

FORMAS DE HÚMUS EM FRAGMENTOS DE FLORESTA ATLÂNTICA DE TABULEIROS - ES, BRASIL: EFEITO DO EXTRATIVISMO SELETIVO SOBRE O SUBSISTEMA DE DECOMPOSIÇÃO

Irene Garay^{1*}, Felipe Noronha², Roseli Pellens³ & Daniel Vidal Pérez⁴

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Instituto de Biologia, Departamento de Botânica, Laboratório Gestão da Biodiversidade (GESBIO). Avenida Carlos Chagas Filho, 373, Ilha do Fundão, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. CEP: 21941-590

²Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ), Centro de Ciências Sociais, Departamento de Geografia e Meio Ambiente. Rua Marques de São Vicente, 225, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. CEP: 22451-900

³Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN), ISYEB, UMR 7205 CNRS, Département Systématique et Evolution. 45, rue Buffon, 75005 Paris, France. Cedex 05.

⁴Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Centro de Pesquisa de Solos. Rua Jardim Botânico, 1024, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. CEP: 22460-000

E-mails: garay@biologia.ufrj.br, noronhaandrade@gmail.com, pellens@mnhn.fr, daniel.perez@embrapa.br

RESUMO

A fim de avaliar o efeito do extrativismo seletivo sobre o subsistema de decomposição na Floresta Atlântica de Tabuleiros, foram estudadas as formas de húmus numa área nuclear protegida (SOO) e em dois fragmentos representativos dos remanescentes florestais na escala da paisagem. Os estoques de matéria orgânica são menores em SOO Reserva que nos fragmentos onde a matéria orgânica se acumula no horizonte A. A qualidade do folhicho difere entre os sítios, com menores proporções de cálcio e fósforo nos fragmentos; para os horizontes hemi-orgânicos, valores menores de Ca^{2+} e, inclusive, de bases de troca, pH e saturação em bases (V%) foram igualmente registrados. As formas de húmus foram classificadas como mull mesotrófico tropical para SOO Reserva e mull oligotrófico tropical para os fragmentos, nos quais a acumulação de matéria orgânica estaria relacionada ao oligotrofismo do solo e aos altos valores de Al^{3+} ligado a compostos orgânicos de difícil biodegradação. O conjunto dos resultados sugere uma menor reciclagem de cálcio e um menor “turnover” da matéria orgânica nos fragmentos onde houve extrativismo que em SOO. Finalmente, nossos resultados mostram que nos húmus analisados existe uma relação estreita entre a qualidade do folhicho e as características pedológicas, que levam, nos fragmentos, a outra forma de funcionamento do subsistema de decomposição, própria de estágios sucessionais secundários.

Palavras-chave: extrativismo seletivo; hot-spot Floresta Atlântica; modificação de formas de húmus; mull oligotrófico tropical.

ABSTRACT - HUMUS FORMS IN TABLELAND ATLANTIC FOREST FRAGMENTS - ES, BRAZIL: EFFECTS OF SELECTIVE LOGGING ON DECOMPOSITION SUBSYSTEM

In order to assess the effects of logging under the decomposition subsystem in Tableland Atlantic Forest hotspot we studied the humus-forms in a protected nuclear area (SOO) and in two fragments (PN and BIO) as a model of current remnants at the landscape level. Organic matter stocks were lower in SOO than in fragments where organic matter accumulated in the A horizon. Litter quality is markedly different across sites, with lower calcium and phosphorous proportions for fragments, as well as for hemorganic horizons, where minor values of Ca^{2+} , exchangeable bases, pH and base saturation were also registered for fragments. Two humus forms were classified: a tropical mesotrophic mull in SOO Reserve and a tropical oligotrophic mull in fragments. Organic matter accumulation in fragments is likely to be related to poorer nutrient status and to higher Al^{3+} linking to less biodegrading organic compounds. These results suggest lower calcium recycling and a slow organic matter turnover into logging fragments compared to the protected Reserve. Finally, our results show that for the humus forms analyzed, there is a relationship between litter quality and soil characteristics, which leads to another way of functioning of the decomposition subsystem, characteristic of a secondary successional stage in the fragments.

Keywords: Atlantic Forest hotspot; humus form disturbance; selective logging; tropical oligotrophic mull.

INTRODUÇÃO

O conjunto das camadas orgânicas de superfície e os horizontes orgânico-minerais de topo do solo constituem as formas de húmus florestais considerados estáveis em ecossistemas não perturbados pelo homem (Duchaufour & Toutain 1985). Determinada, inicialmente, pela natureza da rocha matriz e pela quantidade e qualidade dos aportes orgânicos ao solo, a estrutura das camadas húmicas resulta do conjunto de processos complexos do subsistema de decomposição do qual participam inúmeras espécies animais e de microorganismos. As formas de húmus sintetizam o conjunto desses processos e são, portanto, um indicador do funcionamento dos ecossistemas florestais (Garay & Silva 1995, Garay & Kindel 2001, Garay *et al.* 2016).

Em florestas temperadas e boreais, as formas de húmus foram e são amplamente estudadas e classificadas, visando compreender a dinâmica florestal e subsidiar o manejo, destinado, sobretudo, à produção de madeira (Babel 1971, 1975, Delecour 1980, Klinka *et al.* 1990, Green *et al.* 1993, Berthelin *et al.* 1994, Emmer & Sevink 1994, Brethes *et al.* 1995, Fons & Klinka 1998, Fons *et al.* 1998, Fischer *et al.* 2002, Ponge *et al.* 2002, Jabiol *et al.* 2004). Entretanto, em florestas tropicais, numerosas pesquisas estão centradas na decomposição do folhicho e no ciclo de nutrientes com o intuito de compreender o processo de decomposição e a formação dos estoques orgânicos do solo (ver, por exemplo, Anderson & Swift 1983, Anderson *et al.* 1983, Songwe *et al.* 1995, Wieder & Wright 1995, Hobbie & Vitousek 2000, Ostertag *et al.* 2008).

As condições climáticas gerais de alta temperatura e precipitação elevada das florestas tropicais são, de fato, favoráveis à atividade dos decompositores, o que levou à formulação da hipótese da existência, em geral, de húmus tipo mull com alta velocidade de decomposição (Swift *et al.* 1979, Garay & Silva 1995). Considera-se, ainda, que os solos tropicais, fortemente lixiviados, são pobres em nutrientes e com baixos estoques orgânicos (Swift *et al.* 1979, Parsons & Congdon 2008), apesar de resultados que indicam semelhanças entre as quantidades de matéria orgânica de solos temperados e tropicais (Sanchez *et al.* 1982).

Entretanto, pesquisas realizadas em florestas tropicais evidenciam que as formas de húmus predominantes e suas características morfológicas, que revelam padrões de decomposição associados às interações vegetação-solo, acompanham a grande diversidade de situações geomorfológicas e climáticas próprias a esses ecossistemas (Garay *et al.* 1995a, 1995b, Lips & Duivenvoorden 1996, Kindel & Garay 2002, Loranger *et al.* 2003, Baillie *et al.* 2006, Kounda-Kiki *et al.* 2006, Descheemaeker *et al.* 2009).

Em particular, as florestas brasileiras que alongam a fachada atlântica apresentam uma diversidade de formas de húmus determinadas conjuntamente pelas características da vegetação e pela natureza da rocha, esta última, resultado, em primeiro lugar, da história geológica (Garay & Silva 1995, Garay *et al.* 1995a, 1995b, Kindel & Garay 2001, 2002). Assim, em paralelo aos húmus florestais da região temperada, existe uma gama de formas de húmus que vai do moder-dysmoder até húmus de tipo mull: correspondem às florestas esclerófilas sobre solos desenvolvidos em areias quaternárias, sejam eles neossolos ou espodosolos, os húmus com maior acúmulo superficial de matéria orgânica de tipo moder-dysmoder. Os húmus de tipo mull encontram-se associados às fácies florestais mais desenvolvidas e com maior diversidade arbórea que recobrem, em geral, argissolos ou latossolos formados a partir de sedimentos terciários ou pré-cambrianos (Barros *et al.* 1993, Garay & Kindel 2001, Kindel & Garay 2002).

Sob a hipótese de que as formas de húmus constituem um indicador global do funcionamento do subsistema de decomposição, isto é, da decomposição da matéria orgânica e da reciclagem de nutrientes, o presente trabalho apresenta um estudo comparativo entre fragmentos de Floresta Atlântica de Tabuleiros submetidos a extrativismo seletivo e um remanescente maior ou área núcleo protegido pela legislação de qualquer utilização direta.

As possíveis modificações das formas de húmus são caracterizadas por meio de estimativas dos estoques de matéria orgânica nas camadas húmicas, a qualidade dos restos foliares e as variáveis físico-químicas dos horizontes pedológicos (Berthelin *et al.* 1994, Kindel & Garay 2002). Ainda, a camada de interface Ai, horizonte diagnóstico do

mull tropical da região dos Tabuleiros Terciários, é igualmente considerada separadamente (Kindel & Garay 2002).

Confrontando a hipótese nula de que, em áreas de fragmentos florestais cuja vegetação foi impactada pela extração seletiva de madeira, as formas de húmus são similares à da área de Reserva protegida, mostraremos que existem diferenças tal como esperado em florestas secundárias. Todavia, a manutenção de características próprias do mull tropical da Floresta de Tabuleiros nos fragmentos permite estabelecer a hipótese da sustentabilidade funcional desses ecossistemas.

MATERIAL E MÉTODOS

Características gerais da área de estudo

Três sítios de estudo foram escolhidos: o primeiro encontra-se na REBIO Sooretama (SOO); os dois restantes, em fragmentos de propriedades rurais, representativos dos remanescentes florestais na região submetidos a extrativismo seletivo, sobretudo desde a década de 1950. O fragmento Pasto Novo (PN) corresponde a um remanescente que, do ponto de vista da diversidade da cobertura arbórea, apresenta maior semelhança com a área protegida SOO que o fragmento Bionativa (BIO), com maior grau de impacto e considerado de diversidade intermediária (Agarez 2001, Agarez *et al.* 2004). Os três sítios de estudo PN, com 80 hectares, BIO, com 33 hectares e SOO, com mais de 22.000 hectares estão localizados a distâncias não maiores de 15 km entre eles.

Solos e formas de húmus

Os solos nos três sítios de estudo são do tipo Argissolo Vermelho-amarelo Distrófico (Garay *et al.* 1995a, EMBRAPA 1999, Santos *et al.* 2004). O horizonte A possui textura arenosa, porém a quantidade de argila aumenta com a profundidade alcançando 60% na base do horizonte B de estrutura homogênea; a camada laterítica se localiza, em geral, a 3 metros da superfície (Garay *et al.* 1995a, Santos *et al.* 2004). Nos três sítios, a distribuição do tamanho das partículas no horizonte A é dominada

pela fração areia (70% a 90% entre 0 -12 cm de profundidade).

A forma de húmus da Floresta de Tabuleiros foi classificada como mull mesotrófico tropical (Garay *et al.* 1995a, Kindel & Garay 2002). Ele apresenta uma camada de interface, camada Ai, entre as camadas orgânicas de folhiço e o primeiro horizonte pedológico A, na qual se acumulam a matéria orgânica, o nitrogênio e as bases de troca. Os horizontes hemi-orgânicos Ai e A apresentam uma fração agregada, mais rica em matéria orgânica e nutrientes, que representa, porém, somente entre 10% e 30% do peso total. O caráter mesotrófico, ou seja, a porcentagem de saturação em bases (V%) superior a 50% no horizonte A foi verificado em diferentes estudos da área núcleo e em diferentes anos (Kindel & Garay 2002).

Amostragem

A amostragem foi realizada em duas épocas do ano: março-abril e agosto-setembro, ou seja, no final da época de chuvas correspondente ao verão e no final da época seca correspondente ao inverno, respectivamente. Em cada sítio foram delimitadas, sobre áreas planas dos tabuleiros, quatro parcelas de 20x20 m localizadas no interior das parcelas onde foi estudada a estrutura e composição da comunidade arbórea (Agarez 2001). A distância entre as parcelas foi pelo menos de 100 m, em áreas com dossel florestal contínuo, sem clareiras, e afastadas de mais de 30 metros de trilhas internas. No interior de cada parcela foram determinados aleatoriamente três pontos amostrais, o que perfaz 12 unidades amostrais por sítio de estudo e por data, totalizando 72 pontos de amostragem.

Cada amostra foi dividida no campo em quatro sub-amostras: 1) camada L superficial (formada por folhas mortas inteiras), 2) camada F (formada, sobretudo, por fragmentos foliares), 3) camada Ai (material orgânico-mineral entremeado a raízes finas), e 4) horizonte A. Um quadrado metálico de 25x25 cm foi utilizado para coletar as camadas L, F e Ai e um cilindro metálico de 10 cm de diâmetro e 10 cm de profundidade para o horizonte A. (Malagón *et al.* 1989, Garay *et al.* 1995a).

Tratamento e análise das amostras

No laboratório, as camadas húmicas L, F e Ai e o horizonte A foram tratados separadamente, como descrito por Garay *et al.* (2004). Os restos foliares, galhos finos (≤ 2 cm) e raízes finas (≤ 3 mm de diâmetro) foram separados de cada camada ou horizonte utilizando uma peneira de malha de 2-mm assim como a separação manual. Após secagem a 60°C, foram estimados os pesos secos. Os agregados (2 a 10 mm) da camada Ai e do horizonte A foram separados da fração fina do solo. Tanto a fração fina como os agregados foram secos ao ar. Foram obtidas as seguintes frações com seus respectivos pesos: 1) L (folhas mortas inteiras); 2) F (restos foliares); 3) agregados de Ai e do horizonte A; 4) fração fina do solo de Ai e do horizonte A (terra fina < 2 mm); 5) raízes finas; e 6) galhos finos (Babel 1975, Kindel & Garay 2002).

Os restos foliares L e F foram moídos. Após homogeneização, uma alíquota de 500mg foi utilizada para estimar os conteúdos de matéria orgânica por combustão em amostras compostas (três sub-amostras por camada, sítio e data). Outras amostras compostas L e F (seis por camada, sítio e data de amostragem) foram tratadas segundo o método de digestão ácida com mistura de nítrico-perclórico para estimar os conteúdos de nutrientes e com ácido sulfúrico para o N total. O P disponível foi extraído pelo reagente Mehlich 1 e analisado por espectrofotometria.

As amostras compostas de Ai e do horizonte A foram analisadas segundo EMBRAPA (1997): seis para a fração fina e três para os agregados para cada sítio e data (108 amostras pedológicas no total). Foram medidas as seguintes variáveis pedológicas: pH do solo, Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} , Na^+ e K^+ trocáveis, acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), carbono orgânico (C), N total e P assimilável. Algumas variáveis permitiram calcular outros parâmetros como soma de bases (SB), isto é, $Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+$; capacidade de troca catiônica (CTC), isto é, $SB + Al^{3+} + H^+$; e a saturação em bases (V%), %SB sobre CTC. A textura do solo foi determinada pelo método densimétrico de Bouyoucos. As concentrações de C, N, P assimilável, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Al^{3+} , e H^+ da camada Ai e do horizonte A foram estimadas, considerando as médias pesadas da fração fina e da fração de agregados.

Análises estatísticas

A comparação de médias foi realizada pelo teste t, ANOVA e teste Tukey ($\alpha = 0,05$). As análises foram feitas com os dados previamente transformados pela raiz quadrada das respectivas variáveis. Foi utilizado o software Statistica™ version 7.

RESULTADOS

Os estoques de matéria orgânica no perfil húmico

No conjunto das camadas húmicas, as quantidades de matéria orgânica são superiores nos fragmentos PN e BIO, com os máximos valores para o fragmento PN, onde os estoques praticamente dobram os estimados para a área testemunha, a REBIO Sooretama (24,7 t ha⁻¹, 47,9 t ha⁻¹, e 34,3 t ha⁻¹ média para as duas datas de amostragem, respectivamente em SOO, PN e BIO) (Tabela 1). As diferenças observadas são devidas à acumulação orgânica no horizonte mais profundo A (-2 -12 cm), segundo a ordem SOO < BIO < PN (teste de Tukey HSD, $p < 0,01$). Em contraposição, as quantidades estimadas para as camadas L + F + Ai que recobrem o horizonte A são similares entre SOO e PN ou, ainda, menores no caso de BIO, sobretudo no período invernal (4,5 t ha⁻¹ vs. 9,1 t ha⁻¹ e 9,5 t ha⁻¹, em BIO, PN e SOO).

Em geral, existe uma relativa estabilidade sazonal dos estoques húmicos para cada sítio de estudo, inclusive quando se consideram as diferentes camadas separadamente. Ainda, as variações observadas para a camada L não se refletem nas quantidades totais contidas no perfil húmico na medida em que esta camada não representa mais que 1-3% dos estoques totais (Tabela 1).

O folhicho menos descomposto - camada L - encontra-se em quantidades muito pequenas em todos os sítios de estudo e em ambos os períodos do ano, o que contrasta com as quantidades de fragmentos foliares acumulados na camada F. A importância quantitativa de F com respeito às folhas inteiras L permite supor uma rápida transformação dos aportes de folhicho fresco L (Tabela 1). Os estoques de matéria orgânica em Ai são da mesma ordem de grandeza que o conjunto dos restos foliares L + F, com menores

valores em BIO para as amostras do período invernal (Tukey HSD, $p < 0,01$).

Nos fragmentos as quantidades de matéria orgânica no horizonte A são pelo menos quatro vezes superiores às estimadas para o conjunto das camadas superficiais, enquanto que no solo da REBIO essas quantidades são somente da ordem de duas vezes (Tabela 1).

As raízes finas no perfil húmico

A distribuição vertical de raízes finas nas camadas húmicas difere entre os sítios de estudo. No solo da REBIO, elas entram em contato com os restos foliares (camada F) o que se observa para as duas datas de amostragem (Figura 1).

Em todos os casos, uma quantidade significativa de raízes finas encontra-se na camada Ai, que junto com aquelas que alcançam as folhas em decomposição representam entre 20 e 40% do total no perfil húmico, com as menores porcentagens para o fragmento BIO (ANOVA: $F = 3,18$; $p = 0,05$; Figura 2).

Quando a densidade de raízes é analisada em relação aos conteúdos de matéria orgânica em decomposição, fortes diferenças são evidenciadas entre os fragmentos e o sítio controle: a quantidade similar de matéria orgânica, as quantidades relativas de raízes representam menos da metade em PN e BIO das estimadas para o horizonte A da REBIO Sooretama (Figura 3). Sobre o horizonte A, notadamente na camada Ai, uma porcentagem importante de raízes em relação à matéria orgânica, entre 10 e 15%, se encontra em todos os casos (Figura 3).

Foi observada uma relação positiva entre as quantidades de matéria orgânica da camada Ai e as respectivas quantidades de raízes finas, demonstrando que o aumento de matéria orgânica em decomposição, e a conseqüente liberação de nutrientes, são acompanhados por uma maior capacidade de absorção pela vegetação (Figura 4). Tal relação não se verifica para o primeiro horizonte pedológico A (Figura 4).

Em primeira aproximação, o conjunto dos dados revela a existência de um funcionamento superficial do subsistema de decomposição mais acentuado no sítio controle, a REBIO Sooretama. Ainda, no horizonte

A dos fragmentos, a pequena densidade de raízes em relação à matéria orgânica sugere que o acúmulo desta não é associado a uma maior relação com o processo de absorção de seus nutrientes pela vegetação, representado pelas raízes finas.

Conteúdos de nutrientes nas camadas foliares

Considerando cada sítio separadamente, não são evidenciadas grandes diferenças entre as folhas menos decompostas L e os restos foliares de F, exceto para o P, com maiores concentrações em F, e o Na e o K, elementos altamente sujeitos a lixiviação e mais abundantes na camada L dos fragmentos (Tabela 2). Em particular, os conteúdos de K nos restos foliares da camada F são da ordem da metade com respeito à camada menos decomposta L em todos os sítios.

Quando se comparam os sítios de estudo, a maior diferença corresponde ao Ca contido em F: nos fragmentos, as concentrações são somente de 53% (PN) e 63% (BIO) das observadas para o sítio SOO. Pelo contrário, os conteúdos de Mg são em geral similares entre SOO e os fragmentos; somente a camada F apresenta menores conteúdos em PN com respeito ao sítio BIO (Tabela 2). Diferenças entre os sítios, fragmentos e SOO, são registradas para o P cujas maiores concentrações encontram-se nas camadas L e F de SOO, com valores intermédios para o fragmento PN.

No que diz respeito aos conteúdos de N, somente o sítio BIO apresenta menores valores em ambas as camadas quando comparados com a área nuclear SOO. Entretanto, a correlação entre Ca e N não é significativa ($r_s = 0,19$, $n = 36$, $p > 0,05$ para as amostras L). De fato, as maiores diferenças entre os sítios correspondem aos conteúdos de Ca e não de N.

Em geral, é admitido que baixos conteúdos de N e valores elevados de C/N nos aportes foliares determinam menores velocidades de decomposição e, portanto, maiores quantidades de matéria orgânica acumulada. Nossos resultados mostram valores similares de N entre SOO e PN: a significativa acumulação orgânica no horizonte A de PN com respeito a SOO não é resultado de baixos conteúdos de N nos aportes foliares representados pela camada L (Tabela 2).

Tabela 1. Estoques de matéria orgânica e biomassa de raízes e galhos finos nas camadas húmicas do solo. M.O.: matéria orgânica. Média \pm erro padrão; $n_1 = n_2 = n_3 = 12$. A última casa decimal dos valores estimados foi aproximada a 5 unidades. ANOVA e teste t foram realizados com dados normalizados. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

Table 1. Organic matter stocks and fine twigs biomass in soil humic layers. M.O.: organic matter. Average \pm standard error; $n_1 = n_2 = n_3 = 12$. The last decimal number of the estimated values was approximated to 5 units. For ANOVA and Student's t-test data were normalized. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

Legenda: Camada L = folhas inteiras; Camada F = fragmentos foliares; L + F = restos foliares totais; Camada A_i = 0 - 2 cm; L + F + A_i = M. O. superficial; Horizonte A = -2 - 12cm.

	REBIO Sooretama		Fragmento Pasto Novo		Fragmento Bionativa		ANOVA	
	verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno
Camada L	0,25 \pm 0,05	0,85 \pm 0,10***	0,45 \pm 0,05	0,85 \pm 0,10***	0,35 \pm 0,05	0,40 \pm 0,05	F = 3,87*	F = 12,79***
Camada F	3,25 \pm 0,25	3,65 \pm 0,30	3,10 \pm 0,25	3,35 \pm 0,40	1,45 \pm 0,15	2,00 \pm 0,30	F = 20,72***	F = 7,40**
L + F	3,50 \pm 0,25	4,50 \pm 0,35*	3,55 \pm 0,25	4,20 \pm 0,45	1,80 \pm 0,15	2,40 \pm 0,30	F = 21,81***	F = 10,33***
Camada Ai	4,30 \pm 0,65	5,00 \pm 0,55	4,65 \pm 0,40	4,95 \pm 0,55	4,05 \pm 0,70	2,15 \pm 0,35***	F = 0,43	F = 11,29***
L + F + Ai	7,80 \pm 1,00	9,50 \pm 0,75	8,15 \pm 0,55	9,15 \pm 0,90	5,80 \pm 0,60	4,55 \pm 0,55	F = 3,68*	F = 14,74***
Horizonte A	14,5 \pm 0,5	17,5 \pm 1,5	35,5 \pm 1,5	43,0 \pm 3,0	28,5 \pm 1,5	29,5 \pm 1,5	F = 77,84***	F = 32,54***
L + F + Ai + A	22,5 \pm 1,0	27,0 \pm 2,0	43,5 \pm 2,0	52,0 \pm 4,0	34,5 \pm 1,5	34,0 \pm 1,5	F = 45,17***	F = 21,84***
					Biomassa (Mg ha⁻¹)			
Raízes finas	2,05 \pm 0,30	1,85 \pm 0,25	1,35 \pm 0,20	2,25 \pm 0,35	1,35 \pm 0,15	1,25 \pm 0,20	F = 2,55	F = 2,75
Galhos finos	3,15 \pm 0,40	4,55 \pm 0,80	6,55 \pm 1,70	7,65 \pm 0,95	4,15 \pm 0,70	2,90 \pm 0,65	F = 2,05	F = 8,97***

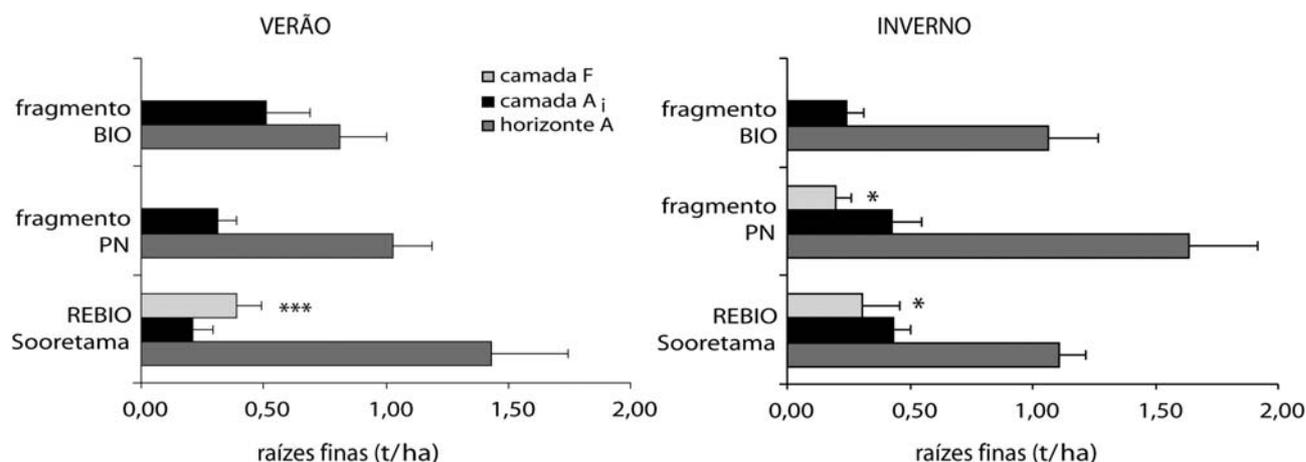


Figura 1. Distribuição da biomassa de raízes finas no perfil húmico - camadas F e Ai e horizonte A - nos sítios de estudo PN, BIO e SOO. Média \pm erro padrão; $n_1 = n_2 = n_3 = 9$. * $p < 0,05$; *** $p < 0,001$, teste de Tukey *a posteriori*.

Figure 1. Fine roots biomass distribution in humic profile - F and Ai layers and A horizon - in PN, BIO and SOO study sites. Average \pm standard error; $n_1 = n_2 = n_3 = 9$. * $p < 0.05$; *** $p < 0.001$, a posteriori Tukey test.

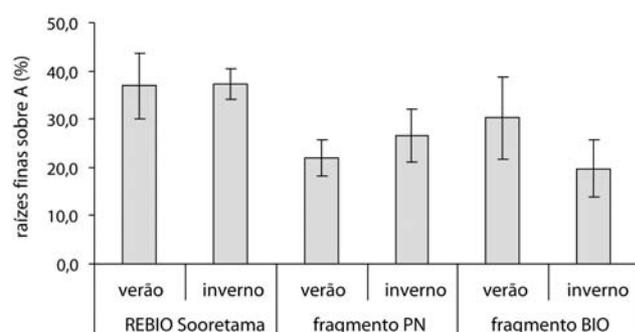


Figura 2. Porcentagem de raízes finas no topo do solo, sobre o horizonte A nos sítios BIO, PN e SOO, nas duas datas de amostragem. Média \pm erro padrão; $n_1 = n_2 = n_3 = 9$.

Figure 2. Fine roots percentage in the top-soil, above A horizon of BIO, PN and SOO sites, in two sampling dates. Average \pm standard error; $n_1 = n_2 = n_3 = 9$.

Características pedológicas dos horizontes hemiórgânicos

O conjunto dos parâmetros analisados evidencia que a matéria orgânica e os nutrientes se acumulam no horizonte de interface Ai. Nesta camada do topo do solo, o C, N, P e as SB alcançam valores de até quatro ou cinco vezes superiores aos correspondentes ao horizonte A. As maiores diferenças são observadas em SOO; entretanto, o mesmo padrão funcional encontra-se igualmente nos solos de PN e BIO. As diferenças associadas com esse padrão são mais importantes que as variações estacionais estimadas (Tabela 3).

Na camada Ai, o fragmento PN apresenta maiores valores de C, N e CTC que os estimados para SOO. No horizonte A, as diferenças dessas variáveis são ainda mais acentuadas entre os fragmentos PN e BIO e SOO, sítio ao qual correspondem os menores valores (Tabela 3). De fato, o C, o N e a CTC estão altamente correlacionados (Figura 5).

Em geral, a matéria orgânica (C) e o N encontram-se acumulados no solo dos fragmentos; outros nutrientes possuem, igualmente, valores superiores, como o Na^+ e o K^+ , ou similares, como o Mg^{2+} . Porém, o Ca^{2+} , a base de troca mais diferenciada com valores da ordem de 80% - 50% do total de SB, mostra conteúdos marcadamente inferiores no solo dos fragmentos. Assim, a combinação entre a alta CTC, associada positivamente com o C, e os menores valores do Ca^{2+} levam necessariamente a pequenos valores de %V nos fragmentos, sintetizando a pobreza nutricional de seus solos (Tabela 3).

Os estoques de carbono orgânico e nutrientes nas camadas húmicas

O padrão de acumulação de nutrientes nas camadas foliares se mantém nos três sítios de estudo. Inclusive, existe certa estabilidade desse padrão entre as duas datas de amostragem o que se manifesta pelo pequeno desvio padrão dos dados apresentados (Figura 6). Existe uma nítida tendência a que as maiores

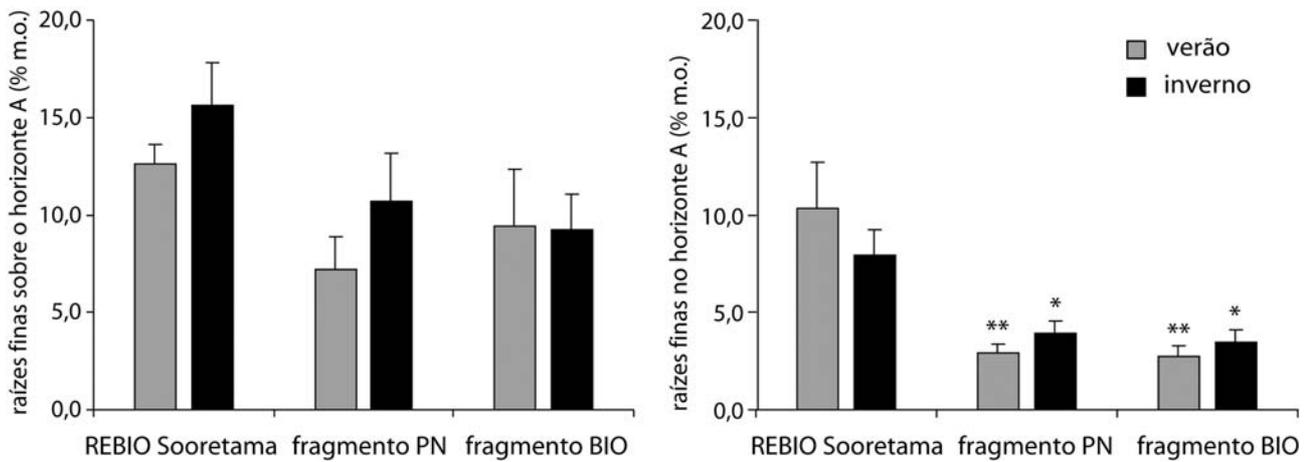


Figura 3. Quantidade relativa de raízes finas (em % da quantidade de matéria orgânica) sobre o horizonte A (camadas F e Ai) e no interior do horizonte A, segundo os sítios de estudo e as datas de amostragem. Média + erro padrão; $n_1 = n_2 = n_3 = 9$. Sobre o horizonte A: raízes finas nas camadas F e Ai. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$, teste de Tukey *a posteriori*.

Figure 3. Relative quantity of fine roots (in percentage of organic matter stock) above A horizon (F and Ai layers) and within A horizon, according study sites and sampling dates. Average \pm standard error; $n_1 = n_2 = n_3 = 9$. Above A horizon: F and Ai layers fine roots. * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$, a posteriori Tukey test.

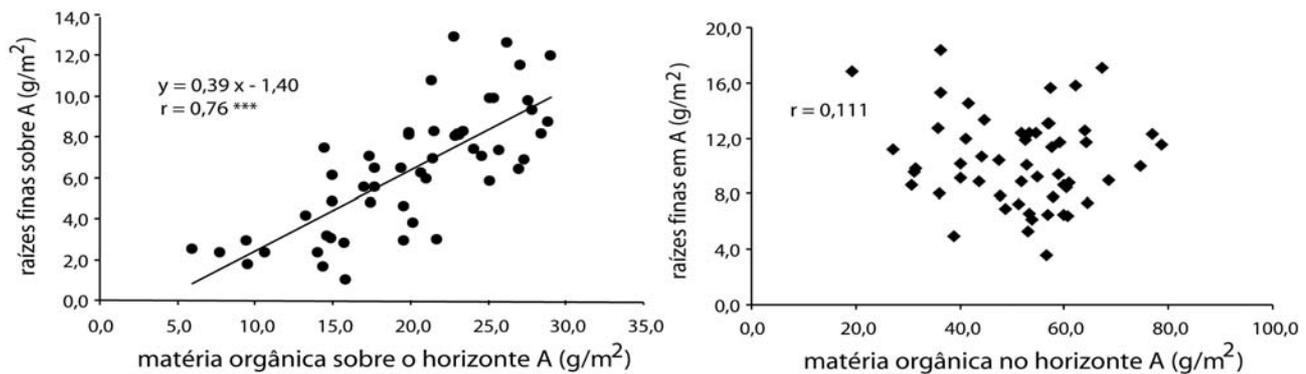


Figura 4. Relação entre a quantidade de matéria orgânica e a quantidade de raízes finas no perfil húmico. Sobre o horizonte A: nas camadas F e Ai. *** $p \leq 0,001$.

Figure 4. Relationship between organic matter stocks and fine roots biomass in the humic profile. Above A horizon: in F and Ai layers. *** $p \leq 0.001$.

quantidades de todos os nutrientes se encontrem nos restos foliares em decomposição F. De fato, a camada superior L, formada por folhas inteiras menos decompostas, contém da ordem de 10% dos estoques totais, ou bem menos, como no caso do K, que é rapidamente liberado e sujeito a lixiviação (Figura 6).

Para a maioria dos nutrientes, as maiores diferenças se observam entre SOO, por um lado, e o fragmento BIO, por outro, e em menor grau com PN. Ambos os fragmentos são muito próximos no que diz respeito às baixas quantidades de Ca, P e, também, K (Figura 6). Se para o fragmento BIO as menores quantidades resultam não somente das menores

concentrações de nutrientes, mas, também, das quantidades inferiores de folhíço, para o fragmento PN as diferenças provêm, sobretudo, dos baixos valores das concentrações médias (ver Tabela 1 e Tabela 2).

Para o conjunto dos restos foliares depositados sobre o solo (L + F) os estoques de Ca e P mostram um gradiente $SOO > PN > BIO$ ($82 \pm 5 \text{ kg ha}^{-1}$, $41 \pm 3 \text{ kg ha}^{-1}$ e $25 \pm 3 \text{ kg ha}^{-1}$, e $2,6 \pm 0,2 \text{ kg ha}^{-1}$, $2,0 \pm 0,1 \text{ kg ha}^{-1}$ e $1,0 \pm 0,1 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente). O N e o Mg apresentam valores duas vezes superiores em SOO e PN em relação a BIO ($95 \pm 6 \text{ kg ha}^{-1}$, $90 \pm 7 \text{ kg ha}^{-1}$ e $40 \pm 3 \text{ kg ha}^{-1}$ de nitrogênio, e $12 \pm 7 \text{ kg ha}^{-1}$, 11 ± 1 e $6,3 \pm 0,77 \text{ kg ha}^{-1}$ de magnésio).

Tabela 2. Conteúdos de nutrientes e relação C/N das camadas foliares em decomposição. L: folhas inteiras; F: fragmentos foliares. Média \pm erro padrão; $n_1 = n_2 = n_3 = 12$. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$. a, b: resultados do teste de Tukey; para uma mesma camada (L de folhas inteiras ou F de restos foliares fragmentados) letras iguais significam diferenças não significativas entre sítios.

Table 2. Nutrient contents and C/N ratio of decomposing leaf litter layers. L: whole leaves; F: fragmented leaves. Average \pm standard error; $n_1 = n_2 = n_3 = 12$. * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$. a, b: Tukey's test results; for the same layers (L or F), same letters indicate no significant difference between sites.

	REBIO Sooretama	fragmento Pasto Novo	fragmento Bionativa	ANOVA
N (g kg⁻¹)				
camada L	18,3 \pm 0,6 ^a	16,4 \pm 0,8 ^{ab}	15,1 \pm 0,7 ^b	F = 4,93*
camada F	19,0 \pm 0,4 ^a	18,7 \pm 0,4 ^a	15,9 \pm 0,3 ^b	F = 18,59***
C/N				
camada L	25,7 \pm 0,8 ^a	29,1 \pm 1,6 ^{ab}	31,4 \pm 1,3 ^b	F = 4,47*
camada F	20,5 \pm 0,5 ^a	20,3 \pm 0,5 ^a	26,2 \pm 0,8 ^b	F = 26,96***
P (g kg⁻¹)				
camada L	0,42 \pm 0,01 ^a	0,31 \pm 0,01 ^b	0,28 \pm 0,02 ^c	F = 16,53***
camada F	0,52 \pm 0,02 ^a	0,42 \pm 0,01 ^b	0,36 \pm 0,02 ^c	F = 18,04***
Ca (g kg⁻¹)				
camada L	13,8 \pm 0,3 ^a	9,8 \pm 0,7 ^b	9,6 \pm 0,5 ^b	F = 16,22***
camada F	16,5 \pm 0,4 ^a	8,8 \pm 1,0 ^b	10,4 \pm 0,5 ^b	F = 28,83***
Mg (g kg⁻¹)				
camada L	2,66 \pm 0,10 ^a	2,75 \pm 0,18 ^a	2,70 \pm 0,18 ^a	F = 0,04
camada F	2,43 \pm 0,10 ^{ab}	2,08 \pm 0,16 ^a	2,64 \pm 0,07 ^b	F = 6,42**
Na (g kg⁻¹)				
camada L	0,29 \pm 0,03 ^a	0,35 \pm 0,03 ^a	0,58 \pm 0,09 ^b	F = 6,03**
camada F	0,21 \pm 0,01 ^a	0,22 \pm 0,02 ^a	0,34 \pm 0,06 ^b	F = 4,58**
K (g kg⁻¹)				
camada L	1,52 \pm 0,17 ^{ab}	1,08 \pm 0,12 ^a	2,03 \pm 0,34 ^b	F = 3,70*
camada F	0,79 \pm 0,06 ^{ab}	0,58 \pm 0,04 ^a	0,88 \pm 0,13 ^b	F = 3,70*
Al (g kg⁻¹)				
camada L	1,3 \pm 0,4 ^a	0,8 \pm 0,1 ^a	1,2 \pm 0,2 ^a	F = 1,40
camada F	4,6 \pm 0,7 ^a	7,0 \pm 0,8 ^b	6,9 \pm 0,9 ^b	F = 3,44*
Fe (g kg⁻¹)				
camada L	0,18 \pm 0,02 ^a	0,25 \pm 0,02 ^b	0,32 \pm 0,05 ^b	F = 4,48*
camada F	0,89 \pm 0,11 ^a	2,05 \pm 0,24 ^b	1,81 \pm 0,24 ^b	F = 9,76***

A figura 7 apresenta as estimativas dos estoques de nutrientes na camada hemi-orgânica Ai e no horizonte A. Em todos os casos, os nutrientes se concentram no horizonte A com valores muito superiores aos estimados para Ai. Esses resultados são a simples consequência das quantidades de material que formam cada uma dessas camadas húmicas. Lembremos aqui que a profundidade de Ai é de ao redor de dois centímetros, entretanto o horizonte A alcança dez centímetros de profundidade.

Quando da comparação entre os sítios, ficam

evidenciados dois padrões contrastantes: as diferenças nos estoques em Ai dizem respeito, sobretudo, a quantidades superiores nos solos da REBIO, contrariamente às estimadas para o horizonte A com quantidades em geral similares ou superiores nos fragmentos, notadamente, de C, N e K⁺ (Figura 7). No total, o solo do sítio controle, a REBIO Sooretama, parece oferecer uma maior disponibilidade de bases de troca, especialmente de Ca⁺ enquanto, nos fragmentos, o acúmulo de matéria orgânica e de N sugere uma menor velocidade de decomposição.

Tabela 3. Conteúdos de carbono orgânico (C), nitrogênio (N) e fósforo disponível (P), e Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ e Al^{3+} trocáveis na camada de interface Ai (0 - 2 cm) e no horizonte A (-2 -12cm) da REBIO Sooretama e dos fragmentos PN e BIO. SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação em bases. Média \pm erro padrão; $n_1 = n_2 = n_3 = 12$. 0: diferença não significativa; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Table 3. Contents of organic carbon (C), nitrogen (N), and exchangeable Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ and Al^{3+} in Ai layer (0 - 2 cm) and A horizon (-2 - 12 cm) of REBIO Sooretama and PN and BIO fragments. SB: exchangeable bases; CTC: cation exchange capacity; V: base saturation. Average \pm standard error; $n_1 = n_2 = n_3 = 12$. 0: no significant difference; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

	C (g/kg)	N (g/kg)	C/N	P (mg/kg)	Ca^{2+} (cmol/kg)	Mg^{2+} (cmol/kg)	Na^+ (cmol/kg)	K^+ (cmol/kg)	SB (cmol/kg)	CTC (cmol/kg)	V (%)	Al^{3+} (cmol/kg)	pH
REBIO Sooretama													
Camada Ai	28,1 \pm 2,1	2,5 \pm 0,2	11,1 \pm 0,2	22,4 \pm 1,4	8,33 \pm 0,57	1,94 \pm 0,17	0,04 \pm 0,00	0,23 \pm 0,02	10,5 \pm 0,7	16,6 \pm 1,1	63,3 \pm 1,1	0,2 \pm 0,0	4,5 \pm 0,1
Horizonte A	7,1 \pm 0,5	0,7 \pm 0,1	9,5 \pm 0,1	5,7 \pm 0,3	1,68 \pm 0,19	0,82 \pm 0,03	0,01 \pm 0,00	0,08 \pm 0,00	2,6 \pm 0,2	5,0 \pm 0,3	52,3 \pm 1,6	0,2 \pm 0,0	4,8 \pm 0,1
Fragmento Pasto Novo													
Camada Ai	47,0 \pm 5,2	3,6 \pm 0,3	12,7 \pm 0,2	21,7 \pm 2,2	4,31 \pm 0,25	2,58 \pm 0,28	0,12 \pm 0,01	0,30 \pm 0,02	7,3 \pm 0,5	23,1 \pm 2,2	34,3 \pm 1,8	1,1 \pm 0,1	3,9 \pm 0,1
Horizonte A	22,0 \pm 1,3	1,9 \pm 0,1	11,6 \pm 0,2	8,4 \pm 0,2	1,03 \pm 0,06	0,74 \pm 0,03	0,05 \pm 0,00	0,12 \pm 0,00	1,9 \pm 0,1	12,4 \pm 0,8	17,2 \pm 1,2	1,8 \pm 0,1	3,9 \pm 0,1
Fragmento Bionativa													
Camada Ai	29,3 \pm 2,0	2,6 \pm 0,2	11,4 \pm 0,1	12,9 \pm 0,5	4,50 \pm 0,25	1,70 \pm 0,12	0,08 \pm 0,01	0,26 \pm 0,01	6,6 \pm 0,4	15,0 \pm 0,7	43,5 \pm 1,2	0,4 \pm 0,0	4,5 \pm 0,1
Horizonte A	15,0 \pm 0,7	1,6 \pm 0,1	9,6 \pm 0,1	5,8 \pm 0,2	1,60 \pm 0,14	0,83 \pm 0,06	0,03 \pm 0,00	0,12 \pm 0,01	2,6 \pm 0,2	9,1 \pm 0,4	28,3 \pm 1,1	0,7 \pm 0,0	4,5 \pm 0,1
ANOVA (valores de F)													
Camada Ai	9,27***	5,89**	22,32***	14,99***	35,01***	4,56*	26,47***	4,09*	14,82***	7,95***	93,71***	48,45***	38,74***
Horizonte A	84,79***	86,01***	51,50***	34,39***	7,14**	1,22	68,74***	26,32***	5,94**	54,59***	159,3***	139,9***	20,45***

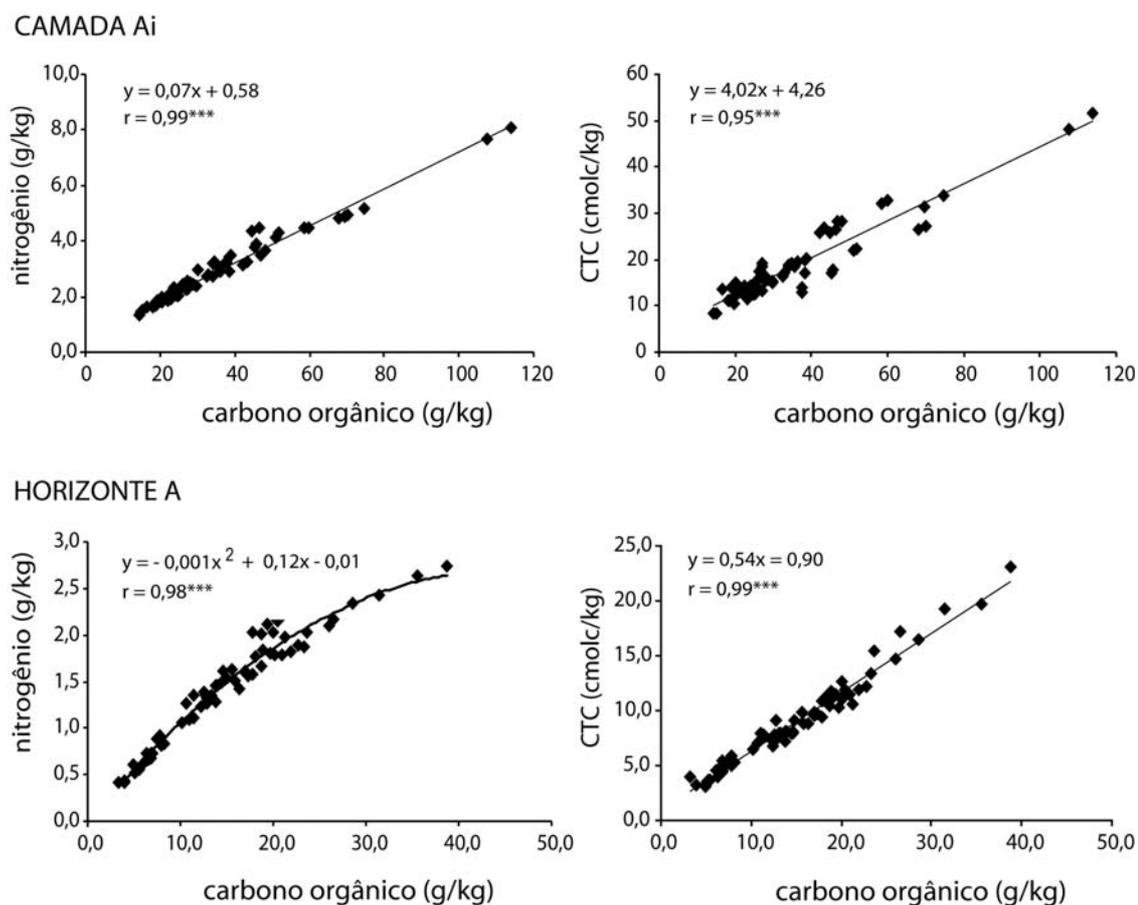


Figura 5. Relação entre os conteúdos de carbono orgânico e os conteúdos de nitrogênio e a CTC na camada Ai e no horizonte A. *** $p < 0,001$.

Figure 5. Relationships between organic carbon and nitrogen contents and cation exchange capacity in Ai layer and A horizon. *** $p < 0.001$.

DISCUSSÃO

O conjunto dos resultados evidencia que as formas de húmus assim como os conteúdos e estoques de nutrientes nas camadas húmicas são diferentes entre os fragmentos submetidos a extrativismo seletivo e a área nuclear protegida da REBIO Sooretama. As diferenças observadas podem ser interpretadas como modificações no subsistema decompositor em relação à dinâmica da decomposição da matéria orgânica e à reciclagem de nutrientes.

Formas de húmus

Os perfis húmicos correspondentes à REBIO Sooretama e aos fragmentos PN e BIO estão representados na Figura 8. Com base na classificação morfofuncional proposta pela Associação Francesa de

Ciência do Solo (Berthelin *et al.* 1994), as formas de húmus estudadas correspondem ao tipo mull tropical tal como previamente definidos por Garay *et al.* (1995a) e Kindel & Garay (2001, 2002). Devem, com efeito, ser consideradas três características: a) contato direto entre os restos foliares e um horizonte ou camada orgânico-mineral subjacente (sem presença de um horizonte H de matéria orgânica amorfa); b) relação C/N baixa, isto é, menor que 15, no horizonte A; c) presença de um horizonte Ai de interface onde se acumulam a matéria orgânica e os nutrientes, com abundância de raízes finas, no topo do solo e d) camadas de restos foliares pouco espessas. Entretanto, os resultados permitem ainda classificar um mull tropical mesotrófico, com ao redor de 50% de saturação em bases, para a REBIO Sooretama que se distingue do mull tropical oligotrófico presente nos solos dos fragmentos PN e BIO, em todos os casos com valores inferiores a 30% de V (Figura 8).

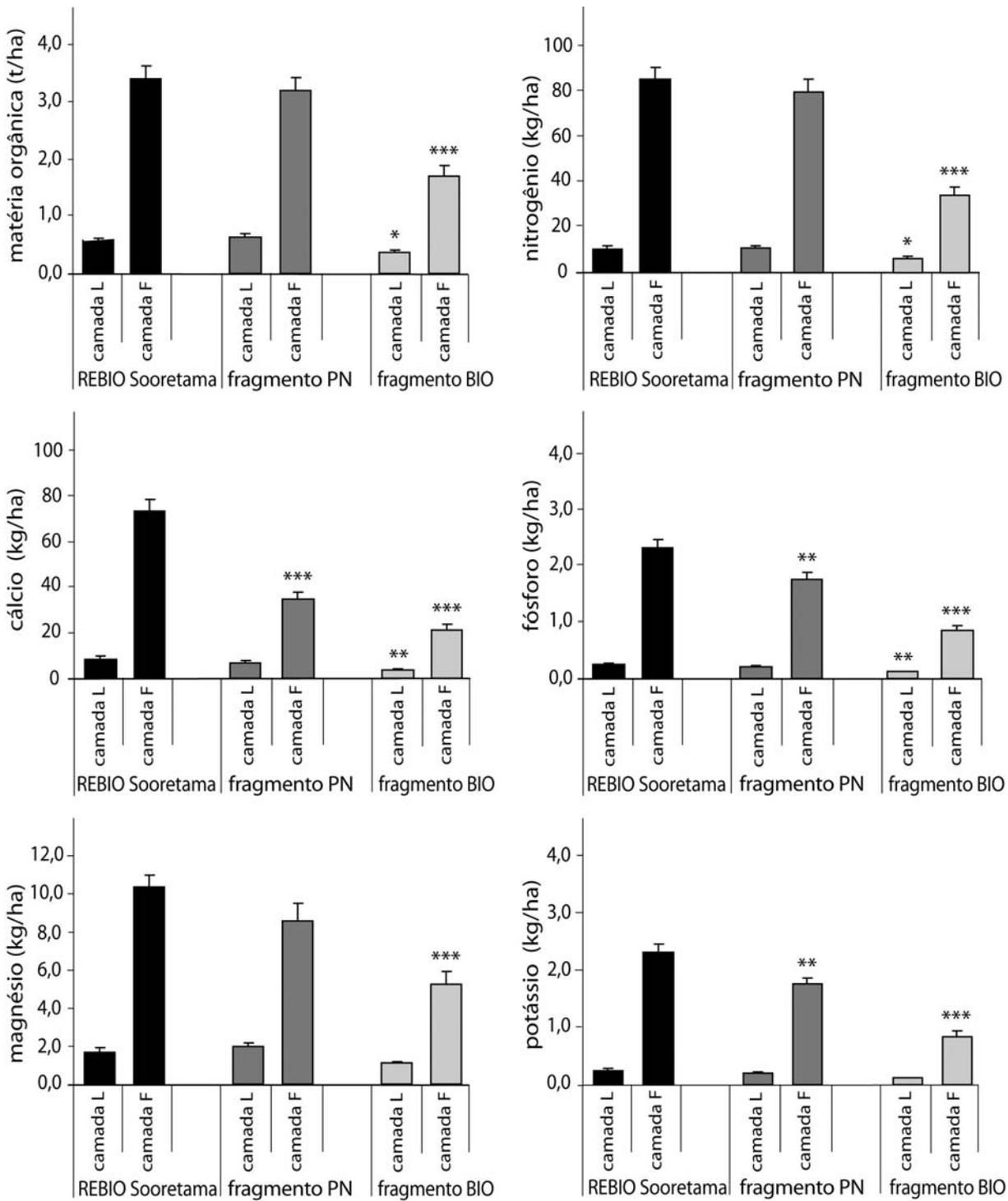


Figura 6. Estoques de matéria orgânica, nitrogênio, cálcio, fósforo, magnésio e potássio nas camadas foliares L (folhas inteiras) e F (folhas fragmentadas). Valores estimados para o conjunto dos dados: n = 24. *p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001, teste de Tukey a posteriori.

Figure 6. Organic matter, nitrogen, calcium, phosphorus, magnesium and potassium stocks in the L and F leaf litter layers. Estimated values for the all data set: n = 24. *p < 0.05; **p < 0.01; ***p < 0.001, a posteriori Tukey test.

Os estoques de matéria orgânica e os valores de C, N e bases de troca se mantêm relativamente estáveis entre as amostragens de verão e inverno, em todos os sítios de estudo, o que revela certa estabilidade nas formas de húmus estudadas. No que diz respeito à REBIO Sooretama, os valores obtidos são da mesma ordem que estimativas correspondentes a outros anos e em diferentes sítios da área nuclear, notadamente na contígua Reserva de Linhares (Garay *et al.* 1995a, Kindel & Garay 2002), o que confirma a hipótese de que as formas de húmus são estáveis em ecossistemas não perturbados (Duchaufour & Toutain 1985).

O fato de existir uma relação direta entre os conteúdos de matéria orgânica e a CTC faz que, no caso de PN e BIO, valores superiores de CTC levem à diminuição da %V, mesmo quando os conteúdos de SB se mantêm similares. As baixas %V do solo dos fragmentos são, sobretudo, resultantes dos estoques de matéria orgânica acumulada no primeiro horizonte pedológico A, bem superiores aos estimados para a REBIO Sooretama (Figura 8). Por outra parte, a baixa variabilidade estacional em PN e BIO não permite afirmar que o caráter oligotrófico, ligado não somente aos pequenos valores de %V, mas também aos menores conteúdos de SB, como em PN, resulte de um processo de lixiviação de nutrientes, pelo menos, durante o período deste estudo.

Considerando a composição do estrato arbóreo, espécies pioneiras, como *Joannesia princeps* Vell., ou secundárias iniciais, como *Senefeldera multiflora* Mart, dominam nos fragmentos e substituem secundárias tardias e espécies clímax, notadamente da família Myrtaceae (Agarez 2001, Agarez *et al.* 2004). A mudança na composição das espécies arbóreas indica, do ponto de vista da vegetação, que o extrativismo seletivo se traduz localmente por um retorno a fases iniciais de sucessão que podem originar modificações da forma de húmus presente na floresta madura. Neste sentido, resultados referentes a ecossistemas florestais de regiões temperadas e temperadas frias revelam, de forma similar, que estágios sucessionais iniciais apresentam formas de húmus com significativa acumulação de matéria orgânica os quais se diferenciam de aqueles que se encontram nas florestas em sucessão avançada (Bernier & Ponge 1994, Emmer & Sevink 1994, Fischer *et al.* 2002).

Colocados nesta perspectiva, os nossos resultados, que podem ser interpretados como uma mudança na forma de húmus própria a uma sucessão secundária, confrontam à hipótese geralmente aceita de que, nos solos tropicais, maiores quantidades de matéria orgânica se encontram em relação direta com uma maior fertilidade.

As camadas foliares

As pequenas quantidades de folhiço L + F acumulado sobre o solo apresentam valores entre 3,5 - 4,5 t ha⁻¹, valores similares aos de outras florestas tropicais (Proctor *et al.* 1983). Se, em geral, a camada L de folhas mortas inteiras representa uma estimativa da queda de folhas durante o ciclo anual, as pequenas quantidades estimadas sugerem que uma rápida taxa de decomposição transforma os restos foliares L em camada F, isto é, em fragmentos foliares mais decompostos. As quantidades médias das camadas L + F são, em geral, inferiores à queda anual de folhas, estimadas para a região em 5 t ha⁻¹ (Louzada *et al.* 1997), o que permite estimar que a decomposição dos restos foliares é da ordem de um ano.

Quando da comparação dessas camadas foliares entre a REBIO e os fragmentos, quantidades muito inferiores correspondem ao fragmento BIO. Nesse sítio, a menor densidade e tamanho das árvores, com redução da área basal de cerca de 40% com respeito aos outros sítios (Agarez *et al.* 2004) pode acarretar uma diminuição da queda foliar. No fragmento PN, a significativa quantidade de galhos finos representa um aporte suplementar de matéria orgânica pobre em nutrientes o que pode levar a uma redução da velocidade de decomposição e, em consequência, a uma importante acumulação orgânica no solo (Anderson *et al.* 1983, Kindel *et al.* 1999).

Em geral, os conteúdos de nutrientes nas camadas de folhas são relativamente similares, tanto entre sítios como entre as estações. Somente o Ca mantém fortes diferenças entre os fragmentos e a REBIO Sooretama, sítio onde se encontram os mais altos conteúdos no folhiço mais decomposto F. Entretanto, os valores de Ca e Mg alcançam as maiores estimativas já encontradas para florestas tropicais, enquanto que os de N e P são da mesma ordem de magnitude (Lips & Duivenvoorden 1996).

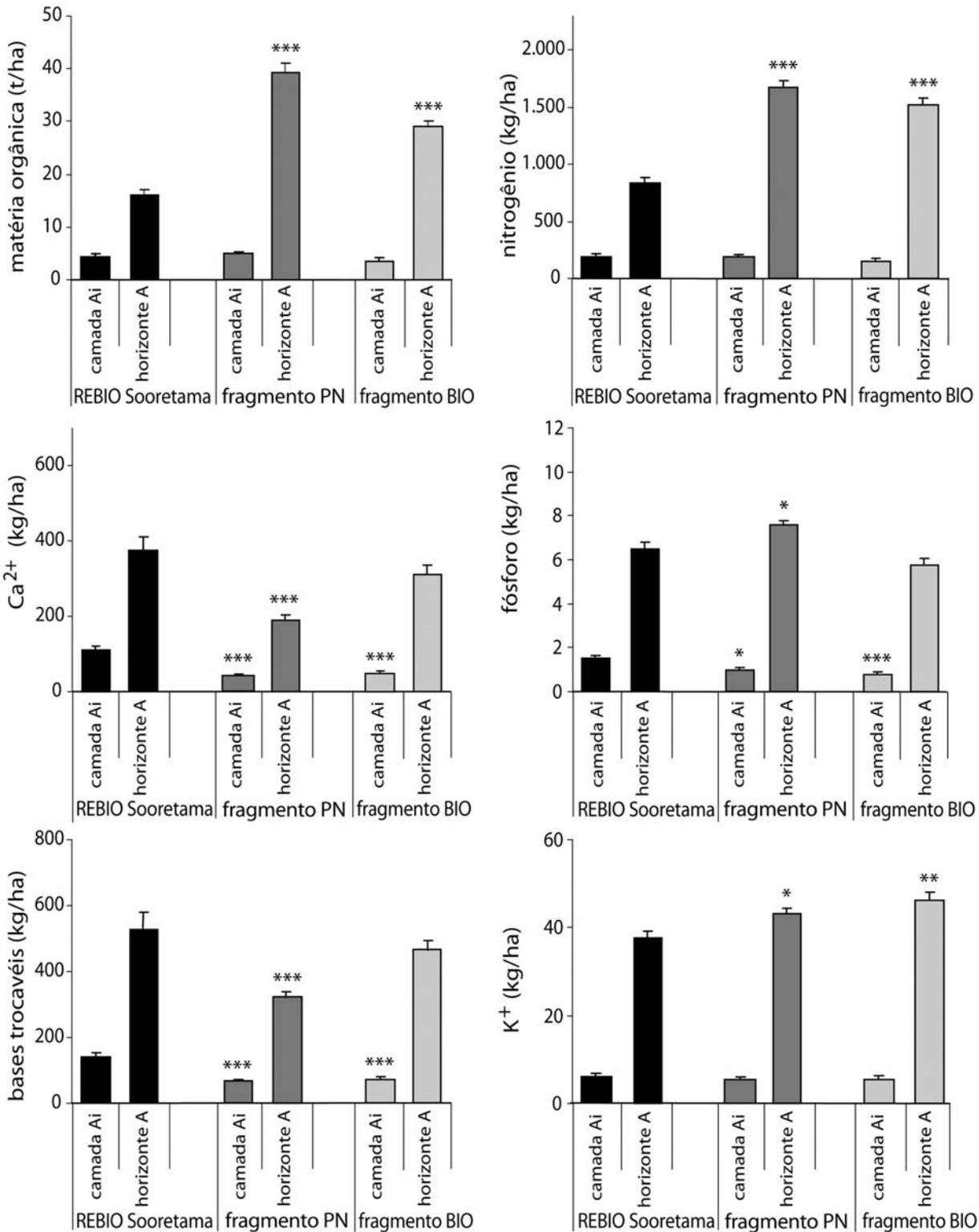


Figura 7. Estoques de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo disponível e bases de troca (Ca^{2+} , K^+ e bases trocáveis totais) na camada Ai e no horizonte A. Valores estimados para o conjunto dos dados: $n = 24$. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$, teste de Tukey *a posteriori*.

Figure 7. Organic matter, nitrogen, available phosphorus and exchangeable bases (Ca^{2+} , K^+ and total exchangeable bases) in the Ai layer and A horizon. Estimated values for the overall data set: $n = 24$. * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$, *a posteriori* Tukey test.

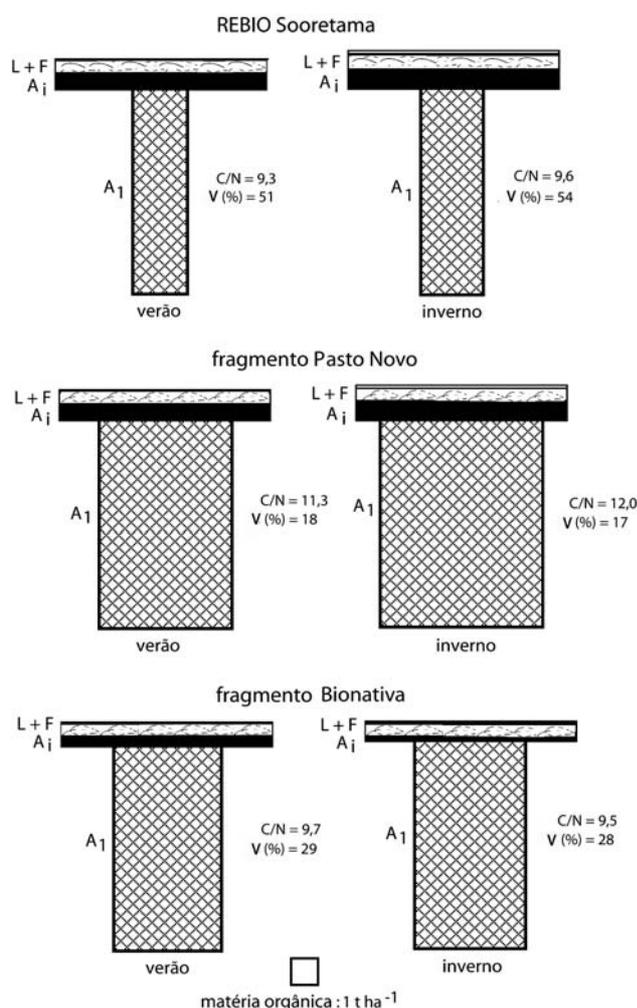


Figura 8. Perfis húmicos da Reserva Biológica de Sooretama e dos fragmentos PN e BIO. As superfícies das camadas húmicas e do horizonte A são proporcionais às quantidades de matéria orgânica.

Figure 8. Humic profiles for the Sooretama Biological Reserve and PN and BIO forest fragments. Humic layers and A horizon surfaces are proportional to organic matter stocks.

Os baixos conteúdos de K e Na, notadamente nos restos foliares mais decompostos devem ser atribuídos à rápida lixiviação destes nutrientes que se produz nas primeiras etapas de decomposição como verificado para florestas temperadas (Anderson *et al.* 1983, Garay *et al.* 1986).

Valores similares de N entre os três sítios de estudo levam a desconsiderar a hipótese de que a qualidade do recurso orgânico, notadamente em relação a baixas concentrações de N, e altos conteúdos de compostos tipo lignina (Melillo *et al.* 1982, Berg 2000), sejam responsáveis por uma baixa taxa de decomposição e a acumulação de matéria orgânica nos solos dos fragmentos. Ainda, os altos valores de

N para a camada L e, conseqüentemente, os pequenos valores de C/N permitem assumir o fato de uma rápida transformação do folhiço fresco L.

Os estoques de nutrientes no folhiço refletem por um lado seus conteúdos e por outro as suas quantidades. Assim, os restos foliares da camada L, quantitativamente muito menos importantes que os da camada F levam a que quase todos os nutrientes se encontrem acumulados nesta última camada. Por outra parte, a pobreza em Ca nos fragmentos se acentua, em particular, no fragmento BIO onde aos baixos conteúdos se adicionam as pequenas quantidades de folhas que recobrem o solo.

A camada hemi-orgânica Ai

A comparação dos resultados referentes à camada Ai e, inclusive, ao horizonte A é dificultada pelo fato que a separação entre as raízes finas e o material pedológico nem sempre é mencionada na bibliografia. Ainda, o horizonte Ai é, amiúde, removido para “limpar” o perfil do solo ou parcialmente considerado como parte da uma camada F composta, além dos restos foliares, de matéria orgânica fina e um tapete de raízes (Wesemael & Veer 1992). Porém, a maior concentração de raízes finas no topo do solo (Grubb *et al.* 1994, Jackson *et al.* 1996) e os altos valores de matéria orgânica e de nutrientes nos primeiros 1-2 cm de um solo oxisol amazônico (Furch & Klinge 1989) sugerem que a presença de uma camada de interface entre os restos foliares e o solo é, provavelmente, típica de florestas que recobrem solos tropicais pouco férteis.

Resultados do presente trabalho, assim como outros relativos à região de estudo, indicam que a camada Ai, com densidades de raízes finas superiores a do horizonte A, possui um importante papel no subsistema de decomposição e na reciclagem de nutrientes (Garay *et al.* 2009). Entretanto, estimativas das quantidades de carbono contidas na biomassa microbiana mostram que, nos fragmentos, os valores são muito inferiores que os que correspondem à REBIO Sooretama ($325 \pm 97 \text{ mg.kg}^{-1}$ e $594 \pm 51 \text{ mg.kg}^{-1}$ vs. $1920 \pm 348 \text{ mg.kg}^{-1}$ em SOO), apesar de serem de duas a três vezes superiores aos do horizonte A (Barbosa 2007). Esses dados revelam uma menor

atividade de decomposição pelos microorganismos nos fragmentos, sobretudo no horizonte de interface.

Note-se, por fim, que os estoques de nutrientes na camada Ai são, pelo menos, da mesma ordem de grandeza que o total registrado nos restos foliares, representando parte significativa das quantidades de nutrientes necessárias à reciclagem de nutrientes fornecidas pela queda de folhas. Pode-se assim formular a hipótese de que a decomposição da matéria orgânica do topo do solo pode ser fonte suficiente dos nutrientes necessários para a produtividade anual da cobertura arbórea.

Características pedológicas do horizonte A

Menores valores de Ca^{2+} e, inversamente, maiores valores de Al^{3+} caracterizam os solos dos fragmentos cujo pH é igualmente inferior ao da REBIO. Estas relações são esperadas na medida em que o aumento do Al^{3+} trocável é fortemente dependente da diminuição do pH que apresenta, pela sua vez, uma relação positiva com a %V (Menzies 2003). Como em alguns húmus tipo mull ácido de florestas temperadas, os cátions Al^{3+} e Fe^{2+} poderiam substituir o Ca^{2+} na formação de complexos húmicos, em especial, da fração húmica insolúvel mais resistente à biodegradação (Toutain 1974, 1987, Berthelin *et al.* 1994, Pérez *et al.* 2007). Esta hipótese geral poderia explicar o maior acúmulo de matéria orgânica nos fragmentos relacionado com a baixa %V, baixo PH e maiores concentrações de Al^{3+} trocável. Pode-se, assim, assimilar o mull oligotrófico a um mull ácido caracterizado pela acumulação de substâncias húmicas complexas no topo do solo. Neste processo as baixas concentrações de Ca^{2+} possuem um papel fundamental (Toutain 1987, Emmer & Sevink 1994, Parsons & Congdon 2008). Finalmente, nossos resultados evidenciam que os estoques de nutrientes se localizam essencialmente no horizonte A e não na camada Ai, com 70 a 80% dos nutrientes e 80 a 90% de matéria orgânica e nitrogênio do total estimado para ambos os horizontes húmicos.

Conclusão

Em conclusão, o presente trabalho mostra que a compreensão dos mecanismos de decomposição da

matéria orgânica, dos quais resultam as formas de húmus e suas modificações, não pode se limitar ao estudo da decomposição do folhicho ou das variáveis pedológicas isoladamente (Anderson & Swift 1983). Como fica demonstrado, as diferentes proporções de nutrientes nas camadas de folhicho refletem as relações estequiométricas dos nutrientes nas camadas hemi-orgânicas, notadamente no horizonte A, o que revela uma estreita relação entre a vegetação e as propriedades pedológicas nos sítios de estudo. A trilogia clima, composição química do material foliar e modalidade de decomposição dos restos foliares afetam, sem dúvida, as características dos horizontes pedológicos, os que pela sua vez determinam a qualidade do folhicho e sua evolução, com consequência direta sobre a reciclagem de nutrientes (Aerts 1997, Garay & Kindel 2001, Kindel & Garay 2002, Baillie *et al.* 2006). Nesta perspectiva, as diferenças qualitativas e quantitativas de nutrientes no folhicho e sua associação com as reservas de nutrientes e a acumulação de matéria orgânica no solo podem ser atribuídas a uma possível perda de nutrientes nos fragmentos consecutiva à abertura de clareiras. O extrativismo seletivo conduz, assim, à modificação do funcionamento do subsistema de decomposição, característico de um estágio anterior de sucessão secundária, do qual o húmus de tipo mull oligotrófico representa uma síntese.

REFERÊNCIAS

- Aerts, R. 1997. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos*, 79, 439-449.
- Agarez, F. V. 2001. Contribuição para a gestão de fragmentos florestais com vista à conservação da biodiversidade em Floresta Atlântica de Tabuleiros. Departamento de Geografia, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro. p. 237.
- Agarez, F. V., Garay, I., & Vicens, R. 2004. A floresta em pé: conservação da biodiversidade nos remanescentes de Floresta Atlântica de Tabuleiro. In: I. Garay, & C. M. Rizzini (Eds.), *A Floresta Atlântica de Tabuleiros. Diversidade funcional da cobertura arbórea*. 2nd ed. pp. 27-34. Petrópolis: Editora Vozes.
- Anderson, J. M., Proctor, J., & Vallack, H. W. 1983. Ecological studies in four contrasting lowland rain forests in Gunung Mulu National Park, Sarawak. III. Decomposition processes and nutrient losses from litter. *Journal of Ecology*, 71, 503-527.
- Anderson, J. M., & Swift, M. J. 1983. Decomposition in tropical forests. In: C. L. Sutton, T. C. Whitmore, & A. C. Chadwick

- (Eds.), Tropical Rain Forest: Ecology and Management. Special Publication Number 2 of The British Ecological Society. pp. 287-309. Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne: Blackwell Scientific Publications.
- Babel, U. 1971. Gliederung und Beschreibung des Humusprofils in mittel-europäischen Wäldern. *Geoderma*, 5(4), 297-324.
- Babel, U. 1975. Micromorphology of soil organic matter. In: J. E. Gieseking, (Ed.), Soil components. V.2, Organic components. pp. 369-473. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Baillie, I. C., Ashton, P. S., Chin, S. P., Davies, S. J., Palmiotto, P. A., Russo, S. E., & Tan, S. 2006. Spatial associations of humus, nutrients and soils in mixed dipterocarp forest at Lambir, Sarawak, Malaysian Borneo. *Journal of Tropical Ecology*, 22(5), 543-553.
- Barbosa, J. C. 2007. Avaliação da conservação e restauração de solos por meio de indicadores físicos, químicos e microbiológicos, em Floresta Atlântica de Tabuleiros, ES, Brasil. Departamento de Ecologia, Instituto de Biologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. p. 121.
- Barros, M. E. O., Kindel, A., & Garay, I. 1993. Formas de húmus em ecossistemas de Floresta Atlântica. In: Academia de Ciências do Estado de São Paulo, Academia Brasileira de Ciências, III Simpósio de ecossistemas da costa brasileira, Anais. pp. 100-113.
- Berg, B. 2000. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest Ecology and Management*, 133(1), 13-22.
- Bernier, N., & Ponge, J.-F. 1994. Humus form dynamics during the sylvogenetic cycle in a mountain spruce forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 26(2), 183-220.
- Berthelin, J., Leyval, C., & Toutain, F. 1994. Biologie des sols: rôle des organismes dans l'altération et l'humification. In: M. Bonneau, & B. Souchier (Eds.), *Pédologie. 2. Constituants et propriétés du sol*. pp. 143-211. Paris: Masson.
- Brethes, A., Brun, J. J., Jabiol, B., Ponge, J.-F., & Toutain, F. 1995. Classification of forest humus forms: a French proposal. *Annales des Sciences Forestières*, 52(6), 535-546.
- Delecour, Ph. 1980. Essai de classification pratique des humus. *Pédologie*, 30(2), 225-241.
- Descheemaeker, K., Muys, B., Nyssen, J., Sauwens, W., Haile, M., Poesen, J., Raes, D., & Deckers, J. 2009. Humus Form Development during Forest Restoration in Enclosures of the Tigray Highlands, Northern Ethiopia. *Restoration Ecology*, 17(2), 280-289.
- Duchaufour, P., & Toutain, F. 1985. Apport de la pédologie à l'étude des écosystèmes. *Bulletin D'Ecologie*, 17(1), 1-9.
- EMBRAPA 1997. Manual de métodos de análise de Solo. 2ª ed. revista. Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos: p. 212.
- EMBRAPA 1999. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 1ª ed. Rio de Janeiro, Brasília: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos: p. 306.
- Emmer, I. M., & Sevink, J. 1994. Temporal and vertical changes in the humus form profile during a primary succession of *Pinus sylvestris*. *Plant Soil*, 167(2), 281-295.
- Fischer, V. H., Bens, O., & Hüttl, R. F. 2002. Veränderung von Humusform, -vorrat, und -verteilung im Zuge vom Waldumbau-Massnahmen im Nordostdeutschen Tiefland. *Forstwirtschaft und globale Ökologie*, 121, 322-334.
- Fons, J., & Klinka, K. 1998. Chemical and biotic properties and temporal variation of moder humus forms in the rain forest near Vancouver, British Columbia. *Geoderma*, 86(1), 83-98.
- Fons, J., Klinka, K., & Kabzems, R. D. 1998. Humus forms of trembling aspen ecosystems in northeastern British Columbia (Lamimor). *Forest Ecology and Management*, 105(1), 241-250.
- Furch, K., & Klinge, H. 1989. Chemical relationships between vegetation, soil and water in contrasting inundation areas of Amazonia. In: J. Proctor (Ed.), *Mineral nutrients in tropical forest and savanna ecosystems*. Special Publication Number 9, British Ecological Society. pp. 189-204. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Garay, I., & Kindel, A. 2001. Diversidade funcional em fragmentos de Floresta Atlântica: valor indicador das formas de húmus florestais. In: I. Garay, & B. Dias (Eds.), *Conservação da Biodiversidade em ecossistemas tropicais. Avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento*. pp. 350-368. Petrópolis: Editora Vozes.
- Garay, I., Kindel, A., Callipo, A., Barros, M. E. O., & Jesus, R. M. de 1995(a). Formas de húmus em ecossistemas de floresta costeira intertropical. I- A Mata Atlântica de Tabuleiros. *Oecologia Brasiliensis*, 1(1), 1-18.
- Garay, I., Kindel, A., & Jesus, R. M. de 1995(b). Diversity of humus forms in the Atlantic Forest ecosystems (Brazil): the Tableland Atlantic Forest. *Acta Oecologica*, 16(5), 553-570.
- Garay, I., Nazoa, S., & Abbadie, L. 1986. Étude d'une litière forestière mixte à charme et à chêne. I. Décomposition de la matière organique et dynamique des éléments biogènes. *Acta Oecologica*, 7(2), 151-169.
- Garay, I., Noronha, F., & Riccioppo, V. M. 2009. Raízes finas nos horizontes do topo do solo em relação a atividades extrativistas em fragmentos de Floresta Atlântica de Tabuleiros, em Sooretama, ES. *Floresta e Ambiente*, 15(1), 34-48.
- Garay, I., & Silva, B. A. O. 1995. Húmus florestais: síntese e diagnóstico das interrelações vegetação - solo. *Oecologia Brasiliensis*, 1(1), 19-46.
- Garay, I., Pellens, R., Kindel, A., Barros, E. & Franco, A. A. 2004. Evaluation of soil conditions in fast-growing plantations of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* in Brazil: a contribution to the study of sustainable land use. *Applied Soil Ecology*, 27(2), 177-187.
- Garay, I., Finotti, R., Kindel, A., Louzada, M., Rizzini, M. C., & Perez, D. V. 2016. Formas de húmus como indicador funcional de ecossistemas emergentes na Floresta de Tabuleiro. In: S. M. Rolim, L. F. T. Menezes, & A. C. Srbek-Araújo (Eds.), *Floresta Atlântica de Tabuleiro: diversidade e endemismos na Reserva Natural Vale*. pp. 101-128. Belo Horizonte: Rona.
- Green, R. N., Trowbridge, R. L., & Klinka, K. 1993. Towards a taxonomic classification of humus forms. *Forest Science Monographs*, 39(1), 1-48.
- Grubb, P. J., Turner, I. M., & Burslem, D. F. R. P. 1994. Mineral nutrient status of Coastal Hill Dipterocarp Forest and *Adinandra Belukar* in Singapore: analysis of soil, leaves and litter. *Journal of Tropical Ecology*, 10(4), 559-577.
- Hobbie, S. E., & Vitousek, P. M. 2000. Nutrient limitation of

- decomposition in Hawaiian forest. *Ecology*, 81(7), 1867-1877.
- Jabiol, B., Zanella, A., Englisch, M., Hager, H., Katzensteiner, K., & Waals, R. 2004. Towards an European Classification of Terrestrial Humus Forms. Presented at EUROSOIL 2004, Freiburg, DEU (2004-09-04 - 2004-09-12).
- Jackson, R. B., Canadell, J. R., Ehleringer, H. A., Mooney, O., Sala, E., & Schulze, E. D. 1996. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia*, 108(3), 389-411.
- Kindel, A., Barbosa, P. M. S., Pérez, D. V., & Garay, I. 1999. Efeito do extrativismo seletivo de espécies arbóreas da Floresta Atlântica de Tabuleiros na matéria orgânica e outros atributos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23(3), 465-474.
- Kindel, A., & Garay, I. 2001. Caracterização dos ecossistemas de Floresta Atlântica por meio das formas de húmus. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25(3), 551-563.
- Kindel, A., & Garay, I. 2002. Humus form in ecosystems of the Atlantic Forest, Brazil. *Geoderma*, 108(1), 101-118.
- Klinka, K., Wang, Q., & Carter, R. E. 1990. Relationships among humus forms, forest floor nutrients properties, and understory vegetation. *Forest Science*, 36(3), 564-581.
- Kounda-Kiki, C., Vaçulik, A., Ponge, J.-F., & Sarthou, C. 2006. Humus profiles under main vegetation types in a rock savanna (Nouragues inselberg, French Guiana). *Geoderma*, 136(3), 819-829.
- Lips, J., & Duivenvoorden, J. F. 1996. Fine litter input to terrestrial humus form in Colombian Amazonia. *Oecologia*, 108(1), 138-150.
- Loranger, G., Ponge, J.-F., & Lavelle, P. 2003. Humus forms in two secondary semi-evergreen tropical forests. *European Journal of Soil Science*, 54(1), 17-24.
- Louzada, M. A. P., Curvello, A., Barbosa J. H. C., & Garay, I. 1997. O aporte de matéria orgânica ao solo: quantificação, fenologia e suas relações com a composição específica em área de Floresta Atlântica de Tabuleiros. *Leandra*, 12, 27-32.
- Malagón, D., Sevink, J., & Garay, I. 1989. Methods for soil analysis. In: D. Müller-Dombois, M. A. Little, & T. Van der Hammen (Eds.), *Manual of methods for mountain transect studies. Comparative studies in tropical mountain ecosystems*. pp. 29-40. Paris: International Union of Biological Science.
- Melillo, J. M., Aber, J. D., & Muratore, J. F. 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology*, 63(3), 621-626.
- Menzies, N. W. 2003. Toxic Elements in Acid Soils: Chemistry and Measurement. In: Z. Rengel (Ed.), *Handbook of Soil Acidity*. pp. 267-296. New York: Marcel Dekker.
- Ostertag, R., Marín-Spiotta, E., Silver, W. L., & Schulten J. 2008. Litterfall and decomposition in relation to soil carbon pools along a secondary forest chronosequence in Puerto Rico. *Ecosystems*, 11(5), 701-714.
- Parsons, S. A., & Congdon R. A. 2008. Plant litter decomposition and nutrient cycling in north Queensland tropical rain-forest communities of differing successional status. *Journal of Tropical Ecology*, 24(3), 317-327.
- Pérez, D. V., Alcantara, S., Ribeiro, C. C., Pereira, R. E., Fontes, G. C., Wasserman, M. A., Venezuela, T. C., Meneguelli, N. A., Macedo, J. R., & Barradas, C. A. A. 2007. Composted municipal waste ejects on chemical properties of a Brazilian soil. *Bioresource Technology*, 98(3), 525-533.
- Ponge, J.-F., Chevalier, R., & Loussot, P. 2002. Humus Index: an integrated tool for the assessment of forest floor and topsoil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 66(6), 1996-2001.
- Proctor, J., Anderson, J. M., Fogden, S. C. L., & Vallack, H. W. 1983. Ecological studies in four contrasting lowland rain forests in Gunung Mulu National Park, Sarawak. II. Litterfall, litter standing crop and preliminary observations on herbivory. *Journal of Ecology*, 71, 261-283.
- Sanchez, P. A., Gichuru, M. P., & Katz, L. B. 1982. Organic matter in major soils of the tropical and temperate regions. In: *Proceedings of the 12th International Congress of Soil Science*. pp. 99-114. New Delhi, India: Indian Society of Soil Science.
- Santos, R. D. dos, Barreto, W. O., Araújo, W. S., Claessen, M. E. C., Pérez, D. V., de Paula, J. L., Sousa, J. L. R., & Souza, J. S. 2004. Levantamento expedito dos solos das Reservas Florestais de Linhares e Sooretama no estado do Espírito Santo. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento da EMBRAPA-CNPS*, 49, p.68.
- Songwe, N. C., Okali, D. U. U., & Fasehun, F. E. 1995. Litter Decomposition and Nutrient Release in a Tropical Rainforest, Southern Bakundu Forest Reserve, Cameroon. *Journal of Tropical Ecology*, 11(3), 333-350.
- Swift, M. J., Heal, O. W., & Anderson, J. M. 1979. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Oxford: Blackwell, p. 372.
- Toutain, F. 1974. Étude écologique de l'humification dans les hetraies acidiphiles. Thèse de Docteur ès Sciences naturelles, Université de Nancy, p. 274.
- Toutain, F. 1987. Les litières: Siège de systèmes interactifs et moteur de ces interactions. *Revue D'Écologie et de Biologie du Sol*, 24(3), 231-242.
- Wesemael, B., & Veer, A. C. 1992. Soil organic matter accumulation, litter decomposition and humus forms under Mediterranean-type forests in southern Tuscany, Italy. *Journal of Soil Science*, 43(1), 133-144.
- Wieder, R. K., & Wright, S. J. 1995. Tropical forest litter dynamics and dry season irrigation on Barro Colorado Island, Panama. *Ecology*, 76(6), 1971-1979.

Submetido em: 10/10/2014

Aceito em: 08/11/2016