

Atividade enzimática do solo sob dois fragmentos florestais

Enzymatic activity of the soil under two forest fragments from Brazil

Thiago Claudino GRÉGGIO¹, Ely NAHAS²

¹ Ex-aluno de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Microbiologia, FCAV /UNESP–Jaboticabal – SP

² Professor Titular do Departamento de Produção Vegetal, FCAV /UNESP–Jaboticabal. E-mail: enahas@fcav.unesp.br; Rod. Prof.º Paulo Donato Castellane, s/n, CEP: 14.884-900, Jaboticabal-SP – Brasil (autor para correspondência)

Resumo

Avaliaram-se os efeitos da variação mensal do clima e da profundidade de coleta do solo (0 - 2cm e 10 -12 cm) nas atividades enzimáticas microbianas de dois fragmentos florestais localizados no município de Jaboticabal-SP, com diferentes coberturas vegetais (Floresta e Cerradão) e a composição química do solo, utilizando-se do delineamento em parcelas subdivididas. Enquanto a atividade da desidrogenase não variou significativamente ($p>0,05$) durante o período de estudo, de outubro-2004 a junho-2005, a atividade da amilase diminuiu de 96%, e a da celulase, de 91 %. Essa redução da atividade pode ser atribuída à remoção da serapilheira e à conseqüente diminuição do suprimento de nutrientes no solo. A atividade dessas enzimas decresceu da camada do solo de 0 - 2 cm para a camada de 10 -12 cm. Esse decréscimo pode ser resultante da diminuição da matéria orgânica e da fertilidade do solo. Os teores de matéria orgânica e de umidade variaram, respectivamente, de 8 a 9 % e de 5 a 15 % no solo sob Cerradão e de 6 a 7 % e de 18 a 27 % no solo sob Floresta. A temperatura do solo oscilou de 19,4 °C a 25,1 °C. A pequena variação nos fatores climáticos não deve ter influenciado na variação das atividades das enzimas.

Palavras-chave adicionais: amilase; celulase; desidrogenase; floresta, cerradão.

Abstract

The effects of the monthly variation of the climate and the soil depth (0 - 2 cm and 10 -12 cm) were evaluated on the microbial enzymatic activities from two forest fragments located in Jaboticabal, state of São Paulo, Brazil, in which the covering vegetation was of the Forest and Savannah types and the soil chemical compositions were different. While the dehydrogenase activity did not vary significantly ($p>0.05$) during the period from October of 2004 to June of 2005, the amylase activity decreased of 96% and the cellulase of 91%. This reduction of the activity may be attributed to the litter removal and to the consequent decrease of nutrients in the soil. The activity of these enzymes decreased from the 0 - 2 cm soil layer to the 10 -12 cm. This is supposed to be due to the soil organic matter and fertility decrease. Organic matter and soil moisture contents ranged from 8 to 9% and from 5 to 15% in the Savannah soil and from 6 to 7% and from 18 to 27% in the Forest soil. Soil temperatures oscillated from 19.4 °C to 25.1 °C. The small variation of the climatic factors is not supposed to have influenced the variation of the enzymes activities.

Additional keywords: amylase; cellulose; dehydrogenase; forest, savannah.

Introdução

Os microrganismos são considerados as principais fontes de enzimas do solo (AJWA et al., 1999; AON et al., 2001), e o estudo da atividade enzimática tem sido reportado como indicador efetivo da qualidade do solo, da decomposição da matéria orgânica e da disponibilidade de nutrientes decorrentes das práticas de manejo ou do ambiente (BANERJEE et al., 2000; QUILCHANO & MARANÓN, 2002).

As enzimas de interesse na ciclagem de nutrientes são aquelas que catalisam a hidrólise de constituintes da matéria orgânica do solo, como amilase e celulase (JOSHI et al., 1993; FIORETTO et al., 2001). A desidrogenase é

outra enzima que tem sido utilizada como indicador da influência desses fatores na atividade microbiana (RAO et al., 1990; QUILCHANO & MARANÓN, 2002). O crescimento e a atividade dos microrganismos, no entanto, são sensíveis às características físicas e químicas do solo, à quantidade e qualidade da serapilheira e à influência do clima (PENNANEN et al., 1999). Em adição, vários autores relataram que a matéria orgânica é uma das principais variáveis do solo que influem na atividade enzimática (KLOSE & TABATABAI, 2000; REZENDE et al., 2001). Muitos destes estudos estão relacionados aos solos agrícolas (AON et al., 2001), sendo, porém, limitados em solos sob florestas.

Estudos anteriores mostraram que a atividade das enzimas microbianas do solo foi influenciada pelos fatores edáficos e climáticos (JHA et al., 1992; JENSEN et al., 1997; MAMILOV & DILLY, 2002). Na Indonésia, a atividade da desidrogenase do solo sob uma floresta de *Pinus* sp. correlacionou-se positivamente com o teor de umidade e negativamente com o conteúdo de carbono (GUNADI et al., 1998). Celulase e desidrogenase, medidas durante 15 semanas, variaram em função do aumento da umidade inicial e da diminuição do substrato na fase final (FABER et al., 1992).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da variação do clima e da profundidade de coleta de solo nas atividades enzimáticas microbianas de dois fragmentos florestais, Floresta e Cerradão, com diferentes coberturas vegetais e composição química do solo.

Material e métodos

O estudo foi realizado em dois remanescentes florestais, com aproximadamente 20 km

de distância um do outro, localizados no Município de Jaboticabal – SP, sendo um na FCAV/UNESP nas margens do Córrego Jaboticabal e na altitude de 560 m (21° 05' S e 48° 10' W) e o outro no sítio Recreio, situado na Estrada Velha Jaboticabal – Taquaritinga, km 7, na altitude de 630 m (21° 17' S e 48° 22' W). A vegetação no remanescente da UNESP foi classificada como Floresta Tropical Latifoliada Semidecídua, denominada neste estudo de Floresta e no remanescente do sítio Recreio, foi classificada como Floresta Tropical Latifoliada Semidecídua, apresentando características de transição para Cerradão, denominada Cerradão. O solo de ambos os remanescentes foi classificado como Latossolo Vermelho (ANDRIOLI & CENTURION, 1999) e, apesar de localizados na mesma bacia hidrográfica, apresentaram diferenças na composição química e granulométrica do solo (Tabela 1). As amostras de solo foram retiradas em cada remanescente onde uma área central de 20x20 m foi demarcada e dividida em parcelas de aproximadamente 3x2 m.

Tabela 1 - Composição química e granulométrica dos solos sob Floresta e sob Cerradão.

Table 1 - Chemical properties and particle-size distribution of the soils under Forest and Savannah types of vegetation.

Atributos químicos e físicos dos solos / <i>Chemical and physical attributes of the soil</i>	Profundidade de amostragem/ <i>Sampling depth</i>			
	Floresta/ <i>Forest</i>		Cerradão/ <i>Savannah</i>	
	0-2 cm	10-12 cm	0-2 cm	10-12 cm
pH em CaCl ₂	6,1	5,6	4,5	4,3
M.O.(g dm ⁻²)	42	37	32	30
P resina (mg dm ⁻³)	21	8	20	9
K (mmol _c dm ⁻³)	6,3	6,1	4,9	1,7
Ca (mmol _c dm ⁻³)	89	45	11	8
Mg (mmol _c dm ⁻³)	27	22	8	5
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	20	25	47	52
SB (mmol _c dm ⁻³)	122,3	73,1	23,9	14,7
T (mmol _c dm ⁻³)	142,3	98,1	70,9	66,7
V%	86	75	34	22
Argila/ <i>Clay</i> (g kg ⁻¹)	550	620	220	270
Limo/ <i>Silt</i> (g kg ⁻¹)	280	230	10	20
Areia Fina/ <i>Fine sand</i> (g kg ⁻¹)	100	80	260	270
Areia Grossa/ <i>Coarse sand</i> (g kg ⁻¹)	70	70	510	440
Classe textural/ <i>Textural class</i>	Argilosa/ <i>Clay</i>	Muito Argilosa/ <i>Very clay</i>	Média/ <i>Médium</i>	Média/ <i>Médium</i>

M.O., matéria orgânica
(M.O. - organic matter)

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

As amostras dos solos, coletadas mensalmente durante o período de outubro de 2004 a junho de 2005, nas camadas de 0 - 2 cm e de 10 - 12 cm, com o auxílio de uma pá, foram colocadas em sacos de plástico e, em seguida, transportadas para o laboratório. O solo foi seco

à temperatura ambiente por aproximadamente 5 dias e depois peneirado em peneira de 1 mm de malha.

A atividade da desidrogenase foi determinada, utilizando-se de uma mistura contendo 3,0 g de solo seco, 0,5 mL de uma solução de

2,3,5-tripheniltetrazolium chloride (TTC 3%, p/v) e 0,03 g de carbonato de cálcio (CaCO₃). Após incubação a 37 °C por 24 h procedeu-se à extração do trifeniilformazan (TFF) com metanol (CASIDA, 1977). As atividades da amilase e da celulase foram determinadas conforme COLE (1977) e KANAZAWA & MIYASHITA (1986), utilizando-se, respectivamente, de amido e carboximetilcelulose como substratos. Os açúcares redutores formados na mistura de reação destas enzimas foram determinados conforme o método de Somogyi - Nelson (SOMOGYI, 1952).

A umidade do solo foi determinada após secagem das amostras de solo a 105 °C, por 24 horas. O resíduo foi utilizado para se determinar a matéria orgânica (DE BOER et al., 1988). A temperatura do solo foi medida nas profundidades de solo de 0 - 2 cm e de 10 - 12 cm no momento da coleta das amostras dos solos com um termômetro digital, com resolução de 0,1 °C.

O delineamento experimental empregado foi o de parcelas subdivididas, com dois tratamentos principais (Floresta e Cerradão) e dois secundários, correspondendo às duas profundidades de solo (0 - 2 cm e 10 - 12 cm), e sete repetições, sendo as amostras de solo retiradas mensalmente. Utilizou-se o programa SAS para

a análise da variância, e o teste de Tukey ($p < 0,05$), para a comparação das médias.

Resultados e discussão

No solo sob Cerradão, a atividade da desidrogenase, que foi de 276,68 µg TFF g⁻¹ solo seco na primeira coleta (outubro-2004), na camada superficial (0 - 2 cm), diminuiu significativamente ($p < 0,05$) para a metade nos meses seguintes, excetuando o mês de maio-2005 (206,68 µg TFF g⁻¹ solo seco) (Figura 1). Embora tenha ocorrido variação da atividade em função do tempo na camada superficial (152,63 a 211,63 µg TFF g⁻¹ solo seco) e na de 10 - 12 cm (105,42 a 159,21 µg TFF g⁻¹ solo seco) do solo sob Floresta e na camada de 10 - 12 cm (80,32 a 130,34 µg TFF g⁻¹ solo seco) do solo sob Cerradão, essa variabilidade não foi significativa ($p > 0,05$). Com o aumento da profundidade, em ambos os solos, a atividade decresceu, em média, 33%, e este decréscimo foi significativo ($p < 0,05$) na maioria dos meses (Figura 1). Em geral, não se constataram diferenças significativas na atividade da desidrogenase entre os solos estudados.

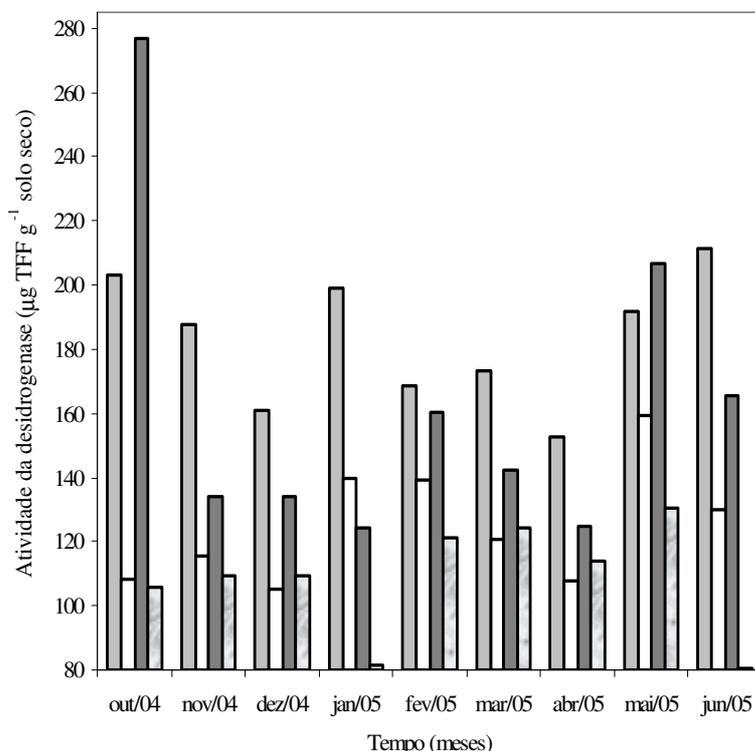


Figura 1 - Atividade da desidrogenase encontrada nos solos sob Floresta (F) e Cerradão (C) nas profundidades de 0 - 2 cm (□, F; ■, C) e de 10 - 12 cm (□, F; ■, C). TFF, Trifenilformazan. *Figure 1* – Dehydrogenase activity found in the Forest (F) and Savanna (C) soils at the 0 - 2 cm (□, F; ■, C) and 10 - 12 cm (□, F; ■, C) depths. TFF, Triphenylformazan. The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

O aumento da atividade da desidrogenase durante as diferentes estações do ano tem sido relacionado ao aumento no conteúdo de umidade do solo e ao crescimento da população microbiana (QUILCHANO & MARANÓN, 2002; RALTE et al., 2005). Neste estudo, porém, não foi constatada

variação significativa da atividade da desidrogenase, provavelmente porque o conteúdo de umidade durante o período estudado não variou suficientemente para influir na população microbiana. A umidade encontrada no solo sob Floresta foi quase o dobro da do solo sob Cerradão e, mesmo

assim, não foi observado efeito da umidade na atividade da desidrogenase. Em acordo com este estudo, RIGOBELLO & NAHAS (2004) encontraram maior variação no teor de umidade nos solos sob eucalipto e sob *Pinus* sp, mas nenhum efeito significativo sobre a atividade da desidrogenase ou desta com relação ao número de bactérias totais.

O efeito da profundidade do solo observado neste estudo está de acordo com o encontrado por COCHRAN et al. (1989), que relataram maior atividade da desidrogenase no horizonte Ap do que no horizonte A de floresta de abeto-negro. Similarmemente, RALTE et al. (2005) observaram que a atividade desta enzima diminuiu significativamente da superfície para a profundidade de 10 - 20 cm e atribuíram essa redução à maior aeração, acúmulo de nutrientes e de biomassa microbiana.

Foi constatada ampla variação da atividade da amilase (de 2,25 a 356,46 $\mu\text{g de C g}^{-1}$

solo seco) nas duas áreas e nas duas profundidades (Figura 2). A maior atividade foi encontrada nos meses de outubro a dezembro-2004, porém não variou significativamente ($p>0,05$) durante este período, exceto no mês de novembro, na camada de 10 - 12 cm. A partir de janeiro-2005, a atividade da amilase diminuiu drasticamente (96 % em média) em relação ao mês de dezembro-2004. Comparando-se as duas profundidades, a atividade encontrada na camada de 0 - 2 cm foi, em média, 1,5 a 1,7 maior do que na de 10 - 12 cm, porém nenhuma diferença foi encontrada ($p>0,05$) entre os meses de fevereiro a abril-2005 no solo sob Cerradão. De forma geral, a atividade da amilase foi semelhante ($p>0,05$) nos dois solos estudados, excetuando-se nos meses de outubro, dezembro e fevereiro, na camada de 0 - 2 cm, e outubro, dezembro e janeiro, na camada de 10 - 12 cm (Figura 2).

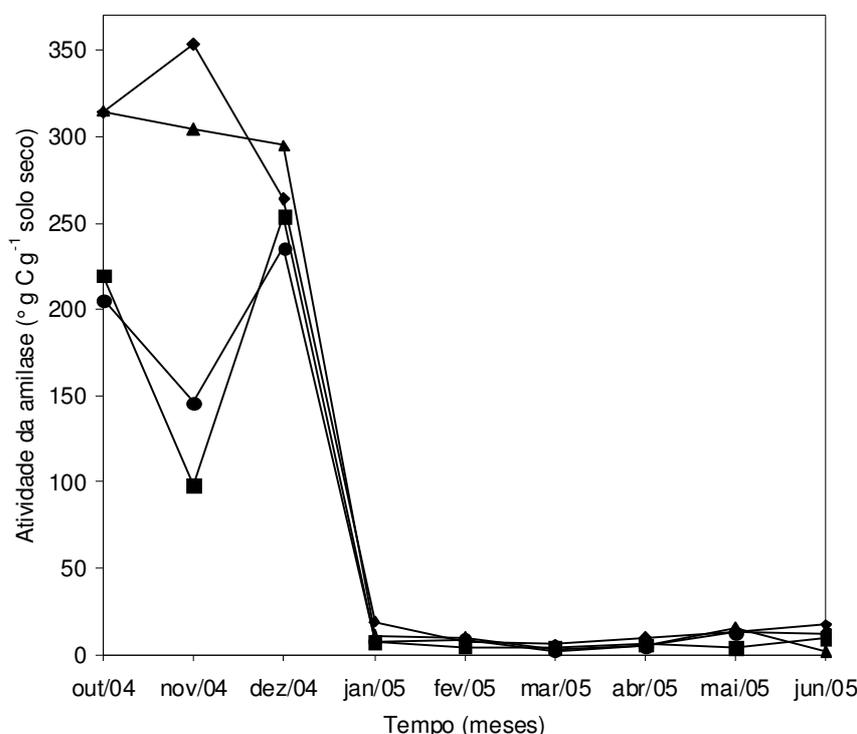


Figura 2 - Atividade da amilase encontrada nos solos sob Floresta (F) e Cerradão (C) nas profundidades de 0-2 cm (◆, F; ▲, C) e de 10-12 cm (■, F; ●, C).

Figure 2 - Amylase activity measured in the Forest (F) and Savannah (C) soils at the 0-2 cm (◆, F; ▲, C) and 10-12 cm (■, F; ●, C) depths.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

A atividade da celulase no mês de outubro, em média de 346,95 $\mu\text{g de C g}^{-1}$ solo seco, decresceu progressivamente para 30,57 $\mu\text{g de C g}^{-1}$ solo seco no mês de junho (Figura 3). A atividade foi, em média, 10% (Cerradão) a 14% (Floresta) maior na camada superficial em relação à de 10 - 12 cm. Contudo, diferenças significativas

apenas foram encontradas nos meses de janeiro a abril-2005 (Floresta) e outubro, janeiro, março e maio (Cerradão). Em geral, não foi encontrada diferença significativa na atividade celulolítica entre os dois solos, exceto nos meses de junho (0-2 cm), outubro, abril e junho (10-12 cm) (Figura 3).

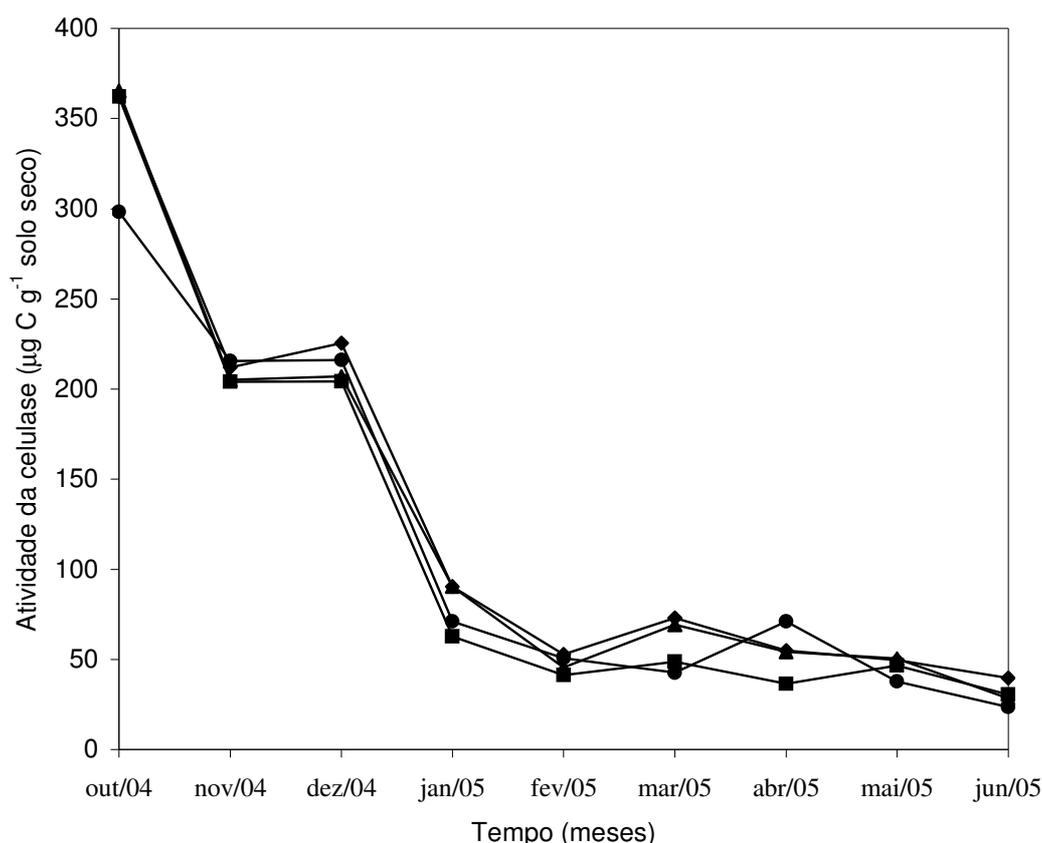


Figura 3 - Atividade da celulase encontrada nos solos sob Floresta (F) e Cerradão (C) nas profundidades de 0-2 cm (◆, F; ▲, C) e de 10-12 cm (■, F; ●, C).
Figure 3 - Cellulase activity measured in the Forest (F) and Savannah (C) soils at the 0-2 cm (◆, F; ▲, C) and 10-12 cm (■, F; ●, C) depths.
 The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

O solo sob Cerradão apresentou teores de matéria orgânica variando de 8 a 9% e significativamente maiores que os encontrados no solo sob Floresta, de 6 a 7% (Figura 4). Esses números indicam que houve pouca variação no conteúdo de matéria orgânica durante o período de estudo. Diferenças significativas entre as camadas de solo foram encontradas nos meses de outubro-2004, no solo sob Floresta, e de outubro, dezembro-2004, abril e junho-2005 no solo sob Cerradão.

Os menores teores de umidade foram encontrados em novembro-2004 nos solos sob Floresta (17-19%) e sob Cerradão (5-7%), e os maiores, em dezembro-2004 e janeiro-2005 nos solos sob Floresta (26-28%) e sob Cerradão (14-15%), respectivamente (Figura 5). Porém, pouca variação significativa da umidade foi verificada durante os meses de estudo. As quantidades de umidade encontradas no solo sob Floresta foram de 1,8 a 5,6 vezes superiores ($p < 0,05$) às no solo sob Cerradão. Os teores de umidade foram maiores ($p < 0,05$) na camada de 10 - 12 cm do

que na de 0 - 2 cm, nos meses de outubro, novembro, março, abril e maio no solo sob Cerradão, e novembro, no solo sob Floresta. Nos demais meses, não houve variação significativa da umidade.

A temperatura do solo oscilou entre os meses, conforme se observa na Figura 6, com as mínimas observadas em junho (média de 19,4 °C) e as máximas em novembro (25,1 °C). Embora com pequena diferença, foram observadas temperaturas maiores ($p < 0,05$) na camada superficial do que na camada de 10 - 12 cm.

Estudos prévios mostraram o efeito da temperatura e da umidade dos solos sob florestas sobre a atividade respiratória e enzimática (KANAZAWA & MIYASHITA, 1986; VARDIAKIS, 1989; RIGOBELLO & NAHAS, 2004). Neste estudo, porém, a variação da atividade não pode ser atribuída à variação da temperatura e da umidade. Diferentes estudos mostraram que, além da umidade e da temperatura, outros fatores podem influir na atividade enzimática.

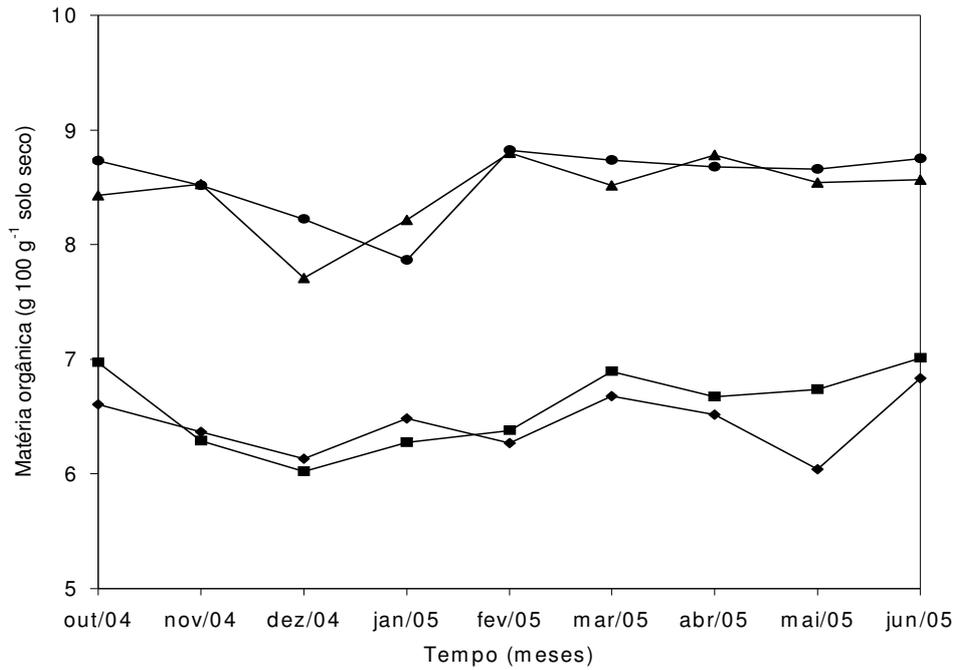


Figura 4 - Matéria orgânica encontrada nos solos sob Floresta (F) e Cerradão (C) nas profundidades de 0-2 cm (♦, F; ▲, C) e de 10-12 cm (■, F; ●, C).

Figure 4 - Organic matter in the Forest (F) and Savannah (C) soils at the 0-2 cm (♦, F; ▲, C) and 10-12 cm (■, F; ●, C) depths.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

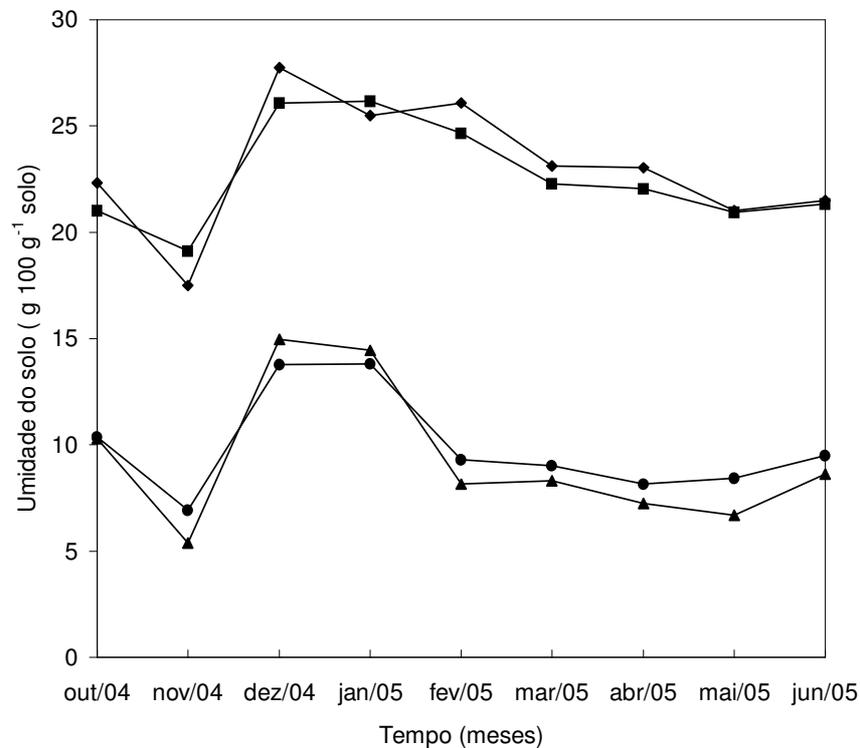


Figura 5 - Variação da umidade dos solos sob Floresta (F) e Cerradão (C) nas profundidades de 0-2 cm (♦, F; ▲, C) e de 10-12 cm (■, F; ●, C).

Figure 5 - Moisture variation from the Forest (F) and Savannah (C) soils in the 0-2 cm (♦, F; ▲, C) and 10-12 cm (■, F; ●, C) depths.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

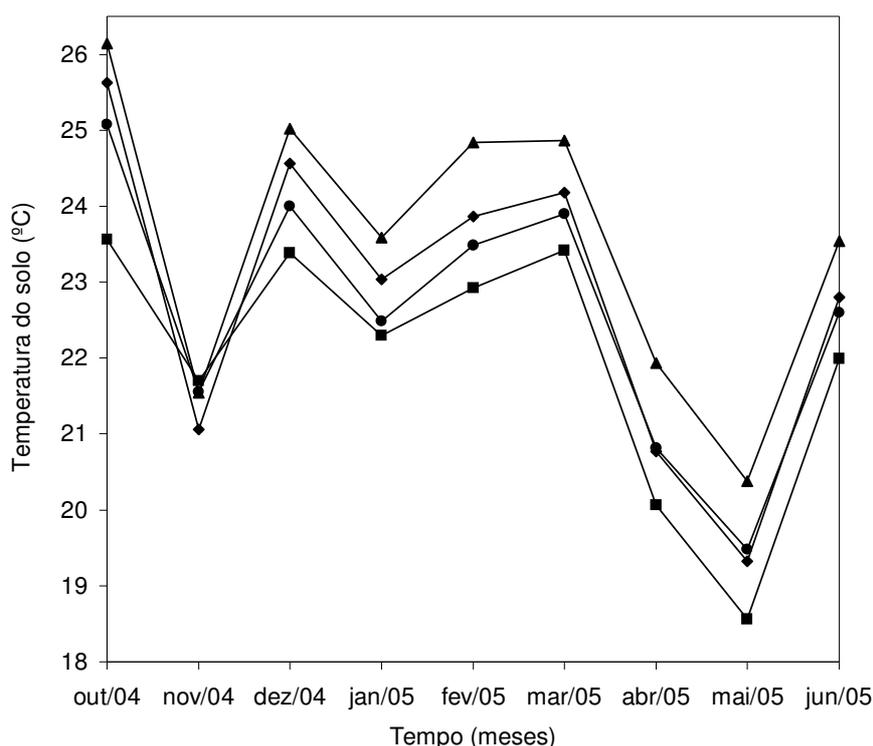


Figura 6 - Variação da temperatura nos solos sob Floresta (F) e Cerradão (C) nas profundidades de 0-2 cm (♦, F; ▲, C) e de 10-12 cm (■, F; ●, C).
Figure 6 - Temperature variation in the Forest (F) and Savannah (C) soils at the 0-2 cm (♦, F; ▲, C) and 10-12 cm (■, F; ●, C) depths.
The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

A serapilheira tem sido considerada fator importante no suprimento de substratos prontamente metabolizáveis, propiciando aumento no número de bactérias celulolíticas do solo (VARDAVAKIS, 1989). Estudo com eucalipto e *Pinus* sp. mostrou que a quantidade de serapilheira correlacionou-se aos teores de matéria orgânica e umidade do solo (RIGOBELLO & NAHAS, 2004). As quantidades de carbono da biomassa microbiana permaneceram constantes devido à distribuição da serapilheira durante o ano (PATRA et al., 1990). Variações sazonais no carbono da biomassa microbiana, segundo MCGILL et al. (1986), foram resultantes da quantidade de matéria orgânica e da transformação de nutrientes no solo. No início do presente estudo, a serapilheira foi removida do solo. Portanto, o drástico decréscimo nas atividades da amilase e da celulase do início (outubro-2004) até ao final do período de coleta das amostras de solo (junho-2005) pode ser atribuído à diminuição da população microbiana do solo decorrente do decréscimo da quantidade de nutrientes que resultariam da decomposição e lixiviação da serapilheira. Em adição, a atividade da desidrogenase diminuiu significativamente de outubro-2004 para os meses seguintes, no solo sob Cerradão, o que pode

indicar decréscimo do número de microrganismos no solo. Em acordo com estes resultados, FIORETTO et al. (2001) relataram rápido declínio da atividade da amilase em decorrência da diminuição do conteúdo de amido na serapilheira.

A retirada da serapilheira poderia refletir no conteúdo da matéria orgânica do solo. Contudo, os teores de matéria orgânica não variaram apreciavelmente durante o estudo, isso porque variações na quantidade e na qualidade da matéria orgânica ocorrem lentamente no solo e são difíceis de quantificar em um período de tempo curto (DEBOSZ et al., 1999). Embora o conteúdo de matéria orgânica tenha sido, em média, 2 % maior no solo sob Cerradão, em relação ao solo sob Floresta, as atividades da amilase e da celulase não aumentaram significativamente ($p > 0,05$) naquele solo. É possível que os menores valores de pH e da soma de bases do solo sob Cerradão, quando comparados com os de Floresta (Tabela 1), tenham diminuído o crescimento dos microrganismos e a atividade das enzimas estudadas. Assim, BOOPATHY et al. (2001) incluíram o pH e a fertilidade entre os fatores que influenciaram na transformação da celulose no solo. O efeito do aumento do pH resultante da calagem foi também observado na contagem de bactérias dos solos

sob gramínea, leguminosa ou ausência de planta (SANOMIYA & NAHAS, 2003).

As atividades da celulase e, mais efetivamente, a da amilase diminuíram com a profundidade do solo em decorrência, provavelmente, dos menores conteúdos de matéria orgânica, de bases trocáveis e do pH do solo encontrados na camada de 10 - 12 cm em relação à de 0 - 2 cm (Tabela 1). Em acordo com estes resultados, VARDAVAKIS (1989) encontrou uma redução na atividade da celulase e na atividade respiratória com a profundidade devido à diminuição do conteúdo da matéria orgânica.

Conclusão

Enquanto as atividades da amilase e da celulase diminuíram drasticamente do início (outubro-2004) do estudo até o final (junho-2005), a atividade da desidrogenase não foi afetada, a não ser na camada superficial do solo sob Cerradão. De forma geral, a atividade dessas enzimas decresceu com a profundidade do solo e não diferiu quando se comparou o solo sob Floresta com o Cerradão.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, pela concessão de bolsas, e à CAPES, pelo auxílio financeiro.

Referências

AJWA, H.A.; DELL, C.J.; RICE, C.W. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tall-grass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization. **Soil Biology and Biochemistry**, Exeter, v.31, n.5, p.769-777, 1999.

ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Brasília, 1999. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. p.1-4.

AON, M.A.; CABELLO, M.N.; SARENA, D.E.; COLANERI, A.C.; FRANCO, M.G.; BURGOS, J.L.; CORTASSA, S. I.Spatio-temporal patterns of soil microbial and enzymatic activities in na agricultural soil. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.18, n.3, p.239-254, 2001.

BANERJEE, M.R.; BURTON, D.L.; McCAUGHEY, W.P.P.; GRANT, C.A. Influence of pasture management on soil biological quality. **Journal of Range Management**, Denver, v.53, n.1, p.127-132, 2000.

BOOPATHY, R.; BEARY, T.; TEMPLET, P. J. Microbial decomposition of post-harvest sugar-

cane residue. **Bioresource Technology**, Kidlington, v.79, n.1, p.29-33, 2001.

CASIDA Jr., L.E. Microbial metabolic activity in soil as measured by dehydrogenase determinations. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.34, n.6, p.630-636, 1977.

COCHRAN, V.L.; ELLIOT, L.F.; LEWIS, C.E. Soil microbial biomass and enzyme activity in subarctic agricultural and forest soils. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.7, n.4, p.283-288, 1989.

COLE, M.A. Lead inhibition of enzyme synthesis in soil. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.33, n.2, p.262-268, 1977.

DE BOER, W.; DUYS, H.; LAANBROEK, H.J. Autotrophic nitrification in a fertilized acid health soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Exeter, v.20, n.6, p.845-850, 1988.

DEBOSZ, K.; RASMUSSEN, P.H.; PEDERSEN, A.R. Temporal variations in microbial biomass C and cellulolytic enzyme activity in arable soils: effects of organic matter input. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.13, n.3, p.209-218, 1999.

FABER, J.H.; TEUBEN, A.; BERG, M.P.; DOELMAN, P. Microbial biomass and activity in pine litter in the presence of *Tomocerus minor* (Insecta, Collembola). **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.12, n.3, p.233-240, 1992.

FIORETTO, A.; PAPA, S.; SORRENTINO, G.; FUGGI, A. Decomposition of *Cistus incanus* leaf litter in a Mediterranean maquis ecosystem: mass loss, microbial enzyme activities and nutrient changes. **Soil Biology and Biochemistry**, Exeter, v.33, n.3, p.311-321, 2001.

GUNADI, B.; VERHOEF, H.A.; BEDAUX, J.J.M. Seasonal dynamics of decomposition of coniferous leaf litter in a forest plantation (*Pinus merkusii*) in Central Java, Indonesia. **Soil Biology and Biochemistry**, Exeter, v.30, n.7, p.845-852, 1998.

JENSEN, L.S.; MUELLER, T.; MAGID, J.; NIELSEN, N.E. Temporal variation of C and N mineralization, microbial biomass and extractable organic pools in soil after oilseed rape straw incorporation in the field. **Soil Biology and Biochemistry**, Exeter, v.29, n.7, p.1.043-1.055, 1997.

JHA, D.K.; SHARMA, G.D.; MISHRA, R.R. Soil microbial population numbers and enzyme activities in relation to altitude and forest degradation. **Soil Biology and Biochemistry**, Exeter, v.24, n. 8, p.761-767, 1992.

JOSHI, S.R.; SHARMA, G.D.; MISHRA, R.R. Microbial enzyme activities related to litter decompo-

- sition near a highway in a sub-tropical forest of North East India. **Soil Biology & Biochemistry**, Exeter, v.25, n.12, p.1.763-1.770, 1993.
- KANAZAWA, S.; MIYASHITA, K.A. Modified method for determination of cellulase activity in forest soil. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 32, n.1, p.71-79, 1986.
- KLOSE, S.; TABATABAI, M.A. Urease activity of microbial biomass in soils as effected by cropping systems. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.31, n.3-4, p.191-199, 2000.
- MAMILOV, A.S.; DILLY, O.M. Soil microbial eco-physiology as affected by short-term variations in environmental conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, Exeter, v.34, n.9, p.1.283-1.290, 2002.
- MCGILL, W.B.; CANNON, K.R.; ROBERTSON, J.A.; COOK, F.D. Dynamics of soil microbial biomass and water-soluble organic C in Breton L after 50 years of cropping to two rotations. **Canadian Journal Soil Science**, Ottawa, v.66, n.1, p.1-19, 1986.
- PATRA, D.D.; BROOKES, P.C.; COLEMAN, K.; JENKINSON, D.S. Seasonal changes of soil microbial biomass in an arable and a grassland soil which have been under uniform management for many years. **Soil Biology and Biochemistry**, Exeter, v.22, n.6, p.739-742, 1990.
- PENNANEN, T.; LISKI, J.; BÁÁTH, E.; KITTUNEN, V.; UOTILA, J.; WESTMAN, C. J.; FRITZE, H. Structure of the microbial communities in coniferous forest soils in relation to site fertility and stand development stage. **Microbial Ecology**, New York, v.38, n.2, p.168-179, 1999.
- QUILCHANO, C.; MARANÓN, T. Dehydrogenase activity in Mediterranean forest soils. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.35, n.2, p.102-107, 2002.
- RALTE, V.; PANDEY, H.N.; BARIK, S.K.; TRIPATHI, R.S.; PRABHU, S.D. Changes in microbial biomass and activity in relation to shifting cultivation and horticultural practices in subtropical evergreen forest ecosystem of north-east India. **Acta Oecologica**, Montrouge, v.28, n.2, p. 163-172, 2005.
- RAO, A.V.; BALA, K.; TARAFDAR, J.C. Dehydrogenase and phosphatase activities in soil as influenced by the growth of arid-land crops. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.115, n.2, p.221-225, 1990.
- REZENDE, J.L.P.; GARCIA, Q.S.; COTTI, M.R.M.M.L. Laboratory decomposition of *Dalbergia nigra* all. ex. benth and *Eucalyptus grandis* w.hill ex. maiden leaves in forest and eucalypt plantation soils. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v.15, n.3, p.305-312, 2001.
- RIGOBELLO, R.C.; NAHAS, E. Seasonal fluctuations of bacterial population and microbial activity in soils cultivated with eucalyptus and pinus. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.61, n.1, p.88-93, 2004.
- SANOMIYA, L.T.; NAHAS E. Microorganismos produtores de hidrolases envolvidos nas transformações dos compostos do carbono e do nitrogênio do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.5, p.835-842, 2003.
- SOMOGYI, M. Notes on sugar determination. **Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v.195, p.19-23, 1952.
- VARDAVAKIS, E. Seasonal fluctuations of aerobic cellulolytic bacteria, and cellulase and respiratory activities in a soil profile under a Forest. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.115, n.1, p.145-150, 1989.

Recebido em 04-04-2006

Aceito para publicação em 10-07-2007