

INFLUÊNCIA DA TEXTURA DO SOLO NA ATIVIDADE MICROBIANA, DECOMPOSIÇÃO E MINERALIZAÇÃO DO CARBONO DE SERAPILHEIRA DE SÍTIOS DO BIOMA CERRADO SOB CONDIÇÕES DE INCUBAÇÃO

INFLUENCE OF SOIL TEXTURE ON MICROBIAL ACTIVITY, CARBON DECOMPOSITION AND MINERALIZATION OF LITTER IN SOILS OF THE BRAZILIAN CERRADO UNDER INCUBATION

Ingrid Mara Bicalho BITTAR¹; Adão de Siqueira FERREIRA²; Gilberto Fernandes CORRÊA³

1. Mestre em Agronomia pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia, MG, Brasil; 2. Professor Adjunto IV, Instituto de Ciências Agrárias – ICIAG - UFU, Uberlândia, MG, Brasil. adaosferreira@yahoo.com.br; 3. Professor Titular, ICIAG - UFU, Uberlândia, MG, Brasil

RESUMO: A decomposição e mineralização da serapilheira são processos de fundamental importância no funcionamento do cerrado. Objetivou-se verificar a atividade microbiana e o potencial de decomposição e mineralização da serapilheira de vegetação de cerrado em solos de quatro classes texturais. As amostras foram coletadas na camada de 0- 10 cm de profundidade em quatro sítios de cerrado em solos classificados como Latossolo Amarelo distrófico típico (LAd), Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdf), Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo) e Latossolo Amarelo ácrico típico (LAW), apresentando textura média, muito argilosa, arenosa e muito argilosa, respectivamente. Quantidades de 0, 0,1, 1,0 e 10 % de resíduo de serapilheira foram adicionadas em 100 g de amostras de solo e incubados por 10 dias a 25 °C. No ensaio, foram realizadas as seguintes análises: atividade microbiana (liberação de CO₂), carbono orgânico total no início e final do ensaio, atividade de β-glicosidase e urease. A atividade microbiana aumentou significativamente com adição de 1 e 10% de resíduo da serapilheira em relação ao controle, sendo que adição de 0,1 % não mostrou diferença para o controle. O solo RQo apresentou maior atividade quando adicionado 10% de resíduo de serapilheira em relação aos demais solos. A ordem de mineralização do carbono orgânico foi LVdf > LAW > LAd > RQo, mostrando que os solos de textura muito argilosa apresentaram maior porcentagem de mineralização. A atividade de β-glicosidase aumentou significativamente com adição de apenas 10% de resíduos de serapilheira em todos os sítios, sendo as maiores atividades observadas no RQo. A atividade de urease não foi alterada com a adição de resíduo de serapilheira. Porém, o LVdf apresentou aumento significativo em relação aos demais sítios estudados, sugerindo que a maior mineralização do carbono em LVdf pode estar relacionada a atividade dessa enzima. Os resultados mostram que a textura do solo pode ter implicações importantes sobre a atividade microbiana, a mineralização e a decomposição do resíduo de serapilheira em sítios do bioma cerrado.

PALAVRAS-CHAVE: Atividade microbiana. Taxa de mineralização do carbono. β-glicosidase. Uréase. Classes de textura do solo.

INTRODUÇÃO

A serapilheira proveniente da queda de resíduos senescentes da parte aérea das plantas na superfície do solo e sua gradativa decomposição tem papel fundamental na produtividade e sustentabilidade das florestas (STEENWERTH; BELINA, 2008; WERTH; KUZYAKOV, 2008). A transformação da serapilheira é igualmente importante na ciclagem de nutrientes nos biomas (RESENDE et al., 2007). Os resíduos orgânicos depositados no solo representam a maior fonte de nutrientes para o crescimento vegetal, em decorrência dos processos de decomposição e mineralização (CHAPIN; MATSON; MOONEY, 2002; SEASTED; CROSSLEY, 1984). Esses processos bioquímicos ocorrem devido à atividade de micro-organismos heterotróficos do solo, atuando como principais agentes na ciclagem de nutrientes e

no ciclo do carbono em ecossistemas terrestres (PAUL, 2007). Atividade da microbiota, por sua vez, é regulada por uma série de fatores abióticos, tais como pH, nutrientes e componentes da textura do solo (FREITAS-VINHAL et al., 2012; FERREIRA, SANTOS; CORRÊA, 2013).

O acúmulo de serapilheira na superfície do solo é resultado da quantidade de material que cai da parte aérea e da taxa de decomposição e mineralização destes resíduos vegetais, refletindo-se em estoque de carbono na matéria orgânica, fluxo de carbono para atmosfera e disponibilidade de nutrientes às plantas (CHAPIN; MATSON; MOONEY, 2002). Este acúmulo de serapilheira é regulado, principalmente, por fatores como a natureza da comunidade de organismos decompositores, características do material orgânico e tipo de solo dos ecossistemas (KJØLLER; STRUWE, 2002; LEKHA; GUPTA, 1989;

MELILLO; ABER; MURATORE, 1982).

A decomposição da serapilheira é uma seqüência de processos de compartimentalização de resíduos vegetais pela fauna do solo e decomposição da celulose, hemicelulose e lignina, mediada principalmente pela atividade de micro-organismos do solo, os quais liberam enzimas extracelulares hidrolíticas no solo (PAUL, 2007; SYLVIA et al., 1999). Esses organismos são responsáveis pelo fluxo de energia e massa em ecossistemas terrestres, refletindo na mineralização de compostos orgânicos e liberação de nutrientes (SEASTED; CROSSLEY, 1984). Além disso, estudos têm demonstrado que indicadores bioquímicos, tais como β -glicosidase e urease, são de grande importância na avaliação da decomposição de resíduos orgânicos, incluindo o de serapilheira em florestas (DORNBUSH, 2007; KOURTEV; EHRENFELD; HUANG, 2002; TRASAR-CEPEDA et al., 2008; WANG et al., 2010).

A textura do solo tem um papel importante nos processos físicos, químicos e biológicos, interferindo no funcionamento dos ecossistemas (BAYER et al., 2006; DILUSTRO et al., 2005; SYLVIA et al., 1999). A proporção relativa de areia,

silte e argila define a classe textural do solo e modifica o potencial de estoque de nutrientes, carbono e capacidade de retenção de água nos solos. A textura, por estar relacionada à porosidade e aeração do solo, afeta também a dinâmica de ar neste meio, alterando a atividade microbiana e de enzimas, com implicações sobre a decomposição e mineralização da matéria orgânica (PAUL, 2007; STOTZKY, 1965; SYLVIA et al., 1999).

O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito da textura na atividade microbiana, bem como na decomposição e mineralização da serapilheira em solos sob vegetação de Cerrado, em condições de laboratório.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada com amostras da camada superficial (0 -10 cm) de quatro tipos de solo coletados na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, em Minas Gerais-MG. Os dados de caracterização (Tabela 1) e a classificação dos solos foram realizados de acordo com EMBRAPA (2006). As quatro áreas analisadas encontram-se em relevo plano a suave ondulado.

Tabela 1. Caracterização textural dos solos na camada de 0 – 10 cm, classificação climática, localização geográfica e classes de solos.

Características	Classes de Solo ¹			
	LAd	LVdf	RQo	LAw
Fração Areia (g kg ⁻¹)	700	230	890	80
Silte + Argila (g kg ⁻¹)	300	770	110	920
Textura	Média	Muito argilosa	Arenosa	Muito argilosa
Classificação de Köppen	Aw	Aw	Aw	Cwa
Localização geográfica				
Latitude (S)	19° 12' 16"	18° 55' 48"	18° 53' 3"	19° 00' 24"
Longitude (W)	48° 7' 48"	48° 4' 12"	50° 1' 48"	47° 33' 55"
Altitude (m)	940	855	515	1045
Classificação dos solos Brasileira ^a	LAd	LVdf	RQo	LAw

¹Classificação do solo segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006): Latossolo Amarelo distrófico típico (LAd), Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdf), Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo) e Latossolo Amarelo ácrico típico (LAw).

A amostragem de solo foi realizada na primavera (novembro) de 2009, coletando-se quatro pontos de cada sítio selecionados em área de 600 cm² (20 x 30 cm) na profundidade de 0-10 cm, sendo que em cada ponto foram realizadas quatro sub-amostragens. As amostras de solos foram passadas em peneira de 4 mm. Uma porção foi separada para determinação da textura de acordo com EMBRAPA (1997). Outra porção da amostra foi secada ao ar e triturada em almofariz de porcelana, para determinação dos atributos químicos

do solo (Tabela 2), conforme metodologia descrita por TEDESCO et al. (1995). O restante das amostras de solo, mantido nas condições naturais de coleta, foi homogeneizado e armazenado a 4°C, para posteriormente ser usado nos ensaios de respiração microbiana e mineralização do carbono orgânico.

A amostragem da serapilheira foi realizada no mesmo período da amostragem do solo, em área de 2500 cm² (50 x 50 cm) em quatro pontos dos sítios e constituída de quatro sub-amostras nas áreas. O resíduo vegetal, constituído de folhas, gravetos e

pequenos fragmentos em estágio avançado de decomposição, foi secado em estufa sob circulação forçada de ar a 60°C. O conteúdo de nutrientes da

serapilheira foi determinado em relação à fração de massa seca a 60°C (TEDESCO et al., 1995).

Tabela 2. Atributos químicos das amostras de solos coletadas na profundidade de 0-10 cm das distintas classes de solos.

Atributos	Classes de Solo ¹			
	LAd	LVdf	RQo	LAW
COT (g kg ⁻¹)	11,2	12,2	9,5	30,0
N total (g kg ⁻¹)	1,47	1,36	1,23	1,79
Fósforo total (mg dm ⁻³)	10,4	18,0	18,4	15,2
P – Melich (mg dm ⁻³)	1,1	1,2	6,3	1,1
K (mg dm ⁻³)	25	39	18	42
pH (H ₂ O)	4,9	5,1	4,8	4,9

¹ Latossolo Amarelo distrófico típico (LAd), Latossolo Vermelho distroférrico típico (LVdf), Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo), Latossolo Amarelo ácrico típico (LAW). COT, Carbono Orgânico Total. Médias dos atributos obtidas de quatro repetições de amostra de solo.

Os nutrientes contidos na serapilheira foram determinados conforme metodologia descrita por TEDESCO et al. (1995). Nesse trabalho, para avaliar o potencial de decomposição e mineralização da serapilheira foi utilizada a mistura em igual proporção do material coletado em cada sítio.

No ensaio, foram utilizadas quatro doses de serapilheira (0%; 0,1%; 1% e 10%, em relação massa/massa), as quais foram incorporadas a amostras de 100 g de solo dos respectivos sítios e repetições (n=4) em frasco de vidro, capacidade de 500 mL, vedados com tampa de alumínio. A umidade nas amostras de solo foi ajustada para 60 % da capacidade de campo das respectivas amostras de solo, sendo a capacidade de campo realizado em estudos prévios conforme metodologia descrita por Reichardt (1988). Os frascos foram incubados a 25 °C por 10 dias. As taxas e percentuais de mineralização foram calculados a partir da diferença entre o carbono orgânico inicial e o final, após 10 dias de incubação, determinado pela oxidação por via úmida da matéria orgânica com K₂Cr₂O₇ em meio ácido, sendo o excesso de dicromato titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal (TEDESCO et al., 1995). A respiração microbiana do solo foi determinada em condições de laboratório pela quantificação de CO₂ liberado em 10 dias de incubação, conforme metodologia usual descrita para esta determinação (STOTZKY, 1965), sendo calculada a taxa de atividade microbiana do solo no período de incubação (C-CO₂ mg dia⁻¹ kg⁻¹ de solo). Ao final dos dez dias as amostras foram armazenadas em temperatura de 4 °C para posterior análise da atividade de enzimas.

A atividade da β-glicosidase foi feita em substrato sintético de p-nitrofenil-β-D-glicopiranosídeo e quantificada em

espectrofotômetro (EIVAZI; TABATAI, 1988), usando uma curva padrão com p-nitrofenil (PNF). A enzima urease foi quantificada pela liberação de N-NH₄ da uréia (GUAN; ZHANG; ZHANG, 1986). A quantificação da atividade da enzima foi estimada em espectrofotômetro à 578 nm, mediante uma curva padrão com cloreto de amônia.

Os dados são apresentados com valores médios seguidos dos intervalos de confiança à 5% de probabilidade. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas, pelo Teste de Tukey, com níveis de separação de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve diferença dos teores de nutrientes entre as serapilheiras dos sítios avaliados. Assim, a massa seca média da serapilheira apresentou seguinte constituição: carbono orgânico, 356 g kg⁻¹; nitrogênio, 13,1 g kg⁻¹; fósforo, 0,73 g kg⁻¹; potássio, 0,85 g kg⁻¹ e enxofre, 1,28 g kg⁻¹.

De acordo com a granulometria do solo da camada superficial, o LAd foi identificado como de textura média, o LVdf e o LAW como muito argilosos e o RQo como arenoso (Tabela 1). Os valores de pH e os conteúdos de nutrientes são típicos dos encontrados em solos sob Cerrado (Tabela 2). Observa-se que o RQo apresentou o maior teor de fósforo disponível (Tabela 2), o que está associado à limitada retenção de fosfato devido ao baixo conteúdo da fração argila, essencialmente caulinita (Melo et al, 2005).

As taxas respiratórias da microbiota no ensaio variaram de 13,1 a 179,5 mg C-CO₂ dia⁻¹ kg⁻¹ solo (Figura 1). As adições de 1 e 10% de resíduo resultaram em aumentos significativos na taxa de

respiração dos solos em relação ao controle (Figura 1).

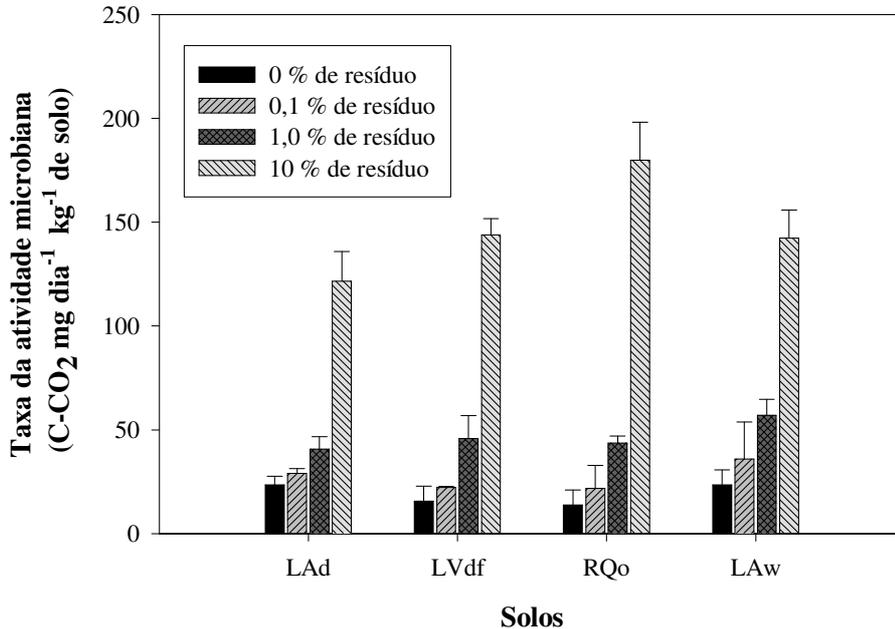


Figura 1. Taxa da atividade microbiana em relação à quantidade de resíduo adicionado em amostras superficiais (0-10 cm) de solo em diferentes sítios. Latossolo Amarelo distrófico típico, LAd; Latossolo Vermelho distroférico típico, LVdf; Neossolo Quartzarênico órtico típico, RQo; Latossolo Amarelo ácrico típico, LAw. Valores médios da atividade microbiana seguidos de seus respectivos desvios padrões (n=4).

A adição de 0,1% não resultou em aumentos significativos da taxa respiratória da microbiota em comparação ao controle. O RQo se destacou quando da adição de 10% em relação aos demais solos, apresentando os maiores aumentos de respiração. Esse resultado pode ser explicado devido a maior disponibilidade de fósforo nesse solo. Vinhal-Freitas et al. (2012) demonstraram que o fósforo exerce um papel importante sobre a atividade microbiana em solos sob Cerrado.

Os dados revelaram que a atividade microbiana foi dependente das quantidades de resíduo adicionado, mostrando que a serapilheira é um importante componente na superfície dos solos (0-10 cm) do bioma cerrado. Outros trabalhos também mostraram que a serapilheira pode exercer importante papel na sustentabilidade de florestas, avaliado por meio da respiração do solo (CARVALHO et al., 2008; DELLA BRUNA et al., 1991).

As adições de serapilheira (0,1 e 1% do volume de solo) não foram suficientes para estimar o carbono mineralizado, devido não ter ocorrido diferenças detectáveis de COT, quando comparado

ao controle, no período de 10 dias de incubação. Assim, a taxa de mineralização e o percentual de mineralização foram determinados apenas na adição de 10 %, sendo observadas diferenças expressivas entre os sítios de estudo, com os maiores valores obtidos no LVdf e os menores no RQo (Tabela 3). Os dados confirmam o fato de solos, com maior teor de argila, apresentarem maior interação com a matéria orgânica coloidal, potencializando seu maior acúmulo e, conseqüentemente, uma maior capacidade de bases. A maior mineralização no solo argiloso pode ter corrido por diferentes fatores, tais como maior teor de matéria orgânica, maior capacidade de troca de cátions, além de características metabólicas específicas da microbiota do solo em transformar o carbono orgânico (SYLVIA et al., 1999; PAUL, 2007). Os valores de mineralização são considerados altos para o período de avaliação quando comparados com outros resíduos estudados (GIACOMINI et al., 2008). Isso pode estar relacionado, em parte, à qualidade da serapilheira e à relação entre carbono e nitrogênio (C:N) nos solos estudados (Tabela 2).

Tabela 3. Teores (g C kg^{-1} de solo) de COT inicial, COT final, taxa de mineralização ($\text{g C dia}^{-1} \text{kg}^{-1}$ de solo) e percentual de mineralização na adição de 10% de resíduo aos solos.

Solos	COT inicial	COT final	Taxa de mineralização	% mineralização
LAd	54,6 C	29,3A	2,53 C	46,3 BC
LVdf	57,4 B	18,0 B	3,95 A	68,7 A
RQo	45,6 D	27,7 A	1,79 D	39,3 C
LAW	60,7 A	27,96 A	3,27 B	53,9 B

Médias seguidas de mesma letra na coluna indicam que não existe diferença entre sítios quando aplicado o teste de Tukey a 95 % de probabilidade. Sítios identificados como Latossolo Amarelo distrófico típico (LAd), Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdf), Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo), Latossolo Amarelo ácrico típico (LAW). COT, Carbono Orgânico Total. Ensaio experimental realizado sob condições de laboratório a 25 °C por 10 dias de incubação de amostra de solo coletada de 0 – 10 cm.

A taxa de atividade microbiana e a mineralização do carbono, normalmente, estão correlacionadas como relatado na literatura (PAUL, 2007; SYLVIA et al., 1999). Porém, observou-se que a atividade microbiana na adição de 10 % de resíduos de serapilheira foi maior no solo de textura arenosa e sua mineralização, a menor. Isso pode estar associado com a capacidade de transformação do carbono orgânico em massa e energia pelos micro-organismos do solo (INSAM; DOMSCH, 1988). No entanto, não existem trabalhos que avaliam a atividade microbiana e a mineralização do carbono de forma comparativa em materiais de solo de diferentes texturas. Os solos utilizados nesse trabalho são bastante diferentes quanto à sua textura, porém apresentam menores diferenças em relação aos atributos químicos na camada de 0-10 cm (Tabela 2), sugerindo evidências que a classe textural do solo tem contribuição importante na mineralização do carbono orgânico.

Na figura 2, os resultados mostram que não existem diferenças da atividade de β -glicosidase na

adição de 0,1% e 1 % de resíduo de serapilheira em relação ao controle (sem adição de resíduo). A menor atividade da enzima foi observada no solo RQo e na ausência de resíduo, entretanto, neste sítio observou-se a maior atividade quando da adição de 10 % de resíduo de serapilheira. A atividade de β -glicosidase é um dos principais indicadores da decomposição do carbono orgânico do solo devido à hidrólise de celobiose em glicose, proveniente da celulose (ALEF; NANNIPIERI, 1995; EIVAZI; TABATAI, 1988; SAPARRAT et al., 2008; WANG et al., 2010). Observou-se no estudo que a adição de 10% de resíduo de serapilheira conduziu a maior evidência de micélios fúngicos durante os ensaios (dados não mostrados). Relatos existem de que atividade da enzima β -glicosidase está associada à presença de fungos decompositores encontrados no solo devido à capacidade desses organismos liberarem maiores quantidades de enzimas hidrolíticas (SYLVIA et al., 1999).

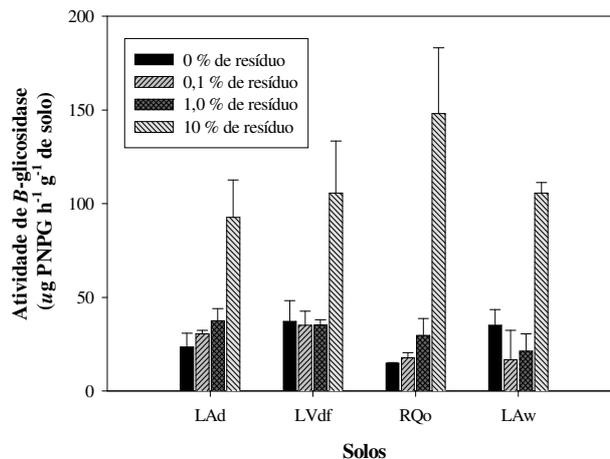


Figura 2. Atividade de β -glicosidase em relação à quantidade de resíduo adicionado em amostras superficiais (0-10 cm) de solos. Latossolo Amarelo distrófico típico, LAd; Latossolo Vermelho distroférico típico, LVdf; Neossolo Quartzarênico órtico típico, RQo; Latossolo Amarelo ácrico típico, LAW. Valores médios da atividade da enzima seguidos de seus respectivos desvios padrões ($n = 4$).

Os valores de atividade de urease variaram de 9,2 a 125 $\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ e estão de acordo com relatos recentes apresentados na literatura (GÓMEZ-LUNA et al., 2012; SAIYA-CORKA; SINSABAUGHA; ZAKB, 2002). Os resultados mostram que não houve diferença da atividade da enzima em relação à adição de resíduos de serapilheira nas amostras de solo dos diferentes sítios avaliados (Figura 3). Saiya-Corka, Sinsabaugha e Zakb (2002) também relataram ausência do efeito significativo de serapilheira de

uma floresta (*Acer saccharum*) na atividade de urease. A maior atividade de urease foi observada no LVdf, o qual se diferenciou quanto a atividade da enzima em comparação aos demais sítios avaliados. Além disso, a maior mineralização do carbono encontrada neste sítio pode estar associada à atividade de urease, uma vez que aumentos da atividade da enzima podem indicar aumentos potenciais de mineralização de nitrogênio (SAIYA-CORKA; SINSABAUGHA; ZAKB, 2002).

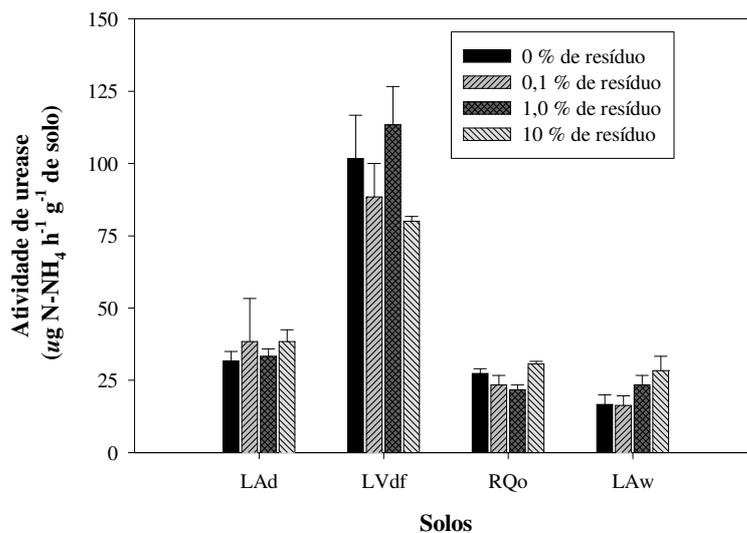


Figura 3. Atividade de urease em relação à quantidade de resíduo adicionado em amostras superficiais (0-10 cm) de solo. Latossolo Amarelo distrófico típico, LAd; Latossolo Vermelho distroférico típico, LVdf; Neossolo Quartzarênico órtico típico, RQo; Latossolo Amarelo ácrico típico, LAw. Valores médios da atividade da enzima seguidos de seus respectivos desvios padrões (n = 4).

Sob condições de incubação em laboratório, os resultados mostram que a textura do solo se apresenta como um componente importante, afetando os indicadores microbianos e bioquímicos do solo. Estudos devem ser realizados de forma comparativa na avaliação da atividade microbiana, mineralização e decomposição de resíduos orgânicos de serapilheira, incluindo a atividade de enzimas.

CONCLUSÕES

A atividade microbiana do solo aumentou com adição de 1 e 10 % de resíduo de serapilheira, sendo a diferença entre os solos observada quando adicionado 10 %.

A ordem de maior mineralização do carbono orgânico da serapilheira foi LVdf > LAw > LAd >

RQo, mostrando que o teor de argila afeta a mineralização do carbono orgânico adicionado.

A atividade de β -glicosidase teve uma resposta semelhante à observada para a atividade microbiana quando da adição 10% de resíduo de serapilheira, com maiores valores médios de atividade da enzima no solo de textura mais arenosa (RQo). A atividade de urease não foi afetada quando foi adicionado o resíduo de serrapilheira nos solos dos sítios avaliados.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG pelo apoio financeiro ao Projeto APQ-02889-09 “Busca de valores bioquímicos de referência do solo em ambientes do cerrado” e a bolsa de mestrado do primeiro autor.

ABSTRACT: Litter decomposition and mineralization are fundamentally important to Cerrado function. The aim of this study was to compare the soil microbial activity, potential decomposition and mineralization of savanna litter, under laboratory incubation, in soils from four textural classes. Soil samples were collected at a depth of 10 cm from four Cerrado sites and classified as Latossolo Amarelo distrófico típico (LAd), (sandy clay loam); Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdf), (clay); Neossolo Quartzarênico órtico típico (Rqo), (sandy) and Latosso Amarelo átrico típico (LAW), (clay). Litter was added to 100 g soil at rates of 0, 0.1, 1.0 and 10% and incubated for 10 days at 25 °C. Soil microbial activity (CO₂ release), total organic carbon (at the beginning and end of the assay), and β-glucosidase and urease activity were measured. Relative to the control, soil microbial activity increased significantly with 1 and 10% litter. With 10% litter, microbial activity was higher in soil from RQo than in soils from the other sites. The order of organic carbon mineralization was LVdf > LAW > LAd > RQo, suggesting that clayey soils have higher mineralization rates. At all sites, β-glucosidase activity increased significantly in response to addition of 10% litter only, and was highest in RQo. Urease activity did not respond to litter addition. However, urease activity in LVdf was significantly higher than in the other soils. The results show that soil texture may have important implications for soil microbial activity and decomposition and mineralization of savanna litter.

KEYWORDS: Microbial activity. Carbon mineralization rate. β-glucosidase. Urease. Soil texture classes.

REFERÊNCIAS

- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, NL, v. 86, p. 237-245, 2006.
- CARVALHO, A. M. X.; VALE, H. M. M.; FERREIRA, E. M.; CORDERO, A. F. P.; BARROS, N. F.; COSTA, M. D. Atividade microbiana de solo e serapilheira em áreas povoadas com *Pinus elliottii* e *Terminalia ivorensis*. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 2709–2716, 2008.
- CHAPIN, F. S.; MATSON, P. A.; MOONEY, H. A. **Principles of terrestrial ecosystem ecology**. Springer Science, New York, USA, 2002, 436p.
- DELLA BRUNA, E.; BORGES, A. C.; FERNANDES, B.; BARROS, N. F.; MUCHOVEJ, R. M. C. Atividade da microbiota de solos adicionados de serapilheira de eucalipto e de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 15, p. 15-20, 1991.
- DILUSTRO, J. J.; COLLINS, B.; DUNCAN, L.; CRAWFORD, C. Moisture and soil texture effects on soil CO₂ efflux components in southeastern mixed pine forests. **Forest Ecology and Management**, Elmsford, NL, v. 204, p. 87-97, 2005.
- DORNBUSH, M. E. Grasses, litter, and their interaction affect microbial biomass and soil enzyme activity. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, NY, v. 39, p. 2241-2249, 2007.
- EIVAZI, F.; TABATAI, M. A. Glucosidases and galactosidases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, NY, v. 20, p. 601-606, 1988.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997, 212p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 2 ed. Embrapa, DF, 2006, 306p.
- FERREIRA, A. S.; SANTOS, M. A.; CORRÊA, G. F. Soil microbial response to glucose and phosphorus addition under agricultural systems in the Brazil Cerrado. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, RJ, v. 85, n. 1, p. 395-403, 2013.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; MIOLA, E. C. C.; RECOUS, S. Mineralização do carbono da palha de aveia e dejetos de suínos aplicados na superfície ou incorporados ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 2661-2668, 2008.

GÓMEZ-LUNA, B. E.; RUIZ-AGUILAR, G. M. L.; VÁZQUEZ-MARRUFO, G.; DENDOOVEN, L.; OLALDE-PORTUGAL, V. Enzyme activities and metabolic profiles of soil microorganisms at KILN sites in *Quercus* spp. temperate forests of central Mexico. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, NL, v. 52, p. 48-55, 2012.

GUAN, S. Y.; ZHANG, D. S.; ZHANG, Z. M. **Soil enzymes and its methodology**. Agricultural Press, 1986, p.274-338.

INSAM, H.; DOMSCH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial ecology**, New York, US, v. 15, p. 177-188, 1988.

KJØLLER, A. H.; STRUWE, S. Fungal communities, succession, enzymes and decomposition. In: BURNS, R.C.; DICK, R.P.(Eds.), **Enzymes in the Environment: Activity, Ecology and Applications**. Marcel Dekker, Inc., New York, 2002, 266–284 p.

KOURTEV, P. S.; EHRENFELD, J. G.; HUANG, W. Z. Enzyme activities during litter decomposition of two exotic and two native plant species in hardwood forests of New Jersey. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, NY, v. 34, p. 1207-1218, 2002.

LEKHA, A.; GUPTA, S. R. Decomposition of *Populus* and *Leucaena* leaf litter in an agroforestry system. **Environmental Science and Forestry**, v. 15, p. 97-108, 1989.

MELILLO, J. M.; ABER, J. D.; MURATORE, J. F. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. **Ecology**, v.63, p.621-626, 1982.

MELO, V. F.; CORREA, G. F.; RIBEIRO, A. N.; MASCHIO, P. A. Cinética de liberação de potássio e magnésio pelos minerais da fração argila de solos do Triângulo Mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p. 533-545, 2005.

PAUL, E. A. **Soil microbiology, ecology and biochemistry**, Third edition. Burlington, USA: Academic Press, 2007, 532p..

RESENDE, M.; CURI, N.; RESENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: bases para distinção de ambientes**. 3 ed. Viçosa: NEPUT, 1999, 338p.

RESENDE, M.; CURI, N.; RESENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5. ed. rev. - Lavras: Editor UFLA, 2007. 322p. : il.

SAIYA-CORKA, K. R.; SINSABAUGHA, R. L.; ZAKB, D. R. The effects of long term nitrogen deposition on extracellular enzyme activity in an *Acer saccharum* forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, NY, v. 34, p. 1309-1315, 2002.

SAPARRAT, M. C. N.; ROCCA, M.; AULICINO, M.; ARAMBARRI, A. M.; BALATTI, P. A. *Celtis tala* and *Scutia buxifolia* leaf litter decomposition by selected fungi in relation to their physical and chemical properties and lignocellulolytic enzyme activity. **European Journal of Soil Biology**, Montrouge, Franca, FR, v.44, p.400-407, 2008.

SEASTED, T.R.; CROSSLEY, D. A. The influence of arthropods on ecosystems. **BioScience**, Washington, US, v. 34, p. 157-161, 1984.

STEENWERTH, K.; BELINA, K. M. Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, NL, v. 40, p. 359-369, 2008.

STOTZKY, G. In: Black, C.A., ed. **Methods of soil analysis**, 2 edition. Madison: American Society of Agronomy, p. 1551-1572, 1965.

SYLVIA, D. M.; FUHRMANN, J. J.; HARTEL, P. G.; ZUBERER, D. A. **Principles and applications of soil microbiology**. New Jersey: Prentice Hall, 1999, 550p.

TEDESCO, M. J.; BOHNEM, H.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p., (Boletim Técnico, 5).

TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, M. C.; GIL-SOTRES, F. Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, NY, v. 40, p. 2146-2155, 2008.

VINHAL-FREITAS, I.C.; FERREIRA, A.S.; CORRÊA, G.F.; WENDLING, B. Influence of phosphorous and carbon on soil microbial activity in a Savannah Agroecosystem of Brazil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, US, v. 43, p. 1291-1302, 2012.

VINHAL-FREITAS, I.C.; FERREIRA, A.S.; CORRÊA, G.F.; WENDLING, B. Land Use Impact on Microbial and Biochemical Indicators in Agroecosystems of the Brazilian Cerrado. **Vadose Zone Journal**, Madison, Wis., US, v. 12. n. 1, p. 1-8, 2013.

WANG, C.; GUO, P.; HAN, G.; FENG, X.; ZHANG, P. TIAN, X. Effect of simulated acid rain on the litter decomposition of *Quercus acutissima* and *Pinus massoniana* in forest soil microcosms and the relationship with soil enzyme activities. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, NL, v. 408, p. 2706-2713, 2010.

WERTH, M.; KUZYAKOV, Y. Root-derived carbon in soil respiration and microbial biomass determined by ¹⁴C and ¹³C. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, NY, v. 40, p. 625-637, 2008.