



Núcleo de Meio Ambiente
Universidade Federal do Pará
Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá
Belém, Pará, Brasil
<https://periodicos.ufpa.br/index.php/agroecossistemas>

Michele Ribeiro Ramos

Universidade Estadual do Tocantins
michele.rr@unitins.br

Alexandre Uhlmann

Embrapa Florestas
alexandre.uhlmann@embrapa.br

Lidia Justen

Universidade Estadual do Tocantins
lidiajusten@gmail.com

Talita Maia Freire

Universidade Estadual do Tocantins
talitamaiafreire@gmail.com

Daniel Alves de Souza Panta

Universidade Estadual do Tocantins
danielpantapanta@gmail.com

USO DO SOLO E A ESTACIONALIDADE CLIMÁTICA AFETAM OS ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO?

RESUMO: A instabilidade climática e o uso e manejo inadequado do solo podem contribuir para degradação do solo? Considerando as condições de clima e uso do bioma cerrado dentro da área da Amazônia legal, como a última fronteira agrícola do país, objetivou-se avaliar a biomassa e respiração microbiana, bem como o quociente metabólico do solo em diferentes usos e em dois períodos críticos (úmido e muito seco) no município de Palmas, Estado do Tocantins. Trata-se de áreas de Latossolos Vermelho-Amarelo distrófico de classes texturais semelhantes. Utilizou-se de coleta de amostras deformadas com uso de trado na camada superficial e os parâmetros foram medidos utilizando a metodologia de respiração induzida. De maneira geral, os diferentes usos do solo alteraram a biomassa e respiração microbiana e a estacionalidade climática afetou somente a respiração microbiana. E a relação entre a respiração e biomassa medidos através do quociente metabólico indicou não haver diferença entre os usos, porém no período seco o cultivo orgânico demonstrou-se mais estável.

PALAVRAS-CHAVE: Biomassa microbiana, Respiração microbiana, Quociente metabólico.

DO LAND USE AND CLIMATE SEASONALITY AFFECT THE BIOLOGICAL ATTRIBUTES OF THE SOIL?

ABSTRACT: Climate instability and inadequate land use and management contribute to soil degradation. Considering the climate conditions and use of the cerrado biome within the legal Amazon area, as the last agricultural frontier in the country, the objective was to evaluate the microbial biomass and respiration, as well as the metabolic quotient of the soil in different uses and in two critical periods (humid and very dry) in the

Recebido em: 2019-09-02
Avaliado em: 2020-07-12
Aceito em: 2020-09-15

municipality of Palmas, state of Tocantins. These are areas of dystrophic Red-Yellow Latassols of similar textural classes. Deformed samples were collected using auger in the superficial layer and the parameters were measured using the induced respiration methodology. In general, different land uses altered biomass and microbial respiration and climatic seasonality affected only microbial respiration. And the relationship between respiration and biomass measured through the metabolic quotient indicated no difference between uses, but in the dry season organic cultivation was more stable.

KEYWORDS: Microbial biomass, Microbial respiration, Metabolic quotient.

¿EL USO DE LA TIERRA Y LA ESTACIONALIDAD CLIMÁTICA AFECTAN LOS ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DEL SUELO?

RESUMEN: La inestabilidad climática y el uso y manejo inadecuado de la tierra contribuyen a la degradación del suelo. Considerando las condiciones climáticas y el uso del bioma cerrado dentro del área legal del Amazonas, como la última frontera agrícola en el país, el objetivo era evaluar la biomasa microbiana y la respiración, así como el cociente metabólico del suelo en diferentes usos y en dos períodos críticos. (húmedo y muy seco) en el municipio de Palmas, estado de Tocantins. Estas son áreas de Latassoles rojos-amarillos distróficos de clases de texturas similares. Las muestras deformadas se recogieron usando una barrena en la capa superficial y los parámetros se midieron usando la metodología de respiración inducida. En general, los diferentes usos del suelo alteraron la biomasa y la respiración microbiana y la estacionalidad climática solo afectó la respiración microbiana. Y la relación entre la respiración y la biomasa medida a través del cociente metabólico no indicó diferencias entre los usos, pero en la estación seca el cultivo orgánico fue más estable.

PALABRAS CLAVES: Biomasa microbiana, Respiración microbiana, Cociente metabólico.

INTRODUÇÃO

O cerrado brasileiro situado dentro da Amazônia legal destaca-se entre os biomas tropicais por apresentar grande potencial agrícola, produzindo grãos, carne, fibras e, mais

recentemente, energia na forma de biocombustíveis. No entanto, em razão da expansão agrícola e da forte pressão do agronegócio, foram incorporados ao sistema de produção áreas que possuem solos com baixa

aptidão agrícola, intensificando a degradação de ambientes naturais, seja da fauna ou da flora, por meio da destruição dos mesmos (ASSIS et al., 2014).

Segundo Paulucio et al. (2017), fatores como cobertura vegetal, propriedades químicas e físicas do solo e as condições climáticas influenciam na atividade e na composição da microbiota do solo. A cobertura vegetal, cada espécie tem diferentes potenciais de produção de biomassa. Esse volume, bem como a relação C/N vão de alguma maneira selecionar a microfauna naquele ambiente. As propriedades pedológicas também são consideradas limitantes, solos compactados não abrigam diversidade de microorganismos, e o uso do solo pode afetar a atividade microbiana (CARVALHO et al., 2010). Contudo, é inquestionável a importância desses microorganismos, pois eles são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica e pela ciclagem de nutrientes, que são fundamentais para a vida do planeta.

Os indicadores de qualidade biológica do solo são bastante sensíveis, e a utilização deles pode indicar a degradação ou melhorias no ambiente edáfico, previamente aos indicadores físicos e químicos (SILVA et al., 2015).

Dentre os principais indicadores destacam-se a determinação da biomassa e respiração microbiana e ainda atividade enzimática do solo (ARAÚJO et al., 2012; KHEYRODIN et al., 2012; BALOTA et al., 2014). A biomassa microbiana é um indicador sensível a mudanças no ecossistema, pois representa o destino inicial do C em transformação, e é uma das principais fontes de produção do CO₂ e das enzimas do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A respiração microbiana reflete a velocidade de decomposição de um resíduo orgânico adicionado ao solo. Quando essa atividade microbiana é alta ocorre maior decomposição e, conseqüentemente, liberação de nutrientes para as plantas; mas também pode significar perdas de C

do solo, em longo prazo (SOUZA et al., 2010).

Neste sentido é importante conhecer a interferência das características intrínsecas ambientais (clima) e das ações antrópicas, que reflete no uso e manejo do solo, na atividade dos microorganismos (NIERO et al., 2010).

Considerando que a região central do Brasil é considerada a última fronteira agrícola em área para expansão, vê-se a necessidade de entender se a atividade microbiana é influenciada pela estacionalidade climática, marcante nessa região do Brasil, e tentar entender o comportamento da atividade microbiana (biomassa e respiração) no período seco e chuvoso em diferentes usos do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada no município de Palmas na região central do Estado do Tocantins, Brasil, altitude de 213 metros. O clima da região, segundo dados do Seplan (2012) e INMET (2018), é classificado como

C2wA"a" (clima úmido, subúmido, com moderada deficiência hídrica no inverno), sendo caracterizado por duas estações bem definidas: uma chuvosa, entre os meses de outubro a abril; e outra seca, entre os meses de maio a setembro. O índice pluviométrico varia de 1.500 a 1.900 mm/ano, sendo janeiro o mês mais chuvoso e julho o mais seco, com pluviosidade quase nula (Figura 1).

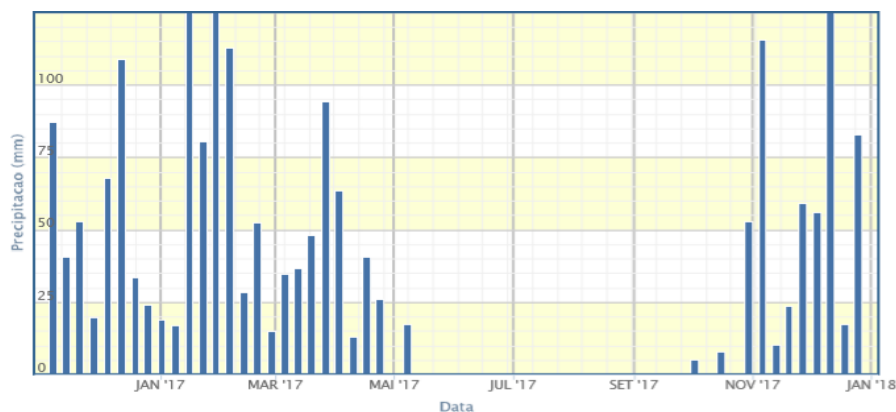
A temperatura média anual é de 26 °C (Figura 2), sendo setembro o mês mais quente, com média máxima de 36 °C e julho o mais frio, com média mínima de 15,5 °C.

Os tratamentos estudados corresponderam a diferentes usos do solo (Figura 3): solo lavrado: caracterizado por intenso e frequente revolvimento do solo, sem cobertura vegetal. Fruticultura orgânica (banana *musa* sp): plantio realizado em 2012, cultivar Thap Maeo, adubação orgânica, constituída de 100 kg de N. ha⁻¹ na forma de cama de frango, 100 kg de P. ha⁻¹ na forma de termofosfato magnésiano e 170 kg de K. ha⁻¹ na forma de cinza. Plantio de Eucalipto

(*Eucalyptus* sp.) campo de multiplicação de clones. Pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Xaraés. Na implantação o solo recebeu calcário e adubação fosfatada, o pastejo iniciou-se em 2007 com lotação média de 1,44 UA ha⁻¹ e a partir de fevereiro de 2009 iniciou-se a adubação

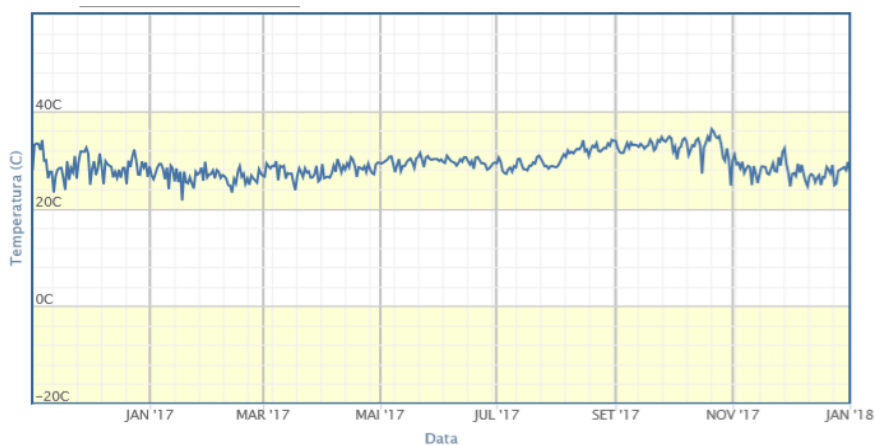
nitrogenada de cobertura na pastagem usando o sulfato de amônio na dose de 265 kg por hectare aplicado a lanço e em cobertura. Todas as áreas foram classificadas como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.

Figura 1. Precipitação pluviométrica acumulada, registradas na estação meteorológica de Palmas 83033, entre janeiro de 2017 e janeiro de 2018.



Fonte: INMET, (2018).

Figura 2. Temperatura média registradas na estação meteorológica de Palmas 83033, entre janeiro de 2017 e janeiro de 2018



Fonte: INMET, (2018).

Figura 3 – Imagem das áreas estudadas: a) pastagem b) floresta de *Eucalyptus* spp.; c) fruticultura orgânica e, d) solo lavrado.



Foram realizadas duas coletas de solo, uma na estação úmida entre os meses de janeiro e fevereiro e outra na estação seca no mês de setembro de 2017 (100 dias sem chuva). O número de amostras coletado por área variou conforme o tamanho de cada área, pois cada tratamento tinha uma área diferente (pontos georreferenciados). A ferramenta utilizada na coleta foi o trado holandês, onde para cada ponto amostral foi coletada cerca de 1000,0g de solos a 20,0 cm de profundidade. Após a coleta as amostras foram levadas rapidamente para o laboratório, passadas em peneira de

2mm, obtida a massa e feito o ajuste a capacidade de retenção de água, seguindo metodologia de Monteiro e Frighuetto (2000), descrita por Dionísio et al. (2016). A granulometria e análise química foram determinadas de acordo com Teixeira et al. (2017). Os resultados podem ser verificados nas Tabelas 1 e 2.

Para a determinação da respiração microbiana do solo utilizou-se a metodologia de respiração do solo em sistema estático, método de ALEF (1995), descrita por Dionísio et al. (2016) em triplicatas. O cálculo da biomassa microbiana do solo foi segundo Anderson e Domsch (1978)

descrito por Hoper (2006). E para a respiração microbiana a metodologia de respiração induzida pelo substrato (RIS), preconizado em Anderson e Domsch (1978) apud Dionísio et al. (2016), também em triplicatas. O

quociente metabólico foi calculado pela razão entre a respiração basal e o carbono da biomassa microbiana (PIRT, 1975; ANDERSON; DOMSCH, 1978).

Tabela 1. Análise química dos solos estudados em diferentes usos.

Trata_mentos	P (Mehlich)	K	Ca ² Mg ²	Al ³	H + Al	SB	C.T.C. pH 7.0	V	m	pH
	mg. dm ³		cmolc.dm ³					%	água	
Pastagem	1,88	40,0	1,59	1,00	13,84	1,69	15,54	10,8	37,1	4,63
Floresta de Eucalipto	1,95	20,0	1,86	0,26	10,76	1,91	12,67	15,1	11,9	4,50
Fruticul_tura orgânica	6,59	50,0	5,45	0,00	6,48	5,58	12,06	46,2	0,0	5,72
Solo lavrado	14,79	100,0	3,26	0,00	5,99	3,52	9,51	36,9	0,0	5,32

Tabela 2. Análise química e granulométrica dos solos estudados em diferentes usos.

Tratamentos	M.O. S	C	Areia	Silte	Argila
	%		g.kg ⁻¹		
Pastagem	2,9	1,7	502,8	108,8	388,8
Floresta de Eucalipto	2,9	1,7	598,8	48,8	352,4
Fruticultura orgânica	2,6	1,5	509,6	58,0	432,4
Solo lavrado	2,5	1,5	729,6	38,0	232,4

As médias dos parâmetros biológicos dos solos (Respiração Microbiana, Biomassa Microbiana e Quociente Metabólico) entre os tratamentos (diferentes usos do solo)

foram avaliados através de ANOVA. Antes da análise, a presença de heterocedasticidade foi verificada graficamente, conforme recomendado por Quinn; Keough (2002). Também

foi averiguada a normalidade da distribuição desses dados por meio do teste de Shapiro-Wilk. Quando as premissas não foram cumpridas, os dados foram transformados (logarítmica, raiz quadrada, raiz cúbica e inversa), escolhendo aquele método que tenha favorecido o melhor ajuste dos dados (QUINN; KEOUGH, 2002). Eventualmente, dados discrepantes foram eliminados.

MEMs (Moran Eigenvector Maps) foram incorporados aos modelos para isolar o efeito da dependência espacial que costuma inflar o erro tipo I (DINIZ-FILHO et al., 2003; PERES-NETO et al., 2006; PERES-NETO; LEGENDRE, 2010;). Os MEMs foram gerados através de autovetores extraídos a partir de matriz binária de conectividades entre os pontos amostrais, a qual deriva de uma triangulação Gabriel, na qual somente os vizinhos mais próximos são considerados conectados (DRAY et al., 2006). Para obtenção dos MEMs foram utilizados os pacotes *tripack*, *spdep* (BIVAND et al., 2013; BIVAND; PIRAS, 2015) e *spacemaker* (DRAY et

al., 2006) no R (R CORE TEAM, 2012). Os MEMs foram escolhidos através de seleção automática, conforme proposto por Blanchet et al. (2008).

A fim de verificar a contribuição parcial dos tratamentos, dos tratamentos estruturados no espaço, bem como das variáveis espaciais puras, a partição da variância explicada pelo modelo foi conduzida (PERES-NETO et al., 2006). Este procedimento foi executado através do argumento `varpart()` do pacote *Vegan R* (OKSANEN et al., 2015). Quando a variação exclusivamente atribuída ao tratamento foi significativa (livre da dependência espacial). A variável dependente (parâmetros biológicos dos solos) foi submetida à Análise de Covariância, tendo como variável dependente categórica os tratamentos (tipos de uso do solo) e covariável contínua os MEMs selecionados pelos procedimentos descritos acima. A estes dados, aplicou-se teste *post-hoc* (HSD com amostras de diferente tamanho) a fim de verificar a significância das diferenças par a par.

Como o conjunto de dados foi gerado em duas estações do ano distintas (período seco e úmido) os mesmos procedimentos descritos acima foram executados para cada um dos períodos isoladamente. Em outras palavras, analisamos efeitos dos tratamentos sobre os parâmetros biológicos primeiro para o período seco, depois para o período úmido.

A análise combinada dos dados de ambas as estações foi feita através do uso de uma ANOVA de medidas repetidas em que se assume que as unidades amostrais são dependentes no tempo (QUINN; KEOUGH, 2002). Este procedimento foi executado através do programa Statistica for Windows 12 (DELL INC., 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A respiração microbiana do solo (RMS), na estação úmida, o modelo gerado provou haver diferenças significativas entre os tratamentos, sendo capturada aproximadamente 84% da variância original dos dados ($R^2_{aj} = 0,84$; $p < 10^{-6}$), dos quais 18% corresponde à variância atribuída ao

tratamento, 43% ao efeito do tratamento estruturado no espaço e 14% ao efeito das variáveis espaciais puras, permanecendo inexplicado, portanto, uma pequena parcela do total da variância (26 %). A aplicação dos testes post-hoc indicou que as médias da RMS foram diferentes estatisticamente entre todos os tratamentos, sendo menores no solo lavrado ($0,28 \text{ mg Kg}^{-1}$) e maiores na área com fruticultura orgânica ($1,55 \text{ mg Kg}^{-1}$). Os solos sob pastagem e floresta de eucaliptos apresentaram médias intermediárias ($0,85 \text{ mg Kg}^{-1}$ e $1,08 \text{ mg Kg}^{-1}$) respectivamente.

Em contrapartida, na estação seca o modelo gerado provou haver diferenças significativas entre os tratamentos, sendo capturada aproximadamente 49% da variância original dos dados ($R^2_{aj}=0,49$; $p < 10^{-6}$), dos quais 20% corresponde à variância atribuída ao tratamento e 29% ao efeito do tratamento estruturado no espaço, permanecendo inexplicado, uma parcela de 51% da variância total. A aplicação dos testes post-hoc indicou

que as médias da RMS foram diferentes estatisticamente na estação seca apenas para a área de solo lavrado (1,42 mg Kg⁻¹), apresentando o menor valor. As áreas de pastagem (2,58 mg Kg⁻¹), floresta plantada de

eucalipto (2,12 mg Kg⁻¹) e banana orgânica (2,41 mg Kg⁻¹) mostraram não haver diferença entre os tratamentos, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados da aplicação do teste *post-hoc* (HSD) sobre os dados de média da respiração microbiana do solo, (C-CO₂ mg kg⁻¹ h⁻¹) durante a estação úmida e seca respectivamente, a fim de verificar o efeito dos tratamentos (solo lavrado, pastagem, floresta de eucalipto e fruticultura orgânica).

Tratamento	Média da Respiração Microbiana do solo (C-CO ₂ mg kg ⁻¹ h ⁻¹) - úmido	Média da Respiração Microbiana do solo (C-CO ₂ mg kg ⁻¹ h ⁻¹) - seco
Solo lavrado	0,28a	1,42a
Pastagem	0,85b	2,58b
Floresta de eucalipto	1,08c	2,12b
Fruticultura orgânica	1,55d	2,41b

* Médias seguidas de letras diferentes diferem estatisticamente ao nível de 5%.

Torna-se nítido a separação em dois grupos distintos, um composto pelas áreas de pastagem, floresta de eucalipto e fruticultura orgânica caracterizados pela presença de cobertura vegetal e sobretudo por manejo menos agressivo ao solo e outro composto pelo solo revolvido. Demonstrando assim a importância da manutenção de um sistema de manejo que preconiza a cobertura do solo. Neste estudo a adição de

resíduos orgânicos parece ser o fator mais provável para explicar as maiores taxas de respiração microbiana.

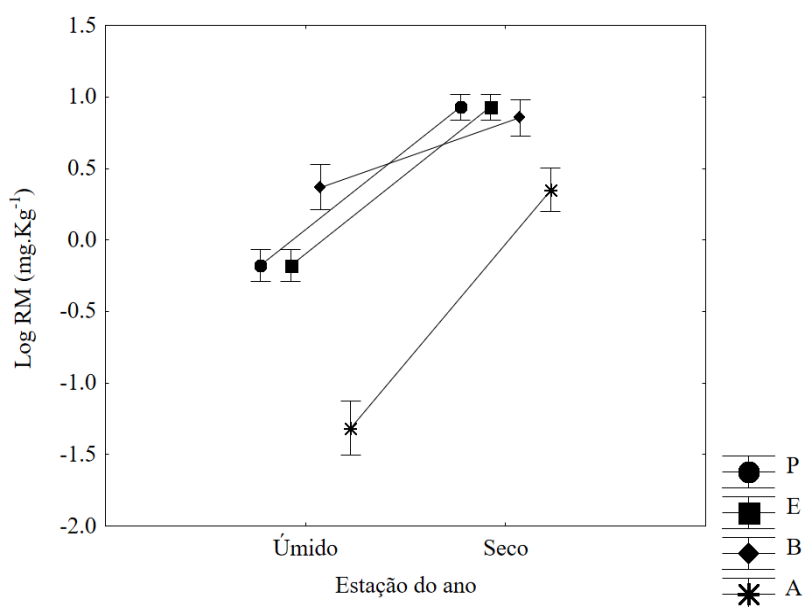
A partir da observação das análises de textura e química do solo (Tabela 3) também observou-se que as áreas de pastagem, banana orgânica e floresta plantada se encontram na mesma classe textural e apresentam uma maior quantidade de matéria orgânica no solo.

A composição física e química do solo afeta a biologia do mesmo de diversas formas, as partículas de argila são similares a uma bactéria e a presença delas estimulam a vida microbiana, as mesmas também concebem finos espaços que servem como abrigo de bactérias contra inimigos. A capacidade de armazenamento de nutrientes e de água, tanto da argila como dos húmus também contribuem para o solo ser um meio favorável á vida microbiana

(CARNEIRO, 2009). De modo geral, as condições de solo que favorecem o desenvolvimento e crescimento das plantas também favorecem a atividade microbiana.

Os valores de respiração microbiana, nos uso do solo variaram entre 0,28 C-CO₂ mg kg⁻¹ h⁻¹ e 1,55 C-CO₂ mg kg⁻¹ h⁻¹ na estação úmida, e de 1,42 C-CO₂ mg kg⁻¹ h⁻¹ e 2,41 C-CO₂ mg kg⁻¹ h⁻¹ na estação seca, sendo, significativamente, maiores na estação seca. (Figura 4).

Figura 4. Variação da Respiração microbiana do solo no cerrado da região central do Brasil – Palmas TO. (P- pastagem; E- floresta plantada; B- fruticultura orgânica; A- solo lavrado).



As altas taxas de respiração microbiana na estação seca, podem estar relacionadas a condição de estresse ambiental devido as altas temperaturas no período de coleta das amostras, aliada a uma maior deposição de resíduos orgânicos pela senescência das folhas, levando assim a um maior acúmulo de palhada na superfície do solo.

O período úmido caracteriza-se por apresentar temperatura elevada e maior precipitação pluviométrica, enquanto, no período seco, a temperatura continua elevada (máxima de 36 °C) porém as chuvas são escassas.

Os resultados encontrados no presente trabalho, com relação a RMS, sendo significativamente maior na estação da seca se difere do encontrado na literatura. Conforme relatado por Lourente et al. (2011), no verão, com a elevação da temperatura do ar e da precipitação pluviométrica, há condições mais favoráveis para aumento da respiração microbiana do solo. Porém vale destacar que a área de estudo se caracteriza por um

cerrado no município de Dourados (MS), com condições edafoclimáticas diferentes de um Cerrado em Palmas -TO.

Em relação a biomassa microbiana os resultados analíticos da estação úmida, indicaram haver diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 4). Assim composto, o modelo explicou 59% da variância total dos dados (R^2 aj. = 0,59; $p < 10^{-6}$), dos quais 20% corresponde ao efeito do tratamento, 21% corresponde ao efeito do tratamento estruturado no espaço e 18% somente às variáveis espaciais puras, permanecendo assim 41% inexplicado, na forma de resíduo. A biomassa microbiana foi significativamente maior na área de pastagem, de banana orgânica e de floresta plantada de eucaliptos (260,68 mg C Kg⁻¹, 237,35 mg C Kg⁻¹, 181,19 mg C Kg⁻¹ respectivamente), não havendo diferença estatística entre estes tratamentos. A menor média de BMS foi verificada na área de solo lavrado (65,21 mg C Kg⁻¹) que diferiu estatisticamente dos demais tratamentos (Tabela 3).

Tabela 4. Resultados da aplicação do teste *post-hoc* (HSD) sobre os dados de média da biomassa microbiana do solo (BMS, em mg C Kg⁻¹) durante a estação úmida e seca respectivamente a fim de verificar o efeito dos tratamentos (solo lavrado, pastagem, floresta plantada de eucalipto e banana orgânica).

Tratamento	Média da Biomassa Microbiana do	Média da Biomassa Microbiana do
	Solo - úmido	Solo - seco
(mg C Kg ⁻¹)		
Solo lavrado	65,21a	78,06a
Floresta de eucalipto	181,19b	155,38b
Pastagem	260,68b	189,64b
Fruticultura orgânica	237,35b	208,55b

* Médias seguidas de letras diferentes diferem estatisticamente ao nível de 5%.

Resultados semelhantes foram encontrados para a biomassa microbiana no solo na estação seca (Tabela 4). O modelo explicou 40% da variância total dos dados ($R^2_{aj} = 0,40$; $p < 10^{-6}$), dos quais 34% corresponde ao efeito do tratamento, 6% corresponde ao efeito do tratamento estruturado no espaço, remanescendo 60% inexplicada, na forma de resíduo. A biomassa microbiana foi significativamente maior na área de banana orgânica, de pastagem e de floresta plantada de eucaliptos (208,55 mg C Kg⁻¹, 189,64 mg C Kg⁻¹, 155,38 mg C Kg⁻¹ respectivamente), não havendo diferença estatística entre estes tratamentos. A menor média de BMS da estação seca foi verificada na

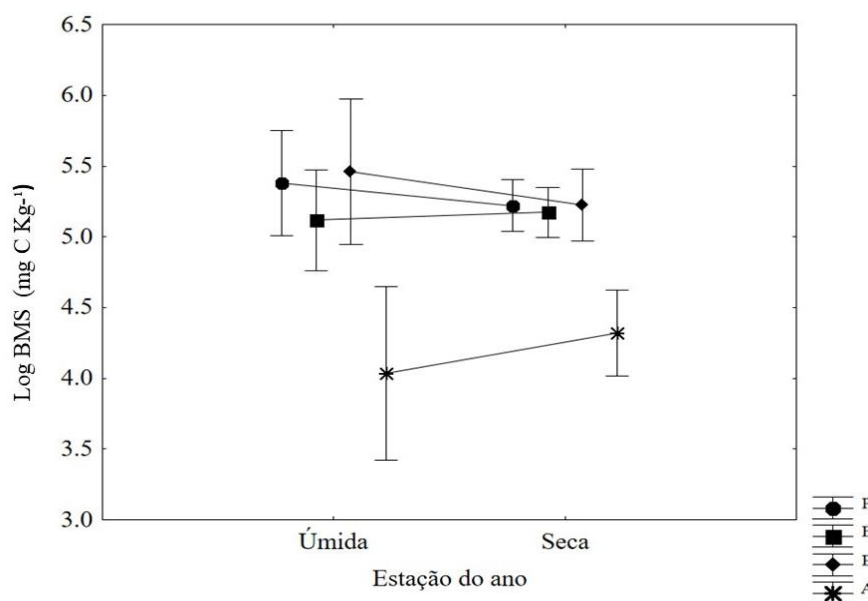
área de solo lavrado (78,06 mg C Kg⁻¹) que assim como no período úmido, diferiu estatisticamente dos demais tratamentos.

Os resultados demonstram que as populações microbianas nos usos dos solos avaliados permaneceram constantes com a variação da sazonalidade climática. Onde os usos do solo com cobertura vegetal (fruticultura orgânica, pastagem e floresta de eucalipto) alcançaram valores superiores. Os elevados valores de BMS das áreas de cultivo de banana orgânica, floresta plantada de eucalipto e pastagem, possivelmente estão ligados a uma maior quantidade de resíduos orgânicos no solo. Portanto o

resultado, pode ser justificado pelo maior aporte de matéria orgânica nesses sistemas, seja pela adubação orgânica aplicada como fonte de nutrientes no cultivo da banana, seja pelo esterco dos animais no período em que estão pastejando na área de pastagem.

Com base nos resultados obtidos para biomassa microbiana do solo o modelo estatístico mostrou não haver diferenças significativas, para os diferentes tratamentos, da estação úmida para a estação seca dentro de um mesmo uso do solo (Figura 5).

Figura 5. Variação da Biomassa microbiana do solo no cerrado da região central do Brasil – Palmas TO (P- pastagem; E- floresta plantada; B- fruticultura orgânica; A- solo lavrado).



Panosso (2009), Silva et al. (2019) relatam que o carbono da BMS é influenciado pelo período de coleta e que observaram maior BMS em estações chuvosas. E que essas alterações são diferentes entre os

sistemas de cultivo e consequentemente uso do solo (LA SCALA JÚNIOR et al., 2012).

Em contrapartida, Alves et al. (2011) ao estudarem diferentes sistemas de manejos do solo, observaram

equilíbrio no CBM nos diferentes períodos de coleta. Isso geralmente ocorre em condições de manejo e uso do solo com sistemas já implantado, que possivelmente adquiriram uma estabilidade ambiental. A variação climática não afetou a biomassa de microrganismos, essa resposta se torna interessante, pois demonstra que apesar de haver mudança na respiração microbiana entre as duas estações, a biomassa não sofre com essa variação climática que é recorrente na região. Esse comportamento pode ser explicado pela estabilidade das populações microbianas nos diferentes usos e a adaptabilidade dos microrganismos as condições locais, muito possivelmente uma seleção natural perpetuou grupos da microfauna edáfica que sobrevive muito bem com as diversidades climáticas (temperatura e umidade).

O Quociente Metabólico (QM) na estação úmida, diferente dos demais, provou a inexistência de diferenças significativas entre os tratamentos

(Tabela 5). O modelo capturou um percentual de aproximadamente 26% da variância total dos dados (R^2 aj.= 0,26; $p=0,002$), da qual somente 6% é atribuída ao efeito do tratamento (porção não significativa estatisticamente) e 19% é atribuída às variáveis espaciais puras, restando, portanto, aproximadamente 74% da variância inexplicada na forma de resíduos. O modelo, no entanto, somente atingiu a homogeneidade de variâncias e a normalidade dos resíduos quando foram excluídos dois *outliers* e os dados log-transformados.

Farias (2018) encontrou valores maiores de qCO_2 em áreas de cultivo de olerícolas em relação a floresta nativa e plantio de macieiras, Dadalto et al. (2015), concluíram que o plantio convencional apresentou maiores valores de quociente metabólico após 14 dias do preparo do solo, esses estudos indicam que maior revolvimento do solo pode ativar a população microbiana e que a incorporação de resíduos orgânicos também pode influenciar essa variável.

Tabela 5. Resultados da aplicação do teste post-hoc (HSD) sobre os dados de média do quociente metabólico durante a estação úmida e seca respectivamente a fim de verificar o efeito dos tratamentos (solo lavrado, pastagem, floresta plantada de eucalipto e banana orgânica).

Tratamento	Média da Quociente Metabólico -úmido	Média do Quociente Metabólico - seco
Floresta de eucalipto	0,0062a	0,015a
Fruticultura orgânica	0,0065a	0,013a
Solo lavrado	0,0062a	0,020a
Pastagem	0,005a	0,016a

* Médias seguidas de letras diferentes diferem estatisticamente ao nível de 5%.

Na estação seca, assim como na estação úmida, o quociente metabólico provou a inexistência de diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 5). O modelo capturou um percentual de aproximadamente 32% da variância total dos dados (R^2 aj.= 0,35; $p= 3,7 \times 10^{-4}$), da qual não houve nenhuma porção da variância atribuída ao efeito do tratamento, sendo 25% atribuída às variáveis espaciais e 4% representou a variância compartilhada, restando, portanto, aproximadamente 71% da variância inexplicada na forma de resíduos.

O quociente metabólico, expresso em quantidade de CO_2 liberado pela quantidade de carbono da biomassa

em função do tempo, representa a taxa de respiração específica da biomassa microbiana. Altos valores do qCO_2 significam que a população microbiana está oxidando carbono de suas próprias células (respiração de manutenção dos microrganismos vivos) para a sua manutenção e adaptação ao solo, portanto, a população microbiana se encontra em condições adversas ou estressantes (ALVES, et al. 2011). O qCO_2 indica a eficiência dos microrganismos em utilizar substrato para a sua atividade e em incorporar o C a sua biomassa (SILVA et al. 2016).

Vale ressaltar que a área de solo descoberto, apesar de não diferir estatisticamente da área de pastagem,

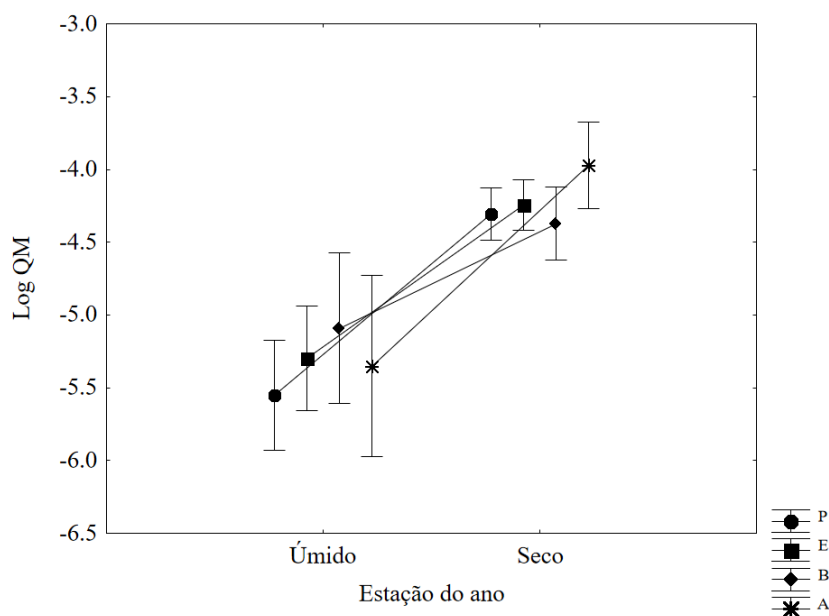
banana orgânica e floresta plantada de eucalipto, apresentou, de modo geral, valores baixos para o qCO_2 o que indica que a comunidade microbiológica desse solo é considerada eficiente na conversão de C- CO_2 evoluído por unidade de C microbiano. Porém a área de solo descoberto apresentou os menores valores tanto para respiração quanto para biomassa microbiana quando comparadas as demais áreas. Isso indica que apesar do solo não estar em uma condição de estresse, também não possui grande quantidade de matéria orgânica no solo para elevar a sua atividade microbiana.

Os valores encontrados para o qCO_2 nos diferentes usos do solo ainda são considerados muito baixos para se considerar que os resultados encontrados estejam causando algum estresse na microbiota do solo. De maneira geral, podem ser considerados valores críticos de qCO_2 quando o mesmo estiver elevado o que indica estresse da comunidade microbiana (FERREIRA et al., 2010).

Considerando que o modelo estatístico gerou um comparativo entre os diferentes usos do solo e sua interação entre as estações úmida e seca, mostrou haver diferenças significativas entre os períodos de coleta para as áreas de pastagem, solo descoberto e floresta de eucalipto (Figura 6). O quociente metabólico foi superior na época seca, indicando que a biomassa microbiana apresenta menor eficiência na utilização dos compostos orgânicos, liberando mais C na forma de CO_2 e incorporando menos C aos tecidos microbianos.

A menor eficiência da biomassa microbiana no período seco está associada a alguma condição de estresse, como as altas temperaturas relatadas, pois, como evidenciado pela relação C_{mic}/CO , nessas circunstâncias a capacidade de utilização do C é diminuída. Isso é um indicativo que as populações microbianas destas áreas se encontram em maior estresse ambiental na época da seca.

Figura 6. Variação do Quociente metabólico do solo no cerrado da região central do Brasil – Palmas TO (P- pastagem; E- floresta plantada; B- fruticultura orgânica; A- solo lavrado).



Segundo alguns autores (CARNEIRO et al., 2009; SILVA et al., 2010; CUNHA et al., 2011; GOMIDE et al., 2011; MELLONI et al., 2013), relatam que a ocorrência de altos valores de qCO_2 é um indicativo de que os microrganismos estão em condições de estresse, fazendo com que os mesmos consumam uma grande quantidade de substrato, ocasionando maiores gastos de energia para a manutenção da comunidade de microrganismos.

Já na área de fruticultura orgânica o quociente metabólico não diferiu

estatisticamente nas duas épocas de coleta (Figura 4). Isso se deve a maior frequência e diversificação do material disponível para a decomposição pelos microrganismos. Ambientes mais estáveis tendem a apresentarem menores qCO_2 indicando que suas comunidades estão mais estáveis e adaptadas ao diversidade climáticas (SOUSA, 2014).

A respiração microbiana por unidade de biomassa microbiana diminui em sistemas mais estáveis. Por outro lado, a incorporação de resíduos de culturas ao solo aumenta

o quociente metabólico, mostrando haver uma relação inversa entre a biomassa microbiana e o quociente metabólico, sugerindo que, em solos com maiores teores de C, podem ocorrer aumento da BM e diminuição na atividade metabólica.

Insam et al. (1991) explica que existe uma diferenciação de idades como “nova” e “velha”, ou seja, células “novas” são metabolicamente mais ativas, refletindo maior qCO₂. Isto tem implicações práticas importantes na agricultura, pois se mais C é respirado, maior quantidade de C pode estar sendo liberada do solo, acarretando na diminuição dos teores de C no solo. Contudo, o uso e o manejo, bem como as condições climáticas vigentes, devem prioritariamente selecionar a população microbiana.

CONCLUSÃO

Os diferentes usos do solo demonstraram alterar os atributos microbiológicos mensurados.

A respiração microbiana sofreu influência da estacionalidade climática

enquanto a biomassa não, indicando que a população se manteve estável.

O quociente metabólico (qCO₂) indicou que a população microbiana das áreas de pastagem, solo lavrado e plantio de eucalipto, tendem a passar por maior estresse durante o período seco.

REFERÊNCIAS

- ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.
- ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v.10, p. 215-221, 1978.
- ARAÚJO, E.A.D. et al. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 187-2006, 2012.
- ASSIS, P. C.R.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; PAULINO, H. B.; STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares em campos de murundus após a conversão para sistemas agrícolas no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38 n.6, p. 1703-1711, 2014.

- BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; MATOS, M. A. Soil microbial biomass under different tillage and levels of applied pig slurry. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 487-495, 2012.
- BIVAND, R.; HAUKE, J.; KOSSOWSKI, T. Computing the Jacobian in Gaussian Spatial Autoregressive Models: An Illustrated Comparison of Available Methods. **Geographical Analysis**, v. 45, n. 2, p. 150–179, 2013. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/gean.12008>>. Acesso em: 10 jul. 2017.
- BIVAND, R.; PIRAS, G. Comparing Implementations of Estimation Methods for Spatial Econometrics. **Journal of Statistical Software**, v. 63, n. 18, p. 1–36, 2015. Disponível em: <<http://www.jstatsoft.org/index.php/jss/article/view/v063i18/v63i18.pdf>>. Acesso em: 08 set. 2017.
- BLANCHET, G.; LEGENDRE, P.; BORCARD, D. Forward selection of spatial explanatory variables. **Ecology**, v. 89, n. 9, p. 2623–2632, 2008.
- CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 33, n.1, p. 147-157, 2009.
- CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; SOUZA, E. D.; SULC, R. M.; LANG, C. R.; FLORES, J. P. C.; LOPES, M. L. T.; SILVA, J. L. S.; CONTE, O.; WESP, C. L.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R. S.; BAYER, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.88, p.259-273, 2010.
- CUNHA, E. DE Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. DE B; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A.; LEANDRO, W.M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e Milho. II - Atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.603-611, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832011000200029&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 14 set. 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000200029>.
- DADALTO, J. P.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; MATOS, A. T. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.3, p. 506-513, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162015000300506&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 13 set. 2020.
- DELL INC. Dell Statistica (data analysis software system), 2015. **Tulsa**. Disponível em: <www.statsoft.com>. Acesso em: 02 set. 2017
- DIONÍSIO, J. A.; PIMENTEL, I. C.; SIGNOR, D.; PAULA, A. M.; MACEDA, A.; MATTANA, A. L. **Guia prático de Biologia do solo**. Curitiba, PR: SBCS/NEPAR, 2016. 152 p.
- DINIZ-FILHO, J. A. F.; BINI, L. M.;

- HAWKINS, B. A. Spatial autocorrelation and red herrings in geographical ecology. **Global Ecology and Biogeography**, v. 12, n. 1, p. 53–64, 2003. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1046/j.1466-822X.2003.00322.x>>. Acesso em: 12 set. 2017.
- DRAY, S.; LEGENDRE, P.; PERES-NETO, P. R. Spatial modelling: a comprehensive framework for principal coordinate analysis of neighbour matrices (PCNM). **Ecological Modelling**, v. 196, n. 3–4, p. 483–493, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380006000925>>. Acesso em: 12 set. 2017.
- FARIAS, F. J. **Efeitos dos atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo em sistema agroecológico de produção**. São Cristóvão, 2018. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Agroecologia) – Instituto Federal de Sergipe – Campus São Cristóvão. São Cristóvão – SE, 2018.
- FERREIRA, E. P. B.; SANTOS, H. P.; COSTA, J. R.; DE-POLLI, H.; RUMJANEK, N. G. Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage management. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 177-183. 2010.
- GOMIDE, P.H.O.; SILVA, M.L.N.; SOARES, C.R.F.S. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 567-577, 2011.
- HOPER, H. Substrate-induced Respiration. In: BLOEM, J.; HOPKINS, D.W.; BENEDETTI, A. **Microbiological Methods for Assessing Soil Quality**. Oxfordshire: CABI Publishing, 2006. p. 84-92.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Gráficos de normais climatológicas**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_conv_graf>. Acesso em: 12 mai. 2018.
- INSAM, H.; MITCHELL, C.C.; DORMAAR, J.F. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yield of three ultisols. **Soil Biology and Biochemistry**. v.23, p. 459-464, 1991.
- KHEYRODIN, H.; GHAZVINIAN, K.; TAHERIAN, M. Tillage and manure effect on soil microbial biomass and respiration, and on enzyme activities. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 81, p. 14652-14659, 2012.
- LA SCALA JÚNIOR, N.; FIGUEREDO, E. B.; PANOSSO, A. R. A review on soil carbon accumulation due to the management change of major Brazilian agricultural activities. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, n 3, p. 775-785, 2012
- LOURENTE, E. R. P. et al. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado.

Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.

MELLONI, R.; BELLEZE G.; PINTO, A.M.S.; DIAS, L.B.P.; SILVE, E.M.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M.I.N.; ALCÂNTARA, E.N. Métodos de controle de plantas daninhas e seus impactos na qualidade microbiana de solo sob cafeeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, n.1, p.66-75, 2013.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729 p.;

NIERO, L. A. C.; DECHEN, S. C. F.; COELHO, R. M.; MARIA, I. C.; Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférico com usos e manejos distintos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n.4, p.1271-1282, 2010.

OKSANEN, J.; BLANCHET, F. G.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R. B.; SIMPSON, G. L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M. H. H.; WGANER, H. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.2-1. , 2015. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/package=vegan>>. Acesso em: 02 de set. 2017.

PANOSSO, A. R.; RIBEIRO, C. E. R.; ZANINI, J.; R.; PAVANI, L. C.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR., N. Variabilidade espacial da emissão de CO₂, da temperatura e umidade de um latossolo desprovido de vegetação sob diferentes lâminas de

molhamento. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 30, n 1, p. 1017-1034, 2009.

PAULUCIO, V. O. et al. Reforestation of a degraded area with eucalyptus and sesbania: microbial activity and chemical soil properties. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 41, 2017.

PERES-NETO, P. R.; LEGENDRE, P. Estimating and controlling for spatial structure in the study of ecological communities. *Global Ecology and Biogeography*, v. 19, n. 2, p. 174-184, 2010. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1466-8238.2009.00506.x>>. Acesso em: 03 de set. 2017.

PERES-NETO, P. R.; LEGENDRE, P.; DRAY, S.; BORCARD, D. Variation partitioning of species data matrices: estimation and comparisons of fractions. *Ecology*, v. 87, n. 10, p. 2614-2625, 2006. Disponível em: <<http://www.esajournals.org/doi/abs/10.1890/0012-9658%282006%2987%5B2614%3AVP%5D2.0.CO%3B2>>. Acesso em: 12 set. 2017.

PIRT, S. J. *Principles of microbe and Cell cultivation*. Oxford, Boston: Blackwell Scientific, 1975, p.274.

QUINN, G. P.; KEOUGH, M. J. *Experimental Design and Data Analysis for Biologists*. Cambridge: Press, Cambridge University, 2002, 553 p.

R TEAM, DEVELOPMENT CORE. R: *A Language and Environment for Statistical Computing*. , 2012. Viena: The R Foundation for Statistical

Computing. Disponível em: <<http://www.r-project.org/>>. Acesso em: 12 set. 2017.

SEPLAN – Secretaria do Planejamento e Orçamento. **Base de dados cartográficas do Tocantins**. 2012. Disponível: <<http://www.sefaz.to.gov.br/zoneamento/bases-vetoriais/bases-vetoriais/base-cartografica-digital-continua-do-tocantins/>>. Acesso em: 24 ago. 2019.

SILVA, D. A. P.; CAMPOS, M. C. C.; MANTOVANELLI, B. C.; SANTOS, L. A. C.; SOARES, M. D. R.; CUNHA, J. M. Variabilidade espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em área de pastagem na região Amazônica, Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n.1, p.119-126. 2019.

SILVA, C. M.; VASCONCELOS, S. S.; MOURÃO JÚNIOR, M.; BISPO, C. J. C.; KATO, O. R., SILVA JUNIOR, A. C.; CASTELLANI, D. C. Variação temporal do efluxo de CO₂ do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia Oriental. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 46, n. 1, p. 1-12, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672016000100001&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 14 set.. 2020.

SILVA, D. M.; ANTONIOLLI, Z. I.; JAQUES, R. J. S.; SILVEIRA, A. O.; SILVA, D. A. A.; RACHE, M. M.; PASSOS, V. H. G.; SILVA, B. R. Indicadores Microbiológicos de solo em pastagem com aplicação sucessiva

de dejetos de Suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.39, n.6, 2015.

SILVA, R.R.D., SILVA, M.L.N., CARDOSO, E.L., MOREIRA, F.M.D.S., CURTI, N.; ALOVISI, A.M.T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p. 1585-1592, 2010.

SOUSA, H. M. **Atributos microbiológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária no ecótono Cerrado-Amazônia**. Dissertação (Pós-Graduação em Agricultura Tropical) - Faculdade de Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT, 2014.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C.V.S.; CARVALHO, P.C.F. & MARTINS, A.P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.79-88, 2010.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise do solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 573 p.