

Influência das práticas de manejo e adubação biológica na atividade microbiana do solo

Influence of management practices and biological fertilization on soil microbial activity

Karen Rabêlo dos Santos

Ingrid Mara Bicalho

Mirian Ribeiro Moreira Carrijo

Elvécio Gomes da Silva Junior

Luciano Tadeu Nunes

E-mail: nairim75@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.47224/revistamaster.v9i18.566>

Resumo

Existem diversos atributos da microbiota do solo que são bons indicadores de alterações promovidas pelas práticas de manejo agrícola. O objetivo do presente estudo foi avaliar os efeitos causados por sistemas de manejo de solo em áreas com e sem utilização do adubo biológico Microgeo, em alguns atributos biológicos do solo, por meio de diferentes indicadores de qualidade do solo. As amostras foram coletadas na camada de 0-20 cm nos municípios de Monte Carmelo-MG e Ipameri-GO e foram conduzidas análises em laboratório, em delineamento inteiramente casualizado com 8 tratamentos e 3 repetições. Avaliou-se atributos químicos, físicos e biológicos do solo. E as análises biológicas realizadas nos sistemas de plantio convencional, café, sistema de plantio direto, e integração lavoura pecuária floresta, com e sem a utilização de adubo biológico Microgeo foram: carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo, quociente metabólico e microbiano, como também avaliação enzimática da β -glicosidase e arilsulfatase. Foi observado diferença mais expressiva entre os sistemas de manejo, plantio direto e integração lavoura pecuária floresta. Os atributos microbiológicos avaliados demonstraram alterações e influência direta no solo em função dos manejos adotados, pela redução da taxa respiratória, incremento da biomassa microbiana que se mostrou mais eficiente e pelos resultados de quociente metabólico e enzimas. Assim, o uso união de práticas mais conservacionistas de manejo aliadas à adubação biológica com Microgeo, conseguiu proporcionar melhorias à qualidade do solo, e nas áreas de café e plantio convencional.

Palavras-chave: Qualidade do solo; Enzimas; Bioindicadores

Abstract

There are several attributes of the soil microbiota that are good indicators of changes caused by agricultural management practices. The aim of this study was to evaluate the effects of soil management systems in areas with and without the use of Microgeo biological fertilizer on some biological soil attributes, using different soil quality indicators. The samples were collected in the 0-20 cm layer in the municipalities of Monte Carmelo-MG and Ipameri-GO and were analyzed in the laboratory using a completely randomized design with 8 treatments and 3 replications. The soil's chemical, physical and biological attributes were evaluated. The biological analyses carried out in the conventional planting, coffee, no-till and integrated crop-livestock-forest systems, with and without the use of Microgeo biological fertilizer, were: microbial biomass carbon, basal soil respiration, metabolic and microbial quotient, as well as enzymatic evaluation of β -glucosidase and arylsulfatase. A more significant difference was observed between the no-till and integrated crop-livestock-forest management systems. The microbiological attributes evaluated showed changes and a direct influence on the soil as a result of the management adopted, by reducing the respiration rate, increasing the microbial biomass, which proved to be more efficient, and by the results of the metabolic quotient and enzymes. Thus, the joint use of more conservationist management practices, combined with biological fertilization with Microgeo, has managed to improve soil quality in both coffee and conventional planting areas.

Keywords: Bioindicators. Enzymes. Soil quality.

1 INTRODUÇÃO

A qualidade do solo está diretamente relacionada às condições químicas, físicas e biológicas, incluindo a agregação de partículas e colóides do solo, presença de matéria orgânica, quantidade, ciclagem e diversidade de nutrientes.

Explorações agrícolas intensivas dos solos, com o decorrer dos anos, podem causar degradações a nível químico (como erosão química), físico e biológico, ocasionando problemas tanto ambientais, sociais e econômicos. Portanto, a mecanização da agricultura fortaleceu negativamente essa relação de desgaste e baixa qualidade do solo (Alves 2021).

Para quebrar essa relação, muitos ainda optam por utilizar sistemas de preparo convencional do solo com a utilização de arados, grades para destorroamento, incorporação e nivelamento, nas operações de campo. Assim, com o uso desses sistemas, quanto mais biologicamente ativo for o solo, maiores são as chances de que se tenha plantas mais saudáveis, que consigam se desenvolver melhor e que até requeiram menor uso de insumos agrícolas, como fertilizantes (Bergamin *et al.*, 2013).

Tem-se ampliado no Brasil, áreas em que agricultores já utilizam manejos mais conservacionistas, como Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF), Sistema de Plantio Direto (SPD) ou de Cultivo Mínimo. Esses manejos vão de encontro à construção de ambientes biologicamente mais ativos e saudáveis ao nível de fertilidade, buscando o aumento da fixação biológica de N, o controle biológico, e a introdução de práticas que possibilitem a recuperação de áreas degradadas (Martins *et al.*, 2022).

O solo adquire características como fonte e dreno de carbono, atuando como um reservatório. De acordo com as práticas de preparo do solo, sistemas de manejos, além das condições ambientais favoráveis, o armazenamento de carbono, costuma ser maior em sistemas nativos que em solos cultivados, portanto o uso acentuado e o tipo de manejo interferem na qualidade (Costa *et al.*, 2018), isso faz com que sistemas mais conservacionistas de uso do solo ganhem espaço na agricultura, uma vez que já integram a atividade biológica do solo à sua qualidade e ao manejo adotado, fortalecendo a produção agrícola de forma sustentável (Fortini *et al.*, 2020).

Entre os indicadores biológicos utilizados para avaliar o comportamento e a dinâmica da matéria orgânica do solo (M.O.S), as propriedades biológicas e bioquímicas desempenham um papel significativo. Isso inclui a medição da respiração do solo, atividade enzimática, teor de nitrogênio na biomassa microbiana, teor de carbono na biomassa microbiana (CBM) e diversidade microbiana (Silva *et al.*, 2021).

O uso de enzimas de solo como β -glicosidase e arilsulfatase indicam a atividade biológica e a sensibilidade do solo às mudanças de manejo, e a utilização delas apresenta vantagens como precisão, coerência, sensibilidade, simples determinação analítica e reprodutibilidade (Mendes *et al.*, 2020).

A utilização de fontes biológicas para regeneração e recuperação do solo também tendem a contribuir com melhorias na qualidade física, química e principalmente biológica. O Microgeo, é uma biotecnologia que contribui na regeneração do solo e pode ser utilizada em todas as culturas, em diversos tipos de manejos e climas, e para restaurar a diversidade biológica. O adubo biológico é produzido em uma BIM-Bioestação Inteligente que produz uma compostagem líquida contínua (CLC), e dentre os benefícios envolvidos se tem uma melhoria na agregação e descompactação, aumento na infiltração e retenção de água no solo, além de promover uma maior ciclagem e também eficiência na absorção de nutrientes. Juntamente a isso, promove um melhor enraizamento das culturas, contribuindo em uma maior assimilação de carbono (Microgeo, 2023).

Objetivou-se com esse estudo avaliar os efeitos causados pelos sistemas de manejo dentre convencionais e conservacionistas, e os impactos através de comparações entre áreas com e sem utilização de Microgeo ,

considerando 5 áreas, dentre elas Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF) localizada em Ipameri – GO (área com aplicação de Microgeo e testemunha), café em Monte Carmelo – MG (com/sem Microgeo em solo), Sistema de Plantio Direto (SPD) também em Monte Carmelo – MG, além de uma área de plantio Convencional e de mata nativa sem ação de Microgeo, ambas amostras foram coletadas na profundidade de (00-20cm).

2 METODOLOGIA

O experimento foi realizado em março de 2023, nas áreas: Mata Nativa, Sistema de Plantio Convencional, Sistema de Plantio Direto, Lavoura de Café, município de Monte Carmelo – MG; Sistema de Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF) no município de Ipameri – GO. Nos sistemas SPD, Café e ILPF as coletas foram realizadas em áreas com e sem a adubação biológica com Microgeo.

As regiões estudadas apresentaram no mês em que foram realizadas as amostragens de solo, precipitação acumulada para Ipameri em torno de 625,4 mm, e temperatura média de 24,8 °C no período, onde foi realizado as amostragens de solo, baseado nos dados fornecidos pelo (INMET, 2023), e para Monte Carmelo a temperatura média foi de 24,5°C e 154,00 mm de chuva acumulada, onde foi utilizado o Sismet Cooxupé.

As coletas do solo foram realizadas na profundidade de 0-20 cm, sendo em triplicada. A área apresenta Latossolo Vermelho Distrófico, e o preparo das amostras foi realizado em laboratório. Para as análises, o solo foi peneirado (malha de 2 mm), identificado e armazenado em geladeira (8°C). As análises de caracterização químicas e físicas foram realizadas conforme metodologia adotada pela (EMBRAPA, 2017).

Com relação às análises da respiração microbiana ou respiração basal do solo (RBS) foi realizado através da quantificação de CO₂ liberado em 28 dias de incubação, conforme metodologia usual descrita por STOTZKY, (1965). Foram calculados a taxa de atividade microbiana do solo no período de incubação (C-CO₂ mg dia⁻¹ kg⁻¹ de solo), e a Biomassa microbiana do solo (CBM) foi determinada pelo método da irradiação extração (Ferreira, *et al.*, 1999; Vance *et al.*, 1987), utilizando K₂SO₄ 0,5 mol L⁻¹ como agente extrator.

O quociente metabólico (qCO₂), foi determinado pela relação entre o carbono liberado via respiração e o carbono quantificado na biomassa microbiana (Anderson, Domsch, 1993), e o quociente microbiano foi determinado pela relação entre o carbono da biomassa microbiana (CBM) e o carbono orgânico total (COT).

A atividade das enzimas Arilsulfatase e β-glicosidase em substrato sintético de p-nitrofenil-β-D-glicopiranosídeo e quantificada em espectrofotômetro (Eivazi; Tabatai, 1988), usando uma curva padrão com p-nitrofenil (PNF). Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 8 tratamentos e 3 repetições, e os dados foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade e após verificado que os mesmos atendiam às pressuposições, as médias foram submetidas ao teste de Bonferroni a 5% de significância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Respiração basal do solo

A tabela 1, apresenta as médias das análises realizadas, e é possível identificar a diferenciação entre as áreas e manejos adotados.

Tabela 1 . Valores médios de diferentes indicadores biológicos sob sistemas de manejo do solo distintos, considerando áreas com realização de adubação biológica e testemunhas.

Com aplicação de Microgeo						
Sistemas de Manejo	RBS mg de C-CO ₂ kg ⁻¹ dia ⁻¹	CBM mg de CO ₂ kg ⁻¹	qCO ₂	qM _{ic}	Arilsulfatase mg de p-nitrofenol .g solo ⁻¹ h ⁻¹	β-glicosidase mg de p-nitrofenol .g solo ⁻¹ h ⁻¹
Mata Nativa	2,85 A a	147,00 D a	19,22 A a	0,0009 B a	173,00 B a	112,00 A a
Plantio Direto	2,01 AB a	419,33 A a	4,81 BC a	0,002 A a	189,00 A a	110,00 AB a
Integração Lavoura-Pecuária-Floresta	2,23 AB a	227,66 C a	9,60 B a	0,001 B a	86,33 C a	85,5 C a
Lavoura de café	1,15 BC a	319,66 B a	3,65 C a	0,002 A a	18,66 D b	100,53 B a
Sem aplicação de Microgeo						
Mata Nativa	2,82 A a	147,00 B a	19,22 A a	0,0009 C a	173,00 A a	112,00 A a
Plantio Direto	2,33 AB a	376,33 A a	6,24 B a	0,002 A a	91,66 B b	110,66 A a
Integração Lavoura-Pecuária-Floresta	0,81 C b	199,00 B a	4,09 B b	0,001 B a	84,00 B a	73,3 BC b
Lavoura de café	1,07 BC a	331,66 A a	3,17 B a	0,002 AB a	33,00 C a	80,36 B b

Letras maiúsculas na coluna dentro de cada nível de Microgeo (com e sem) e letras minúsculas na coluna dentro de cada sistema diferem estatisticamente segundo teste de Bonferroni a 5% de significância. RBS = Respiração Basal do Solo; CBM = Carbono da Biomassa Microbiana; Qco2 = Quociente Metabólico; Qmic = Quociente Microbiano; Aril = Arilsulfatase; Beta glico = Beta Glicosidase.

No que se refere ao presente estudo, os maiores valores sem uso de Microgeo para os indicadores de Respiração Basal do Solo (RBS), foram encontrados em área de Mata Nativa, na sequência os sistemas de plantio direto, a lavoura de café, plantio convencional e ILPF (2,82; 2,33; 1,07; 0,84 e 0,81 mg C-CO₂ kg⁻¹ solo/h respectivamente).

A atividade biológica dos solos, apresenta uma estreita relação com a capacidade produtiva e os tipos de manejos adotados. A determinação da qualidade de um solo pode ser obtida avaliando a respiração basal, que é a oxidação biológica da matéria orgânica a CO₂ pelos microrganismos que ocupam uma posição chave no ciclo de carbono nos ecossistemas terrestres. O quociente metabólico ou respiratório (qCO₂), proporciona uma leitura da eficiência da síntese da biomassa microbiana em utilizar o carbono disponível (Araújo *et al.*, 2007).

Em diferentes situações a transformação da M.O.S reflete na taxa respiratória microbiana, podendo indicar uma alteração ecológica como também uma alta produtividade dentro de um ecossistema, e quanto maior a diversidade de plantas mais microrganismos podem estar envolvidos nos processos microbianos (Silva *et al.*, 2015).

Dessa forma foram analisados os parâmetros químicos dos solos, e evidenciado através de dados como teor de matéria orgânica a melhoria principalmente nas áreas de sistema de plantio direto, integração lavoura pecuária floresta e café com Microgeo onde para M.O.S foram obtidos respectivamente 3,10 , 2,90 e 2,80 dag. Kg⁻¹, e sem Microgeo 2,90, 2,30 e 270 dag. Kg⁻¹, da mesma forma que para carbono orgânico C.O nas mesmas áreas testemunhas obteve-se 1,70, 1,30 e 1,60 dag. Kg⁻¹, já com tratamento 1,80, 1,70 e 1,60 dag. Kg⁻¹ (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização química dos solos submetidos a diferentes sistemas de manejo, na camada de 0-20cm de profundidade.

Parâmetros	Testemunhas				Tratamentos			
	Sem Microgeo				Com Microgeo			
	Mata nativa	SPC	SPD	ILPF	Café	SPD	ILPF	Café
pH	6,2	5,7	6,8	6,3	5,3	6,3	5,9	5,2
K+	0,44	0,14	0,2	0,08	0,45	0,23	0,16	0,42
Ca ²⁺	2,7	1,5	4,1	1,7	2,3	3,6	1,4	2,3
Mg ²⁺	1,2	0,4	1,6	1	1	1	0,8	0,6
Al ³⁺	0	0	0	0	0,2	0	0	0,1
H + Al	1,6	2,8	1,3	2,5	4,2	2,2	3,4	4,2
SB	4,34	2,04	5,9	2,78	3,75	4,83	2,36	3,32
t	4,34	2,04	5,9	2,78	3,95	4,84	2,36	3,42
T	5,94	4,84	7,2	5,28	7,95	7,03	5,76	7,52
V	73	42	82	53	47	69	41	44
m	0	0	0	0	5	0	0	3
M.O	2,8	2,5	2,9	2,3	2,7	3,1	2,9	2,8
C.O	1,6	1,4	1,7	1,3	1,6	1,8	1,7	1,6

SPC: Sistema de Plantio Convencional; SPD: Sistema de Plantio Direto; ILPF: Integração Lavoura Pecuária Floresta; *Microgeo = adubo biológico que ajuda no restabelecimento do microbioma do solo, e proporciona aumento na eficiência dos plantios; K+, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H + Al, SB, t, T (unidade cmolc dm⁻³); S (mg dm³); V e m (%); M.O e C.O (dag. Kg⁻¹).

A mata nativa é uma área de alta biodiversidade, contando com diferentes espécies vegetais e animais, maior presença de raízes e conseqüentemente de materiais orgânicos que passam frequentemente por processos de decomposição, as altas taxas respiratórias microbianas podem estar relacionadas ao fato de que nessas áreas de vegetação nativa ou cerrado a decomposição é mais acelerada e assim, níveis mais elevados em respiração basal podem ser encontrados.

Áreas nativas com maior acúmulo de serrapilheira, a ciclagem rápida de matéria orgânica é realizada por actinomicetos e fungos diversos (Fraga *et al.*, 2012). A taxa de respiração basal é maior em áreas florestais ou nativas, devido à grande disponibilidade em substratos de carbono lábil que se refere ao carbono que constitui compostos orgânicos e são mineralizados por microrganismos de forma mais fácil (Balota *et al.*, 2023).

Considerando as áreas de plantio direto, integração lavoura pecuária floresta e lavoura de café, respectivamente obteve-se os seguintes resultados da respiração basal do solo para os tratamentos com Microgeo: 2,01; 2,23 e 1,15 mg C-CO₂ kg⁻¹ solo/h. Na área de plantio direto a adubação biológica com Microgeo resultou em uma redução da respiração basal e aumento de outros bioindicadores avaliados como

o carbono da biomassa microbiana, demonstrando interferência positiva, pela maior preservação do carbono no solo.

Baixas taxas de RBS podem ser indicativas de uma maior construção de estabilidade nos agroecossistemas, de cunho ecológico e de decomposição de M.O.S, retratando que conforme uma população microbiana se torna mais eficiente uma menor quantidade de carbono será perdida na forma de CO₂. Em diferentes situações em que se tenha a transformação da M.O.S, a respiração basal será influenciada, podendo assim indicar alguma alteração ecológica como também uma alta produtividade do ecossistema, pois uma simples quebra de agregados por intermédio do processo de aração, pode expor o material orgânico a decomposição acelerada, elevando a emissão de CO₂ (Santos *et al.* (2015).

Verifica-se uma interligação dos solos avaliados e seus manejos, pelas mudanças relacionadas ao microclima local proporcionado pela vegetação, existindo uma influência no processo de respiração basal local do solo (Silva *et al.*, 2015).

Carbono da biomassa microbiana

Com relação ao Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) avaliado para as áreas sem Microgeo, não houve diferença significativa entre a mata nativa e o sistema de ILPF (147,0 e 199,0 mg de CO₂ kg⁻¹ respectivamente), mas os demais sistemas apresentaram valores com maior diferenciação estatística, sendo que o sistema de plantio direto apresentou os melhores teores de carbono da biomassa microbiana, seguido dos sistemas convencional e lavoura de café (376,0; 339,0 e 331,66 mg de CO₂ kg⁻¹ respectivamente). Corroborando Silva *et al.* (2010) em seus trabalhos demonstrou o quanto que o sistema de manejo convencional com práticas mais intensivas, em solo também do tipo Latossolo em bioma Cerrado apresentou biomassa menos eficiente liberando mais C na forma de CO₂ e incorporando menos C para os tecidos microbianos.

Tanto o SPD como ILPF apresentaram uma elevação, indicando um maior desenvolvimento de equilíbrio no sistema, quando comparado a mesma área porém sem Microgeo. Em que a área avaliada de ILPF sem Microgeo foi de 199,00 mg de CO₂ kg⁻¹ já com a adubação biológica foi de 227,66 mg de CO₂ kg⁻¹. A área de café com Microgeo apresentou menor biomassa, relacionado a maior desestruturação causada pelas práticas de manejo convencionais, o que faz com que para obtenção de melhores resultados, necessitaria de um período maior de tempo com uso de recursos como o adubo biológico, além de outras mudanças.

Pelos dados obtidos verifica-se que a adoção do sistema de plantio direto aliado a adubação biológica, podem promover melhorias à qualidade do solo, relacionado ao aumento de M.O.S, e o SPD consegue proporcionar uma maior quantidade de resíduos, cobertura para o solo, aumentando-se assim a disponibilidade de diversos substratos, tendo-se além disso uma redução da variação de temperatura e aumentando a disponibilidade de água, favorecendo assim a biomassa microbiana (Silva, 2008).

A atividade microbiológica envolvida no solo, apresenta relação direta com a biosfera existente, visto que os microrganismos fazem o processo de decomposição de restos vegetais transformando-os em M.O.S e perturbações ao ecossistema e as próprias alterações ao manejo garantem forte influência a biologia do solo, demonstrando-se que um sistema mais conservacionista como o SPD somado a adubação Microgeo favorece melhorias consideráveis, sendo perceptíveis através de diversos bioindicadores, sendo um deles o carbono da biomassa microbiana (Fonseca, 2021).

Quocientes metabólico e microbiano

O quociente metabólico (qCO₂) é a razão entre a respiração basal e a biomassa microbiana, por unidade de tempo (Anderson; Domsch, 1993), e o quociente microbiano (qMIC) representa a relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total (Silva *et al.*, 2010), portanto conseguimos identificar a qualidade da matéria orgânica do solo com essas análises.

Os dados de quociente metabólico foram mais elevados na área de Mata Nativa, ILPF e Plantio Direto. Menores valores de qCO_2 estão relacionados a ambientes mais estáveis e próximos ao equilíbrio, demonstrando a menor eficiência na utilização dos compostos orgânicos de forma a liberarem mais C em forma de CO_2 com menos incorporação de C (Silva *et al.*, 2010).

A mata nativa apresentou os maiores valores de qCO_2 (19,22); seguido o sistema convencional, lavoura de café, ILPF e plantio direto (2,53; 3,17; 4,09 e 6,24 respectivamente), embora o sistema convencional seja mais degradante das características do solo, ele contribuiu para menores valores de qCO_2 .

Portanto nossos dados, demonstraram que quando se tem uma alta e eficiente biomassa, menor quantidade de CO_2 é perdido e disperso na atmosfera e ao contrário, mais carbono é incorporado à biomassa, o que de modo geral pode também ser inferido pelos menores valores evidenciados de qCO_2 (Cunha *et al.*, 2011). Analisando os resultados de $qMIC$ verificou-se uma baixa eficiência da mata nativa em converter carbono da matéria orgânica em biomassa, o que não foi observado nos demais sistemas, independente do manejo adotado.

A emissão de CO_2 , normalmente é mais elevada em áreas sem cobertura e desmatadas, que em locais de bioma Cerrado nativo, devido ao tipo de manejo envolvido (Almeida *et al.* (2014), pois em sistemas de manejo como sistema de plantio convencional e áreas de café, pelo uso de maquinários mais frequente se tem uma maior incorporação de restos vegetais presentes, aumentando assim o processo de mineralização do carbono pelos microrganismos.

O $qMIC$ em ambas as áreas não apresentou diferença significativa, tendo-se o maior resultado na área de Mata Nativa, refletindo na reserva de carbono orgânico total (COT). O que normalmente em reas com baixos quocientes microbianos podem indicar uma menor reserva de compostos orgânicos e o contrário, altos níveis de $qMIC$ demonstrando que a M.O.S pode estar sendo sujeita a processos de decomposição (Dadalto *et al.* 2015).

Enzimas do solo (beta-glicosidase e arilsulfatase)

A maior atividade das enzimas arilsulfatase e beta-glicosidase, foi encontrada para a mata nativa, seguida dos sistemas plantio direto, ILPF, lavoura de café e sistema convencional respectivamente (173,0; 91,0; 84,0, 33,0 e 30,0 mg de *p*-nitrofenol/kg de solo/h, e 112,0; 110,66; 80,36; 73,3 e 66,1 mg de *p*-nitrofenol/kg de solo/h). No Sistema de Plantio Direto, foi possível perceber que houve uma diferença estatística, considerando todos os atributos biológicos, e para as enzimas arilsulfatase e beta-glicosidase, verificou-se uma maior atividade onde houve aplicação de Microgeo.

As enzimas são na maioria das vezes secretadas pelos microrganismos e a atividade delas é influenciada pelos manejos do solo adotados. As análises enzimáticas (beta-glicosidase e arilsulfatase) apresentam uma relação com os ciclos do carbono e enxofre, e assim às alterações sofridas de acordo com os manejos adotados refletem em sua sensibilidade e portanto nos valores encontrados (Balota, 2018).

A enzima β -Glicosidase presente no solo atua na etapa final de degradação da celulose, hidrolisando os resíduos de celobiose e está relacionado ao ciclo do carbono, já a arilsulfatase, consegue hidrolisar ésteres de sulfatos do solo. Durante os estágios finais da degradação da celulose, a enzima β -glicosidase pode estar presente, liberando glicose como fonte de energia para os microrganismos do solo por meio de seu processo metabólico. Alguns fatores, como a quantidade e qualidade dos resíduos orgânicos no solo, podem influenciar essa enzima (Cardoso *et al.*, 2016).

A arilsulfatase apresenta uma relação direta com a quantidade de matéria orgânica, que é rica em ésteres de sulfato, substrato desta enzima (Lopes, 2012). Conforme se tem uma redução no teor de matéria orgânica e consequente aumento da profundidade em perfil de solo, é observado uma redução na atividade da enzima

arilsulfatase, porém outro fator importante de ser observado é a que a enzima arilsulfatase apresenta relação de dependência com o S do solo, e em áreas com maior deficiência desse elemento estimula a atividade dessa enzima, por ser produzida e excretada por bactérias em resposta a limitação de enxofre (Nogueira, *et al.*, 2003).

E com as análises químicas e biológicas realizadas foi possível evidenciar essa relação entre os valores encontrados para S no solo em mg dm^{-3} e os dados da enzima arilsulfatase, de modo que, as áreas de mata nativa, plantio direto e integração lavoura pecuária floresta apresentaram respectivamente (10,00; 13,00 e 11,00 mg dm^{-3}) de S-SO_4 quando comparado a área de café 40,00 mg dm^{-3} de S-SO_4 . E as maiores atividades da arilsulfatase foram encontradas justamente nas áreas onde o S foi menor.

Conforme se tem a mineralização da matéria orgânica, gradualmente ocorre a disponibilização de enxofre em forma de sulfato que ficará disponível na solução do solo para absorção das plantas (Tiecher *et al.*, 2013).

4 CONCLUSÕES

Observou-se que a união de práticas mais conservacionistas de manejo do solo aliadas com a adubação biológica, conseguiu trazer melhorias à qualidade do solo, principalmente considerando os atributos biológicos avaliados. Já o sistema de plantio direto demonstrou uma maior eficiência em incorporação de carbono, sendo ainda mais elevada onde houve adubação biológica Microgeo. O tratamento promoveu aumento da biomassa microbiana e atividade enzimática nas áreas de SPD e ILPF, e dessa maneira, a prática de uma agricultura mais conservacionista, aliada à utilização do Microgeo promoveu melhorias na qualidade do solo.

5 REFERÊNCIAS

Agraria Paranaensis (SAP). <http://dx.doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v13n4p259-264>. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/download/7792/7948/39867>. Acesso em: 05 ago. 2023.

BALOTA, Elcio Liborio. **Manejo e Qualidade Biológica do Solo**. Londrina: Midiograf, 2018.280 p.

ALMEIDA, R.F. *et al.* Disponibilidade de Carbono Orgânico dos Solos no Cerrado Brasileiro. **Scientia Agraria Paranaensis**, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 259-264, 30 dez. 2014. Revista Scientia Agraria Paranaensis (SAP). <http://dx.doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v13n4p259-264>. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/download/7792/7948/39867>. Acesso em: 05 ago. 2023.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO_2 ($q\text{CO}_2$) as a specific activity parameter to assess the effect of environmental condition, such as pH on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 23, n. 3, p. 393-395, 1993. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90140-7](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90140-7). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0038071793901407?via%3Dihub>. Acesso em: 21 set. 2023.

ARAÚJO, ADEMIR SÉRGIO FERREIRA *et al.* INDICADORES BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO. **Seer Ufu**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, abr. 2007. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/download/6684/4403/25338>. Acesso em: 15 jan. 2023

ASSIS, PAULA CAMYLLA RAMOS *et al.* Respiração basal do solo, quociente metabólico e matéria orgânica em solo sob Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. 2014. **Embrapa**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1031323/respiracao-basal-do-solo-quociente-metabolico-e-materia-organica-em-solo-sob-integracao-lavoura-pecuaria-floresta>. Acesso em: 08 jul. 2023.

BALOTA, ELCIO LIBORIO. Manejo e Qualidade Biológica do Solo. **Londrina**: Midiograf, 2018. 280 p.

BALOTA, Elcio Liborio *et al.* BIOMASSA MICROBIANA E SUA ATIVIDADE EM SOLOS SOB DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO E SUCESSÃO DE CULTURAS. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, [s. l.], v. 22, n. 1, p. 641-649, dez. 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/r6XQ9PMTZ4J4dJYqFf4zKbw/?format=pdf>. Acesso em: 04 nov. 2023.

BERGAMIN, A.C *et al.* Manejo convencional do solo e semeadura direta com diferentes intervalos de dessecação do milho sobre o desenvolvimento inicial da soja. **Planta Daninha**, [S.L.], v. 31, n. 1, p. 137-146, mar. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582013000100015>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/7QH3h5sFqpkPW4GbTZg3CpQ/?lang=pt#>. Acesso em: 10 set. 2023.

CARDOSO, Elke Jurandy Bran Nogueira *et al.* **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba: Esalq, 2016. 225 p. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/biblioteca/sites/default/files/Microbiologia_solo.pdf. Acesso em: 08 set. 2023.

COSTA, T. G. A.; IWATA, B. de F.; TOLEDO, C. E. de; COELHO, J. V.; CUNHA, L. M.; CLEMENTINO, G. E. dos S.; LEOPOLDO, N. C. M. DINÂMICA DE CARBONO DO SOLO EM UNIDADE DE CONSERVAÇÃO DO CERRADO BRASILEIRO SOB DIFERENTES FITOFISIONOMIAS. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S. l.], v. 7, n. 4, p. 306–323, 2018. DOI: 10.19177/rgsa.v7e42018306-323. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/7277. Acesso em: 5 nov. 2023

COOXUPÉ. **Sistmet Cooxupé**. Disponível em: <https://sismet.cooxupe.com.br:9000/bh/estacoes/mensal/pesquisar/?estCooxupe=1&cdEstacao=12>. Acesso em: 17 nov. 2023.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality**. Wisconsin, USA: Soil Science Society American, 1996. p.25-37. (Special Publication, 49).

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Glucosidases and galactosidases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 20, p. 601-606, 1988. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(88\)90141-1](https://doi.org/10.1016/0038-0717(88)90141-1)
EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de influenciando a avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo Campinas**, v. 23, p. 991-996, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000400026>

FORTINI, Rosimere Miranda *et al.* Impacto das práticas agrícolas conservacionistas na produtividade da terra e no lucro dos estabelecimentos agropecuários brasileiros. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [S.L.], v. 58, n. 2, p. 1-19, fev. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9479.2020.199479>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/resr/a/YKpKxKzvwytGgHfVW3qt4ZL/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 05 nov. 2023.

FRAGA, Marcelo Elias *et al.* Interação microrganismo, solo e flora como condutores da diversidade na Mata Atlântica. **Acta Botanica Brasilica**, [S.L.], v. 26, n. 4, p. 857-865, dez. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-33062012000400015>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abb/a/F8VxTNSftM4ZVX5dS3kzLFg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 02 nov. 2023.

INMET (org.). **Dados históricos anuais: ano 2023** (automáticas até 31-10-2023). ANO 2023 (AUTOMÁTICAS até 31-10-2023). 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 18 nov. 2023.

LIMA, Herdjanía Veras de *et al.* Indicadores de qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional no semi-árido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 31, n. 5, p. 1085-1098, out. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832007000500024>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/bBkZVpnWvjCXB4Zb3mCvnyQ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 05 nov. 2023.

LISBOA, Bruno Brito *et al.* Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 36, n. 1, p. 33-44, fev. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832012000100004>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/BqfJddJP4fLkbCVdqPjyRZM/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 05 nov. 2023.

MARTINS, André Guarçoni *et al.* (org.). **Manejo do solo em sistemas integrados de produção**. Ponta Grossa: Atena, 2022. 362 p. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/solos/livros/Manejo%20do%20solo.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2023.

MENEGHETTI, Adriana Maria. **MANUAL DE PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE QUÍMICA DE PLANTAS, SOLO E FERTILIZANTES**. 22. ed. Curitiba: Edutfrp, 2018. 254 p. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4071/1/analisequimicaplantasolofertilizante.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2023.

MENDES, Iêda de Carvalho *et al.* BIOINDICADORES DE QUALIDADE DE SOLO: DOS LABORATÓRIOS DE PESQUISA PARA O CAMPO. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1/2, p. 185-203, ago. 2015. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/23311>. Acesso em: 20 abril. 2023.

MELERO, Sebastiana *et al.* Long-term effect on soil biochemical status of a Vertisol under conservation tillage system in semi-arid Mediterranean conditions. **European Journal Of Soil Biology**, [S.L.], v. 44, n. 4, p. 437-442, jul. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.06.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1164556308000666>. Acesso em: 04 nov. 2023.

MICROGEO (org.). **A BIOTECNOLOGIA MICROGEO TE AJUDA A REGENERAR O SOLO**. 2023. Disponível em: <https://microgeo.com.br/site/biotecnologia-microgeo/>. Acesso em: 10 out. 2023.

NOGUEIRA, M. A. *et al.* Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 27, n. 4, p. 655-663, ago. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832003000400010>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/5GsDtRxxgFrmqXFyKSmZR6Yy/#>. Acesso em: 05 nov. 2023. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/572256/1/doc205.pdf>. Acesso em: 02

mar. 2023.

RIBEIRO, Antonio Carlos *et al.* **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Viçosa: Ufv, 1999. 360 p.

ROLDÁN, A. *et al.* Soil enzyme activities suggest advantages of conservation tillage practices in sorghum cultivation under subtropical conditions. **Geoderma**, [S.L.], v. 129, n. 3-4, p. 178-185, dez. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.12.042>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706104003611>. Acesso em: 05 nov. 2023.

SÉRGIO FERREIRA DE ARAÚJO, A.; TERESA ROSIM MONTEIRO, R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 23, n. 3, 2007. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6684>. Acesso em: 31 jul. 2023.

SAMPAIO, Deusiane Batista *et al.* Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo sob sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.L.], v. 32, n. 2, p. 353-359, abr. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542008000200001>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/hpJZq7STXb6JXtrMhL7kjh/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 24 jul. 2023.

SILVA, Edmilson Evangelista da *et al.* **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂)**. 2007. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAB-2010/34390/1/cot099.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2023.

SILVA, Adriana Pereira da. **Biomassa Microbiana em Diferentes Sistemas de Manejo do Solo e de culturas típicas da região Norte do Paraná**. 2008. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biotecnologia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008. Disponível em: http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/Biologia/Dissertacao/biomassa.pdf. Acesso em: 23 set. 2023.

SILVA, R. R. D.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. D. S.; CURTI, N.; ALIVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 1585-1592, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000500011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/7yR7dzVHKWYwBNhLkJphLjz/?lang=pt>. Acesso em: 10 set. 2023.

SILVA, Rubens Ribeiro da *et al.* Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 34, n. 5, p. 1584-1592, out. 2010.

FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832010000500011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/7yR7dzVHKWYwBNhLkJphLjz/#>. Acesso em: 04 nov. 2023.

SILVA, Ane Cristine Fortes da *et al.* **Respiração basal do solo em diferentes sistemas de uso no Semiárido paraibano**. 2015. Disponível em: <https://www.sbcs.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/745.pdf>. Acesso em: 24 set. 2023.

SILVA, M. de O.; SANTOS, M. P. dos; SOUSA, A. C. da P.; SILVA, R. L. V. da; MOURA, I. A. A. de; SILVA, R. S. da; COSTA, K. D. da S. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável / Soil quality: biological indicators for sustainable management. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 7, n. 1, p.

6853–6875, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n1-463. Disponível em:
<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/23374>. Acesso em: 7 jun. 2023.

SANTOS, V. M. dos; MAIA, L. C. BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, [S. l.], v. 10, p. 195–226, 2015. Disponível em:
<https://journals.ufrpe.br/index.php/apca/article/view/397>. Acesso em: 10 jun. 2023.

SÉRGIO FERREIRA DE ARAÚJO, A.; TERESA ROSIM MONTEIRO, R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 23, n. 3, 2007. Disponível em:
<https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6684>. Acesso em: 12 aug. 2023.

STOTZKY, G. In: Black, C.A., ed. *Methods of soil analysis*, 2 edition. Madison: **American Society of Agronomy**, p. 1551-1572, 1965.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Arylsulfatase activity of soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 34, p. 225-229, 1969.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1970.03615995003400020016x>

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

TIECHER, Tales *et al.* Resposta de culturas e disponibilidade de enxofre em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica submetidos à adubação sulfatada. **Bragantia**, [S.L.], v. 71, n. 4, p. 518-527, 18 jan. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87052013005000010>. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/brag/a/qY4gNXvScrdSPDf46dpQsvd/?lang=pt#>. Acesso em: 05 nov. 2023.