departamento de Ciência do Solo, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Av. Tancredo Neves s/nº, CEP 66.077-530-Belém-PA. E-mail: agrowillen@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Embrapa Amazônia Oriental. Caixa Postal 48, Belém, PA, CEP 66095-100. E-mail: steel.vasconcelos@embrapa.br, osvaldo.kato@embrapa.br

<sup>3</sup> Natura Inovação e Tecnologias de Produtos Ltda, Cajamar, São Paulo, CEP 07.750-000. E-mail: carloscapela@natura.net, deboracastellani@natura.net

<sup>4</sup> Programa Nacional de Pós-doutorado Institucional CAPES, UFRA, E-mail: liviaturbay@gmail.com

## INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes mais abundantes nos solos, porém apenas uma pequena fração desse elemento fica disponível na forma mineral, enquanto o restante permanece predominantemente complexado em formas orgânicas, indisponível às plantas (Cantarella 2007; Camargo *et al.* 2008). Comumente, a pouca disponibilidade de N no solo, associada à grande demanda pelas plantas, fazem desse nutriente um dos mais limitantes ao crescimento e desenvolvimento das plantas. O N mineral no solo, representado predominantemente pelas formas amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), resulta de muitas transformações do N orgânico, as quais são influenciadas por diferentes fatores ambientais (Gama-Rodrigues *et al.* 2005; Schwendener *et al.* 2007; Camargo *et al.* 2008).

Na região amazônica, onde a precipitação pluviométrica é elevada (superior a 2000 mm anuais), o regime pluviométrico pode influenciar grandemente a concentração de N mineral no solo (Luizão *et al.* 1992), pois além de afetar a atividade e o crescimento microbianos (Luizão *et al.* 1992; Rangel-Vasconcelos *et al.* 2005), também favorece a migração da forma nítrica no perfil do solo. Apesar da microbiota do solo ser o principal agente na conversão do N orgânico em N mineral, também pode desempenhar papel de dreno desse elemento no solo, ao imobilizar N em sua biomassa, podendo competir fortemente com as plantas por esse nutriente (Camargo *et al.* 2008). Portanto, em estudos sobre a dinâmica de N no solo, é importante considerar os efeitos da ação microbiana.

Nos solos de baixa fertilidade natural, comumente observados na Amazônia, a sustentabilidade dos sistemas agropecuários está associada à capacidade de manter ou promover aumentos na disponibilidade de nutrientes às plantas por meio do manejo da matéria orgânica do solo, sobretudo para produtores com acesso restrito a insumos industrializados. No caso da palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq., família *Arecaceae*), os sistemas de produção são predominantemente praticados nos moldes convencionais, preconizando-se o monocultivo e o consumo de insumos industrializados, sendo, por isso, normalmente incompatíveis com a realidade socioeconômica do produtor rural familiar da região amazônica. Esse cenário é especialmente relevante no Estado do Pará, Amazônia oriental, que se destaca como o principal Estado produtor do Brasil, respondendo por mais de 90% da produção nacional.

Sistemas agroflorestais (SAFs), caracterizados pelo cultivo integrado de espécies agrícolas e silviculturais na mesma área (Nair 1993), têm sido investigados como alternativa para expansão da produção da palma de óleo, no contexto da agricultura familiar amazônica. Apesar da importância econômica da palma de óleo, no Brasil existem poucos estudos sobre os efeitos do cultivo dessa cultura sobre a dinâmica dos nutrientes no solo, em especial na Amazônia.

Estudos têm constatado aumentos na concentração de N mineral em solos tropicais, em função do cultivo de espécies leguminosas fixadoras de N (Chikowo *et al.* 2004). O presente estudo teve como premissa que a introdução de sistemas agroflorestais com palma de óleo, enriquecidos com leguminosas fixadoras de nitrogênio, promoveria incrementos na concentração de N mineral no solo e menor imobilização desse elemento na biomassa microbiana do solo, em relação a sistemas nativos, como floresta secundária. O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito de sistemas agroflorestais com palma de óleo sobre os teores de N mineral e microbiano do solo, em função da sazonalidade pluviométrica.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Tomé-Açu (2° 40' 54"S e 48° 16' 11" W), localizado na Mesorregião Nordeste do Estado do Pará. O clima do município é tropical quente e úmido, do tipo Am, pela classificação de Köppen (Baena e Falesi 1999). Conforme dados obtido no período entre 1985 e 2010, provenientes da estação meteorológica pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) — localizada a 2° 31' S e 48° 22' W, a 45 m de altitude — a temperatura média anual do município é 26,6 °C, variando entre 21 °C (julho, agosto) e 33,8 °C (outubro), e a precipitação média anual é 2439 mm, distribuída em uma estação chuvosa, normalmente de dezembro a junho, e uma menos chuvosa, de julho a novembro. Os solos predominantes no município são Latossolos Amarelos, com textura variando de média a argilosa (Baena e Falesi 1999).

### Descrição do experimento

Foram avaliados dois sistemas agroflorestais (SAFs) jovens (três anos de idade) de produção de palma de óleo (*Elaeis guineensis*), e uma floresta secundária (13 anos de idade), remanescente da cobertura vegetal antes da implantação dos SAFs, conforme descrição a seguir:

(a) SAF com baixa diversidade de espécies cultivadas: sistema de produção constituído de palma de óleo consorciada com plantas cultivadas com a finalidade de adubação verde. Plantas para adubação verde são espécies vegetais, normalmente rústicas, cuja principal função no sistema agrícola é a melhoria da fertilidade do solo. Neste estudo, como plantas para adubação verde foram cultivadas diferentes espécies leguminosas fixadoras de N (família *Fabaceae*), anuais e perenes, conforme Tabela 1.

(b) SAF com alta diversidade de espécies cultivadas: sistema de produção diversificado, tendo a palma de óleo como principal cultura de valor econômico, consorciada com espécies frutíferas, oleaginosas, madeireiras e plantas para adubação verde (Tabela 1).

**Tabela 1** - Espécies vegetais cultivadas nos sistemas agroflorestais com palma de óleo, no município de Tomé-Açu, Pará.

Nome científico	Método Propagação	Propágulos por ha	Espaçamento (m)	SAF <sup>(1)</sup>	
				Baixa diversidade	Alta diversidade
<i>Cajanus cajan</i>	Semente	50 kg	0,25 x 1,50	×	×
<i>Calophyllum brasiliensis</i>	Muda	30	13,0 x 22,5		×
<i>Canavalia ensiformis</i>	Semente	80 kg	0,30 x 0,30	×	×
<i>Crotalaria juncea</i>	Semente	5 kg	0,25 x 0,25	×	×
<i>Elaeis guineensis</i>	Muda	99	7,5 x 9,0 x 15,0	×	×
<i>Euterpe oleracea</i>	Muda	125	6,0 x 6,0		×
<i>Gliricidia sepium</i>	Estaca	280	3,0 x 12,0		×
		540	2,0 (entre estacas)	×	
<i>Inga edulis</i>	Muda e semente	515	3,0 x 3,5 x 6,0		×
		540	3 x 5 x 17,5	×	
<i>Manihot esculenta</i>	Maniva	600	1,0 x 1,0 x 3,0		×
<i>Mucuna cinereum</i>	Semente	20 kg	0,50 x 1,0	×	×
<i>Musa spp.</i>	Rizoma	595	3,0 x 3,0		×
<i>Oenocarpus bacaba</i>	Muda	85	4,5 x 22,5		×
<i>Sclerolobium paniculatum</i>	Muda e semente	28	14,0 x 22,5		×
<i>Tabebuia spp.</i>	Muda	28	14,0 x 22,5		×
<i>Theobroma cacao</i>	Muda	300	3,0 x 3,5		×
<i>Tithonia diversifolia</i>	Estaca	331	2,0 (entre estacas)	×	×

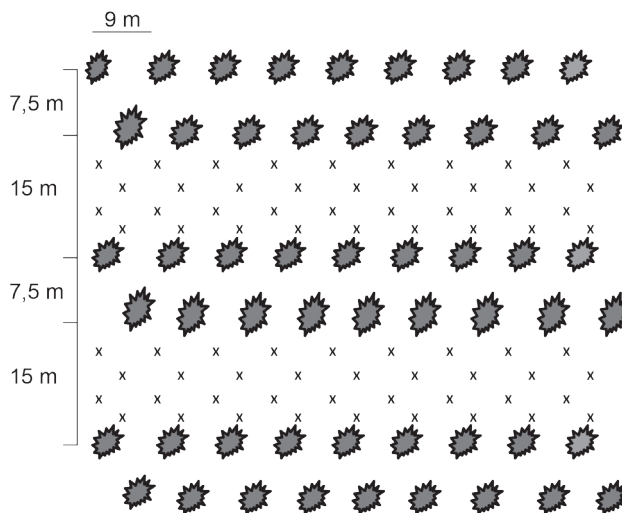
<sup>1</sup> Sistema agroflorestal com baixa diversidade de espécies cultivadas, Sistema agroflorestal com alta diversidade de espécies cultivadas

(c) Floresta secundária (FSEC): floresta secundária de aproximadamente 13 anos, com altura média do dossel de 15 m, densidade média de 520 árvores por hectare (árvores com diâmetro à altura do peito acima de 10 cm), com predomínio das espécies *Tapirira guianensis* Aubl., *Vismia guianensis* Aubl. Prers., *Inga alba* Willd. e *Apeiba burchelli* Sprague. Neste fragmento de floresta secundária não há histórico recente (~ 13 anos) de cultivo de plantas para adubação verde; por isso foi considerado uma área de referência.

Na camada 0-20 cm, nos sistemas de produção de palma de óleo, o pH variou entre 5,5 e 5,9, enquanto que na floresta secundária o pH foi 5,1 (Carvalho, 2011). Os teores de nutrientes nos sistemas de produção de palma de óleo (P: 9,9 - 14,4 mg dm<sup>-3</sup>, K: 47,4 - 111,0 mg dm<sup>-3</sup>, Ca: 3,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e Mg: 1,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) foram superiores aqueles encontrados na floresta secundária (P: 1,9 mg dm<sup>-3</sup>, K: 19,7 mg dm<sup>-3</sup>, Ca: 1,6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e Mg: 0,6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) (Carvalho, 2011).

Cada SAF ocupava dois hectares de área e era constituído por 11 linhas duplas de palma de óleo (7,5 m x 9 m), espaçadas por uma faixa de 15 m, onde foram cultivadas as plantas das espécies consorciadas (Figura 1). Em cada linha dupla havia 18 plantas de palma de óleo (nove plantas por linha simples). Assim, em cada sistema de produção havia 198 plantas de palma de óleo, ou seja, 99 plantas por hectare.

O preparo das áreas para implantação dos sistemas de produção ocorreu entre setembro e outubro de 2007. Em todos os SAFs, a área foi preparada com corte e trituração da



**Figura 1** - Croqui do arranjo espacial da palma de óleo (🌴) e das culturas consorciadas (x) nos sistemas agroflorestais, em Tomé-Açu, Pará.

**Tabela 2** - Insumos usados para adubação e correção do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo, em Tomé-Açu, Pará.

Corretivo/fertilizante	Unidade	Palma de óleo				Culturas consorciadas <sup>(1)</sup>
		2008	2009	2010	2011	2008
Calcário dolomítico	kg ha <sup>-1</sup>	1.300				
Fosfato de ARAD	kg planta <sup>-1</sup>	0,3		1	1,5	0,3
Moinha de carvão <sup>(2)</sup>	kg planta <sup>-1</sup>	10				10
Composto orgânico	kg planta <sup>-1</sup>	8	8			4
Cama de frango <sup>(3)</sup>	kg planta <sup>-1</sup>	10				10
Farinha de ossos <sup>(4)</sup>	kg planta <sup>-1</sup>		1	0,5	0,5	
Torta de mamona <sup>(5)</sup>	kg planta <sup>-1</sup>		2	2	4	
FTE BR 12 <sup>(6)</sup>	kg planta <sup>-1</sup>			0,3	0,2	
Cachos vazios de palma de óleo	kg planta <sup>-1</sup>			100	100	
Bórax	kg planta <sup>-1</sup>			0,1	0,1	

<sup>1</sup> cacau, açaí, bacaba e banana. <sup>2</sup> N: 0,51%; P: 3,36%; K: 4,85%; Mg: 2,7%. <sup>3</sup> N: 2,58%; P205: 2,77%; K2O: 2,31%; C/N: 7. <sup>4</sup> N: 2%; P205: 20%; K2O: 0,12%; C/N: 9. <sup>5</sup> N: 5,44%; P205: 1,91%; K2O: 1,54%; C/N: 10. <sup>6</sup> Fritted trace elements. Zn: 9%; B: 1,8%; Cu: 0,8%; Mn: 2%; Fe: 3,5%; Mo: 0,1%

vegetação (floresta secundária), sem revolvimento do solo, depositando-se sobre esta a vegetação triturada, para função de cobertura morta (*mulch*). A trituração da vegetação foi realizada mecanicamente por meio de um fresador florestal (FM600, AHWI, Herdewangen, Alemanha) acoplado a um trator de rodas com 170 cv, gerando fragmentos triturados com a seguinte distribuição de tamanho: 1<T<7 mm (43%), 7<T<25 mm (21%), 25<T<35 mm (9%) e T>35 mm (27%) (Bervaldo 2005).

Em janeiro de 2008 foi aplicado, manualmente, calcário dolomítico na superfície do solo e, entre fevereiro e março do mesmo ano, foram plantadas mudas de palma de óleo, de 15 meses de idade e aproximadamente 2 m de altura. No plantio foi realizada adubação na cova, com uma combinação de fosfato natural (ARAD) e moinha de carvão (carvão vegetal moído). A adubação de manutenção nos anos posteriores foi realizada em cobertura (Tabela 2). A adubação das culturas consorciadas (cacau, açaí, bacaba e banana) foi realizada somente em 2008, na cova de plantio, no momento da implantação dos SAFs (Tabela 2). Nos anos posteriores a fertilização do solo sob as culturas consorciadas foi realizada pela adição de fitomassa oriunda do manejo da vegetação espontânea e da poda das espécies cultivadas para adubação verde.

O manejo da palma de óleo envolveu roçagem na projeção da copa realizada de três a cinco vezes ao ano, e poda anual de limpeza (folhas velhas e danificadas). Roçagem geral e poda das culturas consorciadas foram realizadas de três a quatro vezes ao ano. A vegetação espontânea na linha de plantio e nas entrelinhas era roçada e distribuída na projeção da copa da palma de óleo e das culturas consorciadas.

## Precipitação local e umidade do solo

Durante a realização do estudo, a precipitação foi monitorada diariamente utilizando-se um pluviômetro localizado a 2 km da área experimental. Neste estudo, considerou-se como época chuvosa o período compreendido entre dezembro e junho, e época seca o período de julho a novembro. Mensalmente foram coletadas amostras de solo (0-10 cm) para fins de monitoramento da umidade gravimétrica do solo (Embrapa, 1997).

## Amostragem e preparo do solo

Em cada tipo de vegetação foram coletadas, com trado, dez amostras de solo, cada uma composta de quatro subamostras simples, na profundidade 0-10 cm, em março e setembro de 2011, nas estações chuvosa e seca, respectivamente. Nos SAF, as amostras foram coletadas de acordo com a configuração espacial das espécies cultivadas: nas linhas duplas de palma de óleo, entre as linhas simples; entre plantas de palma de óleo, na linhas simples; na projeção das copas da palma de óleo; e aleatoriamente entre as espécies consorciadas, entre linhas duplas.

No campo as amostras de solo foram colocadas em sacos plásticos e armazenadas em caixas térmicas contendo gelo. No laboratório as amostras foram acondicionadas a -4 °C até o processamento para análises químicas e determinação da umidade gravimétrica (Embrapa, 1997).

Para a determinação do N microbiano e mineralização do N, as amostras de solo foram destorroadas e homogeneizadas, retirando-se pedras e fragmentos vegetais visíveis. Após peneiramento (malha de 2 mm) a umidade das amostras foi corrigida para atingir 50 a 60% da capacidade de retenção de

água. Para determinação do C e N totais do solo, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm e, em seguida, moídas e peneiradas em malha de 60 mesh.

### Carbono e nitrogênio totais do solo

O carbono orgânico total e nitrogênio do solo foram determinados por combustão via seca com analisador elementar (CNS 2000, LECO Corporation, Michigan, Estados Unidos).

### Nitrogênio microbiano

O N da biomassa microbiana do solo ( $N_{mic}$ ) foi avaliado pelo método da fumigação-extração (Tate *et al.* 1988). A fumigação foi realizada com clorofórmio ( $CHCl_3$ ) isento de etanol, por 72 horas, em dessecador mantido sob vácuo, livre de luminosidade. A extração consistiu na adição de 50 mL de solução  $K_2SO_4$  (0,5 M) por amostra de solo (20 g), seguida de agitação em movimento circular horizontal (150 rpm), durante 30 minutos, com posterior filtragem em papel filtro após decantação por 30 minutos. O N contido nos extratos fumigados e não-fumigados foi determinado pelo método Kjeldahl (Brookes *et al.* 1985) e o fator de correção ( $K_{EN}$ ) igual a 0,54 (Brookes *et al.* 1985) foi utilizado para estimar o  $N_{mic}$ .

### Nitrogênio mineral e taxas líquidas de mineralização (TLM) e nitrificação (TLN)

A extração do N inorgânico das amostras de solo foi realizada com solução de KCl 1 M, conforme Cantarella e Trivelin (2001). A determinação das concentrações de  $N-NH_4^+$  e  $N-NO_3^-$  nos extratos foi realizada colorimetricamente, conforme Keeney (1982) e Yang *et al.* (1998), respectivamente. As taxas líquidas de mineralização (TLM) foram calculadas pela diferença entre as concentrações de N-inorgânico ( $NH_4^+ + NO_3^-$ ) antes e após sete dias de incubação, a 25 °C. Semelhantemente, as taxas líquidas de nitrificação (TLN)

corresponderam às diferenças entre os teores iniciais e finais de  $NO_3^-$ , após sete dias de incubação.

### Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA,  $P \leq 0,05$ ), tendo-se como fatores tipo de vegetação e época de coleta. Previamente a normalidade e a homocedasticidade foram examinadas com os testes Kolmogorov-Smirnov e Levene, respectivamente. Quando os pressupostos da ANOVA não foram atendidos, realizou-se transformação logarítmica ( $\log_{10}$ ) dos dados. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Para avaliar a correlação entre as variáveis foi estimado o coeficiente de correlação de Pearson ( $P \leq 0,05$ ).

## RESULTADOS

### Precipitação pluviométrica e umidade do solo

A precipitação pluviométrica total nos 30 dias que antecederam as coletas de solo foi de 574,9 e 57,5 mm, nas épocas chuvosa e seca, respectivamente. Nos 10 dias que antecederam as coletas de solo, a precipitação média diária foi de 22,9 mm na época chuvosa e de 1,9 mm na época seca (Figura 2). Na época chuvosa, os valores de umidade gravimétrica do solo, em sua maioria, foram maiores do que 25%, variando entre 15 e 30%. A partir de julho, a umidade do solo diminuiu, atingindo valores médios próximos de 15%, variando entre 14 e 21% (Figura 2).

Os valores de F com suas respectivas probabilidades resultantes da análise de variância estão apresentados na Tabela 3.

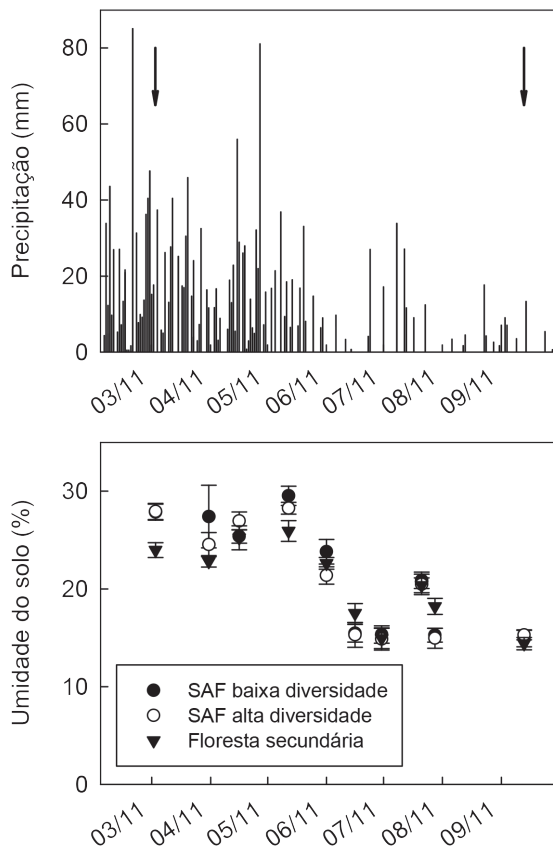
### C orgânico total, N total e relação C/N do solo

A concentração média de C orgânico no solo foi maior no SAF com alta diversidade de espécies, diferindo significativamente da floresta secundária (Tabela 4), porém,

Tabela 3 - Valores de teste F e índices descritivos (valor P) das fontes de variação das variáveis analisadas.

Variáveis	Tipo de vegetação		Época de coleta		Tipo de vegetação x Época de coleta	
	F	P	F	P	F	P
$C_{tot}$	3,196	0,049	24,119	<0,001	0,537	0,587
$N_{tot}$	0,623	0,540	62,187	<0,001	2,0245	0,140
C/N	2,090	0,134	23,180	<0,001	2,354	0,105
$N_{mic}$	1,732	0,187	8,703	0,005	1,299	0,281
$N_{mic}:N_{tot}$	0,529	0,593	54,449	<0,001	0,999	0,375
$N_{min}$	0,663	0,520	0,876	0,354	1,833	0,170
$NO_3^-$	2,213	0,119	20,248	<0,001	5,138	0,009
$NH_4^+$	3,336	0,043	14,725	<0,001	1,398	0,256
TLM	7,429	0,001	27,361	<0,001	4,650	0,014
TLN	2,243	0,116	3,721	0,059	2,221	0,118

$C_{tot}$  – carbono total do solo;  $N_{tot}$  – nitrogênio total do solo; C/N – relação carbono:nitrogênio do solo;  $N_{mic}$  – nitrogênio da biomassa microbiana do solo;  $N_{mic}:N_{tot}$  – relação nitrogênio microbiano:nitrogênio total do solo;  $N_{min}$  – nitrogênio mineral;  $NO_3^-$  – nitrogênio nítrico;  $NH_4^+$  – nitrogênio amoniacal; TLM – taxa líquida de mineralização do nitrogênio; TLN – taxa líquida de nitrificação.



**Figura 2** - Precipitação pluviométrica diária e umidade gravimétrica do solo (0-10 cm) em sistemas agroflorestais (SAF) com palma de óleo com baixa e alta diversidades de espécies cultivadas e floresta secundária, no município de Tomé-Açu, Pará (umidade do solo: média  $\pm$  erro padrão,  $n = 10$ ). As setas indicam as datas de coleta de solo.

quanto à concentração de  $N_{tot}$  e relação C/N, não houve diferença entre os tipos de vegetação (Tabela 4). Em média, tanto a concentração de C como de N no solo foram significativamente maiores na época seca, enquanto que a relação C/N do solo diminuiu significativamente nessa época.

### N microbiano e relação $N_{mic}:N_{tot}$

Quanto ao N microbiano do solo e ao percentual de N do solo imobilizado na BMS ( $N_{mic}:N_{tot}$ ), houve diferença significativa somente entre épocas de coleta (Tabela 3). Da época chuvosa para a seca, houve diminuição significativa nos valores dessas variáveis (Tabela 4).

### N mineral

Quanto ao N mineral no solo ( $N-NH_4^+ + N-NO_3^-$ ), não houve efeito significativo de interação entre tipos de vegetação e épocas de coleta, assim como não houve diferença significativa

entre tipos de vegetação e entre épocas de coleta. Quanto ao N nítrico ( $N-NO_3^-$ ), houve efeito significativo de interação entre tipos de vegetação e épocas de coleta (Tabela 3). No SAF com baixa diversidade de espécies e na floresta secundária, a concentração de  $N-NO_3^-$  no solo aumentou significativamente na época seca, enquanto que no SAF com alta diversidade de espécies não houve diferença entre estações (Tabela 4). Na época chuvosa, a concentração de  $N-NO_3^-$  no solo sob o SAF com alta diversidade de espécies foi significativamente maior do que nos demais sistemas, enquanto que na época seca não houve diferença entre os tipos de vegetação. A concentração média de N amoniacal ( $N-NH_4^+$ ) no solo sob o SAF com alta diversidade de espécies foi significativamente menor do que nos demais tipos de vegetação, não havendo diferença entre o SAF com baixa diversidade de espécies e a floresta secundária. A concentração de  $N-NH_4^+$  no solo na época chuvosa foi significativamente maior do que na época seca (Tabela 4).

### Taxas líquidas de mineralização (TLM) e nitrificação (TLN)

Houve efeito significativo de interação entre tipos de vegetação e épocas de coleta sobre a taxa de mineralização do N (TLM) no solo (Tabela 4). Na época seca, a TLM foi menor no SAF com baixa diversidade de espécies, diferindo significativamente dos demais tipos de vegetação, enquanto que na época chuvosa não houve diferença entre os tipos de vegetação (Tabela 4). Da época chuvosa para a seca, a TLM diminuiu significativamente nos SAFs, enquanto que na floresta secundária não houve diferença entre épocas de coleta. Quanto à taxa de nitrificação (TLN), não houve efeito significativo de tipos de vegetação e épocas de coleta, assim como da interação entre os dois fatores (Tabela 4).

### Correlação entre variáveis

Houve correlação significativa e direta da relação C/N do solo com a relação  $N_{mic}:N_{tot}$  ( $r = 0,73$ ;  $P < 0,01$ ) e com o  $N_{mic}$  ( $r = 0,259$ ;  $P < 0,05$ ), assim como, houve correlação significativa e inversa do  $N-NO_3^-$  com a relação  $N_{mic}:N_{tot}$  ( $r = -0,436$ ;  $P < 0,01$ ).

## DISCUSSÃO

### C orgânico, N total e relação C/N do solo

Esperava-se que a concentração de C orgânico no solo sob floresta fosse superior àquela observada nos SAFs, uma vez que solos sob sistemas nativos tendem a ser menos perturbados que sistemas cultivados. Além da adubação orgânica comum aos dois SAFs (Tabela 2), a frequente deposição no solo de resíduos vegetais provenientes da poda das espécies consorciadas pode ter favorecido incrementos de C orgânico no solo, resultando em maior concentração desse elemento no solo sob o SAF com alta diversidade de espécies, em relação à floresta secundária.

Tabela 4 - Valores médios das variáveis analisadas em sistemas agroflorestais com palma de óleo e floresta secundária, nas épocas chuvosa e seca, no município de Tomé-Açu, Pará.

Tipo de vegetação <sup>(2)</sup>	C <sub>tot</sub> (mg g <sup>-1</sup> )			N <sub>tot</sub> (mg g <sup>-1</sup> )		
	Chuvosa	Seca	Média	Chuvosa	Seca	Média
SAF baixa div.	11,5 (0,5) <sup>1</sup>	15,8 (1,5)	13,5 (1,3) ab	0,8 (0,1)	2,1 (0,1)	1,4 (0,2)
SAF alta div.	13,4 (1,0)	17,8 (1,8)	15,6 (1,6) a	1,0 (0,2)	2,1 (0,1)	1,5 (0,2)
Flor. sec.	10,0 (0,6)	15,7 (1,5)	13,0 (1,4) b	1,3 (0,3)	1,9 (0,1)	1,6 (0,2)
Média	11,7 (0,5) B	16,5 (0,9) A		1,0 (0,1) B	2,0 (0,1) A	
	C/N			N <sub>mic</sub> (mg (N) kg <sup>-1</sup> (solo))		
	Chuvosa	Seca	Média	Chuvosa	Seca	Média
SAF baixa div.	14,9 (0,4)	7,9 (1,0)	11,6 (1,3)	108,9 (8,9)	83,1 (7,0)	96,0 (8,8)
SAF alta div.	14,5 (0,9)	8,8 (1,0)	11,7 (1,3)	100,9 (3,8)	87,6 (3,7)	94,2 (4,3)
Flor. sec.	10,6 (1,5)	8,5 (1,0)	9,5 (1,2)	108,0 (6,9)	102,1 (5,2)	105,0 (6,0)
Média	13,4 (0,7) A	8,4 (0,6) B		105,9 (3,9) A	90,9 (3,4) B	
	N <sub>mic</sub> :N <sub>tot</sub> (%)			N <sub>min</sub> (mg (N) kg <sup>-1</sup> (solo))		
	Chuvosa	Seca	Média	Chuvosa	Seca	Média
SAF baixa div.	14,9 (2,0)	4,0 (0,3)	9,7 (2,3)	15,1 (1,0)	16,5 (1,5)	15,8 (1,3)
SAF alta div.	11,8 (1,2)	4,2 (0,2)	8,0 (1,5)	15,5 (0,7)	14,1 (0,6)	14,8 (0,7)
Flor. sec.	12,7 (2,5)	5,4 (0,4)	8,6 (2,1)	16,7 (0,6)	14,6 (1,0)	15,7 (0,9)
Média	13,2 (1,1) A	4,6 (0,2) B		15,8 (0,5)	15,1 (0,7)	
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg (N) kg <sup>-1</sup> (solo))			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg (N) kg <sup>-1</sup> (solo))		
	Chuvosa	Seca	Média	Chuvosa	Seca	Média
SAF baixa div.	2,7 (0,3) bB	6,1 (0,7) A	4,4 (0,8)	12,5 (0,7)	10,4 (1,3)	11,4 (1,0) a
SAF alta div.	5,1 (0,3) a	5,2 (0,4)	5,5 (0,4)	10,4 (0,6)	8,9 (0,5)	9,6 (0,6) b
Flor. sec.	3,1 (0,4) bB	5,1 (0,7) A	4,1 (0,6)	13,6 (0,5)	9,5 (1,0)	11,5 (1,0) a
Média	3,7 (0,3)	5,5 (0,4)		12,2 (0,4) A	9,6 (0,6) B	
	TLM (mg (N) kg <sup>-1</sup> (solo) dia <sup>-1</sup> )			TLN (mg (N) kg <sup>-1</sup> (solo) dia <sup>-1</sup> )		
	Chuvosa	Seca	Média	Chuvosa	Seca	Média
SAF baixa div.	0,9 (0,1) A	0,1 (0,2) bB	0,5 (0,2)	0,6 (0,1)	0,5 (0,1)	0,5 (0,1)
SAF alta div.	1,0 (0,1) A	0,6 (0,1) aB	0,8 (0,1)	0,7 (0,1)	1,1 (0,1)	0,9 (0,1)
Flor. sec.	1,0 (0,1)	0,9 (0,1) a	1,0 (0,1)	0,7 (0,1)	1,0 (0,2)	0,8 (0,2)
Média	1,0 (0,1)	0,5 (0,1)		0,6 (0,1)	0,9 (0,1)	

<sup>1</sup> Média (erro padrão), n = 10. Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem significativamente pelo teste Tukey (P < 0,05).  
<sup>2</sup> SAF baixa div. – sistema agroflorestal com baixa diversidade de espécies, SAF alta div. – sistema agroflorestal com alta diversidade de espécies, Flor. sec. – floresta secundária  
 C total – carbono total do solo; N<sub>tot</sub> – nitrogênio total do solo; C/N – relação carbono:nitrogênio do solo; N<sub>mic</sub> – nitrogênio da biomassa microbiana do solo; N<sub>mic</sub>:N<sub>tot</sub> – relação nitrogênio microbiano:nitrogênio total do solo; N<sub>min</sub> – nitrogênio mineral; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – nitrogênio nítrico; NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – nitrogênio amoniacal; TLM – taxa líquida de mineralização do nitrogênio; TLN – taxa líquida de nitrificação.

Em geral, os valores de C orgânico e N total foram consistentes com valores obtidos em outros estudos realizados na Amazônia Oriental (Desjardins *et al.* 2004; Silva *et al.* 2006; Lopes *et al.* 2011). A semelhança entre os tipos de vegetação quanto a concentração de N e relação C/N do solo, e a maior concentração de C no solo sob o SAF com alta diversidade de espécies em relação à floresta secundária, evidenciam o caráter conservacionista do solo dos sistemas de produção de palma de óleo avaliados. Em sistemas conservacionistas de manejo do solo, o não-revolvimento do solo, associado à deposição de resíduos vegetais sobre sua superfície, tendem a conservar ou promover incrementos nos teores de matéria orgânica do solo (Balota *et al.* 2004).

Os aumentos nas concentrações de C e N e a redução na relação C/N do solo, na época seca, evidenciam que proporcionalmente ocorreu um aumento maior na concentração de N do que de C no solo. Em outro estudo na Amazônia Oriental, também se constataram aumentos significativos de C e/ou N no solo na época seca (Bittencourt *et al.* 2006). Aumentos nas concentrações de C e N no solo sugerem incrementos significativos de matéria orgânica do solo, da época chuvosa para a seca. Na Amazônia, normalmente o maior aporte de resíduos orgânicos sobre a superfície do solo, via *litterfall*, ocorre na época seca (Vasconcelos *et al.* 2004; Barlow *et al.* 2007; Silva *et al.* 2011), porém, é na época chuvosa que ocorre maior decomposição da serrapilheira (Silva *et al.* 2009), em resposta ao aumento de precipitação pluviométrica. Neste estudo, possivelmente o aumento nas concentrações de C e N no solo na época seca resultou da alta decomposição do material vegetal na época chuvosa, causando acúmulo de matéria orgânica do solo na época seguinte (seca). A diminuição na relação C/N do solo na época seca possivelmente está associada a menores perdas de N nessa época, provavelmente em função da menor migração de nitrato no perfil do solo.

### N microbiano e $N_{mic}:N_{tot}$

A semelhança entre os tipos de vegetação quanto às concentrações de N microbiano no solo, tanto na época chuvosa quanto na seca, evidencia que a introdução de SAFs com palma de óleo não promoveu alterações significativas na biomassa microbiana do solo, em relação à floresta secundária. Em geral, os valores médios de N microbiano foram superiores aos valores obtidos em outros estudos realizados em diferentes sistemas de cobertura e uso da terra na Amazônia (Moreira e Malavolta 2004; Rangel-Vasconcelos *et al.* 2005; Cenciani *et al.* 2009), mas estão próximos de valores encontrados em SAFs sucessionais no Nordeste Paraense (Aragão *et al.* 2012).

A relação  $N_{mic}:N_{tot}$  expressa a eficiência da BMS em imobilizar N, de acordo com a qualidade nutricional da matéria orgânica (Gama-Rodrigues *et al.* 2005). Neste estudo, independentemente da época de coleta, os tipos de vegetação

foram igualmente eficientes quanto à imobilização de N pela microbiota do solo. O percentual médio de N imobilizado pela microbiota do solo ( $N_{mic}:N_{tot}$ ), na época chuvosa, foi elevado (acima de 13%), o que não é incomum em solos tropicais. Gama-Rodrigues *et al.* (2005) registraram valores de  $N_{mic}:N_{tot}$  próximos de 20% no final da época chuvosa, enquanto Lopes *et al.* (2011) relataram valores acima de 48% em SAFs sucessionais na Amazônia Oriental.

Diferentes estudos na Amazônia têm constatado significativa redução na população e atividade microbianas no solo na época menos chuvosa (Luizão *et al.* 1992; Melz e Tiago 2009). É possível que no presente estudo as menores concentrações de N microbiano no solo na época seca estejam associadas à redução da população e da atividade microbianas durante essa época. Outros estudos, tanto na Amazônia como em outras regiões do Brasil, também constataram influência da precipitação pluviométrica sobre a concentração de N microbiano no solo. No estudo de Cenciani *et al.* (2009), registrou-se redução de mais de 80% do N-BMS na época menos chuvosa. Conforme Gama-Rodrigues *et al.* (2005), a maior imobilização de C e N pela BMS ocasionada pela precipitação pluviométrica pode resultar da maior taxa de decomposição da MOS. No presente estudo, os maiores valores de relação C/N do solo na época chuvosa também podem ter contribuído para o aumento do N da BMS nessa época, evidenciado pela correlação significativa e direta da relação C/N do solo com a relação  $N_{mic}:N_{tot}$  e com o N da BMS

### N mineral

Com o enriquecimento da cobertura vegetal com espécies leguminosas (família Fabaceae) nos SAFs, esperava-se que a concentração de N mineral ( $NH_4^+$  e  $NO_3^-$ ) no solo sob esses sistemas fosse maior do que na floresta secundária, independentemente da época; todavia, isso não foi constatado neste estudo. Em outro estudo na Amazônia Oriental, também não houve aumentos significativos na concentração de N mineral no solo (0-10 cm) sob SAFs com leguminosas fixadoras de nitrogênio (*Inga edulis* e *Acacia mangium*), em relação ao tratamento controle (vegetação nativa) (Verchot *et al.* 2008). No presente estudo, é possível que o pouco tempo de implantação dos SAFs (~3 anos) tenha sido insuficiente para promover incrementos significativos nas concentrações de N mineral no solo.

Independentemente do tipo de vegetação e da época de coleta, o N amoniacal predominou sobre o N nítrico, no solo. O  $N-NH_4^+$  representou 77,0% do N mineral na época chuvosa e 63,4% na época seca. O predomínio de  $N-NH_4^+$  sobre  $N-NO_3^-$  no solo pode resultar de muitos fatores, como a maior lixiviação da forma nítrica no perfil do solo (Edwards *et al.* 1972; Chikowo *et al.* 2004; Crusciol *et al.* 2011), assim como, pela desnitrificação, favorecida pelo preenchimento do espaço poroso do solo por água (Metay *et*



al. 2007) e/ou pela ocorrência de microsítios anaeróbicos. A assimilação preferencial de  $\text{N-NO}_3^-$ , tanto por plantas como por microorganismos no solo (Owen e Jones, 2001), também pode contribuir para o predomínio do  $\text{N-NH}_4^+$  no solo.

A concentração significativamente maior de N nítrico (época chuvosa) e significativamente menor de N amoniacal no solo sob o sistema com alta diversidade de espécies, sugere que nesse tipo de vegetação houve maior conversão de  $\text{N-NH}_4^+$  em  $\text{N-NO}_3^-$ , podendo ter contribuído para que nesse SAF a concentração de N nítrico no solo tenha se mantido estável entre as estações. O aumento na concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  no solo sob o SAF com baixa diversidade de espécies e a floresta secundária, da época chuvosa para a época seca, sugere que houve um aumento significativo da população de organismos nitrificadores no solo, possivelmente, em função da redução da umidade e maior aeração do solo.

Apesar de não ter havido diferença entre as estações quanto à taxa de nitrificação (TLN), houve tendência dessa variável ser maior na época seca ( $P = 0,059$ ), possivelmente contribuindo para que a concentração média de  $\text{N-NH}_4^+$  no solo nessa época fosse significativamente menor do que na época chuvosa. Além disso, diferentemente da nitrificação, que é um processo essencialmente aeróbico, a amonificação pode ocorrer mesmo em condições de baixa aeração, por meio de microorganismos aeróbios facultativos e/ou anaeróbios (Cantarella, 2007), possibilitando a conversão de N orgânico em  $\text{N-NH}_4^+$ , no solo, durante a época das chuvas. A correlação significativa e inversa do  $\text{NO}_3^-$  com a relação  $\text{N}_{\text{mic}}:\text{N}_{\text{tot}}$  sugere que a forma de N mineral predominantemente imobilizada na BMS foi a forma nítrica.

### Taxas líquidas de mineralização (TLM) e nitrificação (TLN)

Em todos os tipos de vegetação, em ambas as estações, tanto a TLM quanto a TLN foram positivas, evidenciando o predomínio da mineralização sobre a imobilização de N. Na época chuvosa, a TLM foi semelhante entre os tipos de vegetação. Verchot *et al.* (2008) também não registraram diferença significativa entre SAFs com leguminosas arbóreas e vegetação nativa, na época chuvosa, quanto a taxa de mineralização do N no solo. Na época seca, o baixo valor de TLN registrado no SAF com baixa diversidade de espécies foi influenciado por valores negativos registrados em duas amostras de solo, em especial o valor  $-1,49 \text{ mg (N) kg}^{-1} \text{ (solo) dia}^{-1}$ ; ainda assim, estatisticamente, a taxa de nitrificação foi igual entre os tipos de vegetação.

### CONCLUSÕES

Sistemas agroflorestais jovens (~três anos) com palma de óleo não alteram significativamente a imobilização de N na biomassa microbiana do solo, em relação à floresta secundária.

As variáveis  $\text{N}_{\text{tot}}$ , relação C/N, N microbiano,  $\text{N}_{\text{mic}}:\text{N}_{\text{tot}}$  e TLN foram pouco sensíveis para predizer os efeitos dos sistemas agroflorestais com palma de óleo sobre a mineralização e a imobilização do N no solo. De forma geral, as variáveis avaliadas foram mais sensíveis à sazonalidade da precipitação pluviométrica do que à introdução dos sistemas agroflorestais com palma de óleo.

### AGRADECIMENTOS

Ao “Projeto dendê: sistemas agroflorestais na agricultura familiar”, executado pela Empresa Natura Inovação e Tecnologia de Produtos Ltda, Cooperativa Mista de Tomé-Açú (CAMTA) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), e financiado por Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), Natura Inovação e Tecnologias de Produtos Ltda., Embrapa e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia dos Serviços Ambientais da Amazônia; ao senhor Ernesto Suzuki, pela cessão da área para condução do experimento; e à equipe técnica do Laboratório de Ecofisiologia Vegetal da Embrapa Amazônia Oriental (Cleo Souza, Elaine Santos, Everson Rocha, Ivanildo Trindade e Neusa Ferreira).

### BIBLIOGRAFIA CITADA

- Aragão, D.V.; Carvalho, C.J.R.; Kato, O.R.; Araújo, C.M.; Santos, M.T.P.; Mourão Júnior, M. 2012. Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense. *Acta Amazonica*, 42: 11-12.
- Baena, A.R.C.; Falesi, I.C. 1999. *Avaliação do potencial químico e físico dos solos sob diversos sistemas de uso da terra na Colônia Agrícola de Tomé-Açu, Estado do Pará*. Boletim de Pesquisa, 18. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, Pará. 23 p.
- Balota, E.L.; Colozzi Filho, A.; Andrade, D.S.; Dick, R.P. 2004. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. *Soil and Tillage Research*, 77: 137-145.
- Barlow, J.; Gardner, T.A.; Ferreira, L.V.; Peres, C.A. 2007. Litter fall and decomposition in primary, secondary and plantation forests in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 247: 91-97
- Bervald, C.M.P. 2005. *Tecnologia mecanizada em preparo de área sem queima no Nordeste Paraense*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul. 108p.
- Bittencourt, K.S.Q.Q.; Santos, M.M.L.S.; Morais, F.I.O.; Silva Júnior, M.L.; Melo, V.S.; Soares, N.T. 2006. Nitrogênio da biomassa microbiana em Argissolo Vermelho Amarelo sob mata de cerrado, área de cultivo de grãos e pastagem natural de Redenção-Pará. *Revista de Ciências Agrárias*, 45: 187-203.
- Brookes, P.C.; Landman, A.; Pruden, G.; Jenkinson, D.S. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 17: 837- 842.

- Camargo, F.A.O.; Silva, L.S.; Gianello, C.; Tedesco, J. M. 2008. Nitrogênio orgânico do solo. In: Santos, G. A.; Silva, L. S.; Canellas, L. P.; Camargo, F. A. O. (Ed.) *Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2. ed., Metrópole, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. p. 87-99.
- Cantarella, H. 2007. Nitrogênio. In: Novais, R.F.; Alvarez, V.V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L. F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L. (Ed.). *Fertilidade do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, Minas Gerais. p. 375-470.
- Cantarella, H.; Trivelin, P.C.O. 2001. Determinação de nitrogênio total em solo. In: Raij, B. van; Andrade, J.C.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. (Ed.). *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, São Paulo. p. 262-269.
- Carvalho, W.R. 2011. *Estoque de carbono e fracionamento físico da matéria orgânica do solo de cultivo de palma de óleo em sistemas agroflorestais na Amazônia Oriental*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará. 75 p.
- Cenciani, K.; Lambais, M.R.; Cerri, C.C.; Azevedo, L.C.B.; Feigl, B.J. 2009. Bacteria diversity and microbial biomass in forest, pasture and fallow soils in the southwestern Amazon basin. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33: 907-916.
- Chikowo, R.; Mapfumo, P.; Nyamugafata, P.; Giller, K.E. 2004. Mineral N dynamics, leaching and nitrous oxide losses under maize following two-year improved fallows on a sandy loam soil in Zimbabwe. *Plant and Soil*, 259: 315-330.
- Crusciol, C.A.C.; Garcia, R.A.; Castro, G.S.A.; Rosolem, C.A. 2011. Nitrate role in basic cation leaching under no-till. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35: 1975-1984.
- Desjardins, T.; Barros, E.; Sarrazin, M.; Girardin, C.; Mariotti, A. 2004. Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazonia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 103: 365-373.
- Edwards, D.M.; Fischbach, P.E.; Young, L.L. 1972. Movement of nitrates under irrigated agriculture. *Transactions of the ASABE*, 15: 73-75.
- Embrapa. 1997. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 212 p.
- Gama-Rodrigues, E.F.; Barros, N.F.; Gama-Rodrigues, A.C.; Santos, G.A. 2005. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29: 893-901.
- Keeney, D.R. 1982. Nitrogen: availability indices. In: Page, A.L.; Miller, R.H.; Keeney, D.R. (Ed.) *Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. p. 711-733.
- Lopes, E.L.N.; Fernandes, A.R.; Ruivo, M L.P.; Cattanio, J.H.; Souza, G.F. 2011. Microbial biomass and soil chemical properties under different land use systems in Northeastern Pará. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35: 1127-1139.
- Luizão, R.C.C.; Bonde, T.A.; Rosswall, T. 1992. Seasonal variation of soil microbial biomass – The effects of clearfelling a tropical rainforest and establishment of pasture in the central Amazon. *Soil Biology and Biochemistry*, 24: 805-813.
- Melz, E.; Tiago, P.V. 2009. Propriedades físico-químicas e microbiológicas do solo de um Parque em Tangará da Serra, MT, uma área de transição entre Amazônia e Cerrado. *Acta Amazonica*, 39: 829-834.
- Metay, A.; Oliver, R.; Scopel, E.; Douzet, J.; Moreira, J.A.A.; Maraux, E.; Feigl, B.J.; Feller, C. 2007. N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions from soils under conventional and no-till management practices in Goiânia (Cerrados, Brazil). *Geoderma*, 141: 78-88.
- Moreira, A.; Malavolta, E. 2004. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39: 1103-1110.
- Nair, P.K.R. 1993. *An Introduction to Agroforestry*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 499 p.
- Owen, A.G.; Jones, D.L. 2001. Competition for amino acids between wheat roots and rhizosphere microorganisms and the role of amino acids in plant N acquisition. *Soil Biology and Biochemistry*, 33: 651-657.
- Rangel-Vasconcelos, L.G.T.; Zarin, D.J.; Carvalho, J.C.R.; Santos, M.M.L.S.; Vasconcelos, S.S.; Oliveira, F.A. 2005. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana de um solo sob vegetação secundária de diferentes idades na Amazônia Oriental. *Revista de Ciências Agrárias* (Belém), 44: 49-63.
- Schwendener, C.M.; Lehmann, J.; Rondon, M.; Wandelli, E.; Fernandes, E. 2007. Soil mineral N dynamics beneath mixtures of leaves from legume and fruit trees in Central Amazonian multi-strata agroforests. *Acta Amazonica*, 37: 313-320.
- Silva, A.K.L.; Vasconcelos, S.S.; Carvalho, C.J.R.; Cordeiro, I.M.C.C. 2011. Litter dynamics and fine root production in *Schizolobium parabyba* var. *amazonicum* plantations and regrowth forest in Eastern Amazon. *Plant and Soil*, 347: 377-386.
- Silva, C.J. da; Lobo, F. de A.; Bleich, M. E.; Sanches, L. 2009. Contribuição de folhas na formação da serrapilheira e no retorno de nutrientes em floresta de transição no norte de Mato Grosso. *Acta Amazonica*, 39: 591-600.
- Silva, G.R.; Sena, W.L.; Silva Junior, M.L. 2006. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana como indicadores ambientais de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo, Marituba, Pará. *Revista de Ciências Agrárias*, 48: 71-84.
- Tate, K.R.; Ross, D.J.; Feltham, C.W. 1988. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Effects of experimental variables and some different calibration procedures. *Soil Biology and Biochemistry*, 20: 329-335.
- Vasconcelos, S.S.; Zarin, D.J.; Capanu, M.; Littell, R.; Davidson, E.A.; Ishida, F.Y.; Santos, E.B.; Araújo, M.M.; Aragão, D.V.; Rangel-Vasconcelos, L.G.T.; Oliveira, F.deA.; McDowell, W.H.; Carvalho, C.J.R.de 2004. Moisture and substrate availability constrain soil trace gas fluxes in an eastern Amazonian

regrowth forest. *Global Biogeochemical Cycles*, 18: GB2009,  
doi:2010.1029/2003GB002210.

Verchot, L.V.; Brienza Júnior, S.; Oliveira, V.C. de; Mutegi, J.K.; Cattânio, J.H.; Davidson, E.A. 2008. Fluxes of CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, NO, and N<sub>2</sub>O in an improved fallow agroforestry system in eastern Amazonia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 126: 113-121.

Yang, J.E.; Skogley, E.O.; Schaff, B.E.; Kim, J.J. 1998. Simple spectrophotometric determination of nitrate in water, resin and soil extracts. *Soil Science Society of America Journal*, 62: 1108-1115.

Recebido em: 13/10/2012

Aceito em: 04/05/2013

