



Biomassa e atividade microbiana do solo sob diferentes coberturas vegetais em Região Cerrado - Mata Atlântica

Biomass and microbial activity of soil under different vegetal surfaces in The Cerrado - Atlantic Rainforest

Elaine Novak¹, Laércio Alves Carvalho², Etenaldo Felipe Santiago³, Michely Tomazi⁴, Ana Carolina Correia Oliveira Gomes⁵, Pitágoras Augusto Piana⁶

RESUMO: O estado de equilíbrio do ecossistema pode ser profundamente modificado pelo uso intensificado dos seus recursos, resultando alterações nos processos microbiológicos ocorridos no solo. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade do solo de diferentes áreas com base nos atributos microbiológicos. A avaliação foi realizada em cinco áreas no processo de restauração ecológica (REC1-5), uma área com vegetação nativa (MATA) e uma de cultivo de cana-de-açúcar (CN). Os atributos microbiológicos avaliados foram: Carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), respiração basal (C-CO₂), quociente microbiano (*q*MIC) e quociente metabólico (*q*CO₂). O menor teor do parâmetro C-BMS foi observado na REC5, que diferenciou estatisticamente de REC2 e REC4. O fato de não haver distinção entre as RECs das áreas de CN e MATA sugere a influência, interação ou sinergismo entre fatores. A análise da matriz de similaridade por meio da distância euclidiana aplicada aos dados de atributos microbiológicos permitiu a distinção de CN em relação às demais formas de manejo do solo sendo, portanto, mais eficiente como ferramenta na caracterização do ambiente. Dentre as áreas em processo de restauração ecológica, REC2 e REC3 apresentaram condições microbiológicas com maior similaridade em relação à área de vegetação nativa (MATA), o que pode ser indicativo de melhoria na qualidade do solo e, conseqüentemente, aproximando-se do estado de equilíbrio da condição natural regional.

Palavras-chave: Atividade edáfica. Indicadores microbiológicos. Restauração ecológica.

ABSTRACT: Ecosystem equilibrium may be greatly modified by intensive use of resources, with changes in the microbiological processes in the soil. Current paper evaluates soil quality in different areas according to microbiological attributes. Evaluation was undertaken in five areas within the ecological restoration process (REC1-5), an area with native vegetation (MATA) and another with sugarcane (CN). Microbiological attributes evaluated were carbon of the soil's microbial biomass (C-BMS), basal respiration (C-CO₂), microbial quotient (*q*MIC) and metabolic quotient (*q*CO₂). Lowest C-BMS rate was reported in REC5 differentiating statistically REC2 and REC4. Non-distinction between RECs in CN and MATA suggest influence, interaction or synergism between factors. The analysis of similarity matrix by Euclidian distance applied to microbiological attributes data allowed the distinction of CN with regard to the other forms of soil management. It is, therefore, more efficient as a tool to characterize the environment. Within the areas in a process of ecological restoration, REC2

¹ Doutora em Recursos Naturais pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. Professora Junto à Secretaria de educação do Estado do Paraná e Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Brasil.

² Doutor em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz e Pós-doutorado pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Professor efetivo do curso de Engenharia Ambiental e docente permanente dos Programas de Mestrado/Doutorado em Agronomia e do Mestrado/Doutorado em Recursos Naturais da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Brasil.

³ Doutor em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Campus de Rio Claro (SP). Professor titular da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), orientador no Mestrado e Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais (PGRN), Dourados (MS), Brasil.

⁴ Doutora em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul com doutorado Sanduíche na Technische Universität München na Alemanha pelo convênio CAPES/DAAD. Pesquisadora da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados (MS), Brasil.

⁵ Mestre em Recursos Naturais pela Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul. Professora efetiva dos cursos de Engenharia Ambiental e Gestão Ambiental e Coordenadora do curso de Gestão Ambiental da Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul (UEMS), Dourados (MS), Brasil.

⁶ Doutor e pós-doutor em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais pela Universidade Estadual de Maringá. Professor Associado da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Brasil.

and REC3 had microbiological conditions with the best similarity with regard to the area with native vegetation (MATA). This indicates an improvement in soil quality and, consequently, a state of equilibrium in the natural regional condition.

Keywords: Edaphic activity. Microbiological indexes. Ecological restoring.

Autor correspondente:
Elaine Novak: elainenovak@hotmail.com

Recebido em: 31/05/2020
Aceito em: 05/03/2021

2

INTRODUÇÃO

A necessidade de produção de alimento e bens de consumo em quantidade suficiente para suprir a demanda crescente das populações incorre no aumento na eficiência das tecnologias agrícolas, porém ainda é realidade a utilização de grandes áreas, bem como a abertura de novas frentes para o desenvolvimento das atividades agrícola e pecuária. O uso e manejo dos solos para tais fins, além da supressão da cobertura vegetal nativa, quando inadequados, acarretam inúmeros problemas ambientais, como a degradação edáfica e poluição dos corpos d'água associados (NOVAK, 2017).

O Capítulo III-A do Código Florestal Brasileiro em sua recente versão (Lei 12.727 de 17 de outubro de 2012) trata já em *Caput* (Art. 41) sobre a necessidade de adoção de tecnologias e boas práticas visando conciliar a produtividade agropecuária e florestal, com redução dos impactos ambientais, sendo passíveis de pagamento ou incentivo os serviços ambientais, programas e projetos voltados para essa finalidade. Dentre as atividades descritas no referido artigo, destaca-se a conservação e o melhoramento do solo (BRASIL, 2012). O atendimento ao que preconiza a legislação vigente depende de conhecimento gerado a fim de entender a dinâmica dos processos que ocorrem no sistema solo, colaborando dessa forma com a adoção de práticas conservacionistas e de restauração em ambientes degradados (NOVAK, 2017).

A restauração de áreas degradadas envolve uma série de medidas que buscam, inicialmente, minimizar os efeitos da degradação e, posteriormente, implantar metodologias corretivas, visando o restabelecimento de aspectos estruturais e funcionais do ambiente. Antes da adoção das diferentes medidas mitigadoras é de extrema importância a avaliação dos atributos edáficos, pois estes retratam o diagnóstico atual do solo e possibilitam seu monitoramento (NOVAK, 2017). Esses programas permitem inferir se os métodos empregados estão adequados às condições específicas da atividade e da região (AUDEH *et al.*, 2011), sobretudo quando o zoneamento agroecológico já está definido (CEREDA JUNIOR; RÖHM, 2014).

Contudo, vale ressaltar que o sucesso dos programas de restauração ecológica não pode ser considerado apenas pela velocidade em que se forma a cobertura vegetal, mas também pela avaliação e monitoramento dos diferentes atributos do solo os quais são

empregados como indicadores de qualidade e/ou degradação ambiental. Os indicadores físicos e químicos são comumente os mais utilizados para avaliar a sua qualidade (CRITTENDEN *et al.*, 2015; MOLINE; COUTINHO, 2015). Todavia, os atributos microbiológicos são mais sensíveis a alterações quando o solo está sujeito às diferentes formas de manejo, podendo estes serem considerados melhores indicadores de qualidade ambiental (ARAÚJO *et al.*, 2019; ARAUJO *et al.*, 2019). Estudos mostraram que a determinação da biomassa do solo permite avaliação mais rápida e precoce de suas alterações, quando comparado aos atributos químicos e físicos (KASCHUK *et al.*, 2010).

Dentre os atributos microbiológicos, a biomassa microbiana do solo (C-BMS) é um importante parâmetro de ciclagem de nutrientes nos ecossistemas, pois representa a fração da matéria orgânica do solo (MOS) que é mais rapidamente decomposta (RANGEL-VASCONCELOS *et al.*, 2015).

Igualmente importante, a respiração basal (C-CO₂) reflete a velocidade de decomposição de um resíduo orgânico adicionado ao solo. Quando a atividade microbiana é alta ocorre maior decomposição e, conseqüentemente, liberação de nutrientes para as plantas; porém, também pode significar perdas de C do solo, em longo prazo (SOUZA *et al.*, 2010).

No geral, informações sobre as mudanças no carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração basal (C-CO₂), quociente metabólico (qCO₂) e quociente microbiano (qMIC) podem explicar os processos ecológicos do ambiente. Compreender o comportamento e a dinâmica dos micro-organismos do solo ajuda a avaliar as práticas de uso do solo que mantém e/ou melhoram a qualidade deste ao longo do tempo. Isso porque as mudanças na atividade microbiana e na composição das comunidades microbianas influenciam diretamente sua fertilidade, bem como o crescimento das plantas e a ciclagem de nutrientes (CHEN *et al.*, 2014).

Pesquisas têm apontado que alguns indicadores relacionados com a comunidade microbiana do solo são bastante sensíveis às alterações provenientes das atividades agrícolas (NAVROSKI *et al.*, 2017; BUENO *et al.*, 2018), no entanto, ainda são escassos os trabalhos que objetivam avaliar o comportamento das comunidades microbianas em áreas que estão em processo de restauração ecológica, principalmente na região de transição de biomas Cerrado e Mata Atlântica.

Diante disso, levantamos a hipótese de que as ações de plantio de espécies nativas e regeneração natural efetuadas nas áreas em processo de restauração ao longo de cinco anos de intervenção contribuem para melhoria da qualidade do solo. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade do solo de diferentes áreas com base nos atributos microbiológicos. Nesse sentido, as respostas das seguintes questões poderão contribuir para melhor entendimento e planejamento das práticas de restauração: As áreas analisadas apresentam diferenças com relação aos atributos microbiológicos analisados? As áreas em restauração

ecológica apresentam evolução substancial em sua qualidade? As áreas em restauração assemelham-se à área de vegetação nativa ou à área cultivada?

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO

O trabalho foi conduzido no município de Rio Brillante (MS). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico típico, de textura argilosa (SANTOS *et al.*, 2018). De acordo com o sistema de classificação de Köppen, o clima é caracterizado como mesotérmico úmido, verões quentes e invernos secos (Cwa). As áreas de estudo consistiram em um remanescente de vegetação nativa, com fitofisionomia florística de floresta semidecidual em área de transição entre Cerrado e Mata Atlântica, que foi adotada como área testemunha e identificada como MATA, cinco áreas em restauração ecológica (identificadas de REC1 a REC5) e uma área de cultivo de cana-de-açúcar (CN) (Figura 1).

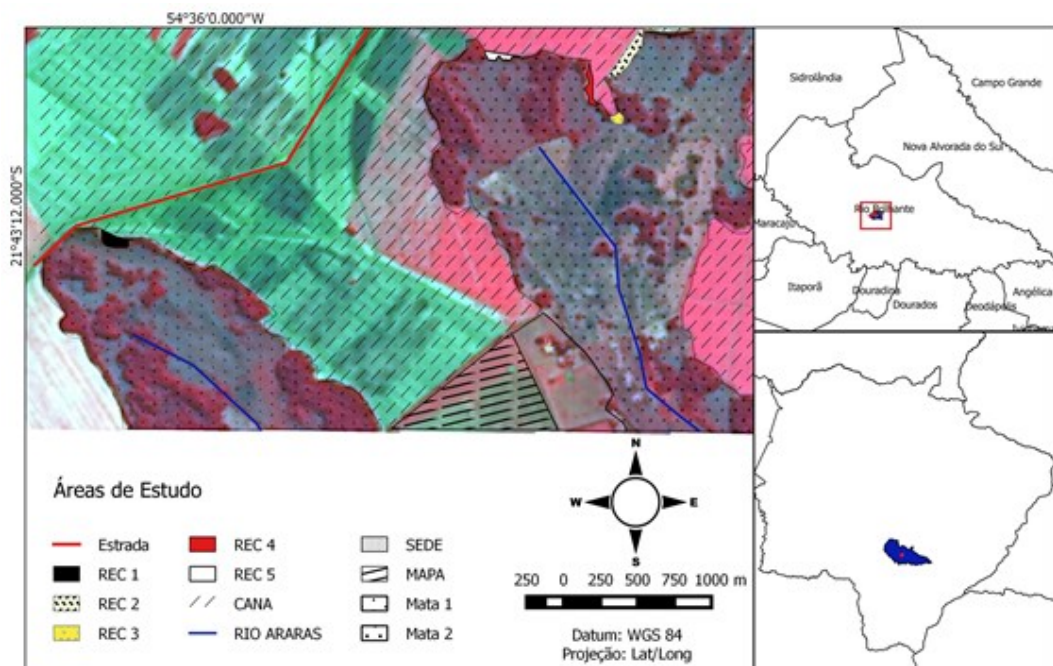


Figura 1. Mapa de localização elaborado no Quantum QGIS 14.2.

As áreas de restauração foram estabelecidas originalmente em formação de floresta estacional semidecidual sendo estas substituídas por pastagem (*Brachiaria brizantha*), manejadas num período de dez anos e, posteriormente, por cana-de-açúcar por dois anos. Após esse período as áreas foram destinadas à recuperação ambiental sofrendo intervenções como: plantio heterogêneo com espécies florestais nativas na REC2 e regeneração natural nos

últimos cinco anos, contados até o momento da coleta, nas demais áreas, não havendo intervenção mecânica ou aplicação de fertilizantes. Dentre as espécies nativas utilizadas no plantio se destacaram a *Myracrodruon urundeuva*, *Schinus terebinthifolia*, *Handroanthus avellanadae*, *Machaerium stipitatum* e *Dabergia miscolobium*, entre outras.

O plantio da cana-de-açúcar (RB86 - 7515) foi realizado com preparo convencional do solo utilizando duas gradagens (grades aradoras), uma subsolagem até a profundidade de 0,45 m e uma gradagem niveladora. Foi utilizado fertilizante mineral NPK (05-15-10) durante o plantio da cultura, e nos cortes anuais a reposição foi feita utilizando fertilizante mineral NPK (30-05-25) na linha da cultura. Nos tratos culturais da cana soca foram realizadas operações de cultivo entre linhas da cultura, visando minimizar os efeitos da compactação do solo causada pelo intensivo tráfego de máquinas na colheita. Na época de amostragem, a cultura de cana-de-açúcar encontrava-se no quarto corte de colheita mecanizada.

2.2 DELINEAMENTO E PROCEDIMENTO

Para avaliação dos atributos microbiológicos do solo, amostras foram coletadas (período chuvoso, 2014) nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm, com quatro repetições aleatórias em cada área e camada seguindo o delineamento inteiramente casualizado (DIC).

O carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) foi avaliado pelo método da fumigação-extração, que se baseia no fato do carbono dos micro-organismos mortos pela fumigação ser liberado para o solo, de onde é possível extraí-lo quimicamente (VANCE *et al.*, 1987). A respiração basal (C-CO₂) ou taxa de respiração microbiana foi estimada pelo método de fumigação-incubação, proposto por Jenkinson e Powlson (1976). Após a realização das análises de C-BMS e C-CO₂ evoluído, foram determinados os quocientes metabólico (qCO_2), obtidos a partir da relação C-CO₂/C-BMS, e microbiano ($qMIC$), pela equação de C-BMS/COT (Carbono Orgânico Total) x 100 (ANDERSON; DOMSCH, 1990).

2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos ao teste Shapiro-Wilk para verificação da normalidade e ao teste de Levene. Os dados que apresentaram normalidade e homocedasticidade foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Os resultados obtidos também foram submetidos à análise multivariada, dentre as quais, a análise de agrupamento (*cluster analysis*), tendo-se adotado o método do vizinho mais distante (*complete linkage*), que representa a maior distância entre os aglomerados

(MANLY, 2008), a partir da distância euclidiana, para descrever a similaridade entre os sistemas avaliados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de C-BMS, na camada 0,00-0,10 m, foram mais elevados nas áreas REC2 e REC4, diferindo estatisticamente de REC5 (Tabela 1). Assim, a microbiota do solo nesses sistemas naturais é favorecida pela cobertura vegetal, que tende a proporcionar melhora no microclima (AZAR *et al.*, 2013), maior acúmulo de material orgânico e, conseqüentemente, favorece o estabelecimento da fauna edáfica e a atividade microbiana, o que promove a ciclagem de nutrientes no solo (ALMEIDA *et al.*, 2016b; DINIZ *et al.*, 2019).

Tabela 1. Médias dos teores de carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), respiração basal (C-CO₂), quociente metabólico (qCO₂) e quociente microbiano (qMIC) das áreas em restauração ecológica (RECs), cultivo de cana-de-açúcar (CN) e vegetação nativa (MATA) nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm

Área	C-BMS		C-CO ₂		qCO ₂		qMIC	
	µg C g ⁻¹ solo seco		µg C-CO ₂ g ⁻¹ solo dia ⁻¹		µC-O ₂ µg ⁻¹ / C-BMS h ⁻¹		%	
Camada 0-10 cm								
REC 1	406,44 ab	± 21,14	31,67 a	± 2,01	32,46 a	± 1,20	1,35 a	± 0,14
REC 2	465,46 a	± 20,64	28,36 a	± 4,45	25,92 a	± 4,97	1,28 a	± 0,10
REC 3	389,25 ab	± 55,74	26,14 a	± 4,56	29,56 a	± 4,45	1,08 a	± 0,08
REC 4	461,22 a	± 21,03	33,89 a	± 2,83	30,88 a	± 3,11	1,31 a	± 0,04
REC 5	251,00 b	± 33,13	23,04 a	± 1,77	41,72 a	± 8,85	0,86 a	± 0,11
CN	309,34 ab	± 8,01	29,07 a	± 6,94	38,79 a	± 8,49	1,25 a	± 0,06
MATA	394,63 ab	± 71,43	32,80 a	± 5,25	38,05 a	± 7,78	1,02 a	± 0,18
Camada 10-20 cm								
REC 1	310,33 a	± 20,86	25,74 a	± 3,84	35,22 a	± 5,78	1,14 b	± 0,06
REC 2	336,56 a	± 46,50	26,01 a	± 1,72	35,12 a	± 7,11	1,07 b	± 0,14
REC 3	302,23 a	± 16,58	29,10 a	± 5,62	39,88 a	± 6,76	0,93 b	± 0,03
REC 4	372,60 a	± 61,88	27,87 a	± 1,96	35,08 a	± 8,74	1,22 ab	± 0,20
REC 5	296,23 a	± 23,77	25,76 a	± 0,53	34,15 a	± 3,90	1,08 b	± 0,06
CN	396,14 a	± 39,09	30,77 a	± 6,16	39,55 a	± 1,92	1,71 a	± 0,14
MATA	317,60 a	± 25,13	38,27 a	± 6,47	49,19 a	± 5,12	1,12 b	± 0,07

REC1 (área em restauração ecológica 1), REC2 (área em restauração ecológica 2), REC3 (área em restauração ecológica 3), REC4 (área em restauração ecológica 4), REC5 (área em restauração ecológica 5), CN (cana-de-açúcar), MATA (fragmento de vegetação nativa de Floresta Estacional Semidecídua). Médias seguidas com a mesma letra nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ± Erro Padrão.

Na camada 0,10-0,20 m, não houve diferença significativa nos teores de C-BMS entre as áreas avaliadas. Teores elevados de C-BMS em áreas de cultivo de cana-de-açúcar podem estar relacionados ao acúmulo de resíduos culturais remanescentes dos cultivos anteriores (ALMEIDA *et al.*, 2016a), bem como pelas condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento da população microbiana, como elevação da temperatura do ar e a precipitação (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

De maneira geral, a riqueza e abundância de espécies arbóreas como cobertura dos solos implica em deposição contínua de substratos orgânicos (ALMEIDA *et al.*, 2017) com composição variada na serapilheira, o que tende a favorecer os maiores teores de biomassa microbiana (ARAUJO *et al.*, 2019), além disso, a maior densidade e complexidade da cobertura vegetal propicia a heterogeneidade das fontes de carbono, formação de nichos ecológicos com condições diferenciadas de luminosidade, temperatura e umidade relativa com implicações sobre a atividade e a estabilidade da comunidade microbiana (CUNHA *et al.*, 2012; BINI; LOPEZ; CARDOSO, 2016).

Neste estudo, mesmo considerando a distinção nos valores médios da maioria das variáveis químicas (NOVAK, 2017), o fato da C-BMS não diferir entre a MATA e as RECs sugere a influência ou interação destes ou outros fatores além da cobertura vegetal, passíveis também de justificar as diferenças observadas entre as RECs. Cherubin *et al.* (2016) e Novak *et al.* (2018) enfatizaram que a conversão da vegetação nativa por sistema de produção tende a acarretar redução dos teores de C-BMS devido à redução de COT. Contudo, neste trabalho, embora a conversão da vegetação nativa tenha ocasionado a diminuição na concentração de COT, não foi verificada redução no C-BMS.

Os atributos microbiológicos em geral refletem as condições do ambiente para o desenvolvimento dos micro-organismos do solo. Áreas com valores mais elevados dos teores de C microbiano implicam maior imobilização temporária de nutrientes devido à maior quantidade de matéria orgânica ativa no solo capaz de manter a decomposição dos resíduos vegetais. Sistemas cultivados geralmente exibem níveis mais baixos de C-BMS do que solos sob vegetação nativa (KASCHUK *et al.*, 2010), entretanto, esse fato não foi observado no presente trabalho, pois sistema de cultivo de cana-de-açúcar e vegetação nativa não diferiram estatisticamente.

O aumento da heterogeneidade vegetal é um importante indutor das respostas das comunidades microbianas às alterações ambientais podendo aumentar a sustentabilidade dos agroecossistemas (LISBOA *et al.*, 2014), decorrente do incremento de biomassa microbiana (DINIZ *et al.*, 2019), considerando ainda que fatores como a grande quantidade de raízes e a maior quantidade de água retida no solo sob vegetação nativa estimulam a manutenção da microbiota do solo (RODRIGUES *et al.*, 2013).

Os resultados de respiração basal (liberação de C-CO₂) obtidos pela análise de variância indicaram que não houve diferença significativa entre as áreas estudadas em ambas as camadas, corroborando com Rodrigues *et al.* (2015), que estudaram a biomassa microbiana do solo em diferentes sistemas. Valores mais elevados de C-CO₂ associados a maiores teores de C indicam constante deposição e mineralização de serapilheira (GONÇALVES *et al.*, 2019), com acúmulo de matéria orgânica que promove elevada biomassa microbiana e atividade biológica (ALMEIDA *et al.*, 2016a).

A taxa de respiração basal pode ser considerada um bom indicador de qualidade do solo, pois mostra ser um atributo sensível às variações de temperatura, manejo e umidade (BARBIERI *et al.*, 2019). Assim, uma alta taxa de respiração pode ser interpretada como uma característica desejável quando se considera que a decomposição dos resíduos orgânicos irá disponibilizar nutrientes para as plantas. No entanto, uma alta atividade respiratória também implica decomposição intensa da matéria orgânica estável (fração húmica), levando ao comprometimento de processos físicos e químicos do solo (ROSCOE *et al.*, 2006). Por outro lado, a redução da taxa de respiração basal pode estar relacionada com a maior eficiência de utilização de carbono pela biomassa microbiana, resultando menores perdas para a atmosfera (BAZZO *et al.*, 2018).

Os resultados de carbono da biomassa microbiana e respiração basal encontrados no presente trabalho corroboram os observados por Sousa *et al.* (2015), que não encontraram diferença significativa em seus teores ao comparar sistema de produção agrícola, pastagem e vegetação nativa em uma região de Cerrado. Os altos valores de respiração basal encontrados nas áreas podem estar relacionados à grande diversidade de espécies com sistemas radiculares diversos que tende a promover maior aeração e oxigenação do solo e aumentar a absorção de nutrientes através dos resíduos e exsudato produzido por diferentes espécies de plantas (MAZZETTO *et al.*, 2016).

É importante salientar, contudo, que uma elevada respiração basal pode sugerir a presença de agentes estressantes (YADA *et al.*, 2015; DINIZ *et al.*, 2019), motivo pelo qual é sempre importante considerar os valores de quociente metabólico ou taxa de respiração específica ($q\text{CO}_2$), que representa a quantidade de C-CO₂ liberada por unidade de biomassa microbiana em determinado tempo (MERCANTE *et al.*, 2008), assim verificou-se pela análise de variância que não houve diferença significativa nos teores de $q\text{CO}_2$ entre as áreas avaliadas em ambas as camadas.

Uma biomassa mais eficiente na conversão de carbono orgânico em tecido microbiano seria aquela que perderia menos carbono na forma de CO₂ pela respiração e incorporaria mais C aos tecidos microbianos (ROSCOE *et al.*, 2006). Assim, pressupõe-se que, ao comparar o ambiente cultivado e preservado, ambos (CN e MATA) sejam menos eficientes na conversão de C em tecido microbiano nas camadas 0-10 cm e 10-20 cm, respectivamente. Nessas

condições, ocorre maior gasto de energia para manutenção da comunidade microbiana e os micro-organismos tendem a consumir mais substrato para sobreviver (CARNEIRO *et al.*, 2008).

Em áreas sob vegetação nativa isso pode indicar que as comunidades microbianas estejam em estágio inicial de desenvolvimento, com maior proporção de micro-organismos ativos em relação aos inativos. Já em área de cultivo, além desse fator, pode também ser indicativo de que as populações microbianas estejam sob algum tipo de estresse metabólico (ANDERSON; DOMSH, 1993). Em nosso estudo, esta pode não ser a explicação para MATA, posto que o ambiente estudado é constituído por floresta semidecidual em estádios avançados no processo sucessional restando, portanto, o componente edáfico como principal elemento a influenciar os parâmetros microbianos.

No geral, espera-se que ecossistemas perturbados ao serem abandonados ou em regeneração reflitam uma diminuição dos teores de qCO_2 ao longo do tempo, indicando que o ecossistema tende à estabilidade durante os estágios sucessionais. Fatores de estresse ou condições desfavoráveis presentes no solo (SOUZA *et al.*, 2006), como metais pesados, limitações de nutrientes e baixo pH, podem reduzir a eficiência microbiana em converter o carbono assimilado em nova biomassa, já que uma maior parte desse carbono deverá ser utilizada para fornecer energia (e, portanto, ser respirada como CO_2) para processos metabólicos necessários à manutenção do equilíbrio celular. Ao contrário, à medida que determinada biomassa microbiana se torna mais eficiente na utilização dos recursos do ecossistema, menos carbono é perdido como CO_2 pela respiração e maior proporção de carbono é incorporada em longo prazo (BARBIERI *et al.*, 2019) aos tecidos microbianos. Dessa forma, baixos valores de quociente metabólico indicam ambientes mais estáveis ou mais próximos do estado de equilíbrio (MENDES *et al.*, 2011).

O índice obtido por meio da relação C-BMS/C orgânico total, denominado quociente microbiano ($qMIC$), tem sido utilizado para avaliar a qualidade da matéria orgânica do solo. Quanto maior for essa relação, melhor é a eficiência dos micro-organismos em fixar o carbono no solo. Entretanto, Balota *et al.* (1998) enfatizam que solos com valores altos e baixos podem representar acúmulo ou perda de carbono do solo. Ao analisar o resultado da análise de variância obtida neste trabalho, foi observada, na camada 0-10 cm, que não houve diferença significativa entre as áreas avaliadas. Na camada de 10-20 cm, os maiores teores foram observados em REC4 e na área sob cultivo de cana-de-açúcar (CN), que diferiu estatisticamente das áreas em restauração ecológica (REC1, REC2, REC3 e REC5) e vegetação nativa (MATA).

No presente estudo, todas as áreas avaliadas, em ambas as camadas, apresentaram valores de quociente microbiano próximos de 1%. Valores acima estão dentro da faixa verificada em ambiente com maior conservação do solo, como sistemas naturais (ROSCOE *et*

al., 2006), refletindo condições mais apropriadas para o desenvolvimento microbiano, as quais podem decorrer da adição de matéria orgânica de boa qualidade ou da eliminação do fator limitante (CHAER; TÓTOLA, 2007).

Com a análise de agrupamento hierárquico para o conjunto de atributos microbiológicos estudados, foi possível a divisão de grupos interpretativos (Figura 2). Nesta análise, as áreas em restauração ecológica, cultivo de cana-de-açúcar e vegetação nativa foram agrupadas com base no seu grau de similaridade, classificando-as em grupos homogêneos. Na interpretação da matriz de similaridade entre as áreas foi admitida, na camada de 0-10 cm (Figura 2A), a formação do grupo GI, que engloba os dados que representam as áreas REC1, REC2, REC3, REC4 e MATA, e o grupo GII, formado pelas áreas REC5 e CN. Em relação à camada 10-20 cm (Figura 2B), houve a formação de dois grandes grupos interpretativos, sendo GI constituído pelas áreas REC1, REC2, REC3, REC5 e MATA e GII pelas áreas REC4 e CN.

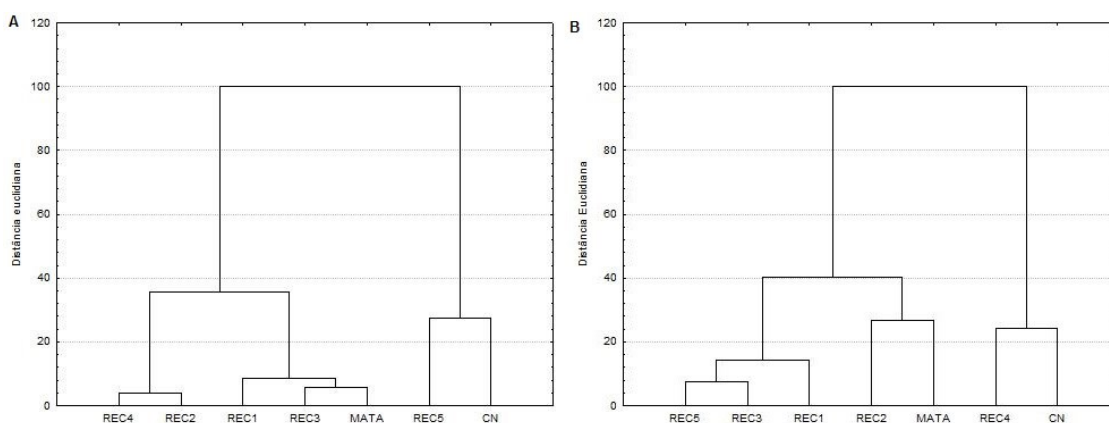


Figura 2. Dendrograma das distâncias euclidianas dos atributos microbiológicos do solo. A - camada 0-10 cm; B - camada de 10-20 cm; nas áreas em restauração ecológica, cultivo de cana-de-açúcar e vegetação nativa. REC1: área em restauração ecológica 1; REC2: área em restauração ecológica 2; REC3: área em restauração ecológica 3; REC4: área em restauração ecológica 4; REC5: área em restauração ecológica 5; CN: área de cultivo de cana-de-açúcar; MATA: remanescentes de floresta estacional semidecidual.

Em linhas gerais CN constituiu o grupo vizinho mais distante das RECs, ao passo que MATA permaneceu agrupada com elas. Exceto para REC5 na camada 0-10 cm e REC4 na camada 10-20 cm, o maior isolamento de CN em relação à MATA e às demais RECs sugere que o manejo pode influenciar no comportamento dos micro-organismos do solo, sendo que a maior similaridade no componente microbiológico do solo entre REC2 e MATA reforçou que as intervenções de restauração, por meio do aumento da diversidade do componente de cobertura vegetal, possivelmente contribuíram para esse efeito.

Embora a análise isolada para os parâmetros de C-BMS, C-CO₂, qCO₂ e qMIC pouco tenha contribuído para entender a dinâmica de sucessão na área de estudo, a avaliação hierárquica por meio da distância euclidiana sobre os atributos microbiológicos permitiu a distinção da área de cultivo de cana-de-açúcar em relação às demais formas de manejo do

solo. Dessa forma, não se descarta a hipótese de diferenças na diversidade da microbiota do solo entre as áreas, diferenças estas grandes o suficiente para isolar CN, mas não para justificar maior biomassa microbiana ou variações significativas no aprisionamento do carbono, um componente da diversidade com essas características seria a riqueza de espécies.

Desse modo, é sensato afirmar que para o melhor entendimento dos efeitos das diferentes formas de manejo dos solos na área investigada, além dos atributos microbiológicos dos solos, outros estudos que envolvam a diversidade da microbiota serão importantes para se entender a dinâmica de sucessão em áreas de transição no bioma Cerrado.

4 CONCLUSÃO

O fato do C-BMS das RECs não diferir de CN e MATA sugere a influência, interação ou sinergismo entre fatores, de tal modo que a cobertura vegetal ou a análise isolada dos atributos microbiológicos não podem ser utilizados como parâmetros exclusivos para o entendimento da dinâmica de sucessão na área.

Não se descarta a hipótese de que diferenças na diversidade da microbiota do solo entre as áreas foram suficientes para isolar CN, mas não para justificar maior biomassa microbiana ou variações significativas no aprisionamento do carbono, fato que pode mudar ao longo do estabelecimento e avanço na dinâmica das comunidades microbiológicas do sistema.

Dentre as áreas em restauração, REC2 e REC3, no geral, apresentaram condições microbiológicas com maior similaridade em relação à área de vegetação nativa, o que pode ser indicativo de melhoria na qualidade do solo e, conseqüentemente, do aumento na diversidade da comunidade edáfica.

5 AGRADECIMENTOS

Ao pesquisador Fábio Martins Mercante (*in memoriam*), colaborador da pesquisa, pela possibilidade de realização do trabalho junto ao Laboratório de Microbiologia de Solos da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados (MS).

À Embrapa Agropecuária Oeste, Fundect e Usina Louis Dreyfus Company.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. T.; SIMÕES, K. S.; ALMEIDA, J. R. C.; PEIXOTO, C. P.; PEIXOTO, M. F. S. P. Qualidade biológica do solo em sistema de policultivo no semiárido da Bahia. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 15, n. 2, p. 75-81, 2017.

ALMEIDA, D. O.; BAYER, C.; ALMEIDA, H. C. Fauna e atributos microbiológicos de um Argissolo sob sistemas de cobertura no Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**,

Brasília, v. 51, n. 9, p. 1140-1147, 2016b. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900013>.

ALMEIDA, L. S.; FERREIRA, V. A. S.; FERNANDES, L. A.; FRAZÃO, L. A.; OLIVEIRA, A. L. G.; SAMPAIO, R. A. Indicadores de qualidade do solo em cultivos irrigados de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1539-1547, set. 2016a. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900053>.

12

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of eco-physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, n. 2, p. 251-255, 1990. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(90\)90094-G](https://doi.org/10.1016/0038-0717(90)90094-G).

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 4, p. 393-395, 1993. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90140-7](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90140-7).

ARAÚJO, F. S.; BARROSO, J. R.; FREITAS, L. O.; TEODORO, M. S.; SOUZA, Z. M.; TORRES, J. L. R. Chemical attributes and microbial activity of soil cultivated with cassava under different cover crops. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 8, p. 614-619, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n8p614-619>.

ARAUJO, T. S.; GALLO, A. S.; ARAUJO, F. S.; SANTOS, L. C.; GUIMARÃES, N. F.; SILVA, R. F. Biomassa e atividade microbiana em solo cultivado com milho consorciado com leguminosas de cobertura. **Revista de Ciências Agrárias**, Portugal, v. 42, n. 2, p. 347-357, 2019. DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.15433>.

AUDEH, S. J. S.; LIMA, A. C. R.; CARDOSO, I. M.; CASALINHO, H.; JUCKSCH, I. J. Qualidade do solo: uma visão etnopedológica em propriedades agrícolas familiares produtoras de fumo orgânico. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Dois Vizinhos, v. 6, n. 3, p. 34-48, 2011.

AZAR, G. S.; ARAÚJO, A. S. F.; OLIVEIRA, M. E.; AZEVÊDO, D. M. M. R. Biomassa e atividade microbiana do solo sob pastagem em sistemas de monocultura e silvipastoril. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 2727-2736, 2013. DOI: [10.5433/1679-0359.2013v34n6p2727](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n6p2727).

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 641-649, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000400009>.

BARBIERI, M.; *et al.* Ensaio sobre a bioatividade do solo sob plantio direto em sucessão e rotação de culturas de inverno e verão. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 42, n. 1, p. 122-134, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.19084/RCA17068>.

BAZZO, J. C.; SILVA, M. L. N.; FREITAS, D. A. F.; SOARES, C. R. F. S.; GOMIDE, P. H. O.; SANTOS, S. A.; CARDOSO, E. L. **Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes fitofisionomias no Pantanal da Nhecolândia, MS, Brasil**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2018. 16p. ISSN 1981-7215.

BINI, D.; LOPEZ, M. V.; CARDOSO, E. J. B. N. Metabolismo microbiano. In: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2ª ed. Piracicaba: ESALQ, 2016. p. 63-83. ISBN: 978-85-86481-56-7.

BRASIL. **Lei 12.727 de 17 de outubro de 2012**. Brasília: Presidência da República, 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm. Acesso em: 09 jan. 2020.

BUENO, P. A. A.; OLIVEIRA, V. M. T.; GUALDI, B. L.; SILVEITA, P. H. N.; PEREIRA, R. G.; FREITAS, C. E. S.; BUENO, R. O.; SEKINE, E. S.; SCHWARCZ, K. D. Indicadores microbiológicos de qualidade do solo em recuperação de um sistema agroflorestal. **Acta Brasiliensis**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 40-44, 2018. DOI: <https://doi.org/10.22571/2526-433896>.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; SOARES, A. L. L. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa microbiana e atividade microbiana do solo em duas cronos sequências de reabilitação após mineração de bauxita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 621-632, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200017>.

CEREDA JUNIOR, A.; RÖHM, S. A. Analysis of Environmental Fragility using multi-criteria analysis (MCE) for integrated landscape assessment. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, v. 8, n. 1, p. 28-37, 2014. DOI: 10.4090/juee.2014.v8n1.028037.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1381-1396, 2007.

CHEN, S.; ZOU, J.; HU, Z.; CHEN, H.; LU, Y. Global annual soil respiration in relation to climate, soil properties and vegetation characteristics: Summary of available data. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 198-199, p. 335-346, 2014.

CHERUBIN, M. R.; KARLEN, D.; FRANCO, A. L. C.; CERRI, C. E. P. A soil management assessment framework (Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo SMAF) Evaluation of Brazilian sugarcane expansion on Soil Quality. **Soil Science Society of America Journal**, v. 25, p. 215-226, 2016.

CRITTENDEN, S. J.; POOT, N.; HEINEN, M.; VAN BALEM, D. J. M.; PULLEMAN, M. M. Soil physical quality in contrasting tillage systems in organic and conventional farming. **Soil & Tillage Research**, v. 154, p. 136-144, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.06.018>.

CUNHA, E.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactada por

sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 56-63, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000100008>.

DINIZ, J. F.; ROQUE, C. G.; BORGES, M. C. R. Z.; BARROS, P. P. V.; CHAGAS, P. H. M.; GODINHO, O. L.; TEODORO, P. E. Soil biomass and microbial activity in soybean crop area under different cover crops and different soil correction systems. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 35, n. 6, p. 1688-1694, 2019. DOI: <https://doi.org/10.14393/BJ-v35n6a2019-42419>.

14

GONÇALVES, V. A.; MELO, C. A. D.; ASSIS, I. R.; FERREIRA, L. R.; SARAIVA, D. T. Biomassa e atividade microbiana de solo sob diferentes sistemas de plantio e sucessões de culturas. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 62, p. 1-8, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2019.2611>.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, n. 3, p. 209-213, 1976. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(76\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(76)90005-5).

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p. 1-13, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.08.020>.

LISBOA, F. J. G.; CHAER, G. M.; FERNANDES, M. F.; BERBARA, R. L. L.; MADARI, B. E. The match between microbial community structure and soil properties is modulated by land use types and sample origin within an integrated agroecosystem. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 78, p. 97-108, 2014. DOI: [10.1016/j.soilbio.2014.07.017](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.07.017).

MANLY, B. F. J. **Métodos estatísticos multivariados**. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 22p.

MAZZETTO, A. M.; CERRI, C. E.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Activity of soil microbial biomass altered by land use in the southwestern Amazon. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 1, p. 79-86, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.066>.

MENDES, I. C.; REIS-JUNIOR, F. B.; HUNGRIA, M.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; MERCANTE, F. M.; ZILLI, J. É. Microbiologia do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: FALEIRO, F. G.; ANDRADE, S. R. M. **Biotechnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2011. p. 219-244.

MERCANTE, F. M.; SILVA, R. F.; FRANCELINO, C. S. F.; CAVALHEIRO, J. C. T.; OTSUBO, A. A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 34, n. 4, p. 479-485, 2008. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v30i4.5301>.

MOLINE, E. F. V.; COUTINHO, E. L. M. Atributos químicos de solos da Amazônia Ocidental após sucessão da mata nativa em áreas de cultivo. **Revista Ciências Agrárias**, Belém, v. 58, n. 1, p. 14-20, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.1683>.

NAVROSKI, D.; MOREIRA, A.; COLOZZI-FILHO, A.; GRANGE, L. Atributos Microbiológicos do solo em diferentes sistemas de manejo no Oeste Paranaense. **Agrotropica**, Ilhéus, v. 29, n. 2, p. 127-134, 2017. DOI: 10.21757/0103-3816.2017v29n2p127-134.

NOVAK, E. **Indicadores das condições do solo e banco de sementes de mata nativa e áreas em restauração ecológica**. 2017. 168f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Dourados, 2017.



NOVAK, E.; CARVALHO, L. A.; SANTIAGO, E. F.; BRUMATTI, A. V.; SANTOS, L. L.; SALES, L. C. Variação temporal dos atributos microbiológicos do solo sob diferentes usos. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 41, n. 3, p. 603-611, 2018. DOI: <https://doi.org/10.19084/RCA17300>.

OLIVEIRA, A. P. P.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C.; ZONTA, E.; PEREIRA, M. G. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 9, p. 939-947, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n09p939-947>.

RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; ZARIN, D. J.; OLIVEIRA, F. A.; VASCONCELOS, S. S.; CARVALHO, C. J. R.; SANTOS, M. M. L. S. Effect of water availability on soil microbial biomass in secondary forest in eastern Amazonia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 2, p. 377-384, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140135>.

RODRIGUES, J. L.; PELLIZARI, V. H.; MUELLER, R.; BAEK, K.; JESUS EDA, C.; PAULA, F. S.; MIRZA, B.; HAMAOUJ JR, G. S.; TSAI, S. M.; FEIGL, B.; TIEDJE, J. M.; BOHANNAN, B. J.; NUSSLEIN, K. Conversion of the Amazon rainforest to agriculture results in biotic homogenization of soil bacterial communities. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 110, n. 3, p. 988-993, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1220608110>.

RODRIGUES, R. C.; ARAÚJO, R. A.; COSTA, C. S.; LIMA, A. J. T.; OLIVEIRA, M. E.; CUTRI JR, J. A. A.; SANTOS, F. N. S.; ARAÚJO, J. S.; SANTOS, V. M.; ARAÚJO, A. S. F. Soil microbial biomass in an agroforestry system of Northeast Brazil. **Tropical Grasslands-Forrajes tropicales**, Cali, Valle del Cauca, v. 3, n. 1, p. 41-48, 2015. DOI: 10.17138/TGFT(3)41-48.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; SANTOS, J. C. F.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana do solo: Fração mais ativa da matéria orgânica. In: ROSCOE, R. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: Modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006, cap. 7, p. 163-198.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª ed. Brasília: Embrapa, 2018. ISBN: 978-85-7035-817-2. 356p.

SOUSA, R. F.; BRASIL, E. P. F.; FIGUEIREDO, C. C.; LEANDRO, W. M. Soil microbial biomass and activity in wetlands located in preserved and disturbed environments in the Cerrado biome. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 31, n. 4, p. 1049-1061, 2015. DOI: <https://doi.org/10.14393/BJ-v31n4a2015-26176>.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SILVA, C. A.; BUZETTI, S. Fração do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob Cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 3, p. 323-329, 2006. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v28i3.940>.

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**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 79-88, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000100008>.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. As extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(87\)90052-6](https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90052-6).

YADA, M. M.; MINGOTTE, F. L. C.; MELO, W. J.; MELO, G. P.; MELO, V. P.; LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I. Atributos químicos e bioquímicos em solos degradados por mineração de estanho e em fase de recuperação em ecossistema amazônico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 3, p. 714-724, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140499>.