

# EFEITOS DAS ATIVIDADES AGRÍCOLAS NA ATIVIDADE MICROBIANA EM SOLOS RIZOSFÉRICOS DO CERRADO MERIDIONAL MARANHENSE

*Data de aceite: 01/09/2023*

### **Antônio Eleilson da Silva Torres**

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Imperatriz – Maranhão  
<https://orcid.org/0009-0006-6329-4255>

### **José Fábio França Orlanda**

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Imperatriz – Maranhão  
<https://orcid.org/0000-0002-6402-6192>

### **Marcelo Francisco da Silva**

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Imperatriz – Maranhão  
<https://orcid.org/0000-0002-9148-6725>

### **Wellyson da Cunha Araújo Firmo**

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Imperatriz – Maranhão  
<https://orcid.org/0000-0002-6979-1184>

efeitos das atividades agrícolas na atividade e densidade microbiana em solos coletados nos municípios de Senador Edson Lobão e Balsas (MA), na profundidade de 0 a 20 cm em diferentes condições de práticas agrícolas. Os resultados demonstraram que a comunidade bacteriana apresentou maior população em solos com cultivo de soja, feijão, mandioca e virgem (3.000 a 22.000 a UFC g<sup>-1</sup> de solo), e mandioca, virgem e soja para fungos (9.100 a 25.000 UFC g<sup>-1</sup> de solo). As taxas de respiração microbiana mostraram variações de 0,275 a 0,055  $\mu$  C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> de solo, com maiores valores nos solos cultivados com soja, mandioca, feijão, nativo e queimadas. Dessa forma, este estudo forneceu um importante passo para o entendimento da dinâmica de regulação microbiana de carbono pelos sistemas agrícolas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cerrado Meridional Maranhense, Microrganismos, Solos, Diversidade.

**RESUMO:** Os solos do cerrado meridional maranhense destacam-se pelo seu potencial agrícola produtivo, visto que as atividades agrícolas são favoráveis pelas condições climáticas e topográficas da região. Nesse estudo foram avaliados os

## EFFECTS OF AGRICULTURAL ACTIVITIES ON MICROBIAL ACTIVITY IN RHIZOSPHERIC SOILS OF MERIDIONAL CERRADO MARANHENSE

**ABSTRACT:** The soils of meridional cerrado of maranhense out for their productive agricultural potential, since agricultural activities are favorable due to the climatic and topographical conditions of the region. This study evaluated the effects of agricultural activities on microbial activity and density in soils collected in the municipalities of Senador Edson Lobão and Balsas (MA), at a depth of 0 to 20 cm under different conditions of agricultural practices. The results showed that the bacterial community had a greater population in soils with soybean, bean, cassava and virgin cultivation (3.000 to 22.000 CFU g<sup>-1</sup> of soil), and cassava, virgin and soy for fungi (9.100 to 25.000 CFU g<sup>-1</sup> of soil). The microbial respiration rates showed variations from 0.275 to 0.055  $\mu$  C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> of soil, with higher values in soils cultivated with soybeans, cassava, beans, native and burned. Thus, this study provided an important step towards understanding the dynamics of microbial carbon regulation by agricultural systems.

**KEYWORDS:** Meridional Cerrado of Maranhense, Microorganisms, Soils, Diversity.

### 1 | INTRODUÇÃO

O cerrado é um dos principais biomas maranhenses, que vem sofrendo com o aumento da expansão das atividades agrícolas de alto valor econômico, devido à substituição da vegetação nativa por monoculturas de algodão, feijão, milho e soja. No entanto, a monocultura, bem como as práticas inadequadas de cultivo, tem acelerado os processos de degradação do solo com impactos ambientais adversos nos atributos físicos, químicos e biológicos (Soterroni *et al.*, 2019; Sales; Oliveira Neto, 2020).

Os microrganismos do solo desempenham papéis fundamentais na manutenção da biodiversidade terrestre e dos processos ecossistêmicos, como conversão de nutrientes, ciclagem biogeoquímica, decomposição de matéria orgânica, fluxos de energia e influenciam na produtividade do ecossistema (Chu *et al.*, 2020; He *et al.*, 2023; Joshi; Garkoti, 2023).

O conhecimento sobre a dinâmica dos microbiomas na qualidade do solo do bioma cerrado ainda não são compreendidas, sendo uma necessidade a busca de bioindicadores que avaliem com mais eficiência, os possíveis impactos sobre a composição e funcionamento da microbiota, indicando estratégias adequadas de conservação e manejo (Jurburg; Salles 2015; Silva *et al.*, 2021a).

Os indicadores mais comumente utilizados para avaliar a atividade microbiana do solo, são respiração microbiana (RM), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico ( $q_{CO_2}$ ) e quociente microbiano ( $q_{MIC}$ ). A RM consiste na liberação de C-CO<sub>2</sub> pelos microrganismos, nos seus processos metabólicos, CBM refere-se à imobilização temporária do elemento na biomassa viva do microrganismo). O  $q_{CO_2}$  informa quanto de C é perdido por meio do efluxo de CO<sub>2</sub> para incorporar uma unidade de C na biomassa microbiana e  $q_{MIC}$  representa a relação entre o CBM/COT utilizada como indicador da

qualidade da matéria orgânica do solo, demonstrando a eficiência dos microrganismos na utilização dos compostos orgânicos (Araújo Neto *et al.*, 2014; Dadalto *et al.*, 2015; Braga *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2019; Souza, 2021; Mason-Jones *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2021b; Yang *et al.*, 2023).

Com isso, o presente trabalho visa avaliar a atividade e biomassa microbiana em solos dos municípios de Senador Edson Lobão e Balsas (MA), com diferentes práticas agrícolas.

## 2 | METODOLOGIA

### Coleta das amostras de solos

As amostras de solos foram coletadas nos municípios de Senador Edson Lobão e Balsas (MA), situados no Cerrado Meridional Maranhense, sob diferentes condições de manejo e práticas agrícolas, como mostra a Tabela 1.

Local de Coleta	Práticas Agrícolas
Balsas (MA)	Solo com cultivo de soja
Governador Edson Lobão (MA)	Solo nativo (virgem)
	Solo com cultivo de arroz, capim, feijão, mandioca e milho
	Solo com uso frequente de queimadas

Tabela 1. Local de coleta das amostras de solos.

Fonte: Autores (2022).

Em cada área foram coletadas 12 subamostras, com auxílio de trado holandês, na profundidade de 0 a 20 cm, os pontos arranjados em dois círculos concêntricos ao redor de um único monólito, tamanho de 3 a 6 m de raio, a partir do monólito. Cada conjunto de 12 subamostras foi misturado para formar uma amostra composta de aproximadamente 500 g. Após a coleta, os solos foram peneirados (malha de 2 mm), acondicionados em sacos plásticos e mantidos à temperatura de  $4 \pm 0,1$  °C, até o momento das análises microbiológicas (Moreira *et al.*, 2010).

### Atividade microbiana do solo

A quantificação das bactérias e fungos totais cultiváveis foi determinada utilizando a técnica de plaqueamento por meio de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) por grama de solo, utilizando o método de inoculação de suspensões diluídas de solo em meios de cultura específicos, com 3 repetições por diluição (Ramos *et al.*, 2018; Alves; Orlanda, 2013).

O método utiliza 1 g de solo para 9 mL de solução salina (NaCl 0,85%),

mantidas sob agitação durante 3 minutos e, submetidas a diluições seriadas até  $10^{-5}$ . Em seguida, foram retiradas 100  $\mu\text{L}$  da solução para o semeio com auxílio de alça de Drigalsky em placas de Petri contendo meio de cultura sólido *Plate Count Agar* – PCA (bactérias) e Sabouraud Dextrose 4% (fungos), em triplicatas.

As placas foram incubadas durante 48 h a  $28 \pm 1$  °C (bactérias) e 168 h a  $30 \pm 1$  °C (fungos). Após o período de incubação, os números de colônias contadas foram multiplicados pela diluição correspondente e o resultado expresso em unidades formadoras de colônias - UFC por grama de solo (UFC  $\text{g}^{-1}$ ).

### Atributos microbiológicos do solo

O teor de carbono da biomassa microbiana foi determinado após o tratamento do solo em estudo com irradiação por micro-ondas e fumigação, conforme metodologia de Ferreira et al. (1999) e Vance et al. (1987), respectivamente. O carbono extraído do solo foi calculado pela Equação 1:

$$C \text{ (mg Kg}^{-1}\text{)} = \frac{(V_a - V_b) \times M \times 0,003 \times V_1 \times 10^6}{P_s \times V_2} \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde: C = carbono extraído do solo;  $V_b$  (mL) = volume do sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da solução controle (branco);  $V_a$  (mL) = volume gasto na titulação da amostra; M = Molaridade da solução de sulfato ferroso amoniacal;  $V_1$  = Volume do extrator  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ;  $V_2$  = Alíquota do extrato da titulação;  $P_s$  (g) = massa de solo seco.

A estimativa da biomassa microbiana (BMC-C) é dada pela Equação 2:

$$\text{BMC} - C \text{ (mg kg}^{-1}\text{)} = F_c \times kc^{-1} \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde: BMC-C= biomassa de carbono microbiano do solo em mg de C por kg de solo (ou  $\mu\text{g g}^{-1}$ );  $F_c$  = fluxo obtido da diferença entre a quantidade de C ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) recuperada no extrato da amostra fumigada e a recuperada na amostra não fumigada;  $kc = 0,33$  - fator de correção proposta por Sparling e West (1988).

A taxa de respiração microbiana (RBM) do solo foi avaliada em sistemas fechados de captura de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). O sistema é composto de um pote de vidro com capacidade de 1 kg hermeticamente fechado, contendo 20 mL de água livre de  $\text{CO}_2$ , béquer de 50 mL contendo 30 g de solo e outro de 50 mL com 15 mL de solução de NaOH 0,05  $\text{mol L}^{-1}$ . O hidróxido de sódio de cada sistema foi retirado e titulado com HCl  $\text{mol L}^{-1}$  após 24 horas de incubação (Anderson; Komsch, 1993). A emissão de  $\text{CO}_2$  foi calculada pela Equação 3:

$$\text{mg CO}_2 = (B - V) \times (M - E) \quad \text{(Equação 3)}$$

Em que:  $\text{mg CO}_2$  = representa a quantidade de  $\text{CO}_2$  emitida pelo solo no sistema; B = a quantidade média de  $\text{CO}_2$  capturada no controle; M = molaridade da solução de ácido clorídrico; E = Peso equivalente do carbono na molécula de  $\text{CO}_2$ , cujo valor é 22.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conhecimento do equilíbrio dinâmico e dos efeitos das práticas agrícolas sobre as populações na comunidade microbiana é importante, dadas às inúmeras funções que esses microrganismos desempenham no solo. Na Tabela 1, observa-se que o número de unidades formadoras de colônias por grama de solos foi diversificados nas diferentes amostras analisadas, obtendo variações de 3.000 a 22.000, e 3.700 a 22.000 UFC  $\text{g}^{-1}$  de solo para bactérias e fungos totais, respectivamente.

Amostras de Solos	Análise Microbiológica (UFC $\text{g}^{-1}$ de solo)	
	Bactérias Totais	Fungos Totais
Arroz	3.000	3.700
Capim	12.400	5.000
Feijão	13.800	14.100
Mandioca	9.800	16.800
Milho	8.800	9.100
Queimadas	10.000	8.000
Soja	22.000	25.000
Virgem	10.700	13.400

Tabela 1. Análise da população microbiana em amostras de solos agrícolas do Cerrado Meridional Maranhense.

Fonte: Autores (2022).

Os resultados apresentados na Tabela 1, mostram uma tendência da comunidade bacteriana com maior população em solos com cultivo de soja, feijão, virgem e mandioca, com variação de 3.000 a 22.000 a UFC  $\text{g}^{-1}$  de solo. A população fúngica mostrou-se bem maior que o número de bactérias totais presentes nos solos cultivados com mandioca, virgem e soja (9.100 a 25.000 UFC  $\text{g}^{-1}$  de solo).

Segundo Primavesi (2002), os fungos nessas condições de manejo do solo são ávidos por açúcares e não apreciam muito os aminoácidos excretados por estes vegetais. Dessa forma, constatou-se que esses fatores associados ao tipo de exploração agrícola, podem ocasionar alterações qualitativas e quantitativas das populações microbianas do solo e na sua atividade.

O solo não cultivado (virgem), apesar de possuir valores altos de UFC  $\text{g}^{-1}$  em relação ao cultivo de arroz, milho, mandioca e queimadas, apresentou menor quantidade quando

comparados com feijão e soja (Tabela 1). Dessa forma, podemos utilizar esse tipo de solo como parâmetro de comparação ao desequilíbrio da comunidade microbiana nas diferentes amostras provocadas pelos diferentes manejos.

Em relação, a taxa de respiração da biomassa microbiana avaliada pelo método de evolução de  $\text{CO}_2$  durante a oxidação de compostos orgânicos, apresentam variações de 0,055 a  $0,275 \mu \text{C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$  de solo (Figura 1). Os valores permitem verificar que a respiração da biomassa microbiana atingiu maiores valores nos solos cultivados com soja, mandioca, feijão, virgem e queimadas antes do plantio. A respiração microbiana atingiu menores valores nos solos cultivados com capim, arroz e milho. Esses resultados indicam maior atividade microbiana em solos com cultivo de soja e mandioca, provavelmente, em virtude da maior decomposição da matéria orgânica e reserva de nutrientes que são maiores nesses solos.

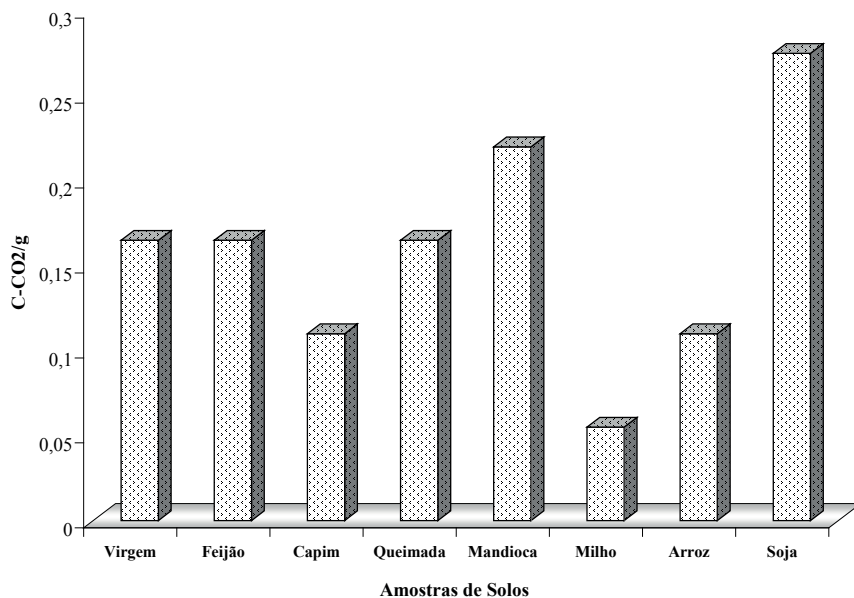


Figura 1. Taxa de respiração microbiana dos solos em estudo.

Fonte: Autores (2022).

As avaliações da respiração microbiana em laboratório têm a vantagem de eliminar organismos da mesofauna e partes da planta que poderiam mascarar as avaliações (Kelting *et al.*, 1998). Além disso, a temperatura e a umidade podem ser facilmente controladas, o que permite, inclusive, simulações. No entanto, quando amostras de solo são levadas ao laboratório, o grau de manipulação influencia a estrutura do solo e as trocas gasosas.

No campo, as mensurações da respiração do solo consideram a serapilheira e são

amplamente usadas para avaliar a atividade geral da biomassa no solo, sob a influência do clima, das propriedades físicas e químicas e de práticas agrícolas ou silviculturas, como rotação de culturas (Paul *et al.*, 1999), adição de matéria orgânica ou cobertura morta (Schroth *et al.*, 1992), plantio direto, cultivo mínimo (Gunalapa; Scow, 1998), idade do povoamento, tipo de solo e espécies de árvores (Bauhus *et al.*, 1998), mistura de espécies e presença de animais e excrementos no solo (Bardget *et al.*, 1998), que normalmente aumentam a biomassa e a atividade da microbiota do solo.

Na Tabela 3, são apresentados os valores da atividade da biomassa microbiana (BMS).

Amostras de Solos	Biomassa Microbiana (mg kg <sup>-1</sup> )
Arroz	2,72
Capim	5,45
Feijão	4,24
Mandioca	ND
Milho	3,03
Queimadas	ND
Soja	5,15
Virgem	ND

ND = Não detectado

Tabela 3. Análise da biomassa microbiana em solos com diferentes tipos de práticas agrícolas.

Fonte: Autores (2022).

Os resultados das atividades microbianas (Tabela 1) e as taxas de respiração (C-CO<sub>2</sub>) do solo (Figura 1), indicaram maior diversidade de microrganismos nas culturas de soja, feijão e mandioca. No entanto, a análise da biomassa microbiana descrita na Tabela 3, demonstrou que o solo com plantio de capim, soja, feijão, milho e arroz apresentaram maiores valores de BMS.

Estes resultados podem parecer equivocados, quando se esperava uma maior BMS em solos com cultivo de soja e feijão. Porém, isto se explica pelo fato de que as análises, em geral, a precisão não é alta, e que conforme a condição de armazenagem e processamento da amostra, modificações mensuráveis podem ocorrer e interferir no resultado final (De-Polli; Guerra, 1997).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos pode-se verificar que a comunidade bacteriana apresentou maior população em solos com cultivo de soja, feijão, mandioca e virgem (3.000 a 22.000 a UFC g<sup>-1</sup> de solo), e mandioca, virgem e soja para fungos (9.100 a 25.000 UFC

g<sup>-1</sup> de solo).

As taxas de respiração microbiana mostraram variações de 0,275 a 0,055  $\mu$  C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> de solo, com maiores valores nos solos cultivados com soja, mandioca, feijão, nativo e queimadas.

Dessa forma, os resultados deste estudo fornecem um importante passo para o entendimento da dinâmica de regulação microbiana de carbono pelos sistemas agrícolas.

## AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelo suporte financeiro.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, É. W. de S.; ORLANDA, J. F. F. Screening de fungos rizosféricos com capacidade de degradação do herbicida atrazina. **Arquivo Brasileiro de Microbiologia Básica e Aplicada**, São Cristovão, v. 1, n. 2, p. 1-9, 2013.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effect of environmental condition, such as pH on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 23, n. 3, p. 393-395, 1993.
- ARAÚJO NETO, S. E. de; SILVA, A. N. da; KUSDRA, J. F.; KOLLN, F. T.; ANDRADE NETO, R. de C. Atividade biológica de solo sob cultivo múltiplo de maracujá, abacaxi, milho, mandioca e plantas de cobertura. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 4, p. 650-658, 2014.
- BARDGETT, R. D.; KEILLER, S.; COOK, R.; GILBURN, A. S. Dynamics interactions between soil animals and microorganisms in upland grassland soils amended with sheep dung: a microcosm experiment. **Soil Biology & Biochemistry**, United Kingdom, v. 30, n. 4, p. 531-539, 1998.
- BAUHUS, J.; PARÉ, D.; CÔTÉ, L. Effects of tree species, stand age and soil type on soil microbial biomass and its activity in a Southern Boreal Forest. **Soil Biology and Biochemistry**, United Kingdom, v. 30, n. 8, p. 1077-1089, 1998.
- BRAGA, R. M.; SOUSA, F. F. de; VENTURIN, N.; BRAGA, F. de A. Biomassa e atividade microbiana sob diferentes coberturas florestais. **CERNE**, Lavras, v. 22, n. 2, p. 137-144, 2016.
- CHU, H.Y.; GAO, G.F.; MA, Y.; FAN, K.; DELGADO-BAQUERIZO, M. Soil microbial biogeography in a changing world: recent advances and future perspectives. **mSystems** 5, United States, v. 5, n. 2, p. 1-12, 2020.
- DADALTO, J. P.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; MATOS, A. T. de. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 506-513, 2015.
- DE-POLLI, H.; GERRA, J. G. M. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: Método da fumigação-extração. **Seropédica: Embrapa-CNPAB**, 1997. 10 p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 37).



FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciências de Solos**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 991-996, 1999.

GUNALAPA, N.; SCOW, K. M. Dynamics of soil microbial biomass and activity in conservation and organic farming systems. **Soil Biology and Biochemistry**, United Kingdom, v. 30, n. 6, p. 808-816, 1998.

HE, L.; SUN, X.; LI, S.; ZHOU, W.; CHEN, Z.; BAI, X. The vertical distribution and control factor of microbial biomass and bacterial community at macroecological scales. **Science of the Total Environment**, v. 869, n. 1, p. 1-10, 2023.

JOSHI, R. Kr; GARKOTI, S. C. Influence of vegetation types on soil physical and chemical properties, microbial biomass and stoichiometry in the central Himalaya. **Catena**, Netherlands, v. 222, n. 1, p. 1-11, 2023.

JURBURG, S. D; SALLES, J. F. Functional redundancy and ecosystem function - The soil microbiota as a case study. In: LO, Y.H et al. **Biodiversity in ecosystems - linking structure and function**. 1. ed. Rijeka: Intech. 2015. p. 29-49.

KELTING, D. L.; BURGER, J. A.; EDWARDS, G. S. Estimation root respiration, microbial respiration in rhizosphere, and root-free soil respiration in forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, United Kingdom, v. 30, n. 7, p. 961-968, 1998.

MASON-JONES, K.; ROBINSON, S. L.; VEEN, G. F. (Ciska); MANZONI, S.; PUTTEN, W. H. van der. Microbial storage and its implications for soil ecology. **ISME Journal: Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology**, [s.l.], v. 16, n. 1, p. 617-629, 2021.

MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. **Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade**. 1. ed. Lavras: UFLA. 2010. 368 p.

PAUL, E. A; HARRIS, D.; COLLINS, H. P; SCHULTHESS, U.; ROBERTSON, G.P. Evolution of CO<sub>2</sub> and soil carbon dynamics in biologically managed, row-crop agroecosystems. **Applied Soil Ecology**, Netherlands, v. 11, n. 1, p. 53-65, 1999.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo**. 1. ed. Editora Nobel. São Paulo, 2002.

RAMOS, R. F.; SOBUCKI, L.; ROHRIG, B.; LUDWIG, J.; DAROIT, D. J. Diversidade funcional de bactérias isoladas de solos rizosférico e não rizosférico em cultura de milho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 17, n. 3, p. 147-427, 2018

SALES, D. P.; OLIVEIRA NETO, F. M. Análise da distribuição das queimadas no cerrado maranhense, Brasil (2014-2018). **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, Curitiba, v. 9, n. 18, p. 17-31, 2020.

SANTOS, M. O. D.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F. Microbial biomass as an edge effect indicator in semi-deciduous seasonal forest fragments. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 4, p. 1-9, 2019.

SCHROTH, G.; ZECH, W.; HEIMANN, G. Mulch decomposition under agroforestry conditions in a sub-humid tropical savanna process and influence of perennial plants. **Plant and soil**, Netherlands, v. 147, p. 1-11, 1992.

SILVA, J. do N.; MENDES, L. W.; ANTUNES, J. E. L.; MELO, V. M. M.; OLIVEIRA, F. A. da S.; LOPES, A. C. de A.; SILVA, V. B. da; PEREIRA, A. P. de A.; VALENTE, S. E. S.; ARAUJO, A. S. F. Diversity, structure, and composition of plant growth-promoting bacteria in soil from Brazilian Cerrado. **Rhizosphere**, Netherlands, v.20, n. 1, p. 1-7, 2021a.

SILVA, M. de O.; SANTOS, M. P. dos; SOUSA, A. C. da P.; SILVA, R. L. V. da; MOURA, I. A. A. de; SILVA, R. S. da; COSTA, K. D. da S. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.1, p. 6853-6875, 2021b.

SOTERRONI, A. C.; RAMOS, F. M.; MOSNIER, A.; FARGIONE, J.; ANDRADE, P. R.; BAUMGARTEN, P. R.; PIRKER, J.; OBERSTEINER, M.; KRAXNE, F.; CÂMARA, G.; CARVALHO, A. X. Y.; POLASKY, S. Expanding the soy moratorium to Brazil's cerrado. **Science Advances**, United States, v. 5, n. 7, p. 1-20, 2019.

SOUZA, A. G. V. **Efeito de borda em ecossistemas nativos e plantações de eucalipto sobre dinâmica do carbono no solo**. 2021. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Ipameri, Ipameri, 2021.

SPARLING, G. P.; WEST, A. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: calibration in situ using microbial respiration and <sup>14</sup>C labelled cells. **Soil Biology and Biochemistry**, United Kingdom, v. 20, n. 3, p. 337-343, 1988.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, United Kingdom, v. 19, p. 703-707, 1987.

YANG, X.; CHENG, J.; FRANKS, A. E.; HUANG, X.; YAHNG, Q.; CHENG, Z.; LIU, Y.; MA, Bin, XU, J.; HE, Y. Loss of microbial diversity weakens specific soil functions, but increases soil ecosystem stability. **Soil biology and biochemistry**, United Kingdom, v. 177, n. 1, p. 1-11, 2023.