

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS – *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA
BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Efigenia Suely Marques dos Reis

**ATIVIDADE MICROBIANA EM SOLOS COM DIFERENTES UTILIZAÇÕES
AGROPECUÁRIAS**

São João Evangelista

2026

EFIGENIA SUELY MARQUES DOS REIS

**ATIVIDADE MICROBIANA EM SOLOS COM DIFERENTES UTILIZAÇÕES
AGROPECUÁRIAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* São João Evangelista para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Dr. Ivan da Costa Ilhéu Fontan

São João Evangelista

2026

R375a Reis, Efigenia Suely Marques dos.
Atividade microbiana em solos com diferentes utilizações
agropecuárias / Efigenia Suely Marques dos Reis – 2026.

28f.: il.

Orientador: Dr. Ivan da Costa Ilhéu Fontan.
Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Engenharia
Florestal) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* São João
Evangelista, 2026.

1. Análise BioAS. 2. Carbono do solo. 3. Qualidade do solo. 4.
Sustentabilidade. I. Reis, Efigenia Suely Marques dos. II. Instituto
Federal de Minas Gerais *Campus* SJE. III. Título.

CDD 631.4

Catálogo: Esther Soares Cunha - CRB-6/4333

Efigenia Suely Marques dos Reis

ATIVIDADE MICROBIANA EM SOLOS COM DIFERENTES UTILIZAÇÕES AGROPECUÁRIAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* São João Evangelista para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.


Aprovado em 09/02/2026 pela banca examinadora:

 Documento assinado digitalmente
IVAN DA COSTA ILHEU FONTAN
Data: 10/02/2026 10:55:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ivan da Costa Ilhéu Fontan – IFMG (Orientador)

 Documento assinado digitalmente
GRAZIELE WOLFF DE ALMEIDA CARVALHO
Data: 11/02/2026 06:55:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dr^ª. Grazielle Wolff de Almeida Carvalho- IFMG

 Documento assinado digitalmente
ANNA CAROLYNA FERNANDES FERREIRA
Data: 10/02/2026 20:56:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr^ª. Anna Carolina Fernandes Ferreira - APERAM

AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar meu caminho, conceder-me saúde, força e sabedoria para enfrentar os desafios desta jornada.

Aos meus familiares, em especial à minha avó, manifesto minha profunda gratidão pelo apoio incondicional, pelos valores que me foram transmitidos e por tudo o que represento hoje. Ao meu orientador, Dr. Ivan da Costa Ilhéu Fontan, agradeço profundamente por todo o aprendizado, conhecimento compartilhado, paciência e pela confiança depositada em mim ao longo desses anos, elementos que foram fundamentais para minha trajetória e conquistas.

Ao Sr. Adair da Silva, funcionário do viveiro de mudas florestais do IFMG-SJE, pela amizade, suporte e todo conhecimento.

Ao Sr. Marcos e ao Engenheiro Florestal Alisson (Ipê), pela contribuição valiosa e pelo apoio no custeio das análises laboratoriais realizadas neste projeto.

Aos colegas e amigos que estiveram ao meu lado, agradeço pelo suporte, pela parceria e pela colaboração em cada etapa deste trabalho.

Estendo minha gratidão à comunidade do IFMG-SJE, pelo apoio ao projeto de pesquisa e pelo fornecimento dos materiais essenciais para sua realização.

RESUMO

Considerando que o uso e manejo inadequado dos solos podem acarretar desequilíbrios ecossistêmicos e levar à depreciação da sua qualidade, comprometendo a produtividade nos agroecossistemas, este estudo objetivou avaliar a atividade microbiana em solos com diferentes utilizações agropecuárias no Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus* São João Evangelista /MG, por meio das variáveis: carbono da biomassa microbiana (C_{mic}); respiração basal do solo (RBS); quociente metabólico (qCO_2); e atividade das enzimas arilsulfatase e β -glicosidade (tecnologia de Bioanálise de Solo BioAS). O estudo foi realizado em 5 áreas com diferentes usos do solo: fragmento de mata nativa, plantio comercial de eucalipto, área de pastagem com capim braquiária, plantio de café em sistema de manejo convencional irrigado e um sistema agroflorestal biodiverso sintrópico. Os resultados evidenciaram que o uso e o manejo do solo afetam diretamente a biomassa e a eficiência metabólica da microbiota. Sistemas intensivos, como café irrigado e pastagem, apresentaram baixa biomassa microbiana e maior quociente metabólico, indicando estresse microbiano associado ao rápido consumo de matéria orgânica, compactação e menor disponibilidade de recursos. Em contraste, o cultivo de eucalipto mostrou maior acúmulo de biomassa microbiana, porém com baixa atividade respiratória, sugerindo decomposição lenta devido ao predomínio de compostos recalcitrantes na serrapilheira. A mata nativa apresentou o melhor equilíbrio biológico, refletindo alta atividade microbiana sustentada por boa disponibilidade de matéria orgânica e condições físicas adequadas. O sistema agroflorestal, por sua vez, aproximou-se desse padrão, com valores de biomassa e atividade respiratória similares aos da vegetação nativa, reforçando seu potencial como estratégia sustentável. No conjunto, os resultados demonstram que práticas que aumentam a diversidade vegetal e mantêm cobertura do solo favorecem a saúde microbiana e a qualidade dos agroecossistemas.

Palavras-chaves: Análise BioAS. Carbono do solo. Qualidade do solo. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Considering that inadequate soil use and management can cause ecosystem imbalances and lead to a decline in soil quality, compromising productivity in agroecosystems, this study aimed to evaluate microbial activity in soils under different agricultural uses at the Federal Institute of Minas Gerais, São João Evangelista *Campus* (MG). The assessment was carried out using the following variables: microbial biomass carbon (MBC); soil basal respiration (SBR); metabolic quotient (qCO_2); and the activity of the enzymes arylsulfatase and β -glucosidase (using the BioAS Soil Bioanalysis technology). The study was conducted in five areas with different land uses: a native forest fragment, a commercial eucalyptus plantation, a brachiaria grass pasture, a conventionally managed irrigated coffee plantation, and a biodiverse syntropic agroforestry system. The results showed that soil use and management directly affect the biomass and metabolic efficiency of the microbiota. Intensive systems, such as irrigated coffee and pasture, exhibited low microbial biomass and higher metabolic quotient, indicating microbial stress associated with rapid consumption of organic matter, soil compaction, and reduced resource availability. In contrast, the eucalyptus cultivation area showed greater microbial biomass accumulation but low respiratory activity, suggesting slow decomposition due to the predominance of recalcitrant compounds in the litter layer. The native forest presented the best biological balance, reflecting high microbial activity supported by good organic matter availability and favorable physical conditions. The agroforestry system, in turn, approached this pattern, with biomass and respiratory activity values similar to those of the native vegetation, reinforcing its potential as a sustainable strategy. Overall, the results demonstrate that practices that increase plant diversity and maintain soil cover promote microbial health and improve agroecosystem quality.

Keywords: BioAS analysis. Soil carbon. Soil quality. Sustainability.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 METODOLOGIA	11
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
3.1 Café irrigado.....	17
3.2 Eucalipto	18
3.3 Mata nativa.....	18
3.4 Pastagem	19
3.5 Sistema agroflorestal.....	20
3.6 Resultados BioAS e análise integrada por uso do solo.....	21
4 CONCLUSÕES	23
REFERÊNCIAS.....	24

1 INTRODUÇÃO

As alterações climáticas globais configuram-se como um dos principais desafios ambientais contemporâneos, com impactos significativos sobre os ecossistemas naturais, a produção agrícola e a estabilidade socioeconômica. Embora variações climáticas ocorram naturalmente ao longo do tempo geológico, há consenso científico de que as atividades antrópicas, especialmente a queima de combustíveis fósseis, o desmatamento e a expansão agropecuária em larga escala, têm intensificado tais mudanças (COOK *et al.*, 2016; IPCC, 2023). No contexto agropecuário, o uso e o manejo inadequado do solo podem provocar alterações estruturais, químicas e biológicas, comprometendo sua funcionalidade ecológica e sua capacidade produtiva. A degradação dos atributos do solo reduz sua resiliência, favorece processos erosivos e impacta negativamente a ciclagem de nutrientes. Assim, sistemas de produção que buscam maior sustentabilidade devem priorizar práticas conservacionistas, diversificação de culturas e integração entre componentes vegetais e animais, visando à manutenção e à melhoria da qualidade do solo ao longo do tempo (GOMES *et al.*, 2015; ALCÂNTARA, 2017; BETTIOL *et al.*, 2023).

A qualidade do solo pode ser avaliada por meio de atributos físicos, químicos e biológicos. Embora os indicadores físicos e químicos sejam amplamente utilizados, os atributos microbiológicos têm se destacado por sua elevada sensibilidade às alterações provocadas pelo manejo, respondendo de forma mais rápida às mudanças no sistema produtivo (ARAÚJO *et al.*, 2016; NOVAK *et al.*, 2022). Dessa forma, a avaliação da atividade microbiana constitui ferramenta essencial para compreender a dinâmica e o funcionamento dos agroecossistemas.

A atividade biológica do solo compreende as reações metabólicas e os processos bioquímicos mediados pelos microrganismos, desempenhando papel central na decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e fluxo de energia. Entre os principais indicadores utilizados para sua avaliação destacam-se o carbono da biomassa microbiana (C_{mic}), a respiração basal do solo (RBS) e o quociente metabólico (qCO₂) (SOUZA *et al.*, 2010; RANGEL- VASCONCELOS *et al.*, 2015).

O carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) constitui um reservatório de nutrientes disponíveis às plantas e representa a fração mais ativa da Matéria Orgânica do Solo (MOS), sendo a principal responsável pela decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes e fluxo de energia dentro do solo (CUNHA *et al.*, 2011; GOMES *et al.*, 2015). Devido à sua sensibilidade às alterações ambientais, este bioindicador tem sido frequentemente usado para avaliar as práticas de manejo adotadas nos sistemas agrícolas (SILVA *et al.*, 2010; BELO

et al., 2012).

A Respiração Basal do Solo (RBS) representa a taxa de liberação de dióxido de carbono (CO₂) resultante da atividade metabólica dos microrganismos presentes no solo, que por sua vez reflete o consumo natural de matéria orgânica microbiana e a intensidade dos processos biológicos que ocorrem no solo. É considerada um indicador dinâmico do funcionamento ecológico do solo que responde rapidamente a mudanças no manejo agrícola, à degradação ou à recuperação do solo (DIONÍSIO *et al.*, 2016; MEDEIROS *et al.*, 2019, ROCHA *et al.*, 2022).

Outro importante indicador da atividade biológica do solo é o quociente metabólico (qCO₂), que relaciona a RBS ao carbono presente na biomassa microbiana (C_{mic}), expressando a quantidade de CO₂ liberada por unidade de carbono microbiano. Em termos funcionais, o qCO₂ reflete a eficiência metabólica da comunidade microbiana, onde valores baixos indicam microrganismos eficientes, que perdem pouco carbono como CO₂ e conseguem investir mais energia na formação de biomassa, e valores altos sugerem comunidades sob estresse ambiental, baixa disponibilidade de recursos, ou solos degradados, nos quais os microrganismos precisam gastar mais energia apenas para se manter (DADALTO *et al.*, 2015; ARAÚJO *et al.*, 2016; FERREIRA *et al.*, 2017).

Além dos indicadores descritos até aqui, desde o ano de 2020, os agricultores podem contar com a tecnologia de Bioanálise de Solo BioAS desenvolvida pela Embrapa para auxiliar o diagnóstico da saúde do solo. A BioAS consiste na análise e na interpretação das atividades das enzimas arilsulfatase e β-glicosidase, envolvidas respectivamente nos ciclos do enxofre e do carbono, permitindo acessar o funcionamento da maquinaria biológica do solo (MENDES *et al.*, 2021). Estas enzimas possuem uma estreita relação com a matéria orgânica (parâmetro base da qualidade de um solo) e com a produtividade das culturas (parâmetro que reflete o aspecto de sustentabilidade econômica das lavouras), apresentando grande sensibilidade para detectar alterações no solo em função dos sistemas de manejo adotados pelos produtores rurais (LOPES *et al.*, 2018; MENDES *et al.*, 2019).

Diante da crescente necessidade de adoção de sistemas produtivos mais sustentáveis, torna-se fundamental compreender como diferentes usos e manejos influenciam a atividade microbiológica do solo. Nesse contexto, formula-se a seguinte hipótese de pesquisa: áreas conduzidas sob sistema agroflorestal biodiverso apresentam maior atividade microbiana e maior eficiência metabólica quando comparadas a sistemas tradicionais de cultivo. Sistemas com maior diversidade de plantas e maior aporte de resíduos orgânicos favorecem a atividade microbiana do solo por melhorar a disponibilidade de substratos, aumentar a heterogeneidade de recursos e otimizar as propriedades físicas e químicas do solo, promovendo maior biomassa

microbiana e atividade enzimática (LAL *et al.*, 2018). em razão da maior diversidade vegetal, do aporte contínuo de resíduos orgânicos e da melhoria das condições físicas e químicas do solo.

Assim, o presente trabalho objetivou avaliar a atividade microbiana em solos sob diferentes utilizações agropecuárias no Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista/MG, por meio da determinação do carbono da biomassa microbiana (Cmic), respiração basal do solo (RBS), quociente metabólico (qCO₂) e atividade das enzimas arilsulfatase e β-glicosidase (tecnologia BioAS).

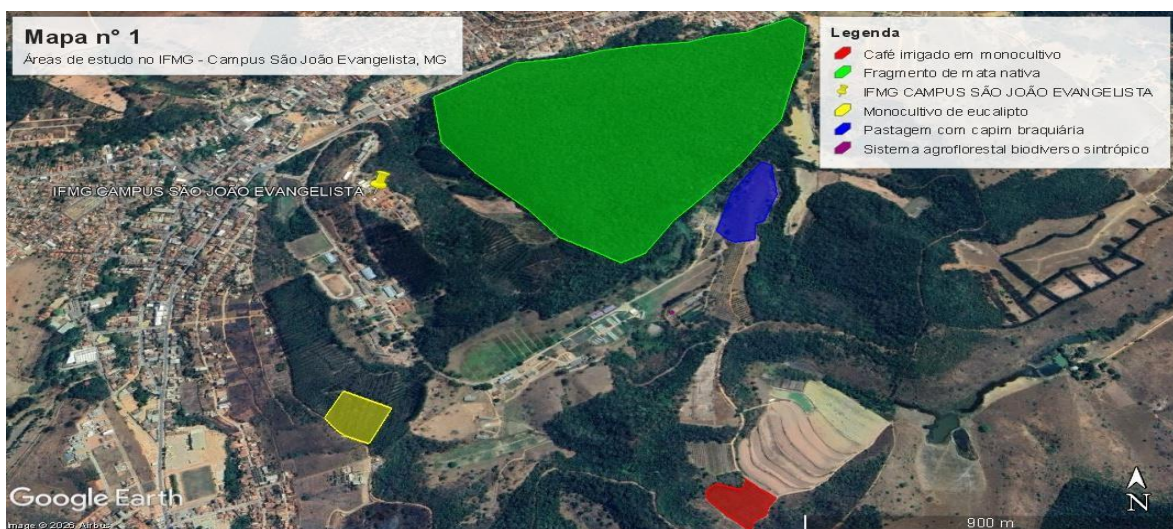
2 METODOLOGIA

O estudo foi realizado na fazenda experimental do Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus São João Evangelista* – MG (IFMG-SJE; Coordenadas: 18°30' Sul, 42°45' Oeste; Altitude média: 730 m). O clima é do tipo Cwa (temperado chuvoso-mesotérmico) pela classificação do sistema internacional de Köppen, com verão chuvoso e inverno seco. As médias anuais de temperatura e precipitação em São João Evangelista são de 20,2 °C e 1.000 mm, respectivamente (CLIMATE.DATA.ORG, 2025).

O IFMG-SJE está localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Suaçuí, integrante da Bacia do Rio Doce, em uma região de abrangência do bioma Mata Atlântica, com formação florestal classificada como Floresta Estacional Semi-Decidual, e predomínio dos solos da classe Latossolo Vermelho – Amarelo, distrófico ou álico, de textura média a argilosa.

O estudo foi realizado em 5 áreas (Figura 1) com diferentes usos do solo, sendo elas: fragmento de mata nativa, plantio comercial de eucalipto, área de pastagem com capim braquiária, plantio de café em sistema de manejo convencional irrigado e um sistema agroflorestal biodiverso sintrópico.

Figura 1 – Mapa do local da pesquisa e as 5 áreas do estudo



Fonte: Lopes, 2026

A área do plantio de café em sistema de manejo convencional detém uma área de 1,4 ha com monocultivo de café em sistema de irrigação por gotejamento, plantada durante o período de chuvas entre os anos de 2016 e 2017 (Figura 2).

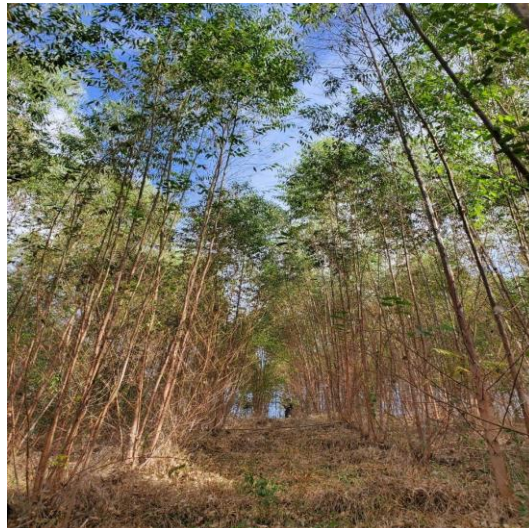
Figura 2 – Área do café irrigado em monocultivo



Fonte: elaborado pelo autor, 2025.

A segunda área refere-se ao monocultivo de eucalipto (Figura 3), com uma delimitação de cerca de 1,8 hectares, com plantio seminal de híbrido *urograndis* (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*), com estabelecimento original de 3m entre linhas e 2m entre plantas, com plantio em parceria com a empresa Cenibra. O plantio original ocorreu em 2004, com o 1º corte em janeiro de 2021, fator que trouxe o manejo da colheita sob o regime de talhadia, com um fuste por cepa.

Figura 3 – Área de monocultivo de eucalipto



Fonte: elaborado pelo autor, 2025.

A Figura 4 apresenta a área de mata nativa utilizada no estudo, com fragmento de Floresta Estacional-Semidecidual em estágio secundário de regeneração, em área localizada no

domínio da Mata Atlântica. A área de fragmento da mata nativa apresenta em torno de 77 hectares. As amostras foram retiradas próximas do setor de suinocultura do Instituto.

Figura 4 – Área de mata nativa



Fonte: elaborado pelo autor, 2025.

A quarta área analisada foi uma área de pastagem com capim braquiária (Figura 5), com aproximadamente 3,5 hectares, utilizada para pastagem de bovinos desde 2000. O *Brachiaria decumbens*, o capim braquiária, é a gramínea predominante, com enfraquecimento visível devido ao manejo inadequado ao longo dos anos, como resultado de cobertura pouco densa e irregular do solo.

Figura 5 – Área de pastagem de capim braquiária



Fonte: elaborado pelo autor, 2025.

A última das cinco áreas é a área de Sistema Agroflorestal (SAF) biodiverso sintrópico (Figura 6). É uma unidade demonstrativa do SAF sucessional sintrópico não irrigado, com implantação em janeiro de 2022 na fazenda do IFMG-SJE. A área detém 32m², com duas linhas/faixas de cultivo com espécies florestais, agronômicas e frutíferas (abacaxi, acácia, amora, café, eucalipto, ingá, laranja, mandioca e mulungu), com distância de 4 metros entre uma e outra.

Figura 6 – Área de Sistema Agroflorestal sintrópico



Fonte: elaborado pelo autor, 2025.

Em cada uma das áreas foram coletadas 4 amostras de solo a uma profundidade de 0–10 cm, correspondente à camada superficial do solo, considerada a região biologicamente mais ativa por concentrar maior teor de matéria orgânica, intensa atividade microbiana e maior ocorrência de processos de decomposição e ciclagem de nutrientes (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; PAUL, 2015; SILVA; MENDONÇA, 2007). As amostras foram colocadas em sacos plásticos devidamente identificados e armazenadas em caixa térmica sob refrigeração até a realização das análises laboratoriais.

A atividade biológica microbiana das amostras de solo coletadas nas 5 áreas foi avaliada por meio das variáveis carbono da biomassa microbiana (C_{mic}), Respiração Basal do Solo (RBS) e Quociente Metabólico (qCO_2). Conforme descrito por Monteiro e Frighetto (2000) as avaliações microbiológicas foram conduzidas somente após a determinação do teor de umidade a 100 - 110°C (faixa de temperatura onde a umidade do solo representa o valor absoluto de água contida na amostra) e ajuste do conteúdo de água à 60% da CMRA, de forma a assegurar condições semelhantes aos microrganismos quanto à disponibilidade de água, condição crucial para o seu crescimento e atividade metabólica. Desta forma, no laboratório, cada amostra foi

pesada em sua condição úmida e depois seca em estufa a 105 °C até estabilização do peso. Após resfriamento em dessecador, a diferença entre os pesos foi utilizada para calcular a umidade do solo, conforme a metodologia da EMBRAPA (1997).

A capacidade de retenção de água foi analisada por meio de um sistema de filtração, onde amostras de solo foram adicionadas a filtros de papel e submetidas à passagem de água destilada. Após um período de drenagem, a quantidade de água retida foi medida e comparada, seguindo o método descrito por Jenkinson e Powlson (1976).

Conforme descrito por Islam e Weil (1998), o teor de carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) foi determinado empregando o método de irradiação-extração. O método se baseia na extração do C microbiano após a morte dos microrganismos e lise celular, com a liberação dos constituintes celulares e posterior quantificação.

A atividade microbiana do solo foi avaliada por meio da medição da respiração basal, que corresponde à liberação de CO_2 pela decomposição da matéria orgânica. Para isso, amostras umedecidas de solo foram incubadas em frascos fechados contendo solução de hidróxido de sódio (NaOH) para captura do CO_2 liberado. Após 72 horas de incubação a 25 °C, a solução foi titulada com ácido clorídrico (HCl) para determinar a quantidade de CO_2 emitida, conforme citado por Alef e Nannipieri (1995).

Já a eficiência metabólica da comunidade microbiana foi medida pelo quociente metabólico (qCO_2), expresso em $mg\ C-CO_2\ mg^{-1}\ CO_2\ dia^{-1}$, calculado pela razão entre a taxa de respiração basal do solo (RBS) e o carbono da biomassa microbiana (C_{mic}), segundo Anderson e Domsch (1993).

A comparação das variáveis biológicas (C_{mic} , RBS e qCO_2) observadas nos solos sob os diferentes usos no IFMG-SJE foi realizada por meio dos testes de Kruskal Wallis e Post Hoc Bonferroni ao nível de significância de 5%, com auxílio do software R.

As amostras de solo coletadas em diferentes locais estudados foram submetidas à análise BioAS, uma tecnologia de bioanálise de solo desenvolvida pela Embrapa, que integra parâmetros biológicos às análises químicas tradicionais, com o objetivo de avaliar a saúde do solo. Essa análise utiliza a determinação da atividade das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase como bioindicadores dos ciclos de enxofre e do carbono, respectivamente, para fornecer informações sobre o potencial produtivo e a sustentabilidade do uso do solo (PASSINATO *et al.*, 2021; SOBUCKI *et al.*, 2021).

Essa metodologia desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997), foi aplicada para análise da influência do solo sobre a sua qualidade. Estas amostras foram usadas também para caracterizar o teor de matéria orgânica presente no solo.

sua textura (proporção de partículas de areia, silte e argila que compõem a fração mineral do solo), informações úteis na interpretação dos resultados da atividade biológica em cada local avaliado. As amostras foram analisadas por laboratório externo.

As áreas estudadas apresentaram características físico-químicas distintas conforme revelou os resultados observados para a capacidade máxima de retenção de água no solo, teor de matéria orgânica e proporção de partículas de argila, areia e silte (Tabela 1).

Tabela 1 – Características físico-químicas das amostras de solo coletadas em locais com diferentes usos no IFMG, *Campus* São João Evangelista

Local	CMRA ¹ (%)	Argila ² (dag/Kg)	Areia ² (dag/Kg)	Silte ² (dag/Kg)	Matéria orgânica ³ (g/dm ³)
Café irrigado	59,6	31,2	52,4	16,4	22,0
Eucalipto	71,9	53,3	37,8	8,9	38,0
Mata nativa	64,9	34,5	51,1	14,4	44,0
Pastagem	62,6	40,6	50,1	9,3	39,0
Sistema agroflorestal	62,7	58,4	36,5	5,1	44,0

¹CMRA = capacidade máxima de retenção de água no solo (0-10 cm); ²Teor de argila, areia e silte (0-10 cm);

³Matéria orgânica do solo (0-10 cm), obtida pela oxidação por Na₂Cr₂O.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características associadas às práticas de manejo e uso do solo resultaram em diferenças significativas na atividade biológica do solo, avaliada por meio do teor de carbono da biomassa microbiana (C_{mic}), respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico (qCO_2), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados dos testes estatísticos usados para comparar variáveis que expressam atividade biológica do solo em amostras coletadas em locais com diferentes usos no IFMG, *Campus São João Evangelista*

Local	C_{mic}^* ($\mu\text{g C} / \text{g solo}$)	RBS* ($\text{mg C-CO}_2 / \text{kg solo/h}$)	qCO_2^* ($\text{mg CO}_2 / \text{mg C} / \text{h}$)
Café irrigado	275,29 b	6,14 a	0,0234 a
Eucalipto	484,25 a	1,94 d	0,0041 c
Mata nativa	379,34 ab	3,98 b	0,0111 b
Pastagem	285,08 b	3,22 cd	0,0118 ab
Sistema agroflorestal	369,29 ab	3,68 bc	0,0100 bc

Teste de Kruskal Wallis: ns = não significativo; * = significativo a 5%; Teste Post Hoc Bonferroni (5%): Medianas com mesma letra nas colunas não diferem entre si; C_{mic} = carbono da biomassa microbiana; RBS = respiração basal do solo; qCO_2 = quociente metabólico.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A seguir serão apresentados os comentários e observações gerais para cada uma das áreas estudadas.

3.1 Café irrigado

Na área de cultivo de café o carbono da biomassa microbiana apresentou o menor valor entre as áreas estudadas, enquanto a respiração basal do solo foi a mais elevada (Tabela 2). Trata-se de uma área de solo com elevado teor de areia (52,4 dag/kg) onde o café vem sendo cultivado desde 2016 em sistema tradicional (monocultivo) irrigado por meio de gotejamento. O baixo carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) em um solo arenoso pode indicar uma limitação na quantidade de matéria orgânica disponível para sustentar uma população microbiana estável. Solos arenosos, por sua natureza, possuem menor capacidade de retenção de água e nutrientes, o que afeta a atividade microbiana. De fato o solo na área de cultivo de café apresentou o menor teor de matéria orgânica e a menor capacidade máxima de retenção de água em avaliações complementares (Tabela 1), características que ajudam a explicar o menor

teor de carbono da biomassa microbiana.

Por outro lado, a alta RBS pode ser resultado da mineralização de compostos orgânicos simples ou da matéria orgânica particulada de fácil decomposição, presentes em maior quantidade sob a superfície do solo, e da irrigação constante em pontos localizados, que pode aumentar a atividade microbiana nessas áreas, promovendo a decomposição da matéria orgânica mais rapidamente, o que eleva os níveis de CO₂ liberados, mesmo com baixos teores de carbono da biomassa microbiana.

Esse descompasso entre o C_{mic.} e a RBS na área de cultivo de café sugere que a biomassa microbiana presente pode estar sob estresse ou que está ocorrendo um esgotamento da matéria orgânica de fácil decomposição, levando a uma alta respiração, mas sem sustentação de uma biomassa microbiana densa e diversificada. Assim como Balota *et al.* (1998), que demonstraram que solos sob manejo convencional apresentam menor biomassa microbiana e maior quociente metabólico (qCO₂), esta situação também pode ser uma consequência do manejo agrícola convencional adotado nesta área, com destaque para o uso anual de fertilizantes químicos e agrotóxicos para controle de pragas, doenças e plantas daninhas.

3.2 Eucalipto

A área de cultivo de eucalipto apresentou o maior carbono da biomassa microbiana entre todas as áreas estudadas, enquanto a respiração basal foi a menor. Esse resultado pode estar relacionado às características do solo dessa área, que possui teor elevado de argila (53,3 dag/kg) e maior teor de matéria orgânica (38 g/dm³) em comparação a à área de cultivo de café.

Autores como Silva e Costa (2004) observaram que a decomposição das folhas de Eucalipto ocorreu mais rapidamente do que a da casca, independentemente do tipo de extrato de solo utilizado, e concluíram que a presença de compostos recalcitrantes no eucalipto, como lignina e taninos, contribui para uma decomposição mais lenta, influenciando a atividade microbiológica do solo.

O menor quociente metabólico (0,0041 mg CO₂/mg C/h) reforça a ideia de que a lenta decomposição da serrapilheira e a baixa respiração microbiana podem fazer com que a reciclagem de nutrientes ocorra de forma mais demorada, o que pode exigir intervenções para melhorar a ciclagem da matéria orgânica e a fertilidade do solo ao longo do tempo.

3.3 Mata nativa

A área de mata nativa apresentou valores intermediários de carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) e respiração basal do solo (RBS) em relação aos outros sistemas analisados. Com um C_{mic} de 379,34 $\mu\text{g C/g solo}$, essa área demonstra um ambiente microbiano relativamente equilibrado, sustentado por uma boa disponibilidade de matéria orgânica (44 g/dm^3) e uma textura de solo predominantemente argilo-arenosa (34,5 dag/kg de argila e 51,1 dag/kg de areia), o que influencia diretamente na retenção de água e nutrientes.

A respiração basal do solo (RBS) foi de 3,98 $\text{mg C-CO}_2/\text{kg solo/h}$, apresentando valores superiores aos registrados na área de eucalipto e no sistema agroflorestal, porém inferiores aos observados no café irrigado. Essa taxa de respiração sugere uma atividade microbiana moderada, com decomposição de matéria orgânica acontecendo de forma contínua, mas sem excessiva liberação de CO_2 . Esse padrão pode estar associado à diversidade e ao equilíbrio do ecossistema natural da mata nativa, onde os microrganismos do solo desempenham um papel fundamental na ciclagem de nutrientes.

O quociente metabólico foi de 0,0111 $\text{mg CO}_2/\text{mg C/h}$, posicionando-se entre os valores observados para o café irrigado e o sistema agroflorestal. Esse valor indica um metabolismo microbiano relativamente eficiente, sem grandes sinais de estresse ambiental. Diferentemente do café irrigado, na mata nativa o equilíbrio entre a produção e a decomposição de matéria orgânica parece ser mantido de maneira mais sustentável.

Grugiki *et al.* (2017), observaram que a serapilheira diversificada, em variados estágios de decomposição, proporciona um suprimento contínuo de matéria orgânica ao solo. Isso sustenta a atividade microbiana ao longo do tempo, favorecendo um sistema autorregulado com fluxo equilibrado de carbono e nutrientes.

No contexto da estrutura física do solo, a combinação entre moderado teor de argila e presença de matéria orgânica pode ter auxiliado na retenção de umidade e estabilidade da microbiota do solo. Segundo Dufranc *et al.* (2004), a matéria orgânica e a textura do solo, especialmente o teor de argila, são determinantes na formação e estabilidade dos agregados. Agregados estáveis melhoram a porosidade do solo, facilitando a retenção de umidade e criando um ambiente mais favorável para o desenvolvimento de comunidades microbianas diversificadas.

3.4 Pastagem

A área de pastagem apresentou um baixo carbono da biomassa microbiana (C_{mic}),

atingindo 285,08 $\mu\text{g C/g}$ solo, valor semelhante ao do café irrigado e inferior ao das áreas de mata nativa e sistema agroflorestal. Esse resultado sugere uma biomassa microbiana reduzida, possivelmente em razão do manejo adotado, da compactação do solo e da menor disponibilidade de matéria orgânica em comparação aos ecossistemas naturais. O solo nessa área possui teor intermediário de argila (40,6 dag/kg) e nível relativamente alto de matéria orgânica (39 g/dm³), o que poderia favorecer a atividade microbiana, mas o impacto do pisoteio dos animais e da degradação da vegetação pode estar limitando essa comunidade microbiana.

A respiração basal do solo (RBS) foi de 3,22 mg C-CO₂/kg solo/h, situando-se em um nível intermediário entre a mata nativa e o sistema agroflorestal, mas abaixo do café irrigado. Esse valor indica que a microbiota do solo está ativa na decomposição da matéria orgânica disponível, porém sem uma alta liberação de CO₂. Esse padrão pode estar associado à degradação da cobertura vegetal e à compactação do solo causada pelo pastejo, que podem afetar a infiltração de água e limitar a atividade dos microrganismos no solo.

O quociente metabólico (qCO₂) foi de 0,0118 mg CO₂/mg C/h, valor relativamente alto, indicando que a microbiota do solo na pastagem pode estar sob algum nível de estresse. Assim como observado por Cardoso *et al.* (2009), esses dados sugerem que os microrganismos estão demandando mais energia para se manterem ativos, possivelmente devido a fatores como baixa qualidade da matéria orgânica disponível, compactação do solo e menor retenção de umidade.

3.5 Sistema agroflorestal

A área de sistema agroflorestal apresentou um carbono da biomassa microbiana (Cmic) de 369,29 $\mu\text{g C/g}$ solo, valor intermediário entre a mata nativa e a pastagem, sugerindo um ambiente relativamente equilibrado para a microbiota do solo. Foi encontrado que o solo dessa área é caracterizado por um alto teor de argila (58,4 dag/kg) e elevado teor de matéria orgânica (44 g/dm³), o que favorece a retenção de umidade e nutrientes, criando condições propícias para o desenvolvimento da comunidade microbiana. Solos com maior teor de argila e matéria orgânica apresentam maior proteção física da biomassa microbiana e maior estabilidade estrutural, fatores que contribuem para o aumento do Cmic (SIX *et al.*, 2006; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A respiração basal do solo (RBS) foi de 3,68 mg C-CO₂/kg solo/h, considerada também um nível intermediário, indicando atividade microbiana moderada na decomposição da matéria orgânica. Esse padrão reflete um sistema onde há boa ciclagem de nutrientes, proporcionada pela diversidade vegetal e pelo aporte contínuo de resíduos orgânicos ao solo. Sistemas

agroflorestais promovem maior diversidade de substratos orgânicos e maior heterogeneidade microambiental, favorecendo o equilíbrio entre mineralização e imobilização de nutrientes (Cardoso *et al.*, 2013; Pezarico *et al.*, 2013).

O quociente metabólico (qCO_2) foi de 0,0100 mg CO_2 /mg C/h, ficando abaixo dos valores observados para o café irrigado e a pastagem, mas próximo aos valores da vegetação nativa. O qCO_2 é considerado um indicador da eficiência metabólica da comunidade microbiana, sendo que valores mais baixos indicam maior eficiência no uso do carbono e menor estresse ambiental (ANDERSON; DOMSCH, 1993; WARDLE; GHANI, 1995). Assim, o $Cmic$ relativamente elevado associado a um qCO_2 moderado sugere que a microbiota do solo no sistema agroflorestal está metabolicamente eficiente e estruturalmente estável, sem necessidade de elevar a respiração basal para manutenção energética.

3.6 Resultados BioAS e análise integrada por uso do solo

Altos valores de atividade da enzima arilsulfatase, associados ao ciclo do enxofre no solo, indicam maior diversidade microbiana, boa disponibilidade de matéria orgânica e solos menos degradados (CAVALCANTE *et al.*, 2020; PASSINATO *et al.*, 2021). Já a atividade da enzima β -glicosidase está associada à decomposição de matéria orgânica e ao ciclo do carbono, e valores mais altos refletem solos com boa qualidade da matéria orgânica e maior potencial de ciclagem de Carbono (SOBUCKI *et al.*, 2021; PASSINATO *et al.*, 2021). Os resultados das análises BioAs em cada local podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados da análise BioAs das amostras de solo coletadas em locais com diferentes usos no IFMG, *Campus* São João Evangelista

Local	Atividade da Enzima Arilsulfatase ($\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	Atividade da Enzima β -glicosidase ($\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)
Café irrigado	150	70
Eucalipto	138	97
Mata nativa	619	119
Pastagem	414	113
Sistema agroflorestal	438	206

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A partir destes resultados infere-se que a área de mata nativa apresentou a maior atividade de arilsulfatase ($619 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) e boa atividade de β -glicosidase (119

$\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$), indicando uma comunidade microbiana ativa.

No sistema agroflorestal foi observado excelente desempenho para β -glicosidase ($206 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$), e elevada atividade da arilsulfatase ($438 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$), indicando grande atividade biológica e forte ciclagem de carbono. No caso da área de pastagem os valores observados foram intermediários para a atividade das duas enzimas (414 e $113 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente para arilsulfatase e β -glicosidase), que podem refletir certo acúmulo de resíduos orgânicos, porém com pouca diversidade vegetal.

Já as áreas de eucalipto e café irrigado apresentaram baixa atividade enzimática microbiana, conforme resultados encontrados na análise BioAs (Tabela 3). Na amostra retirada no povoamento de eucalipto a atividade de arilsulfatase foi de $138 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ e a atividade de β -glicosidase foi de $97 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Na área de café irrigado em monocultivo a atividade enzimática foi de 150 e $70 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente para arilsulfatase e β -glicosidase. Esta situação provavelmente está associada à baixa diversidade vegetal, à compactação do solo, e ao uso frequente de insumos, no caso do monocultivo de café.

A análise integrada dos indicadores biológicos do solo usados no presente trabalho (Cmic, RBS, qCO_2 atividade das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase) possibilita as seguintes interpretações resumidas na Tabela 4.

Tabela 4 – Interpretações sobre a qualidade biológica do solo em locais com diferentes usos no IFMG, *Campus* São João Evangelista

Local	Qualidade Biológica do Solo
Mata nativa	Muito alta: sistema funcional e estável, podendo ser considerado uma referência de qualidade.
Sistema agroflorestal	Alta: solo biologicamente ativo e eficiente, com boa ciclagem de carbono e enxofre.
Pastagem	Moderada: solo degradado, com atividade razoável, mas eficiência microbiana baixa.
Eucalipto	Baixa: apresenta biomassa acumulada, mas com baixa funcionalidade. Pode indicar um sistema inerte ou limitado pela qualidade da matéria orgânica.
Café irrigado	Muito baixa: sistema intensivo, com microbiota estressada e pouca funcionalidade biológica.

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

4 CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que o uso e manejo do solo influenciam diretamente sua microbiota e funcionalidade. As áreas sob cultivo intensivo, como o café irrigado e a pastagem, apresentaram menor biomassa microbiana e maior quociente metabólico, indicando que a microbiota do solo nessas áreas enfrenta condições de estresse. No café irrigado, a elevada respiração basal sugere um rápido consumo de matéria orgânica sem a sustentação de uma microbiota estável, enquanto na pastagem, a compactação e o pisoteio dos animais podem estar reduzindo a disponibilidade de água e nutrientes para os microrganismos do solo.

A área de eucalipto apresentou o maior carbono da biomassa microbiana, refletindo um ambiente onde a matéria orgânica se acumula na serrapilheira, mas com menor atividade metabólica. O baixo quociente metabólico nessa área sugere que a decomposição ocorre de forma mais lenta, possivelmente devido à presença de compostos recalcitrantes na serrapilheira, como lignina e taninos, retardando a liberação de nutrientes para o solo.

A área de mata nativa demonstrou um ambiente equilibrado, sustentado por uma microbiota ativa e uma boa disponibilidade de matéria orgânica. A combinação entre moderado teor de argila e alta retenção de umidade favoreceu a estabilidade da microbiota, proporcionando um solo mais resiliente e eficiente na ciclagem de nutrientes.

O sistema agroflorestal se destacou como um modelo produtivo sustentável, apresentando valores de biomassa microbiana e atividade respiratória próximos aos da mata nativa. A diversidade de espécies vegetais e o aporte contínuo de matéria orgânica criaram um ambiente favorável à microbiota do solo, resultando em um quociente metabólico relativamente baixo, indicando que os microrganismos estão operando de forma eficiente e sem grandes níveis de estresse.

Esses resultados reforçam a importância de adotar práticas de manejo que promovam a conservação da microbiota do solo. Estratégias como a diversificação de plantas, a manutenção da cobertura vegetal sobre o solo e o consórcio de plantas de cultivo com espécies arbóreas podem contribuir para a melhoria da qualidade do solo a longo prazo, favorecendo a sustentabilidade dos agroecossistemas.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, F. A. de. **Manejo agroecológico do solo**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2017. 28 p.

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 Biol. Biochem.**, 25:393-395, 1993. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0038071793901407>. Acesso em: 23 jul. 2025.

ARAÚJO, K.D.; SOUZA, M. A.; SANTOS, G. R.; ANDRADE, A. P.; NETO, J. V. F. Atividade Microbiana no Solo em Diferentes Ambientes da Região Semiárida de Alagoas. **Geografia (Londrina)**, v. 25. n. 2. p. 05-18, jul/dez, 2016. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/22490>. Acesso em: 14 maio 2025.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic, 1995. 576 p. Disponível em: <https://archive.org/details/methodsinapplied0000unse>. Acesso em: 18 fev. 2026.

BALOTA, E. L. *et al.* Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22(4), 641-649, 1998. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/r6XQ9PMTZ4J4dJYqFf4zKbw/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 12 jul. 2025.

BELO, E.S. *et al.* Decomposição de diferentes resíduos orgânicos e efeito na atividade microbiana em um Latossolo Vermelho de Cerrado. **Global Science and Technology**, v. 5, n. 3, p.107-116, 2012. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/1145376>. Acesso em: 14 ago. 2024.

BETTIOL, W. *et al.* **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1153147/entendendo-a-materia-organica-do-solo-em-ambientes-tropical-e-subtropical>. Acesso em: 12 fev. 2026.

CARDOSO, E. L. *et al.* Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.44, n.6, p.631- 637, jun. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/WfgswvqgXkBq538ZKGFhszB/>. Acesso em: 01 jan. 2026.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. (org.). **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, 2013. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/livros>. Acesso em: 20 fev. 2026.

CAVALCANTE, W. F; *et al.* Atividade enzimática de solos do bioma Caatinga com e sem ação antrópica. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 142–150, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/8412>. Acesso em: 20 ago. 2025.

CLIMATE-DATA.ORG. 2023. **Clima:** São João Evangelista. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/sao-joao-evangelista-175926/>. Acesso em: 08 fev. 2025.

COOK, J. *et al.* Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. *Environmental Research Letters*, v. 11, n. 4, p. 048002, 2016. Disponível em: <https://cssn.org/wp-content/uploads/2020/12/Consensus-on-consensus-a-synthesis-of-consensus-estimates-on-human-caused-global-warming-John-Cook.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2025.

CUNHA, E. Q. *et al.* 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. 3, n. 5, p. 603-611, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/QvtpPNM4Wb4ZrdBZDG8Mkhk/?lang=pt>. Acesso em: 12 jul. 2025.

DADALTO, J. P. *et al.* Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Revista Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.35, n.3, p.506-513, maio/jun. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/xpzdWWh9H5zQGr6tCt9vLw/?lang=pt&format=html>. Acesso em 12 jul. 2025.

DIONÍSIO, J. A; *et al.* **Respiração microbiana.** In: DIONISIO, J. A; PIMENTEL, I. C; SIGNOR, D; PAULA, A. M; MACEDA, A; MATANNA, A. L. Guia prático de biologia do solo. Curitiba: SBCS: NEPAR, 2016. Cap. 12, p. 72-77. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1044429/1/Diana10.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2025.

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados em dois Latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 505-517, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/XRSSNblXbnYZhM7wRm5WGqv/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 10 set. 2025.

DUMMETT, C.; BLUNDELL, A.; CANBY, K.; WOLOSIN, M.; BODNAR, E. **Illicit harvest, Complicit Goods: The State of Illegal Deforestation for Agriculture**, 2021. 81 p. Disponível em: <https://www.forest-trends.org/publications/illicit-harvest33-complicit-goods/>. Acesso em: 07 mar. 2024.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo.** Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997. 212p.: il. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/330804/1/Manualdemetodosdeanalisedesolo2ed1997.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2026

FERREIRA, E. A.; FIALHO, C. M. T.; BIBIANO, C. S.; BRAGA, R. R.; PEREIRA, G. A. M.; SILVA, D. V.; SANTOS, J. B. Atividade microbiana de solos cultivados com mandioca em sistema de policultivo. **Revista Magistra**, v. 27, n.3/4, p. 406-411, Jul./Dez., 2017. Disponível em: <https://www.escavador.com/sobre/5658004/evander-alves-ferreira>. Acesso em: 12 abr. 2025.

GOMES, S. S. *et al.* Bioindicadores de qualidade do solo cultivado com milho em sucessão a adubos verdes sob bases agroecológicas. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v. 114, n. 3, p. 30-37, 2015. Disponível em: <http://revista-vieja.agro.unlp.edu.ar/index.php/revagro/article/view/270>. Acesso em: 20 ago. 2024.

GRUGIKI, M. A.; ANDRADE, F. V.; PASSOS, R. R.; FERREIRA, A. C. F. Decomposição e Atividade Microbiana da Serapilheira em Coberturas Florestais no Sul do Espírito Santo. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, e20150189, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/floram/a/jzHjCf8BjvVYhdtSJTnbXrd/>. Acesso em: 12 mai. 2025.

IPCC, 2023: **Summary for Policymakers**. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf. Acesso em: 13 mai. 2025.

ISLAM, K. R; WEIL, R. R. Irradiação de solo por micro-ondas para medição rotineira de carbono de biomassa microbiana. **Biologia e Fertilidade dos Solos**, v. 27, p. 408–416, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000400026>. Acesso em: 22 fev. 2026

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. *The effects of biocidal treatments on metabolism in soil*. V. A method for measuring soil biomass. **Soil Biology & Biochemistry, Oxford**, v. 8, n. 3, p. 209-213, 1976. Disponível em: <https://garfield.library.upenn.edu/classics1987/A1987H444200001.pdf>. Acesso em: 20 set. 2025.

LAL, R. *et al.* *Soil health and carbon management*. In: **Advances in Agronomy**, v. 147, p. 1–60, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/fes3.96>. Acesso em: 15 fev. 2026

LOPES, A. A. C. *et al.* *Temporal variation and critical limits of microbial indicators in oxisols in the Cerrado, Brazil*. **Geoderma Regional**, v. 12, p. 72-82, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/323492183_Temporal_variation_and_critical_limits_of_microbial_indicators_in_oxisols_in_the_Cerrado_Brazil. Acesso em: 13 out. 2025.

LOPES, L. R. **Atributos físicos em solos com diferentes usos no IFMG, Campus São João Evangelista**. 2026. 32f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia) - Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus São João Evangelista*. São João Evangelista, 2026.

MEDEIROS, T.S. *et al.* Production of radish (*Raphanus sativus* L.) cultivated under bovine manure levels and soil basal respiration. **Brazilian Applied Science Review**. Curitiba, v.3, n. 2, p. 1348-1357, 2019. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BASR/article/view/1424>. Acesso em: 14 out. 2025.

MENDES, I. C. *et al.* Tecnologia BioAS: uma maneira simples e eficiente de avaliar a saúde do solo. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, 2021. 50 p. (Documentos / Embrapa Cerrados,

ISSN 1517-5111, ISSN online 2176-5081).

MENDES, I. C. *et al.* **Bioanálise de solo**: aspectos teóricos e práticos. Tópicos em Ciência do Solo, v. 10, p. 399- 462, 2019.

MONTEIRO, R.T.R.; FRIGHETTO, R.T.S. Determinação da umidade, pH e capacidade de retenção de água do solo. In: FRIGHETTO, R.T.S.; VALARINI, P.J., Coord. Indicadores Biológicos e Bioquímicos da Qualidade do Solo: Manual Técnico. Januária: **Embrapa Meio Ambiente**, 2000. 198 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/Acesso> em: 05 fev. 2026.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/Trc7ZM7qYKvnmZRHhb9sC5h/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 14 fev. 2026

NOVAK, E. *et al.* Biomassa e atividade microbiana do solo sob diferentes coberturas vegetais em Região Cerrado – Mata Atlântica. **Rev. em Agronegócio e Meio Ambiente – RAMA**, v.15, n.3, e8780, 2022. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/8780>. Acesso em: 20 nov. 2025.

PEZARICO, C. R. *et al.* Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Rev. Cienc. Agrar.**, v. 56, n. 1, p. 40-47, jan./mar. 2013. Disponível em: <https://doi.editoracubo.com.br/10.4322/rca.2013.004>. Acesso em: 11 set. 2025.

PASSINATO, JH *et al.* Avaliação da saúde do solo em sistemas de agricultura de conservação no Brasil: β -glucosidase e arilsulfatase como ferramentas para avaliar a saúde do solo em nível de campo. **Agronomy**, v. 11, n. 12, 2410, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Martha-Lustosa-Carvalho/publication/382499772_Avaliacao_da_Saude_do_Solo_Indicadores_Metodologias_e_Indices/links/66a0fec1705af53644951652/Avaliacao-da-Saude-do-Solo-Indicadores-Metodologias-e-Indices.pdf. Acesso em: 24 ago. 2025.

PAUL, E. A. **Soil microbiology, ecology and biochemistry**. 4. ed. San Diego: Academic Press, 2015. Disponível em: <https://msibsri4313.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/11/soil-microbiology-ecology-and-biochemistry.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2025.

RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T. *et al.* Effect of water availability on soil microbial biomass in secondary forest in eastern Amazonia. **R. Bras. Ci. Solo**, 39:377-384, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/gjQxxStFcgFhkcG69hNhHVk/?lang=en>. Acesso em: 23 ago. 2025.

ROCHA, A. F. B. *et al.* **Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroecológicos no cerrado mineiro**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Qualidade Ambiental. Uberlândia, MG. v.34. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/32517>. Acesso em: 13 abr. 2025.

SILVA, J. R. da; COSTA, G. S. Efeito de extratos aquosos de diferentes solos na

decomposição de folhas e casca do caule de *Eucalyptus grandis*. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 35-44, 2004. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/cienciaanimal/article/view/15045>. Acesso em: 20 out. 2025.

SILVA, R. R. *et al.* Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região Fisiográfica Campos das Vertentes – MG. **Rev. Bras. C. do Solo**. v. 3, n. 4, p. 1585-1592, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/7yR7dzVHKWywBNhLkJphLjz/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 mai. 2025.

SILVA, I. J. O.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. *et al.* (ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007. p. 275–374. Disponível em: <https://www.sbcsol.org.br/>Acesso em: 10 fev. 2026.

SIX, J. *et al.* *Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. Soil Science Society of America Journal*, v. 70, p. 555-569, 2006. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj2004.0347>. Acesso em: 20 out. 2025.

SOUZA, E.D. *et al.* Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Rev. Bras. C. do Solo**, vol. 34, n. 1. p. 79-88, 2010. Disponível em: https://www.rbcsjournal.org/wp-content/uploads/articles_xml/0100-0683-rbcs-S0100-06832010000100008/0100-0683-rbcs-S0100-06832010000100008.x30062.pdf. Acesso em: 20 mai. 2025.

SOBUCKI, L.; ANTONIOLLI, Z. I.; JACQUES, R. J. S. Contribuição das enzimas para a qualidade do solo e a evolução da pesquisa no Brasil. **Rev. Bras. C. dos Solos**, v. 45, e0210109, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/KL9nNHnqyQHdVLBQGChSSNn/abstract/?lang=en>. Acesso em: 13 ago. 2025.

WARDLE, D. A.; GHANI, A. *A critique of the microbial metabolic quotient (qCO_2) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. Soil Biology and Biochemistry*, v. 27, p. 1601-1610, 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/003807179500093T>. Acesso em: 15 jun. 2025.