



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Gama-Rodrigues, Emanuela Forestieri da; Barros, Nairam Félix de; Pio Viana, Alexandre; Santos, Gabriel de Araújo

Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da Região Sudeste do Brasil

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 32, núm. 4, agosto, 2008, pp. 1489-1499

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214233012>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

SEÇÃO III - BIOLOGIA DO SOLO

ALTERAÇÕES NA BIOMASSA E NA ATIVIDADE MICROBIANA DA SERAPILHEIRA E DO SOLO, EM DECORRÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DE COBERTURA FLORESTAL NATIVA POR PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO, EM DIFERENTES SÍTIOS DA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL⁽¹⁾

**Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues⁽²⁾, Nairam Félix de Barros⁽³⁾,
Alexandre Pio Viana⁽⁴⁾ & Gabriel de Araújo Santos⁽⁵⁾**

RESUMO

O eucalipto é a principal espécie florestal utilizada nos programas de reflorestamento no Brasil. Questiona-se quais as mudanças que essa espécie pode promover no solo. O impacto da substituição de uma cobertura vegetal por outra pode variar com as condições de clima e de solo, e os resultados obtidos numa região podem não ser extrapoláveis numa avaliação supra-regional. A biomassa e a atividade microbiana têm sido sugeridas como indicadores adequados de alterações provocadas por mudanças no uso da terra. Neste trabalho, essas características foram utilizadas para avaliar alterações na serapilheira e no solo em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto em quatro sítios da Região Sudeste brasileira. A quantidade de serapilheira foi maior nas plantações de eucalipto do que nas formações nativas, o que foi explicado pela maior relação C:N na serapilheira do eucalipto. O impacto da conversão da vegetação nativa em eucalipto nos atributos microbiológicos da serapilheira e do solo variou conforme as características específicas analisadas de cada sítio florestal. Diferenças entre os teores de C e de N na biomassa microbiana de eucalipto e vegetação natural foram mais freqüentemente observadas no solo do que na serapilheira. A biomassa microbiana da serapilheira representou uma reserva de C e N maior do que a biomassa microbiana do solo, constituindo-se num

⁽¹⁾ Recebido para publicação em fevereiro de 2007 e aprovado em maio de 2008.

⁽²⁾ Professora Associada do Laboratório de Solos, CCTA, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. 28013-602 Campos dos Goytacazes (RJ). E-mail: emanuela@uenf.br

⁽³⁾ Professor Titular do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36571-000 Viçosa (MG). Bolsista do CNPq. Email: nfbarros@ufv.br

⁽⁴⁾ Professor Associado do Laboratório de Melhoramento Genético Vegetal, CCTA/UENF. E-mail: pirapora@uenf.br

⁽⁵⁾ Professor Titular do Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRJ. CEP 23851-970 Seropédica (RJ). Email: gasantos@ufrj.br

compartimento de relevante contribuição a solos com baixos teores desses nutrientes.

Termos de indexação: carbono, nitrogênio, biomassa microbiana e eucalipto.

SUMMARY: MICROBIAL BIOMASS AND ACTIVITY IN SOIL AND FOREST LITTER OF EUCALYPTUS PLANTATIONS AND NATIVE VEGETATION IN SOUTHEASTERN BRAZIL

In Brazil, afforestation programs use mainly eucalyptus and it has been frequently questioned due to possible changes in the soil caused by this exotic tree species. The impact of land use changes can vary with climate conditions and soil, and results obtained in a specific area may not be extrapolated to the supra-regional level. Biomass and microbial activity have been suggested as appropriate indicators of soil disturbance caused by management techniques. In this study, these characteristics were used to evaluate changes in forest litter and soil where the native forest was replaced by eucalyptus plantations in four southeastern areas of Brazil. The amounts of forest litter were higher in eucalyptus stands than in the native forest due to the higher C:N ratio of the material. The impact of the conversion of native forest into eucalyptus stands on soil and forest floor properties varied in the site-specific characteristics analyzed. Differences between the contents of microbial biomass C and N in eucalypt and native vegetation were more frequently observed in the soil than in forest litter. Forest litter microbial biomass represented a larger reservoir of C and N than soil microbial biomass, representing a relevant component for C and N cycling in these ecosystems.

Index terms: carbon, nitrogen, microbial biomass and eucalyptus.

INTRODUÇÃO

A preocupação com a sustentabilidade de plantações florestais na região tropical é crescente, em virtude do aumento da intensidade das técnicas de manejo utilizadas (Nambiar, 1996; Barros & Comerford, 2002), visando ao ganho de produtividade. Isso resulta em alterações no estoque e no fluxo de nutrientes em magnitude que variam com as condições iniciais do solo com o material genético utilizado e com as técnicas de manejo. No Brasil, nos últimos anos, estudos de abrangência local ou regional (Gonçalves et al., 2000; Lazari, 2001; Gatto et al., 2003) têm avaliado o impacto de técnicas de manejo no solo e no crescimento das árvores. Sítios de alta qualidade, mesmo que submetidos a ciclos sucessivos de produção, podem ter as propriedades químicas do solo menos afetadas. Em outros sítios, a redução da fertilidade do solo pode atingir níveis que comprometem a produtividade, a não ser que as necessidades de nutrientes sejam supridas por fertilizantes (O'Connell & Sankaran, 1997).

No Brasil, o eucalipto tem sido a principal essência utilizada nos programas de reflorestamento e, quase sempre, questiona-se sobre as mudanças que podem promover no solo. Sabe-se, por exemplo, que ele apresenta alta eficiência de uso de nutrientes, produzindo, como consequência, serapilheira de baixa

qualidade nutricional quando comparada àquela da maioria das florestas tropicais naturais (Gama-Rodrigues & Barros, 2002). Essa serapilheira, com baixa taxa de decomposição, poderia atuar como uma barreira física contra processos erosivos e funcionaria como uma reserva de nutrientes para futuros plantios de eucalipto ou outra cultura (Gama-Rodrigues, 1997).

Pela extensão da área cultivada com eucalipto no País, há um crescente interesse em avaliar seus possíveis efeitos nos atributos do solo. Uma das estratégias utilizadas para avaliar alterações do solo em decorrência do tipo de uso e de técnicas de manejo é a comparação de atributos do solo manejado com os de solo não manejado sob vegetação natural (Barros & Comerford, 2002). Nesse sentido, a biomassa microbiana tem sido considerada um atributo sensível aos impactos causados pelo manejo do solo (Gama-Rodrigues, 1997). Ela representa o compartimento no qual a ciclagem de C orgânico é mais rápida, e tem sido usada em estudos de fluxos de C e de nutrientes em vários ecossistemas terrestres (van Veen et al., 1984; Jenkinson & Parry, 1989; Paul & Clark, 1989; Ross et al., 1995; Gama-Rodrigues et al., 1997). A biomassa e a atividade microbiana têm sido propostas como bioindicadores dos níveis de matéria orgânica e da qualidade do solo, auxiliando na orientação de mudanças das técnicas de manejo do solo (Mele & Carter, 1993).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações de atributos químicos e microbiológicos da serapilheira e da camada superficial do solo mineral em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios florestais da Região Sudeste do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de solo e de serapilheira foram coletadas em plantios comerciais de eucalipto, com sete anos de idade e em áreas contíguas de formação arbórea nativa (Quadro 1), em quatro sítios florestais do Sudeste brasileiro: Aracruz-ES (A), Guanhães-MG (G), Luís Antônio-SP (L.A) e Lençóis Paulista-SP (L.P) em novembro de 1995. Em cada sítio, para cada cobertura florestal, estabeleceram-se quatro parcelas (20 x 20 m) para amostragem do solo e da serapilheira. Em cada parcela, coletaram-se quatro amostras compostas (1 amostra composta/ 23 amostras simples) de solo da camada de 0–10 cm. Para a coleta da serapilheira, considerada aqui como todo material acumulado sobre o solo (folhas, galhos, cascas etc.), em diferentes graus de decomposição, utilizou-se um gabarito quadrado de madeira de 0,25 m² em quatro repetições. As amostras de solo e de serapilheira foram armazenadas a 4 °C (Wardle, 1992) por um período de 15 dias antes das análises.

As amostras de solo foram destorreadas e passadas em peneira de 1,68 mm de malha, homogeneizadas, retirando-se as raízes e resíduos visíveis de plantas e animais do solo. As amostras de solo foram incubadas por cinco dias, em recipiente contendo um frasco com água e outro com NaOH 1 mol L⁻¹ para absorver o CO₂ liberado do solo. Após este período, padronizou-se a umidade até atingir o equivalente de umidade respectivo de cada uma das amostras. Para as amostras de serapilheira, a correção da umidade foi feita de acordo com a capacidade máxima de saturação de cada amostra. A respiração do solo e da serapilheira foram estimadas pela quantidade de C-CO₂ liberado no período de sete dias e cinco dias de incubação,

respectivamente. Procedeu-se à incubação colocando-se cada um dos frascos de solo (50 g) e de serapilheira (4 g) em potes contendo frascos com 10 mL de NaOH 1,0 mol L⁻¹. Os potes foram hermeticamente fechados e, após o período de incubação, procedeu-se à titulação com HCl 0,5 mol L⁻¹.

Os solos foram analisados para determinação do pH em água; P e K (extraíveis por Mehlich-1), Ca, Mg e Al (trocáveis, por KCl 1 mol L⁻¹) (Defelipo & Ribeiro, 1981); C orgânico (oxidação com K₂Cr₂O₇ 1,25 mol L⁻¹ em meio ácido) (Anderson & Ingram, 1996); N total (método Kjeldahl) (Embrapa, 1997) e granulometria que foi realizada pelo método da pipeta (Embrapa, 1997) (Quadro 2).

O C orgânico do solo foi determinado por oxidação com K₂Cr₂O₇, 0,4 mol L⁻¹ e N total pelo método Kjeldahl (Embrapa, 1997). Assumiu-se que o teor de C da serapilheira era de 50 % do peso da matéria seca (van Wesemael, 1993). A extração do N mineral foi feita com KCl 1 mol L⁻¹ e a dosagem do N-NH₄⁺ e do N-NO₃⁻ realizada pelo sistema de fluxo contínuo (FIA) (Alves, 1992). Na serapilheira, após secagem em estufa a 75 °C até peso constante, determinou-se o teor de N (Bataglia et al., 1983).

O método da fumigação-extracção foi utilizado para estimar o C e o N da biomassa microbiana do solo (CBMS e NBMS, respectivamente) (Tate et al., 1988) e da serapilheira (CBMSE e NBMSE, respectivamente). Pesaram-se 20 g de solo e 2 g de serapilheira (três amostras fumigadas e três não-fumigadas). As amostras foram fumigadas com clorofórmio livre de álcool por 24 h. O C das amostras não-fumigadas foi extraído simultaneamente à aplicação da fumigação das outras amostras.

Para a extração do C e do N, utilizaram-se 50 mL de K₂SO₄ 0,5 mol L⁻¹ com pH entre 6,5 e 6,8. As amostras foram agitadas por 30 min, em mesa agitadora com movimento circular-horizontal, e, depois, deixadas em repouso por 30 min para decantação e posterior filtragem. A determinação do C foi realizada adicionando-se ao extrato 2 mL de K₂Cr₂O₇ 0,066 mol L⁻¹, 10 mL de H₂SO₄ concentrado e 5 mL H₃PO₄, com fonte externa de calor. O

Quadro 1. Classificação dos solos, de espécies de eucalipto, do tipo de formação florestal e das características climáticas de cada sítio estudado

Sítio	Classificação	Espécie de eucalipto	Formação florestal	Temperatura ⁽¹⁾	Precipitação
Aracruz/ES	Argissolo Amarelo	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> ⁽²⁾	Mata Atlântica	25	1.522
Guanhães/MG	Latossolo Vermelho-Amarelo	<i>E. grandis</i>	Transição Mata Atlântica Cerrado	23	1.258
Luís Antônio/SP	Neossolo	<i>E. grandis</i>	Cerrado	23	1.630
Lençóis Paulista/SP	Latossolo Vermelho-Escuro	<i>E. grandis</i>	Cerrado	21	1.627

⁽¹⁾ Média anual. ⁽²⁾ Clone de híbrido.

Quadro 2. Matéria seca, nitrogênio total e relação C:N de serapilheira sob povoamentos de eucalipto e formação nativa (média de quatro repetições)

Sítio	Sistema	Matéria seca	N total	Relação C:N
Aracruz/ES	Eucalipto	Mg ha ⁻¹	g kg ⁻¹	
	Formação nativa	37,6 a 22,5 b	8,1 b 16,7 a	62 a 30 b
Guanhães/MG	Eucalipto	6,4 a	8,8 b	57 a
	Formação nativa	3,8 b	18,3 a	27 b
Luís Antônio/SP	Eucalipto	9,5 a	7,7 b	65 a
	Formação nativa	8,7 b	15,1 a	33 b
Lençóis Paulista/SP	Eucalipto	4,2 a	10,9 a	46 a
	Formação nativa	2,4 b	14,2 a	35 b

Letras iguais nas colunas referentes ao mesmo sítio não diferiram significativamente pelo teste de Duncan a 5 %.

dicromato em excesso foi titulado com sulfato ferroso amoniacoal 0,03 mol L⁻¹. O N microbiano foi determinado pelo método do N-reactivo-de-ninidrina (Joergensen & Brookes, 1990). Em tubos de ensaio de 20 mL, adicionaram-se o extrato (0,75 mL), ácido cítrico tampão (1,75 mL) e o reagente de ninidrina (1,25 mL). Os tubos de ensaio foram mantidos em banho-maria por 25 min, com temperatura próxima a 100 °C. A solução foi resfriada em temperatura ambiente e, após o resfriamento, foram adicionados 4,5 mL de uma solução de etanol:água na relação 1:1. Após a homogeneização, procedeu-se à leitura em espectrofotômetro ajustado para o comprimento de onda de 570 nm.

Calcularam-se os seguintes índices microbiológicos: relações C da biomassa microbiana/ C orgânico (CBM:C), N da biomassa microbiana/ N total (NBM:N) (Sparling, 1992) e o quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), calculado pela relação entre a respiração acumulada e o C da biomassa microbiana (Anderson & Domsch, 1993), sendo expresso em mg CO₂ g⁻¹ dia⁻¹ CBM. Os dados referentes aos atributos microbiológicos dos solos sob eucalipto (CBMS, NBMS e RAS) foram extraídos de Gama-Rodrigues et al. (2005).

Em cada sítio, os dados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado e adotando-se o teste F, a 5 %, para comparação entre coberturas vegetais.

O conjunto dos dados dos quatro sítios também foram submetidos à análise de componentes principais, que tem como objetivo sintetizar a variação multidimensional dos dados analisados em um diagrama, ordenando-os nos eixos, de acordo com suas similaridades em torno das variáveis utilizadas (Ter Braak, 1986). Para esta análise, utilizaram-se os atributos microbiológicos do solo e da serapilheira, C orgânico, N total e teor de argila do solo e N total da serapilheira (denominadas variáveis absolutas), através do programa estatístico GENES (Cruz, 2001).

A análise por componentes principais consiste em transformar um conjunto original de variáveis em outro conjunto de dimensão equivalente. Cada componente principal é uma combinação linear das variáveis originais. Autovetor é o valor que representa o peso de cada variável em cada componente (eixos) e funciona como coeficiente de correlação, variando de -1 até +1. As variáveis com elevado autovetor no primeiro eixo tendem a ter autovetor inferior no segundo eixo. Além disso, os componentes principais são independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimativação, o máximo de informação em termos de variação total contida nos dados iniciais (Cruz & Regazzi, 1997). A carga associada aos componentes principais é o valor que representa a contribuição relativa de cada componente para explicar a variação total dos dados. Neste trabalho, considerou-se o valor de carga > 0,5 e < 0,7 como de baixa associação para a interpretação dos componentes principais (Wick et al., 1998).

O número de componentes utilizados para explicar a variação dos dados pode igualar-se ao número de variáveis, porém os eixos posteriores contribuem cada vez menos para explicar os dados. Na maioria dos estudos, como neste trabalho, apenas os dois primeiros componentes são utilizados, pois são considerados suficientes para explicar os dados e facilitam a interpretação do gráfico em duas dimensões (Gomes et al., 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serapilheira

A quantidade de serapilheira variou de 4,2 a 37,6 Mg ha⁻¹ nos povoamentos de eucalipto e de 2,4 a 22,5 Mg ha⁻¹ nas formações nativas, sendo o maior valor observado nas duas coberturas vegetais do sítio de Aracruz (Quadro 2). O teor de N total nos eucaliptos

variou de 7,7 a 10,9 g kg⁻¹ e de 14,2 a 18,3 g kg⁻¹ nas formações nativas dos diferentes sítios (Quadro 2). O acúmulo de serapilheira é determinado pelo balanço entre a queda de folhas e a taxa de decomposição. Estima-se que a acumulação de serapilheira em florestas naturais seja equivalente a 2 % da fitomassa produzida (Brown & Lugo, 1982) e esta proporção quase sempre aumenta em florestas plantadas. Esta diferença é decorrente da baixa taxa de decomposição da serapilheira nas florestas plantadas, devida à ação de um ou mais fatores, como baixa qualidade nutricional da serapilheira, baixa fertilidade e umidade do solo, pH inadequado à atividade biológica, baixa densidade e diversidade de organismos decompositores (O'Connell & Sankaran, 1997).

Gama-Rodrigues & Barros (2002), em plantios de eucalipto e floresta natural do sul da Bahia, encontraram um acúmulo de serapilheira de 13,5 e 10,1 Mg ha⁻¹, respectivamente. Os autores atribuíram este maior acúmulo de serapilheira no eucalipto à sua baixa qualidade nutricional, ao menor teor de N e aos demais nutrientes em comparação com a floresta natural, assim como valores mais elevados das relações C:N, lignina:N e (lignina + celulose):N da serapilheira.

Guanhães foi o sítio onde os atributos microbiológicos da serapilheira do eucalipto diferiram consistentemente dos da mata nativa (Quadro 3). Nos demais sítios, esses atributos foram semelhantes, exceto a RASE (respiração acumulada da serapilheira) em Lençóis Paulista e NBM:NSE em Luiz Antônio e Lençóis Paulista. Isso indicaria que, apesar de possíveis diferenças entre os dois tipos de serapilheira, a do eucalipto representaria um substrato adequado à atividade microbiana nos locais estudados, exceto em Guanhães.

Os valores de C (CBMSE) e N (NBMSE) da biomassa microbiana da serapilheira, quando comparados com os valores respectivos do solo, indicaram que a biomassa microbiana da serapilheira representou uma reserva de C e N maior do que a biomassa microbiana do solo na profundidade de 0–10 cm (Quadros 3 e 4). Ross et al. (1995), em solos sob plantio de *Pinus* em idades entre 1 e 33 anos, na Nova Zelândia, encontraram valores de CBMSE de 40 a 85 % maiores do que aqueles obtidos para CBMS. Já o NBMSE foi 25 a 50 % maior do que os valores de NBMS. Valores próximos foram encontrados por Gama-Rodrigues (1997) em povoamentos de eucalipto com 1 a 7 anos. Ndaw (2003) e Monteiro (2001) encontraram valores de CBMSE em torno de 12 e 18 vezes maiores do que os valores de CBMS e os valores de NBMSE em torno de 17 e 20 vezes maiores do que os de NBMS, respectivamente, em solos sob plantios de eucalipto no norte fluminense. Assim, a serapilheira seria um compartimento de relevante contribuição principalmente em solos de baixa fertilidade, favorecendo a atividade microbiana e o fornecimento de nutrientes para as plantas.

A diferença entre CBMSE e CBMS foi menor no sítio Guanhães, em que o CBMSE foi 6 a 7 vezes maior que o CBMS nas duas coberturas florestais, e maior no sítio Lençóis Paulista, atingindo 78 vezes no eucalipto. Esses resultados sugerem que os solos sob eucalipto e formação nativa do sítio de Guanhães, por serem argilosos e com maiores teores de C orgânico e N total, favoreceriam a atividade e biomassa microbiana (Quadro 4).

O acúmulo de matéria orgânica em solos argilosos, em relação aos arenosos, provém da maior estabilidade da matéria orgânica nos primeiros, nos quais ela fica menos acessível à ação dos microrganismos

Quadro 3. Atributos microbiológicos de serapilheira sob povoamentos de eucalipto e formação nativa (média de quatro repetições)

Sítio	Sistema	CBMSE	NBMSE	RASE	qCO ₂ SE	CBM:CSE	NBM:NSE	C:N microbiana
———— µg g solo seco ⁻¹ ———								
Aracruz/ES	Eucalipto	4.491 a	553 a	9.288 a	414 a	0,90 a	6,83 a	8,12 a
	Formação nativa	7.293 a	632 a	9.724 a	267 a	1,46 a	3,78 a	11,54 a
Guanhães/MG	Eucalipto	1.828 a	358 a	14.322 a	1.567 a	0,36 a	4,09 a	5,11 b
	Formação nativa	4.313 b	242 b	10.175 b	472 b	0,86 b	1,32 b	17,82 a
Luís Antônio/SP	Eucalipto	1.876 a	1.007 a	6.877 a	733 a	0,38 a	13,07 a	1,86 a
	Formação nativa	2.400 a	938 a	6.830 a	569 a	0,48 a	6,21 b	2,56 a
Lençóis Paulista/SP	Eucalipto	4.875 a	885 a	8.120 b	333 a	0,98 a	8,12 b	5,51 a
	Formação nativa	8.417 a	1.874 a	13.158 a	313 a	1,68 a	13,20 a	4,49 a

CBMSE: carbono da biomassa microbiana da serapilheira; NBMSE: nitrogênio da biomassa microbiana da serapilheira; RASE: respiração acumulada da serapilheira; qCO₂SE: quociente metabólico da serapilheira (mg CO₂-C g CBM⁻¹ dia⁻¹); CBM:CSE: relação C microbiano: C orgânico da serapilheira; NBM:NSE: relação N microbiano: N total da serapilheira; C:N microbiana: relação C:NSE microbiana da serapilheira. Letras iguais nas colunas referentes ao mesmo sítio não diferiram significativamente pelo teste de Duncan a 5 %.

Quadro 4. Atributos microbiológicos de solos sob povoamentos de eucalipto e formação nativa (média de quatro repetições)

Sítio	Sistema	CBMS	NBMS	RAS	qCO ₂ S	CBM:CS	NBM:NS	C:N microbiana
———— μg g solo seco ⁻¹ ———								
Aracruz/ES	Eucalipto	80,6 a	23,6 b	35,3 b	62,6 a	1,0 a	3,3 b	3,4 a
	Formação nativa	135 a	58,3 a	57,3 a	60,8 a	1,2 a	5,8 a	2,3 a
Guanhães/MG	Eucalipto	310,2 b	96,2 b	43,8 b	20,2 a	2,5 b	6,9 a	3,2 a
	Formação nativa	597 a	174,3 a	97,6 a	23,4 a	3,2 a	7,3 a	3,4 a
Luís Antônio/SP	Eucalipto	95,3 b	9,2 a	14,6 b	21,8 a	1,9 b	2,3 a	10,4 a
	Formação nativa	136,9 a	20,2 a	29,7 a	31,0 a	3,6 a	5,1 a	6,8 a
Lençóis Paulista/SP	Eucalipto	62,4 b	16,8 b	63,3 b	144,8 a	0,9 b	4,2 a	3,7 a
	Formação nativa	270,3 a	71,9 a	89,5 a	47,3 b	2,5 a	4,8 a	3,8 a

CBMS: carbono da biomassa microbiana do solo; NBMS: nitrogênio da biomassa microbiana do solo; RAS: respiração acumulada do solo; qCO₂S: quociente metabólico do solo (mg CO₂-C g CBM⁻¹ dia⁻¹); CBM:CS: relação C microbiano: C orgânico do solo; NBM:NS: relação N microbiano: N total do solo; C:N microbiana: relação C:N microbiana do solo. Letras iguais nas colunas referentes ao mesmo sítio não diferiram significativamente pelo teste de Duncan a 5 %.

decompositores (Oades, 1995), proporcionando um aumento na quantidade de substrato e energia necessário ao metabolismo microbiano (Volkoff et al., 1984; Scholes et al., 1994). Já em solos de textura mais arenosa, a matéria orgânica tende a ser decomposta mais rapidamente.

Os índices microbiológicos pouco variaram entre as coberturas vegetais nos diferentes sítios, com exceção de Guanhães, que apresentou menores valores de qCO₂SE, CBM:CSE, NBM:NSE e maior relação C:N microbiana na serapilheira da formação nativa (Quadro 3).

A análise de componentes principais foi utilizada para explicar a variação total entre a serapilheira de eucalipto e da formação nativa dos diferentes sítios, analisando-se conjuntamente os atributos microbiológicos (CBMSE, NBMSE e RASE) e o N total. O primeiro componente (CP1) apresentou autovalor de 44,05 %, portanto, o que melhor explicou a variância total entre as coberturas florestais. A variável que mais se associou a este componente foi o CBMSE. O NBMSE apresentou baixa associação (< 0,70) e, assim, foi considerado de menor importância para explicar este componente principal. O N total foi a variável que mais se correlacionou ao segundo componente (CP2), que apresentou autovalor de 25,19 %. O NBMSE também apresentou baixa associação (< 0,70) com CP2 (Quadro 5). Desse modo, entre as variáveis analisadas, o CBMSE foi a variável mais discriminante na avaliação da variação total entre as serapilheiras dos diferentes sítios.

A dispersão gráfica com base nas variáveis absolutas da serapilheira (CBMSE, NMBSE, RASE e N total), representada pela figura 1a, mostra a similaridade das características da serapilheira do

Quadro 5. Cargas relativas das diferentes variáveis associadas aos componentes principais no compartimento serapilheira (as cargas sublinhadas foram usadas para interpretar cada componente principal)

Variável absoluta	CP1	CP2	CP3
CBMSE	<u>0,929</u>	0,013	- 0,042
NBMSE	<u>0,601</u>	- <u>0,641</u>	- 0,402
RASE	0,419	- 0,168	<u>0,883</u>
N total	0,595	<u>0,754</u>	- 0,144
Índice			
qCO ₂ SE	<u>0,845</u>	- 0,363	- 0,304
CBM:CSE	<u>0,784</u>	0,498	- 0,105
NBM:NSE	0,360	<u>0,874</u>	- 0,257
C:NSE microbiana	- <u>0,783</u>	- 0,487	- 0,342

eucalipto nos sítios estudados e, por outro lado, maior dispersão da serapilheira das formações nativas ao longo dos dois eixos, sugerindo certo grau de dissimilaridade entre elas no que tange às características avaliadas. As variáveis absolutas expressam a qualidade da serapilheira. Assim, a similaridade observada entre as serapilheiras do eucalipto justifica-se por se tratar da mesma espécie de eucalipto em todas as áreas, produzindo resíduos vegetais de qualidade semelhante. No caso das formações nativas, são diferentes espécies vegetais, além da tipologia (Quadro 1), que contribuem para a produção da serapilheira, conferindo-lhes qualidades distintas em cada um dos sítios.

Em relação aos índices microbiológicos da serapilheira ($q\text{CO}_2\text{SE}$, CBM:CSE, NBM:NSE, C:NSE microbiana), a análise de componentes principais apresentou autovalores de 51,78 % para o primeiro eixo, 34,52 % para o segundo eixo, representando 86,30 % da variância total acumulada nos dois primeiros componentes principais. As variáveis mais associadas ao CP1 e que, portanto, melhor explicaram a variação total dos dados foram: $q\text{CO}_2\text{SE}$ e as relações CBM:CSE e C:NSE microbiana. A relação NBM:NSE foi mais associada ao CP2 (Quadro 5).

A figura 1b, que representa a dispersão gráfica de acordo com os índices microbiológicos, mostra, ao contrário da dispersão gráfica dada pelas variáveis absolutas, que as serapilheiras dos eucaliptos foram dissimilares entre si, assim como as das vegetações nativas. Os índices microbiológicos foram, portanto, mais discriminantes do que as variáveis absolutas,

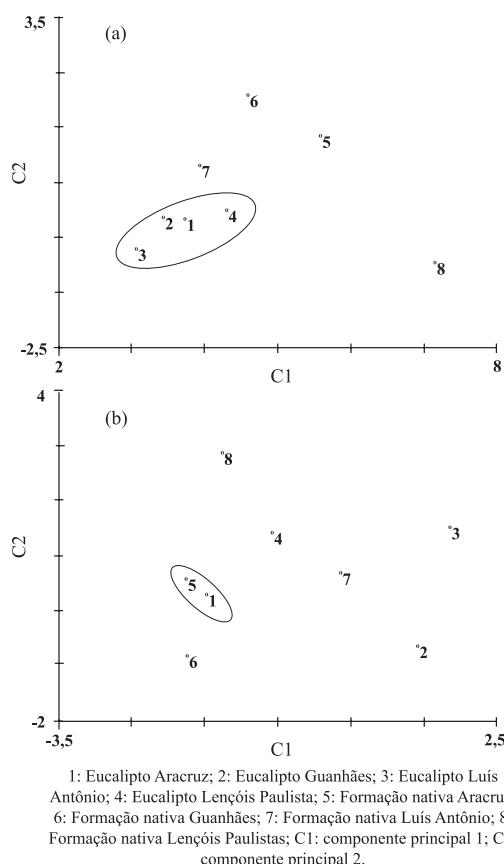


Figura 1. Dispersão gráfica em relação aos dois primeiros componentes principais, com base em quatro atributos de qualidade (CBMSE, NBMSE e RASE e nitrogênio total): (a) e quatro índices microbiológicos ($q\text{CO}_2\text{SE}$, CBM:CSE, NBM:NSE, C:NSE microbiana); (b) da serapilheira de povoamentos de eucalipto e formação nativa em diferentes sítios do Brasil.

por serem indicadores das transformações de C e N. Segundo Joergensen & Brookes (1990) e Sparling (1992), o $q\text{CO}_2$ e as relações CBM:C, NBM:N e C:N microbiana expressam a eficiência da biomassa microbiana em imobilizar C e N em função da qualidade nutricional da matéria orgânica.

Desse modo, é importante tanto o uso das variáveis absolutas quanto dos índices, pois geram informações complementares no estudo de dissimilaridade das serapilheiras de diferentes coberturas florestais.

Apenas no sítio Aracruz houve similaridade entre a serapilheira do eucalipto e a formação nativa, confirmando a análise, em escala regional, do sítio que apresentou os maiores valores para os atributos da serapilheira (Quadro 2). Pela dispersão gráfica (Figura 1b), percebe-se que as variações ocorridas entre as coberturas vegetais, nos dois primeiros componentes principais, não foram somente pela substituição da vegetação. É provável que as dissimilaridades observadas entre os povoamentos de eucalipto sejam decorrentes da interação de outros fatores de qualidade da serapilheira (teores de lignina e polifenóis, umidade, temperatura e biota decompositora), intrínsecos a cada um dos sítios, que não foram analisados neste trabalho e devem influenciar os processos de imobilização e mineralização de C e N da serapilheira. No caso das formações nativas, as diferenças de qualidade observadas na análise de componentes principais das variáveis absolutas (Figura 1a) seriam as responsáveis pelas dissimilaridades nas transformações de C e N, expressas pelos índices microbiológicos.

Solo

Os solos dos sítios estudados apresentaram elevada acidez, níveis baixos de fertilidade (Quadro 6), diferenças texturais, em especial os do sítio Guanhães (Quadro 7), o que influenciou o teor de matéria orgânica (Quadro 8). O N-NH_4^+ foi a forma predominante do N mineral em todos os solos, exceto no sítio de Guanhães (Quadro 8). Apenas alguns dos atributos químicos e microbiológicos do solo foram distintos entre as coberturas vegetais (Quadros 4 e 8). Estes resultados não se repetiram em todos os sítios, indicando que, mais do que o efeito de mudança de cobertura vegetal, há uma condição inerente aos solos que leva à variação destes atributos.

Os atributos microbiológicos (CBMS, NBMS e respiração acumulada - RAS), químicos (C orgânico, N total, N-NH_4^+ e N-NO_3^-) e o teor de argila dos solos foram distribuídos em dois componentes principais, explicando 94,40 % da variação total entre as coberturas vegetais nos diferentes sítios (75,64 % para o primeiro componente e 18,76 % para o segundo). Todas as variáveis analisadas contribuíram para a formação do CP1, exceto o teor de N-NH_4^+ que foi a variável mais associada ao CP2 (Quadro 9). Portanto, todos os atributos analisados foram relevantes na avaliação da variação total dos solos nos diferentes sítios.

Quadro 6. Características químicas dos solos sob povoamentos de eucalipto e vegetação nativa (média de quatro repetições)

Sítio	Sistema	pH	P	K	Ca	Mg
		— mg dm ⁻³ —			— cmol _c dm ⁻³ —	
Aracruz/ES	Eucalipto	5,0	2,7	20,3	1,1	0,2
	Vegetação nativa	4,9	3,8	22,8	1,0	0,5
Guanhães/MG	Eucalipto	4,3	0,7	12,8	0,1	0,1
	Vegetação nativa	4,6	1,5	26,0	0,1	0,1
Luís Antônio/SP	Eucalipto	5,4	23,5	4,0	0,3	0,3
	Vegetação nativa	4,8	5,6	8,3	0,1	0,0
Lençóis Paulista/SP	Eucalipto	5,1	4,1	6,8	0,2	0,1
	Vegetação nativa	4,6	4,9	40,3	0,6	0,2

Quadro 7. Composição granulométrica dos solos nos diferentes sítios florestais

Sítio	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Classe textural
— g kg ⁻¹ —					
Aracruz/ES	420	200	50	330	Franco argilo-arenoso
Guanhães/MG	230	090	90	590	Argila
Luís Antônio/SP	470	460	10	60	Areia
Lençóis Paulista/SP	480	370	20	130	Areia -franca

Quadro 8. Teores de carbono orgânico, nitrogênio total, N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ de solos sob povoamento de eucalipto e formação nativa (média de quatro repetições)

Sítio	Sistema	C orgânico	N total	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻
		— g kg ⁻¹ —	— µg g solo seco ⁻¹ —		
Aracruz/ES	Eucalipto	7,7 b	0,7 b	9,9 a	3,2 a
	Formação nativa	11,1 a	1,0 a	11,9 a	3,9 a
Guanhães/MG	Eucalipto	12,3 b	1,4 b	5,0 a	7,3 b
	Formação nativa	18,4 a	2,4 a	7,7 a	19,3 a
Luís Antônio/SP	Eucalipto	4,9 a	0,4 a	6,7 b	1,0 b
	Formação nativa	3,8 b	0,4 a	10,4 a	1,8 a
Lençóis Paulista /SP	Eucalipto	6,8 b	0,4 b	11 b	0,6 b
	Formação nativa	10,9 a	1,5 a	22,9 a	7,6 a

Letras iguais nas colunas referentes ao mesmo sítio não diferiram pelo teste de Duncan a 5 %.

A figura 2a mostra a dispersão gráfica das coberturas vegetais em relação aos dois primeiros componentes e demonstra, semelhantemente ao observado para as variáveis absolutas da serapilheira, que, para os atributos analisados nos solos sob plantios de eucaliptos, com exceção do solo sob eucalipto do sítio Guanhães, foram similares entre si.

Os solos sob formação nativa foram similares aos de eucalipto nos sítios Aracruz e Luís Antônio, ao contrário dos solos do sítio Lençóis Paulista, que apresentaram dissimilaridade entre as coberturas. Estes resultados sugerem que o impacto da substituição de uma cobertura vegetal por outra pode variar com as condições de solo e, portanto, os

Quadro 9. Cargas relativas das diferentes variáveis associadas aos componentes principais no compartimento solo (as cargas sublinhadas foram usadas para interpretar cada componente principal)

Variável absoluta	CP1	CP2
CBMS	<u>0,958</u>	- 0,043
NBMS	<u>0,993</u>	- 0,059
RAS	<u>0,779</u>	0,559
C orgânico	<u>0,979</u>	- 0,009
N total	<u>0,991</u>	0,073
NH ₄ ⁺	- 0,018	<u>0,978</u>
NO ₃ ⁻	<u>0,977</u>	- 0,002
Teor de argila	<u>0,805</u>	- 0,470
Índice		
qCO ₂ S	<u>0,816</u>	0,414
CBM:CS	- <u>0,916</u>	- 0,197
NBM:NS	- <u>0,716</u>	<u>0,679</u>
C:NS microbiana	0,033	- <u>0,981</u>

resultados obtidos numa região podem não ser extrapoláveis numa avaliação supra-regional, o que reforça o já relatado por O'Connell & Sankaran (1997).

A análise de componentes principais foi utilizada para explicar a variação total entre os solos de eucalipto e formação nativa dos diferentes sítios, analisando-se conjuntamente os índices microbiológicos do solo (qCO₂S; relação C da biomassa microbiana: C orgânico do solo - CBM:CS; relação N da biomassa microbiana: N total do solo - NBM:NS e relação C:N microbiana). O primeiro componente principal apresentou autovalor de 50,47 %, portanto o que melhor explicou a variância total entre as coberturas vegetais dos diferentes sítios. O CP2 apresentou autovalor de 40,87 %, perfazendo 91,34 % da variância total acumulada. As variáveis mais associadas ao CP1 foram qCO₂S, relações CBM:CS e NBM:NS, e esta última também se associou ao CP2, porém com carga de contribuição < 0,70. A relação C:N microbiana foi mais associada ao CP2 (Quadro 9).

A dispersão gráfica obtida pela análise de componentes principais mostra que os índices dos solos sob eucalipto e formação nativa do sítio Guanhães foram similares e que as dos outros solos foram dissimilares entre si (Figura 2b). Estes resultados corroboram àqueles obtidos para variáveis absolutas do solo, sugerindo que, em sítios de melhor qualidade, o estoque de C e N do solo e a eficiência da biomassa microbiana em imobilizar e mineralizar estes nutrientes seriam menos afetados pela substituição de cobertura vegetal.

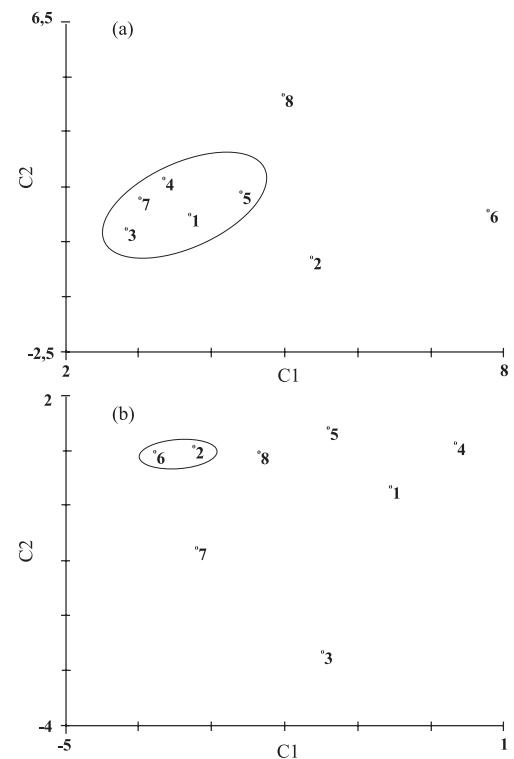


Figura 2. Dispersão gráfica em relação aos dois primeiros componentes principais, com base em oito atributos de qualidade (CBMS, NBMS e respiração acumulada - RAS, Carbono orgânico, N total, N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ e teor de argila); (a) e quatro índices microbiológicos (qCO₂S; CBM:CS, NBM:NS e relação C:N microbiana); (b) solo de povoados de eucalipto e formação nativa em diferentes sítios do Brasil.

CONCLUSÕES

1. Nas condições deste trabalho, a dissimilaridade entre as coberturas vegetais variou de acordo com o compartimento amostrado de serapilheira e solo.
2. O impacto da conversão da formação nativa para eucalipto nos atributos da serapilheira e do solo analisados variou conforme as características específicas de cada sítio florestal.
3. A biomassa microbiana da serapilheira representou uma reserva de C e N maior do que a biomassa microbiana do solo na profundidade 0–10 cm, constituindo-se num compartimento de relevante contribuição em solos com baixos teores desses nutrientes.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Bruno José Rodrigues Alves, pelo auxílio nas análises de N mineral.

LITERATURA CITADA

- ALVES, B.J.R. Avaliação da mineralização do N do solo *in situ*. Itaguaí, RJ. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1992. 177p. (Tese de Mestrado)
- ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol. Biochem.*, 25:393-395, 1993.
- ANDERSON, J.D. & INGRAM, J.S.I. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. 2 ed. Wallingford, CAB International, 1996. 171p.
- BARROS, N.F. & COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L.M., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira Ciência do Solo, 2002. p.487-592.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R. & GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78)
- BROWN S. & LUGO, A.E. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in global carbon cycle. *Biotropica*, 14:161-187, 1982.
- CRUZ C.D. Programa Genes: versão windows; aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001, 648p.
- CRUZ, C.D. & REGAZZI, A.J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 390p.
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1981. 17p. (Boletim de Extensão, 29).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- GAMA-RODRIGUES, A.C. & BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudeste da Bahia, Brasil. *R. Árvore*, 26:193-207, 2002.
- GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. & SANTOS, G.A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:393-901, 2005.
- GAMA-RODRIGUES, E.F. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo e da serapilheira de povoamentos de eucalipto. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1997. 108p. (Tese de Doutorado)
- GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. & BARROS, N.F. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:361-365, 1997.
- GATTO, A.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; COSTA, L.M. & NEVES, J.C.L. Efeito do método de preparo do solo, em área de reforma, na suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*. *R. Árvore*, 27:635-646, 2003.
- GOMES, J.B.V.; CURI, N.; MOTTA, P.E.F.; KER, J.C.; MARQUES, J.J.G.S.M. & SCHULZE, D.G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma Cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:137-154, 2004.
- GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; BENEDETTI, V.; FASSEL, V.A.G. & GAVA, J.L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M. & BENEDETTI, V., eds. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba, IPEF, 2000. p.1-57.
- JENKINSON, D.S. & PARRY, L.C. The nitrogen cycle in the broadbalk wheat experiment: a model for the turnover of nitrogen through the soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 21:535-541, 1989.
- JOERGENSEN, R.G. & BROOKES, P.C. Ninhydrin-reactive nitrogen measurements of microbial biomass in 0.5 M K₂SO₄ soil extracts. *Soil Biol. Biochem.*, 22:1023-1027, 1990.
- LAZARI, M.F. Nitrificação em solos sob plantações de eucaliptos com diferentes idades. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001.49p. (Tese de Mestrado)
- MELE, P.M. & CARTER, M.R. Effect of climatic factors on the use of microbial biomass as an indicator of changes in soil organic matter. In: MULONGOY, K. & MERCKX, R., eds. Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture. New York, Jonh Wiley & Sons, 1993. p.57-64.
- MONTEIRO, M.T. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana: Indicadores da qualidade do solo e da serapilheira em sítios florestais do norte fluminense. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2001. 77p. (Tese de Mestrado)
- NAMBIAR, E.K.S. Sustaining productivity of forests as a continuing challenge to soil science. *Soil Sci Soc. Am. J.*, 60:1629-1642, 1996.
- NDAW, S.M. Diversidade, biomassa e atividade microbiana como indicadores da qualidade do solo e da serapilheira em sítios sob diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2003. 89p. (Tese de Mestrado)

- OADES, J.M. Recent advances in organomineral interactions: Implications for carbon cycling and soil structure. In: HUANG, P.M., ed. Environmental impact of soil component interactions. Boca Raton, Lewis Publishers, 1995. p.114-134.
- O'CONNELL, A.M. & SANKARAN, K.V. Organic matter accretion, decomposition and mineralization. In: NAMBIAR, E.K.S. & BROWN, A.G., eds. Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forest. Melbourne, ACIAR, 1997. p.443-480.
- PAUL, E.A. & CLARK, F.E. Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover In: PAUL, E.A. & CLARK, F.E. Soil microbiology and biochemistry. California, Academic Press, 1989. p.117-132.
- ROSS, D.J.; SPARLING, G.P.; BURKE, C.M. & SMITH, C.T. Microbial biomass C and N, and mineralizable-N, in litter and mineral soil under *Pinus radiata* on a coastal sand: Influence of stand age and harvest management. *Plant Soil*, 175:167-177, 1995.
- SCHOLES, R.J.; DALAL, R. & SINGER, S. Soil physics and fertility: The effects of water, temperature and texture. In: WOOMER, P.L. & SWIFT, M.J., eds. The biological management of tropical soil fertility. Chichester, John Wiley, 1994. p 117-130.
- SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Aust. J. Soil Res.*, 30:195-207, 1992.
- TER BRAAK, C.J.F. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67:1167-1179, 1986.
- TATE, K.R.; ROSS, D.J. & FELTHAM, C.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Effects of experimental variables and some different calibration procedures. *Soil Biol. Biochem.*, 20:329-335, 1988.
- van WESEMAEL, B. Litter decomposition and nutrient distribution in humus profiles in some mediterranean forests in southern Tuscany. *For. Ecol. Manag.*, 57:99-114, 1993.
- van VEEN, J.A.; LADD, J.N. & FRISSEL, M.J. Modelling C and N turnover through the microbial biomass in soil. *Plant Soil*, 76:257-274, 1984.
- VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. & MELFI, J.A. Húmus e mineralogia dos horizontes superficiais de três solos de campo da altitude dos Estados de Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:277-283, 1984.
- WARDLE, D.A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biol. Rev.*, 67:321-358, 1992.
- WICK, B.; TIESSEN, H. & MENEZES, R. Land use changes following the conversion of the natural vegetation into silvo-pastoral systems in semi-arid NE Brazil. *Plant Soil*, 222:59-70, 1998.