

Atividade da biomassa microbiana do solo alterada pelo uso da terra no sudoeste da Amazônia

Activity of soil microbial biomass altered by land use in the southwestern Amazon

André Mancebo Mazzetto^{1*}, Carlos Eduardo Pellegrino Cerri¹, Brigitte Josefine Feigl², Carlos Clemente Cerri²

1. Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Departamento de Ciência do Solo - Piracicaba (SP), Brasil.

2. Universidade de São Paulo - Centro de Energia Nuclear na Agricultura - Laboratório de Biogeoquímica Ambiental - Piracicaba (SP), Brasil.

RESUMO: A demanda crescente de alimentos gera problemas ambientais, principalmente devido à remoção das coberturas vegetais nativas para a expansão da agricultura no Brasil. Essas alterações no uso da terra acarretam mudanças na dinâmica da matéria orgânica do solo. Os micro-organismos representam a maior diversidade biológica e fisiológica do solo, além de serem responsáveis por mais de 95% dos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes. O objetivo deste trabalho foi verificar se há diferenciação dos padrões de atividade da biomassa microbiana dos solos sob as diferentes vegetações naturais, pastagens em uso e sistemas agrícolas recém-implantados. A área de abrangência desta pesquisa corresponde aos Estados de Rondônia e Mato Grosso. Foi realizada a análise de variável canônica de atributos físicos, químicos e microbiológicos de cada ecoregião e uso da terra, buscando evidenciar os padrões e as variáveis que os diferenciam. As áreas nativas apresentaram padrões distintos na dinâmica dos atributos microbiológicos relacionados principalmente à quantidade de serapilheira em cada bioma estudado. Em relação às áreas antropizadas, observaram-se resultados similares entre pastagens e áreas nativas, significativamente diferentes dos resultados obtidos em áreas agrícolas, que, devido à diferença de manejo e diversidade de culturas analisadas, apresentaram uma grande variabilidade no seu resultado final. Os resultados obtidos mostram que os atributos microbiológicos devem ser utilizados como indicadores de mudança de uso da terra quando associados a fatores químicos e físicos do solo.

Palavras-chave: biomassa microbiana, respiração basal, Amazônia.

ABSTRACT: The increasing demand for food creates environmental problems, mainly due to the removal of native vegetation cover for agriculture expansion in Brazil. These changes in land use lead to changes in the soil organic matter dynamics. Microorganisms represent the most biological and physiological diversity in soil, as well as are responsible for more than 95% of the decomposition and nutrient cycling processes. The objective in this research was to check if there is difference of patterns in activity of soil microbial biomass under varied natural vegetation, pastures in use and agricultural systems recently established. The area covered by this study corresponds to the states of Rondônia and Mato Grosso. Canonical variate analysis was used in physical, chemical and microbiological factors in each ecoregion and land use, looking for patterns and variables that can differentiate them. The native areas showed distinct patterns in the dynamics of microbiological attributes mainly related to the amount of litter in each biome studied. For the disturbed areas, there were similar results between pastures and native areas, significantly different from the results obtained in agricultural areas, which, due to differences in management and kind of cultures analyzed, showed a great variability in the final result. The results support the recommendation for use of microbiological attributes as indicators of land use change, combined with chemical and physical factors of the soil.

Key words: microbial biomass, basal respiration, Amazon.

*Autor correspondente: andremazzetto@hotmail.com

Recebido: 20 Fev. 2015 – Aceito: 24 Jul. 2015

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos, fibras e biocombustíveis gera diversos problemas ambientais, causados principalmente pela ocupação desordenada da maior fronteira agrícola do mundo, a borda entre a Floresta Tropical Amazônica e o Cerrado do Brasil Central (Borlaug 2002). O relevo plano facilita o uso de máquinas, fazendo a ocupação dessa área relativamente fácil. O sudoeste da Amazônia, especialmente os Estados de Rondônia e Mato Grosso, são os que mais promovem o desmatamento para o uso agrícola da terra (INPE 2006).

O uso intensivo da terra invariavelmente tem efeitos negativos tanto sobre o ambiente como sobre a produtividade agrícola quando não são adotadas práticas conservacionistas (Cerri et al. 2004; Foley et al. 2005). Teme-se que a qualidade do solo possa ser alterada por um longo período ou mesmo irreversivelmente. A microbiota do solo é uma parte importante dos ciclos biogeoquímicos e possui um papel-chave no desenvolvimento e manutenção da estrutura e qualidade do solo (Allen e Schlesinger 2004). A biomassa microbiana é a parte viva e ativa do solo e pode servir como indicador das mudanças de quantidade de nutrientes devido às mudanças no uso do solo (Brookes 2001). Após a alteração ser introduzida, a biomassa microbiana passa por flutuações até atingir um novo equilíbrio (Powlson et al. 1987). Devido a esse motivo, a demanda por indicadores rápidos e confiáveis para detectar alterações na qualidade do solo vem crescendo continuamente, principalmente por aqueles com base nos micro-organismos (Anderson 2003; Ananyeva et al. 2008).

Na maioria dos solos sujeitos a práticas agrícolas, os nichos disponíveis são afetados pela intervenção nas características do solo. Cada modificação profunda representa uma renovação da pressão de seleção, favorecendo alguns componentes da comunidade microbiana e eliminando outros, o que remaneja o estado de equilíbrio entre as populações. Havendo redução da diversidade microbiana, perdem-se algumas espécies capazes de metabolizar determinados grupos funcionais, resultando em uma redução na resiliência do sistema (van Heerden et al. 2002).

Este estudo visa agregar novas informações quanto às alterações decorrentes da mudança do uso da terra e seu impacto na biomassa microbiana do solo. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a alteração da atividade da biomassa microbiana do solo após a interferência antrópica nas vegetações naturais para uso da terra como pastagens e agricultura na região sudoeste da Amazônia.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de abrangência desta pesquisa corresponde aos Estados de Rondônia e Mato Grosso. A região sudoeste da Amazônia representa uma área de transição entre a Bacia Amazônica e o Planalto Central Brasileiro, localizada entre as latitudes 7° e 18° Sul e entre as longitudes 50° e 67° Oeste, formando um divisor de águas entre a Bacia Amazônica ao norte e a Bacia do Paraná ao sul. Essa região constitui uma das mais extensas fronteiras agrícolas do mundo, abrangendo uma área de aproximadamente 1.128.000 km² nesses estados. O clima da região varia em função da latitude, podendo ser caracterizado por um regime tropical úmido com curto período de seca. Maia et al. (2009, 2010) descrevem os solos da região estudada como sendo representados principalmente por Latossolos, Argissolos e Neossolos, com cerca de 40, 20 e 15%, respectivamente.

Para melhor selecionar os locais de amostragem, a área total dos Estados de Rondônia e Mato Grosso foi dividida em 11 macrozonas biogeoclimáticas (Figura 1). A divisão foi efetuada utilizando-se o Sistema de Informação Geográfico ArcGIS 9.0 pela sobreposição dos planos de informação referente a solos, vegetação nativa, geologia, clima e relevo, a fim de encontrar áreas relativamente homogêneas, tornando possível a determinação dos atributos do solo a serem extrapolados criteriosamente para toda ecorregião. A descrição completa do tipo de solo, clima, vegetação, topografia e geologia de cada ecorregião pode ser encontrada em Maia et al. (2009, 2010).

Em cada ecorregião, foram sorteados dois municípios para avaliação dos atributos físicos, químicos e microbiológicos dos solos em função da mudança do uso da terra, totalizando 22 municípios (Figura 1). Nesses locais, foram realizadas as amostragens de solo em pares representativos quanto ao uso e mudança de uso da terra para determinação do estoque de carbono. Os pares de amostragem são caracterizados por sistema nativo (referência), pastagem e área de uso agrícola.

Amostragem

Foram coletadas três repetições em cada local nas camadas 0 – 10 cm, totalizando 330 amostras (110 em cada uso de terra). As amostras de terra foram destorroadas e peneiradas com auxílio de uma peneira de 2 mm para retirada de material não decomposto.

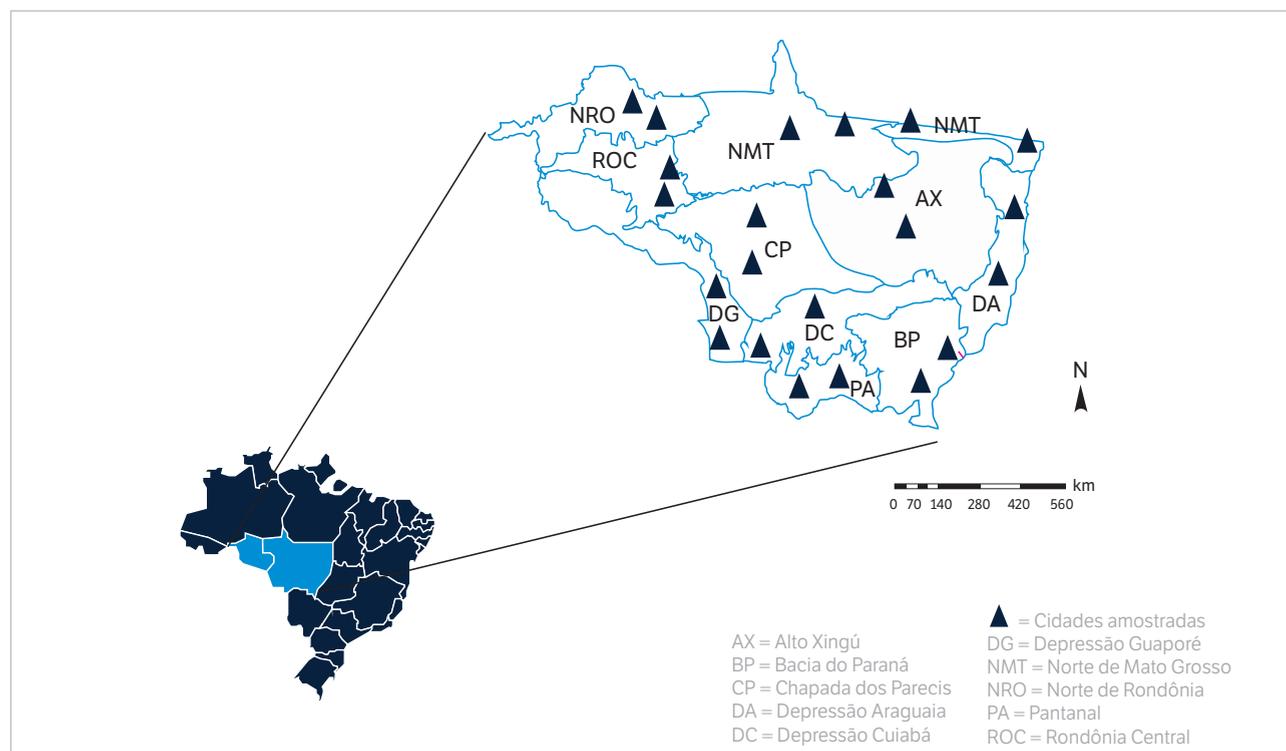


Figura 1. Distribui o das ecorregiões na área estudada.

Respira o basal do solo

A respira o basal (RB) do solo foi determinada pela emissão de dióxido de carbono (CO_2). Amostras de solo (5 g de peso seco) foram pré-incubadas em frascos de 250 mL a 25  C por três dias. Os tubos foram então hermeticamente fechados e a concentra o de CO_2 foi medida após 8 h de incubaq o, sendo coletados 2 mL de gás por meio de seringas BD. A produ o de CO_2 foi determinada por meio de um analisador de gás infravermelho (*infra-red gas analyzer* — IRGA).

Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana

O carbono da biomassa microbiana (BM-C) foi determinado pelo método de fumiga o-extra o (Vance et al. 1987). Os extratos foram analisados quanto ao teor de C orgânico (Shimadzu - TOC 5000A), sendo a biomassa microbiana determinada pela diferença entre os valores obtidos nas amostras fumigadas e as não fumigadas. Para determina o do nitrogênio da biomassa microbiana (BM-N), os extratos foram submetidos ao método da Ninhidrina (Joergensen e Brookes 1990).

Caracteriza o química e física do solo

O teor de C total (C%) das amostras foi determinado por combustão a seco no analisador elementar LECO CN-2000. Para cáculo da densidade aparente do solo, foram coletadas amostras indeformadas de solo com auxílio de um cilindro de a o inox (5   5 cm). A densidade aparente do solo foi determinada segundo Blake e Hartge (1986). O estoque de carbono foi calculado multiplicando-se seu teor pela densidade do solo na camada 0 – 10 cm. O pH foi determinado em H_2O e KCl ($1,0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) usando-se a rela o solo : soluço de 1 : 2,5.

Análise estatística

Os resultados foram agrupados em diferentes categorias quanto ao uso da terra (pastagem — PAST; áreas agrícolas — AGR; áreas nativas — NAT). A análise de variância (ANOVA; $\alpha = 0,001$) foi utilizada para determinar a diferença entre os usos de terra analisados. A análise de variável canônica foi realizada considerando-se os dados microbiológicos obtidos nesta pesquisa e acrescentando-se posteriormente os dados químicos e físicos do solo. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se os

pacotes estatísticos GenStat 11 e GenStat Discovery Edition 3 (VSN International Ltd., Herts., UK).

RESULTADOS

O BM-C do solo variou de 0,04 a 1,75 g C por kg solo. O BM-N variou de 0,12 a 108,4 mg N por kg solo. A atividade microbiana, medida como respiração basal, variou de 0,07 a 1,82 $\mu\text{g CO}_2$ por g solo·h. De maneira geral, observou-se uma grande semelhança entre os valores de áreas nativas e pastagens, com diferenças significativas para áreas agrícolas (Tabela 1).

A relação entre o carbono imobilizado na biomassa microbiana e o carbono orgânico total do solo seguiu também a mesma tendência, sendo 25% maior nas áreas sob pastagem. Já o quociente metabólico ($q\text{CO}_2$ — razão entre respiração basal e quantidade da biomassa microbiana) apresentou maior valor nas áreas nativas (1,7 vezes maior que em áreas agrícolas e 2,2 vezes maior em relação às pastagens Tabela 1). Os atributos do solo também apresentaram diferenças significativas entre as áreas analisadas, com exceção do carbono total do solo (Tabela 2), com os maiores valores encontrados nas áreas sob pastagem.

Nas áreas sob pastagem, o teor de carbono possui correlação altamente significativa ($p < 0.01$) com os três

atributos microbiológicos estudados (respiração basal — $r^2 = 0,29$; BM-C e BM-N — $r^2 = 0,43$) enquanto pH KCl possui alta correlação com a respiração basal ($r^2 = 0,38$). Nas áreas sob cultivo agrícola, foi encontrada apenas uma correlação altamente positiva, que ocorre entre a respiração basal e o estoque de carbono ($r^2 = 0,21$). Já em áreas nativas, o BM-N possui correlação com pH H_2O ($r^2 = 0,60$), pH KCl ($r^2 = 0,63$) e estoque de carbono ($r^2 = 0,55$).

A análise canônica referente apenas aos dados microbiológicos não mostrou uma separação clara entre pastagens e áreas nativas. Foi observada uma sobreposição das regiões de confiança entre pastagem e áreas nativas (Figura 2). Essa sobreposição é reflexo da grande variabilidade presente no banco de dados. Apesar desse fato, a análise canônica promoveu a separação entre pastagens e áreas nativas de áreas agrícolas (Figura 2). Os principais atributos que permitiram essa separação foram respiração basal e BM-C, com altos valores de vetores canônicos para o eixo canônico 1 (CV1), que explica 72,84% da variação observada (Tabela 3). O eixo canônico 2 (CV2) explicou 27,16% da variação observada, com destaque novamente para BM-C e respiração basal, enquanto o BM-N não contribuiu significativamente para a separação dos usos de terra em nenhum dos eixos (Tabela 3).

Quando considerados os dados físicos e químicos em conjunto com os microbiológicos, a separação dos usos de

Tabela 1. Atributos microbiológicos na área de estudo

	Áreas agrícolas			Áreas nativas			Pastagem		
	Média	DP	CV	Média	DP	CV	Média	DP	CV
Respiração basal ($\mu\text{g CO}_2$ por g solo·h)	0,37 b	0,04	21,44	0,46 a	0,04	24,89	0,50 a	0,04	38,06
BM-C (g C por kg solo)	0,53 b	0,07	41,29	0,55 b	0,07	55,50	0,69 a	0,07	25,29
BM-N (mg N por kg solo)	17,85 b	7,09	90,19	37,89 a	7,09	83,20	37,16 a	7,09	71,00
BM-C : Corg	2,98 b	0,45	49,51	3,05 b	0,45	64,65	4,08 a	0,45	33,14
$q\text{CO}_2$	1,01 b	0,49	97,14	1,71 a	0,49	169,00	0,76 b	0,49	45,09

Médias seguidas pela mesma letra na linha não são estatisticamente diferentes (teste de Tukey, $p < 0.05$). DP = Desvio padrão; CV = Coeficiente de variação; BM-C = Carbono da biomassa microbiana; BM-N = Nitrogênio da biomassa microbiana; Corg = Carbono orgânico; q = quociente metabólico.

Tabela 2. Atributos químicos e físicos na área de estudo

	Áreas agrícolas (n = 110)			Áreas nativas (n = 110)			Pastagem (n = 110)		
	Média	DP	CV	Média	DP	CV	Média	DP	CV
Teor de C (%)	1,94 a	0,67	34,90	2,11 a	0,99	46,91	1,95 a	0,79	40,81
Estoque de C ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	10,86 b	3,10	28,62	11,00 b	4,07	36,97	12,54 a	4,77	38,05
Densidade ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	1,17 b	0,16	13,71	1,09 c	0,19	17,81	1,34 a	0,19	14,55
pH H_2O	5,96 a	0,47	7,86	5,26 b	0,95	18,01	5,97 a	0,50	8,46
pH KCl	5,27 a	0,55	10,50	4,47 b	1,02	22,92	5,24 a	0,72	13,66

Médias seguidas pela mesma letra na linha não são estatisticamente diferentes (teste de Tukey, $p < 0.05$). DP = Desvio padrão; CV = Coeficiente de variação.

terra ficou mais evidente. A maior parte da variabilidade encontrada foi explicada pelo CV1, que separou áreas nativas de pastagens e agricultura (Figura 3). A separação é

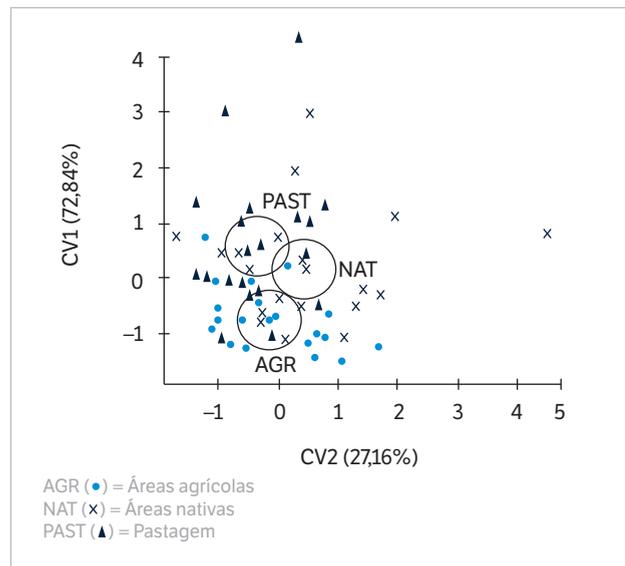


Figura 2. Análise canônica considerando apenas os atributos microbiológicos.

Tabela 3. Análise de variável canônica da área de estudo.

Dados microbiológicos		Dados microbiológicos, físicos e químicos			
Variação (%)					
CV1	72,84	CV1	59,75		
CV2	27,16	CV2	40,25		
Total	100,00	Total	100,00		
Vetores					
	CV1	CV2	CV1	CV2	
BM-C	1,39	-4,99	RB	0,4	4,43
BM-N	0,02	0,04	C%	0,3	1,72
RB	5,71	-1,57	BM-C	2,00	-0,90
		Estoque de C	-0,05	-0,01	
		Densidade	6,42	6,90	
		BM-N	-0,04	0,01	
		pH H ₂ O	1,12	0,01	
		pH KCl	0,04	-1,05	
Média canônica					
	CV1	CV2	CV1	CV2	
AGR	-0,74	-0,14	AGR	-0,71	1,2
NAT	0,18	0,46	NAT	1,62	-0,10
PAST	0,56	-0,32	PAST	-0,09	-1,10

CV1 = Eixo canônico 1; CV2 = Eixo canônico 2; BM-C = Carbono da biomassa microbiana; BM-N = Nitrogênio da biomassa microbiana; RB = Respiração basal; C% = teor de C; AGR = Áreas agrícolas; NAT = Áreas nativas; PAST = Pastagem.

confirmada pelos scores canônicos do primeiro eixo, sendo positivo para áreas nativas, enquanto os scores de agricultura e pastagens são negativos (Tabela 3). A densidade do solo possui alto valor negativo relacionado ao CV1, sendo o principal fator para a separação observada nesse eixo. Outros fatores importantes no CV1 são BM-C e pH H₂O (Tabela 3). O CV2 explica 40,25%, separando pastagens e áreas nativas de áreas agrícolas, como demonstrado pelos scores negativos de pastagem e áreas nativas quando comparados com o score positivo de agricultura. No CV1, o principal fator para o CV2 foi a densidade do solo, porém a respiração basal e o carbono total do solo também contribuíram para essa separação (Tabela 3).

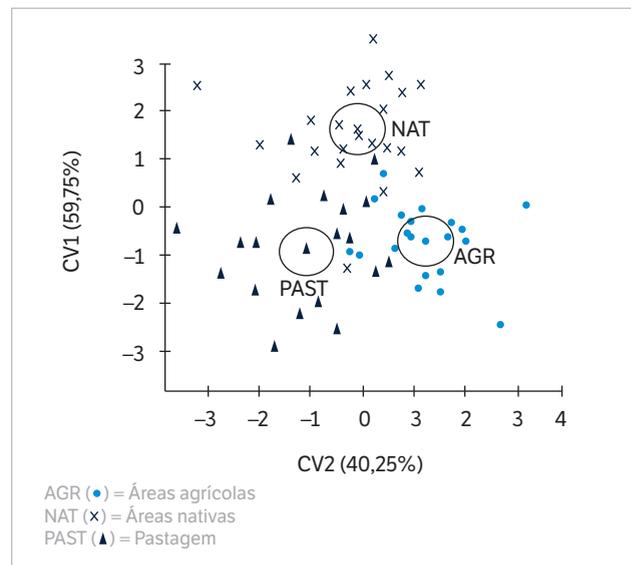


Figura 3. Análise canônica considerando os atributos microbiológicos, físicos e químicos do solo.

DISCUSSÃO

A análise de variável canônica mostrou que não é possível separar os três usos de terra considerando-se apenas os dados microbiológicos. A diferenciação entre pastagens e áreas nativas foi possível apenas quando os atributos físicos e químicos do solo foram adicionados. A intervenção antrópica nesses usos de terra explica as semelhanças e diferenças observadas neste estudo.

As similaridades entre pastagem e áreas nativas podem estar relacionadas a estoque de carbono equivalentes, enquanto o comportamento diferenciado apresentado pelas áreas em agricultura pode estar relacionado com o manejo

do solo e os diferentes tipos de culturas que são encontrados na região (soja, milho, arroz, cacau, café, entre outros). Os maiores valores da relação BM-C : Corg encontram-se nas pastagens, seguidas por áreas nativas e agricultura (Tabela 1). Jakelaitis et al. (2008) também reportaram a mesma sequência em seus estudos. Segundo Balota et al. (1998), solos que exibem valores altos e baixos da relação BM-C : Corg podem representar, respectivamente, acúmulo ou perda de C do solo. Esses valores estão de acordo com a porcentagem proposta por Jenkinson e Ladd (1981), os quais consideram normal que 1 a 4% do carbono total do solo correspondam ao componente microbiano. Essa relação é reportada como indicador de qualidade da matéria orgânica do solo (MOS), pois permite acompanhar as perturbações promovidas pelo desequilíbrio ecológico e variações no total de MOS ocasionadas pelo manejo, reagindo com maior rapidez que os indicadores físico-químicos (Alvarez et al. 1995). Santos et al. (2004) e Fialho et al. (2006) também encontraram valores maiores de qCO_2 em áreas nativas. Mader et al. (2002), avaliando agroecossistemas durante 21 anos, observaram uma alta correlação negativa entre o qCO_2 e a diversidade microbiana. Os baixos valores observados em pastagens e áreas agricultáveis sugerem que essas áreas possuem biomassa microbiana mais eficiente na utilização da energia, caracterizando ambientes mais estáveis (Chaer 2001), e que também possuem maior diversidade microbiana (Mader et al. 2002). Dinesh et al. (2003) atribuem valores maiores de qCO_2 , como os encontrados no trabalho (1,71), para áreas nativas devido à grande quantidade de teor de C disponível para degradação dos micro-organismos do solo.

Os altos níveis dos atributos microbiológicos observados em solos sob pastagens em relação a áreas nativas devem-se, principalmente, ao fato de que a maioria das pastagens analisadas neste trabalho são antigas, entre 10 e 25 anos de estabelecimento. À idade da pastagem, soma-se o aumento geral de C proveniente da fotossíntese realizada pelas gramíneas (Feigl et al. 1995). Cerri et al. (2003, 2004) realizaram simulações modelando a dinâmica da MOS em solos de pastagens e mostraram um aumento no estoque de carbono a longo prazo (100 anos) em relação às áreas nativas. Outros estudos mostram que, após alguns anos de cultivo, os teores totais de carbono no solo de pastagens são comparáveis aos de florestas (Cerri et al. 2003). A biomassa de raízes finas é um fator que pode influenciar a resposta dos atributos microbiológicos no sistema pastagem, possuindo correlação positiva com a

biomassa microbiana e com o teor de água no solo (Luizão et al. 1999; Rangel e Silva 2007). A alta respiração basal observada em pastagens degradadas pode estar relacionada à diversidade de plantas invasoras, que possuem sistemas radiculares diversificados, promovendo maior aeração e oxigenação do solo, além de aumentarem a entrada de nutrientes por meio da liteira e exsudatos produzidos por diferentes espécies vegetais. O maior teor de BM-N presente em pastagens degradadas pode indicar, indiretamente, uma mudança nos grupos taxonômicos que compõem a biomassa microbiana. Manejos como a pastagem, onde não há revolvimento do solo, permitem o menor fluxo de CO_2 para a atmosfera devido à menor mineralização da MOS (Bayer et al. 2000), além do grande aporte de nutrientes que possibilita, a longo prazo, um aumento no teor da mesma (Carneiro et al. 2008). Devido às semelhanças dos atributos microbiológicos entre áreas nativas e pastagens, a separação só foi possível após a adição dos fatores físicos e químicos, com destaque para a densidade (Tabela 3), que é significativamente maior em pastagens (Tabela 2). Outros fatores que podem favorecer o desenvolvimento da biomassa microbiana em pastagens são a pressão de pastejo, que resulta em um aumento do carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (Wang et al. 2006), e a excreta do gado, que age como fertilizante natural (Saviozzi et al. 2001; Iyyemperumal et al. 2007).

As áreas agrícolas possuem valores significativamente menores relacionados aos atributos microbiológicos devido à grande intervenção antrópica presente nesse uso de terra. Solos sob vegetação natural apresentam estoque de carbono estável devido ao equilíbrio dinâmico da emissão de CO_2 do solo e da quantidade de matéria orgânica proveniente da vegetação. Quando o solo é cultivado, esse equilíbrio é modificado. Carmo et al. (2007) observaram redução do carbono e BM-N no Estado de Rondônia por meio de operações agrícolas. A aplicação de pesticidas, muito comum em áreas agricultáveis, tem forte impacto sobre a biomassa microbiana do solo. Muñoz-Leoz et al. (2011) demonstraram que a aplicação de Tebuconazole implica na diminuição de respiração basal, BM-C e diversidade metabólica da biomassa microbiana do solo. O plantio também leva a perdas de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em relação às áreas nativas (Reyes-Reyes et al. 2007). A separação das áreas agrícolas dos outros usos de terra foi possível utilizando-se apenas os atributos microbiológicos devido a grandes distúrbios realizados no plantio e manejo das culturas,

que influenciam significativamente o comportamento da biomassa microbiana (van Heerden et al. 2002). Quando adicionados os atributos físicos e químicos, a separação das áreas é mais evidente, principalmente devido à densidade do solo (Tabelas 2 e 3).

CONCLUSÃO

Os atributos microbiológicos mostram-se eficientes na separação dos usos de terra avaliados no sudoeste da Amazônia

quando aliados a fatores químicos e físicos do solo. Quando utilizados isoladamente, os atributos microbiológicos não diferenciam áreas nativas de pastagens, mostrando que há grande semelhança do comportamento da biomassa microbiana nesses dois usos de terra. A densidade do solo contribui significativamente para reforçar as diferenças observadas entre áreas nativas e pastagens. A análise de variável canônica evidencia os principais atributos para a separação de usos de terra e ecorregiões analisadas, sendo uma técnica multivariada simples e de fácil aplicação, com resultados práticos.

REFERÊNCIAS

- Allen, A. S. e Schlesinger, W. H. (2004). Nutrient limitations to soil microbial biomass and activity in loblolly pine forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 36, 581-589. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2003.12.002>.
- Alvarez, R., Díaz, R. A., Barbero, N., Santanatoglia, O. J. e Blotta, L. (1995). Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from tree tillage systems. *Soil and Tillage Research*, 33, 17-28. [http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987\(94\)00432-E](http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987(94)00432-E).
- Ananyeva, N. D., Susyan, E. A., Chernova, O. V. e Wirth, S. (2008). Microbial respiration activities of soil from different climatic regions of European Russia. *European Journal of Soil Biology*, 44, 147-157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.05.002>.
- Anderson, T.H. (2003). Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 98, 285-293. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00088-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00088-4).
- Balota, E. L., Colozzi-Filho, A., Andrade, D. S. e Hungria, M. (1998). Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22, 641-649.
- Bayer, C., Mielniczuk, J. e Martin-Neto, L. (2000). Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24, 599-607.
- Blake, G. R. e Hartge, K. H. (1986). Bulk density. In A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 1: physical and mineralogical methods* (p. 364-367). Madison: American Society of Agronomy.
- Borlaug, N. E. (2002). Feeding a world of 10 billion people: the miracle ahead. In R. Bailey (Ed.), *Global warming and other eco-myths* (p. 29-60). Roseville: Competitive Enterprise Institute.
- Brookes, P.C. (2001). The soil microbial biomass: concept, measurement and applications in soil ecosystem research. *Microbes Environment*, 16, 131-140. <http://dx.doi.org/10.1264/jisme2.2001.131>.
- Carmo, J. B., Piccolo, M. C., Andrade, C. A., Cerri, C. E. P., Feigl, B. J., Souza Neto, E. e Cerri, C. C. (2007). Short-term changes in nitrogen availability, gas fluxes (CO₂, NO, NO₂) and microbial biomass after tillage during pasture re-establishment in Rondônia, Brazil. *Soil and Tillage Research*, 96, 250-259.
- Carneiro, M. C., Assis, P. C. R., Melo, L. B. C., Pereira, H. S., Paulino, H. B. e Silveira Neto, A. N. (2008). Atributos bioquímicos em dois solos de Cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 38, 276-283.
- Cerri, C. E. P., Coleman, K., Jenkinson, D. S., Bernoux, M., Victoria, R. e Cerri, C. C. (2003). Modeling soil carbon from forest and pasture ecosystems of Amazon, Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, 67, 1879-1887. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2003.1879>.
- Cerri, C. E. P., Paustian, K., Bernoux, M., Victoria, R. L., Mellilo, J. e Cerri, C. C. (2004). Modeling changes in soil organic matter in Amazon forest to pasture conversion with Century model. *Global Change Biology*, 10, 815-832.
- Chaer, G. M. (2001). Modelos para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e biológicos (Dissertação de mestrado). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa.
- Dinesh, R., Chaudhuri, S. G., Ganeshamurthy, A. N. e Dey, C. (2003). Changes in soil microbial indices and their relationships following deforestation and cultivation in wet tropical forests. *Applied Soil Ecology*, 24, 17-23. [http://dx.doi.org/10.1016/S0929-1393\(03\)00070-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0929-1393(03)00070-2).

- Feigl, B. J., Sparling, G. P., Ross, D. J. e Cerri, C. C. (1995). Soil microbial biomass in Amazonian soil: evaluation of methods and estimates of pool sizes. *Soil Biology Biochemistry*, 27, 1467-1472. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(95\)00063-K](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(95)00063-K).
- Fialho, J. S., Gomes, V. F. F., Oliveira, T. S. e Silva Júnior, J. M. T. (2006). Indicadores da qualidade do solo em áreas de vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi - CE. *Revista Ciência Agronômica*, 37, 250-257.
- Foley, J. A., Defries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N. e Snyder, P. K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309, 570-574. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1111772>.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2006). Projeto PRODES: Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite; [acessado 23 nov. 2015]. <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>
- Iyyemperumal, K., Israel, D. W. e Shi, W. (2007). Soil microbial biomass, activity and potential nitrogen mineralization in a pasture: impact of stock camping activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 39, 149-157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.07.002>.
- Jakelaitis, A., Silva, A. A., Santos, J. B. e Vivian, R. (2008). Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 38, 118-1127.
- Jenkinson, E. S. e Ladd, J. N. (1981). Microbial biomass in soil measurement and turnover. In E. A. Paul e J. N. Ladd (Eds.), *Soil biochemistry* (p. 415-471). New York: Marcel Dekker.
- Joergensen, R. G. e Brookes, P. C. (1990). Ninydrin-reactive nitrogen measurements of microbial biomass in 0.5 M K₂SO₄ soil extracts. *Soil Biology and Biochemistry*, 22, 1023-1027. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(90\)90027-W](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(90)90027-W).
- Luizão, R. C. C., Costa, E. S. e Luizão, F. J. (1999). Mudanças na biomassa microbiana e nas transformações de nitrogênio em uma sequência de idades de pastagens após derruba e queima da floresta na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 29, 43-56.
- Mader, P., Fliebach, A., Dubois, A., Gunst, L., Fried, P. e Niggli, U. (2002). Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, 296, 1694-1697. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1071148>.
- Maia, S. M. F., Ogle, S. M., Cerri, C. C. e Cerri, C. E. P. (2010). Changes in soil organic carbon storage under different agricultural management systems in the Southwest Amazon Region of Brazil. *Soil and Tillage Research*, 106, 177-184. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2009.12.005>.
- Maia, S. M. F., Ogle, S. M., Cerri, C. E. P. e Cerri, C. C. (2009). Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. *Geoderma*, 149, 84-91. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.11.023>.
- Muñoz-Leoz, B., Ruiz-Romera, E., Antigüedad, I. e Garbisu, C. (2011). Tebuconazole application decreases soil microbial biomass and activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 43, 2176-2183. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.07.001>.
- Powelson, D. S., Prookes, P. C. e Christensen, B. T. (1987). Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology and Biochemistry*, 19, 159-164. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(87\)90076-9](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(87)90076-9).
- Rangel, O. J. P. e Silva, C. A. (2007). Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31, 1609-1623. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000600037>.
- Reyes-Reyes, B. G., Alcántara-Hernández, R., Rodríguez, V., Olalde-Portugal, V. e Dendooven, L. (2007). Microbial biomass in a semi arid soil of the central highlands of Mexico cultivated with maize or under natural vegetation. *European Journal of Soil Biology*, 43, 180-188. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.02.001>.
- Santos, V. B., Castilhos, D. D., Castilhos, R. M. V., Pauletto, E. A., Gomes, A. S. e Silva, D. G. (2004). Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Agrociência*, 10, 333-338.
- Saviozzi, A., Levi-Minzi, R., Cardelli, R. e Riffaldi, R. (2001). A comparison of soil quality in adjacent cultivated forest and native grassland soils. *Plant and Soil*, 233, 251-259. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1010526209076>.
- Van Heerden, J., Korf, C., Ehlers, M. M. e Cloete, T. E. (2002). Biolog for the determination of diversity in microbial communities. *Water AS*, 28, 29-35.
- Vance, E. D., Brookes, P. C. e Jenkinson, D. S. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 19, 703-707. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(87\)90052-6](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(87)90052-6).
- Wang, K. H., Mcorley, R., Bohlen, P. e Gathumbi, S. M. (2006). Cattle grazing increases microbial biomass and alters soil nematode communities in subtropical pastures. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 1956-1965. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.12.019>.