



**LARISSA DA COSTA BRITO**

**BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO NO  
MONITORAMENTO DO MANEJO DA COBERTURA DO  
SOLO E RELAÇÃO COM A EROSÃO HÍDRICA NA  
CULTURA DA OLIVEIRA (*Olea europaea* L.)**

**LAVRAS – MG  
2023**

**LARISSA DA COSTA BRITO**

**BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO NO MONITORAMENTO DO  
MANEJO DA COBERTURA DO SOLO E RELAÇÃO COM A EROSÃO HÍDRICA  
NA CULTURA DA OLIVEIRA (*Olea europaea* L.)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva  
Orientador

Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro  
Coorientador

**LAVRAS – MG  
2023**

Brito, Larissa da Costa.

Bioindicadores de qualidade do solo no monitoramento do manejo da cobertura do solo e relação com a erosão hídrica na cultura da Oliveira (*Olea europaea* L.) / Larissa da Costa Brito. - 2023.

77 p. : il.

Orientador(a): Marx Leandro Naves Silva.

Coorientador(a): Marco Aurélio Carbone Carneiro.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Olivicultura. 2. Microbiota do solo. 3. Funcionalidade. I. Silva, Marx Leandro Naves. II. Carneiro, Marco Aurélio Carbone. III. Título.

**LARISSA DA COSTA BRITO**

**BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO NO MONITORAMENTO DO  
MANEJO DA COBERTURA DO SOLO E RELAÇÃO COM A EROSÃO HÍDRICA  
NA CULTURA DA OLIVEIRA (*Olea europaea* L.)**

**BIOINDICATORS OF SOIL QUALITY IN THE MONITORING OF SOIL COVER  
MANAGEMENT AND RELATION WITH WATER EROSION IN OLIVE TREE  
CULTURE (*Olea europaea* L.)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 18 de janeiro de 2023.

Dr. Fábio Aurélio Dias Martins	EPAMIG
Dr. Djail Santos	UFPB
Dr <sup>a</sup> . Aline Oliveira Silva	UFLA

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva  
Orientador

Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro  
Coorientador

**LAVRAS – MG  
2023**

Aos meus pais Lúcio e Edna, aos meus irmãos Maria Joana e Leonardo que são minhas fortalezas.

**DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus que sempre está presente em minha vida, guiando todos os meus passos. Obrigada, Deus!

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciência do Solo pela oportunidade de estudar e me qualificar com professores de excelência, assim como agradeço à Coordenação Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa.

Ao meu orientador, professor Marx Leandro Naves Silva e ao coorientador Marco Aurélio Carbone Carneiro, por me oportunizar novos conhecimentos e aprendizados indispensáveis na minha formação.

A todos os professores e técnicos que contribuíram de forma direta e indireta com este trabalho e que estavam sempre dispostos a tirar minhas dúvidas que nunca eram poucas.

À minha família que diariamente está comigo apesar da distância, em especial, meus pais, meus irmãos, meus primos, minhas tias Socorro, Ednilce, Eliana e Antônia e meu tio Antônio.

Ao meu amigo Igor de Carvalho que em momento nenhum soltou minha mão, até mesmo quando eu pensava em desistir. Obrigada por toda paciência comigo e por acreditar em mim até mais do que eu.

Ao meu grupo da graduação composto por Amanda Viana, Esmailson Moreira e Laise Sousa que segue firme me dando força sempre, assim como meus amigos do cursinho, Ana Paula Lira, Eliabe Ferreira e Yzabela Portela.

Aos meus amigos Uflanianos Tamires Reis, Sarah Dieckman, Gabriele Medeiros, Priscilla Curtis, Beatriz Medeiros, Keity Magalhães, Josiane Almeida, Marina Monteiro, Jessyca Gomes, Aline Oliveira, Aline Franco, Mariângela Barbosa, Paulo Carvalho, Davi Tavares, Josiel Santos, Eduardo Medeiros, Douglas Fernandes e Matheus Assis pela grande partilha e companhia nos momentos de sala de aula, campos e distrações.

A todos os meus amigos espalhados mundo afora que estão sempre na torcida, incentivando e mandando energias positivas, MUITO OBRIGADA!!

## RESUMO

Os manejos empregados para o controle da erosão hídrica associados às funções desempenhadas nos solos pelos microrganismos, sob olivicultura, podem ser importantes ferramentas para o aumento da qualidade do solo. Com isso, a avaliação dos bioindicadores do solo pode ser empregada no monitoramento da qualidade do solo nesses cultivos. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar diferentes manejos de cobertura vegetal espontânea na cultura da oliveira (*Olea europaea* L.) utilizando indicadores biológicos de qualidade do solo e a relação com a erosão hídrica, em Cambissolos no Sul do estado de Minas Gerais, Brasil. O estudo está dividido em dois capítulos. No primeiro capítulo foi investigado a interação de três fatores, seguindo um delineamento experimental 2x3x5. Estes fatores foram: posições do solo nas parcelas (terço superior e terceiro inferior), tamanho do agregado do solo (classes de diâmetros: 8-4 mm, 4-2 mm, < 2 mm) e diferentes sistemas de manejos de cobertura do solo, na cultura da oliveira. No segundo capítulo foi investigada a influência dos sistemas de manejo de cobertura do solo, na cultura da oliveira, sob os indicadores físico-químicos, biológicos e erosão hídrica. As amostras de solo foram coletadas na camada superficial (0-5 cm) nas parcelas sob os seguintes manejos de coberturas: oliveira em solo descoberto (OD); oliveira com vegetação espontânea roçada (OVR); oliveira com vegetação espontânea com roçagem e coroamento (OVRC); oliveira com vegetação espontânea e herbicida (OVH); e solo descoberto (SD) no ano de 2021. As amostras de solos coletadas seguiram para caracterização química, física e biológica. Foram avaliados os indicadores químicos de fertilidade do solo e matéria orgânica do solo (MO). Em relação aos indicadores físicos, foram avaliados a textura do solo e estabilidade de agregados expressa através do diâmetro médio geométrico sem tratamento de umidade (DMGs) e diâmetro médio ponderado (DMPs). Quanto aos indicadores biológicos, foram avaliados o carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), quociente metabólico ( $qCO_2$ ), a proteína do solo relacionada à glomalina facilmente extraível (GFE) e atividade enzimática da  $\beta$ -glicosidase ( $\beta$  - glu). Também foram quantificadas as perdas de solo e água nas parcelas padrão de monitoramento da erosão hídrica. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), teste de Tukey ( $p < 0.05$ ) e análise de componentes principais (PCA). Quando necessário, foram aplicadas transformações à base de dados. No primeiro estudo, não foram observadas influências das posições da parcela e tamanho dos agregados em grande maioria dos indicadores avaliados, por outro lado, os manejos OVR e OVRC apresentaram melhores condições para a atividade dos microrganismos, observados pelo aumento de CBM,  $\beta$ -Glu e GFE. No segundo estudo, os tratamentos OVR e OVRC favoreceram a manutenção de matéria orgânica no solo, melhorando os indicadores biológicos do solo, o que influenciou na redução de perdas de água e solo por erosão hídrica. Desta forma, constata-se que os indicadores biológicos variaram entre os diferentes manejos, sendo que a OVR e OVRC apresentaram os melhores resultados relacionados aos manejos, e OD e SD demonstraram relação totalmente inversa com todos os indicadores avaliados.

**Palavras-chave:** Olivicultura. Microbiota do solo. Funcionalidade. Proteção do solo. Saúde do solo.

## ABSTRACT

The managements employed for the control of water erosion associated with the functions performed in the soil by microorganisms, under olive cultivation, can be important tools for the increase of soil quality. Thus, the evaluation of soil bioindicators can be employed in the monitoring of soil quality in these crops. In this context, this study aimed to evaluate different spontaneous vegetation cover management in olive (*Olea europaea* L.) culture using biological indicators of soil quality and the relationship with water erosion, in Cambissolos in the South of Minas Gerais state, Brazil. The study is divided into two chapters. In the first chapter the interaction of three factors was investigated, following a 2x3x5 experimental design. These factors were: soil positions in the plots (upper third and lower third), soil aggregate size (diameter classes: 8-4 mm, 4-2 mm, < 2 mm), and different soil cover management systems in the olive crop. In the second chapter, the influence of land cover management systems on physicochemical, biological and water erosion indicators was investigated. Soil samples were collected in the surface layer (0-5 cm) on plots under the following cover management systems: olive in bare soil (OD); olive with spontaneous vegetation mowed (OVR); olive with spontaneous vegetation with mowing and crowning (OVRC); olive with spontaneous vegetation and herbicide (OVH); and bare soil (SD) in the year 2021. The soil samples collected were followed for chemical, physical, and biological characterization. Chemical indicators of soil fertility and soil organic matter (SO) were evaluated. Regarding the physical indicators, soil texture and aggregate stability expressed through geometric mean diameter without moisture treatment (DMGs) and weighted mean diameter (WADs) were evaluated. As for biological indicators, microbial biomass carbon (MBM), soil basal respiration (SBR), metabolic quotient (qCO<sub>2</sub>), easily extractable glomalin-related soil protein (GFE) and  $\beta$ -glucosidase enzyme activity ( $\beta$ -glu) were evaluated. Soil and water losses in the standard water erosion monitoring plots were also quantified. The results were submitted to analysis of variance (ANOVA), Tukey's test ( $p < 0.05$ ) and principal component analysis (PCA). When necessary, transformations were applied to the database. In the first study, the influence of plot position and aggregate size were not observed in most of the indicators evaluated, on the other hand, the OVR and OVRC treatments presented better conditions for the activity of microorganisms, observed by the increase of BOD,  $\beta$ -Glu and GFE. In the second study, the OVR and OVRC treatments favored the maintenance of organic matter in the soil, improving soil biological indicators, which influenced the reduction of water and soil losses by water erosion. Thus, it can be seen that biological indicators varied between the different managements, with OVR and OVRC showing the best results related to the managements, and OD and SD showed a totally inverse relationship with all the indicators evaluated.

**Keywords:** Olive growing. Soil microbiota. Functionality. Soil protection. Water erosion.

## SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE .....	10
1 INTRODUÇÃO GERAL .....	10
2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO .....	11
2.1 Cultivo de oliveiras .....	11
2.2 Erosão hídrica .....	13
2.3 Indicadores de qualidade do solo .....	15
REFERÊNCIAS .....	19
ARTIGO 1 - MANEJO DA COBERTURA DO SOLO NA CULTURA DA OLIVEIRA ( <i>OLEA EUROPAEA</i> L.) MELHORAM OS INDICADORES DO SOLO, EM UMA REGIÃO TROPICAL .....	24
RESUMO.....	24
ABSTRACT .....	25
1 INTRODUÇÃO .....	26
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	28
2.1 Área de Estudo e descrição do experimento .....	28
2.2 Amostragem e preparo do solo.....	31
2.3 Caracterização física e química.....	31
2.4 Análises dos bioindicadores .....	31
2.4.1 Carbono da biomassa microbiana .....	31
2.4.2 Respiração microbiana do solo.....	32
2.4.3 Quocientes metabólico e microbiano .....	32
2.4.4 Atividade da $\beta$ -glicosidase.....	32
2.4.5 Concentrações de glomalina facilmente extraível no solo.....	33
2.5 Análises estatísticas .....	33
3 RESULTADOS .....	33
3.1 Indicadores químicos do solo em função dos fatores posição da subparcela na parcela padrão, tamanho de agregados e manejo da cobertura.....	33
3.2 Indicadores biológicos do solo em função dos fatores posição da subparcela na parcela padrão, tamanho de agregados e manejo da cobertura.....	38
3.3 Relação entre os indicadores químicos e microbiológicos .....	41
4 DISCUSSÃO .....	42
4.1 Indicadores químicos do solo em função dos fatores posição da subparcela na parcela padrão, tamanho de agregados e manejo da cobertura.....	42

4.2	Bioindicadores do solo em função dos fatores posição da subparcela na parcela padrão, tamanho de agregados e manejo da cobertura. ....	43
5	CONCLUSÃO.....	46
	REFERÊNCIAS .....	47
	<b>ARTIGO 2 - BIOINDICADORES DO SOLO EM RELAÇÃO À EROSÃO HÍDRICA EM SISTEMAS DE MANEJO DA COBERTURA DO SOLO NA CULTURA DA OLIVEIRA (<i>OLEA EUROPAEA</i> L.), NA REGIÃO TROPICAL</b>	<b>51</b>
	RESUMO.....	51
	ABSTRACT .....	52
1	INTRODUÇÃO .....	53
2	MATERIAL E MÉTODOS .....	54
2.1	Área de estudo.....	54
2.2	Desenho experimental .....	55
2.3	Determinação da erosividade .....	58
2.4	Avaliação de erosão hídrica .....	59
2.5	Amostragem e preparo do solo.....	60
2.6	Atributos físicos, químicos e biológicos do solo .....	60
2.7	Análise de dados .....	61
3	RESULTADOS .....	62
3.1	Erosividade da chuva no período de 2020/2021.....	62
3.2	Perdas de solo e água por erosão hídrica .....	63
3.3	Atributos físicos, químicos e biológicos do solo .....	64
3.4	Distribuição dos agregados .....	66
3.5	Correlação e análise de componentes principais (PCA) .....	66
4	DISCUSSÃO .....	68
5	CONCLUSÃO.....	71
	REFERÊNCIAS .....	72

## **PRIMEIRA PARTE**

### **1 INTRODUÇÃO GERAL**

Atualmente, o Brasil é o principal importador dos principais produtos derivados da olivicultura da América Latina, o azeite e a azeitona de mesa. Dados do Conselho Oleícola Internacional (IOC, 2022) apontaram que o país importou mais de 104 mil toneladas de produtos derivados da olivicultura, tornando-se o terceiro no ranqueamento mundial. Esta alta demanda impulsionaram o desenvolvimento da cultura devido seu grande potencial agrícola. Diante disso, a cultura foi introduzida na região tropical do país onde as técnicas de cultivos foram aprimoradas, garantindo que azeites originados da região da Serra da Mantiqueira, no sul do estado de Minas Gerais obtivessem grande destaque em eventos internacionais (EPAMIG, 2022).

Apesar dos aprimoramentos na olivicultura, a mesma ainda se encontra em expansão no Brasil. Destaca-se em seu histórico a falta de preocupação quanto ao uso de práticas conservacionistas e devido à baixa densidade no plantio e seu efeito alelopático (TOMBESI et al., 2007), os pomares apresentam baixa cobertura (BENIAICH et al., 2020) e expõe o solo a erosão hídrica, comprometendo desta forma a qualidade do solo (GÓMEZ et al., 2014; TOMBESI et al., 2007; BENIAICH et al., 2019, 2020). Além disso, devido ao verão chuvoso e inverno seco, a alta erosividade das chuvas comprometem ainda mais a produção em solos rasos que tem sua profundidade e capacidade de armazenamento reduzidas, como por exemplo os Cambissolos, solos muito comuns nas regiões de expansão do cultivo da oliveira. (RESENDE et al., 2014)

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), no ano de 2015, foram apresentados relatórios que apontaram que cerca de 33 % dos solos do globo terrestre se encontram degradados e acredita-se que tal mudança tenha decorrido da produção de alimentos em larga escala, atrelada ao uso intenso de tecnologias químicas, genéticas e de mecanização que desencadearam diversos problemas ambientais, dentre eles a erosão.

A erosão é ocasionada pela ação da água e do vento no desprendimento e arraste das partículas de solo, e são chamadas, respectivamente, erosão hídrica e eólica. A erosão hídrica é considerada o maior problema relacionado à degradação do solo, pois tem causado grandes mudanças a nível global (BERTOL; CASSOL; BARBOSA, 2019). De forma agressiva, a

erosão hídrica apresenta ameaças à água, ao ar e, principalmente, à qualidade do solo, chegando a deteriorar o ambiente com enchentes, poluição ambiental e desertificação ocasionados por agentes ativos que estão associados os fatores de declividade do terreno, capacidade de infiltração e armazenamento de água do solo e densidade da cobertura vegetal (ZHANG; WANG, 2002; CUNHA et al., 2017; FILHO; VIEIRA, 2019).

Pesquisas voltadas para a qualidade do solo têm sido cada vez mais frequentes diante das grandes mudanças ocasionadas pelo uso da terra de forma convencional ou por sistemas conservacionistas (SILVA, ARAÚJO, BARROS, 2021). São amplos e complexos os indicadores que podem ser utilizados na quantificação da qualidade do solo, podendo ser físicos, químicos e biológicos. A qualidade do solo pode ser vista como a saúde do solo, e quando se trata de saúde, um solo saudável se relaciona tanto com a produtividade, quanto com a saúde do meio ambiente e a saúde humana (PEPPER e BROOKS, 2021). Assim, há depender da forma em que os solos são manejados, podem influenciar de forma positiva no potencial produtivos dos ambientes agrícolas promovendo meios para o crescimento das plantas, do contrário, aceleram os processos erosivos que resultam em suas perdas dando origem aos solos degradados (NETTO; KATO; GOEDERT, 2009; CÂNDIDO et al., 2015; SANTOS et al., 2021).

As plantas de cobertura cultivadas principalmente nas entrelinhas associadas ao manejo que mantém o solo coberto são importantes aliadas contra a erosão do solo durante o período de altas precipitações e tem a capacidade de melhorar as condições do solo, além de evitar lixiviação de nutrientes na camada superficial, camada esta rica em nutrientes, matéria orgânica e biodiversidade (ZONTA et al., 2012; MERLO et al., 2022).

Diante disso, a fim de compreender e minimizar os impactos no solo causados pelo manejo do solo na olivicultura, este trabalho objetiva investigar os indicadores biológicos de qualidade do solo e sua relação com a erosão hídrica em sistemas de manejo da cobertura do solo na cultura da oliveira (*Olea europaea* L.), na Região Tropical.

## **2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO**

### **2.1 Cultivo de oliveiras**

A oliveira (*Olea europaea* L.) é uma cultura milenar que inicialmente foi explorada nos países do Mediterrâneo e a partir da sua domesticação associada a evolução do homem, teve sua expansão contínua no sul da Europa devido aos grandes interesses econômicos que foram

agregados aos frutos que produzem um sumo depois de esmagado, atualmente conhecido como azeite (TOMBESI et al., 2007; SILVA, 2013).

Pertence à família das *Oleaceae*, é a única espécie desta família que possui fruto comestível e se distribui por regiões tropicais e temperadas. É uma árvore de porte médio, de 4 a 8 m de altura (depende da variedade), apresenta maior potencial de enraizamento na fase juvenil, capacidade produtiva somente na fase adulta e pode permanecer viva por centenas de anos (CRUZ et al., 2012)

No Brasil, a oliveira foi introduzida devido à expansão ultramarina nos Séculos XV e XVI em quase todo seu território ao redor das igrejas e, conseqüentemente, foram surgindo pequenos olivais que logo foram cortados pela coroa portuguesa que sentiu-se ameaçada com uma futura concorrência (COUTINHO; RIBEIRO; CAPPELLARO, 2009). Este fato atrasou todo e qualquer início de uma maior exploração da cultura no país fazendo com que se conhecesse apenas azeitonas em conservas e azeite em latas que eram exportados, e foi só no Século XX que a cultura voltou a ser plantada, dando início aos plantios comerciais, principalmente nos estados do Sul e Sudeste (GOBBATO, 1945; COUTINHO et al., 2009).

Com os mais diversificados fins originados dos olivais, no final da década de 40, o Rio Grande Sul com apoio governamental, passou a estimular o desenvolvimento da cultura com premiações e isenções de impostos territoriais, no entanto, a falta de técnicas e conhecimentos mais aprofundados sobre o manejo da cultura resultaram em olivais de baixa qualidade e só então nos anos 60, a partir de maiores investimentos em técnicas de manejo que os produtos de olivais Brasileiros equiparam-se aos produtos Italianos (COUTINHO et al., 2009).

O cultivo de oliveiras ocupa mundialmente uma área de 10,5 milhões de hectares. Mais de 90% dessa produção são advindas do seu território de origem, o Mediterrâneo, onde os países Itália, Tunísia e Espanha obtêm 50% dessa área produtiva (FAO, 2021).

Nas últimas safras, o Brasil alcançou a marca de 86.362 toneladas de azeite e 117.500 toneladas de azeitona de mesa importados (IOC, 2020). Considerando que entre anos de 2001 e 2010 ocupava a oitava posição, o país se tornou um dos principais consumidores e importador desses produtos, totalizando gastos em torno de 425,00 milhões de dólares na safra 2020/2021 (MAPA, 2015, 2021).

Atualmente, a produção mundial de azeite apresentou uma queda de produção nos países onde é tradicionalmente cultivado, notadamente na Tunísia, Itália, Portugal e Argélia. No entanto, essa queda foi minimamente compensada pelas boas colheitas na Espanha e em

Marrocos. Em 2020 a previsão era de 3.179.000 toneladas, a menor desde os anos 2016/17 (IOC, 2020), em contramão, sua demanda é sempre crescente.

A partir da alta demanda pelos produtos gerados dos olivais, existe um grande interesse pelo cultivo nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Entretanto, a expansão da cultura é limitada pela temperatura, uma vez que a planta é extremamente exigente por baixas temperaturas no inverno, variando entre 5° e 7° C, e entre dia e noite de 4° a 14° C. Por ser uma planta rústica, a fertilidade natural dos solos Brasileiros não se apresenta como limitantes para o seu desenvolvimento, no entanto, a planta necessita de boa aeração, boa drenagem e boa profundidade (BERTONCINI; TERAMOTO; PRELAPANTANO, 2010).

Neste contexto, a região da Serra da Mantiqueira, entre os estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, tem apresentado um destaque no cultivo de oliveiras e produção de azeite de qualidade internacional. Um aspecto importante da cultura é que a grande maioria dos cultivos realizados são por pequenos agricultores. Um problema que precisa ser mitigado é o tipo de solo dominante nesta cultura na região contemplada, tratando-se dos Cambissolos que apresentam como fatores limitantes à cultura a sua susceptibilidade à erosão hídrica (SILVA et al., 2005; RESENDE et al., 2014; EPAMIG, 2021).

Por ser uma cultura recém introduzida no país, a olivicultura apresenta uma grande lacuna quanto aos seus impactos na erosão hídrica e ao meio ambiente, visto que grande parte dos trabalhos desenvolvidos no Brasil e no mundo são mais voltados para o setor econômico e manejo fitotécnico (FERREIRA et al., 2015).

## **2.2 Erosão hídrica**

A erosão do solo é um dos problemas mais sérios enfrentados pela sociedade mundialmente, onde o fenômeno foi notado a partir do surgimento dos desertos no norte da China, da Pérsia, da Mesopotâmia e norte da África que se desenvolveram por meio do esgotamento do solo devido às intensas atividades de exploração do recurso (BERTOL; CASSOL; BARBOSA, 2019).

O processo erosivo é caracterizado pela ação da água e do vento no desprendimento e arraste das partículas do solo. Tal processo pode ser natural ou geológico, podendo ocorrer lentamente no tempo, ou intensificado pela interferência das atividades antrópicas, denominado erosão acelerada, que pode promover a degradação ambiental, lixiviar nutrientes do solo,

assorear corpos d'água, reduzir a aptidão agrícola do solo, eutrofizar águas e alterar os atributos físicas, químicas e biológicas. Atualmente, a erosão já degradou milhões de hectares de terras cultivadas devido a redução da sua capacidade produtiva, em alguns casos esgotando totalmente a capacidade produtiva (FOSTER, 1982; BERTOL; CASSOL; BARBOSA, 2019).

Não há preocupação com a erosão natural, uma vez que as forças que desgastam e removem o solo estão em equilíbrio dinâmico com as forças de formação e reposição deste, por outro lado, a erosão induzida se relaciona diretamente com a ação do homem exercida sob o solo que o levam à degradação.

Segundo a FAO (HUDSON, 1995), são oito os tipos de degradação que afetam o solo, sendo elas: erosão hídrica, erosão eólica, salinização, degradação física, degradação química; degradação biológica, desertificação e escavação. Dentre elas, a degradação por quaisquer que seja o tipo de erosão (hídrica ou eólica), são as mais prejudiciais considerando que o solo é um recurso não renovável.

No Brasil, especificamente nas regiões Sul e Sudeste, a erosão hídrica e degradação do solo se tornaram preocupantes a partir da modernização das tecnologias na agricultura que trouxeram consigo, entre as décadas de 1960 e 1970. Além das vantagens associadas aos preparos de solos mais intensos e uso massivo de corretivos químicos, problemas relacionados a perda de vegetação natural, queima de biomassa e preparos sucessivos na mesma área afetando assim a cobertura do solo e as práticas de manejos que influenciam no processo erosivo (PANAGOS et al., 2015).

Sabe-se que áreas com preparo convencional do solo na ausência de cobertura vegetal em superfície são mais suscetíveis à erosão hídrica, pois, este sistema favorece a desagregação do solo, menor rugosidade e formação do selamento superficial, caracterizado por uma fina camada de solo que se torna compactada pelo impacto direto da gota de chuva sobre o solo, por causa da ação da energia cinética contida nas gotas (PANACHUKI et al., 2011). Do contrário, a presença de vegetação propicia a cobertura do solo e protege a superfície do impacto direto das gotas, que são responsáveis pela interceptação, diminuindo assim os riscos de erosão (COGO; MOLDENHAUER; FOSTER, 1984; PANACHUKI et al., 2011).

Vários autores comprovaram em suas pesquisas que quanto maior a cobertura vegetal em sistemas de produção menor será a erosão hídrica pluvial, pois a permanência dela ocasiona redução das perdas de solo por erosão, por evitar o impacto das gotas de chuva e dissipa sua energia cinética, reduz o escoamento, diminui a desagregação do solo, aumenta a infiltração da

água e diminui a enxurrada (CANTALICE, et al., 2009; BERTOL; CASSOL; BARBOSA, 2019; BENIAICH et al., 2020).

No Brasil, estudos de indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo em relação a degradação do solo pela erosão hídrica, em sistemas de manejo do solo (irrigado, sem irrigação, convencional e plantio direto) foram conduzidos para culturas anuais (feijão, milho, arroz, soja, abóbora, tomate), pastagens e cerrado nativo (D'ANDRÉA et al., 2002), para a cultura do eucalipto com manejo dos resíduos da colheita (FREITAS et al., 2012; CÂNDIDO et al., 2014, 2015) para plantas de cobertura do solo (SANTOS et al., 2021) para a cultura da oliveira em diferentes sistemas de manejo da cobertura do solo (BENIAICH et al., 2020; GUIMARÃES et al., 2021), para pastagens nativas e cultivadas no bioma Pantanal (CARDOSO et al., 2009), para sistemas agrícolas integrados com pecuária e silvicultura (NEVES et al., 2009), para plantas de cobertura e consorciadas com milho (SANTOS et al., 2021) e estudos sobre serviços ecossistêmicos em sub-bacias hidrográficas objetivando a recarga de água e redução da erosão hídrica (LIMA et al., 2016).

### **2.3 Indicadores de qualidade do solo**

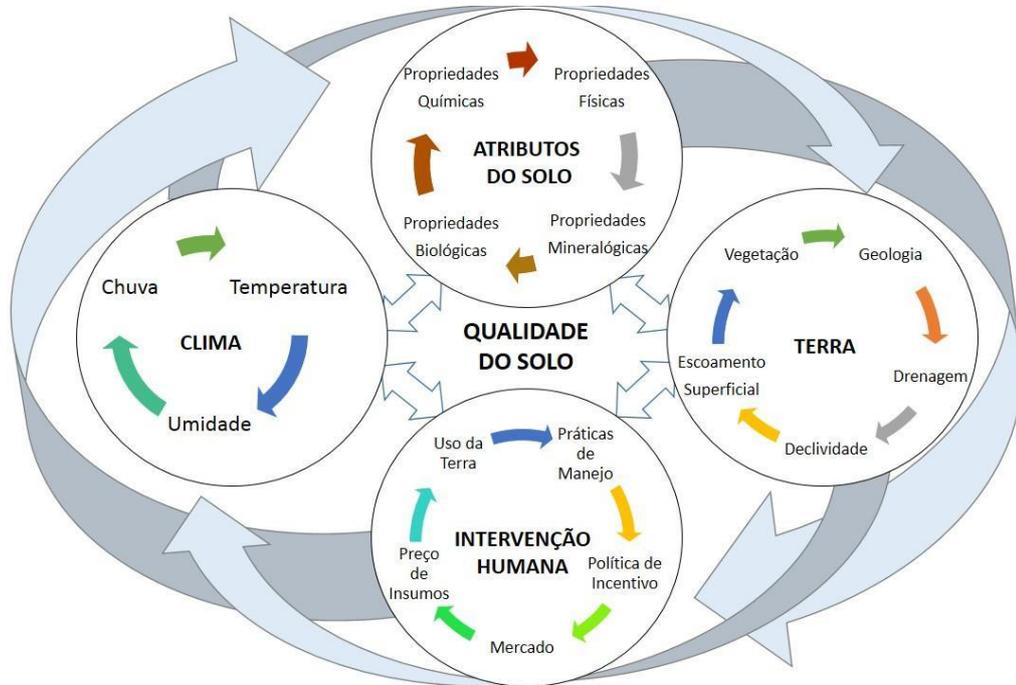
São diversas as definições de qualidade do solo e o termo passou a ser mais usual a partir da década de 90 com a publicação do relatório intitulado “Soil Water Quality” – na agenda “For Agriculture” (NRCC, 1993). Segundo o mesmo, a qualidade do solo havia sido idealizada em razão do seu importante papel dentro dos ecossistemas naturais e agroecossistemas, uma vez que a qualidade deste recurso sempre esteve relacionada com a sua capacidade produtiva.

Uma das literaturas mais citadas, Doran e Parkin (1994) fizeram a seguinte definição: “*Qualidade do solo é a capacidade de um solo de funcionar nos limites do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde vegetal e animal*”. Nesse conceito são colocados os aspectos produtivos, do meio ambiente e da saúde, o que já aponta a direção do uso do conceito de qualidade do solo como um aspecto de avaliação da saúde do solo e da saúde do ambiente de produção agrícola, resultando em aspectos de estudos da saúde do produtor e do consumidor (PEPPER e BROOKS, 2021).

A avaliação de qualidade do solo necessita de um número considerável de variáveis para ser mensurada (qualitativas e quantitativas) e envolve a inter-relação dos atributos físicos, químicos, físico-químicos, biológicos e mineralógicos, além de práticas realizadas pela

intervenção humana e características ambientais (ARSHAD; COEN, 1992; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002) (Figura 1).

Figura 1 – Inter-relações dos principais fatores que afetam a qualidade do solo.



Fonte: Traduzido e adaptado de Arshad e Coen (1992).

Como indicador de qualidade física do solo, são citados a textura (apesar de ser um bom indicador, não sofre alteração pelo manejo), estrutura, agregação das partículas, densidade do solo, condutividade hidráulica, taxa de infiltração de água, permeabilidade do solo à água, resistência do solo à penetração, porosidade total, distribuição e tamanho dos poros, profundidade efetiva de enraizamento, intervalo hídrico ótimo, índice de compressão e estabilidade dos agregados (SANTOS et al., 2011; FREITAS et al., 2013; REICHARDT; TIMM, 2012). Muitos desses indicadores quando alterados interferem no movimento da água no solo, ocasionando problemas de disponibilidade de água e nutrientes para as plantas, erosão e degradação do solo (ARAÚJO, 2008).

Quanto aos indicadores químicos, muito importante na avaliação de sustentabilidade, sendo que os mais importantes são o pH do solo, a capacidade de troca catiônica (CTC), a toxicidade por alumínio, a matéria orgânica e a disponibilidade de macro e micronutrientes.

Eles estão relacionados diretamente com a capacidade do solo em fornecer nutrientes para as plantas proporcionando seu crescimento e desenvolvimento (CARDOSO et al., 2013).

Dentre os bioindicadores, a biodiversidade, a biomassa microbiana, o carbono e o nitrogênio mineralizável, a respiração microbiana do solo e as atividades enzimáticas são constituintes essenciais para diversos serviços ecossistêmicos como o desenvolvimento das plantas (decomposição e mineralização de compostos orgânicos), transformações de diversos nutrientes (amonificação, nitrificação e outros), estruturação do solo (formação de húmus, liberação de polissacarídeos e hifas fúngicas), simbioses radiculares (fixação biológica de nitrogênio, fungos micorrízicos, solubilizadores de nutrientes, entre outros), e equilíbrio biológico (diversidade funcional) (ARAÚJO, 2008; CARNEIRO et al., 2008; ORGIAZZI; PANAGOS, 2018).

Em estudos conduzidos por Gomide, Silva e Soares (2011), em ambientes de voçoroca, localizados no Sul de Minas Gerais, demonstram por vários atributos físicos como, volume total de poros, macro e microporosidade e densidade do solo do atual estágio de degradação. Segundo os autores, a ocorrência da voçoroca ocasionou decréscimo acentuado na fertilidade do solo, expresso, principalmente, por redução nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , K e valores de soma de bases (SB), CTC potencial e CTC efetiva, além de promover perdas no estoque de matéria orgânica do solo. Os atributos biológicos analisados foram sensíveis ao refletirem o estágio de degradação dos ambientes de voçoroca, destacando-se o coeficiente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ), o qual apresentou maiores valores no leito e no ambiente terço médio sem vegetação. Embora tenham sido encontradas espécies de fungos micorrízicos arbusculares em ambientes de voçoroca, o número de esporos foi bastante reduzido nos ambientes mais degradados. Entretanto, a presença de vegetação favoreceu a ocorrência desses microssimbiontes (GOMIDE; SILVA; SOARES, 2011; GOMIDE et al., 2014).

A estimativa da qualidade do solo é realizada a partir de vários indicadores que permitem analisar todas as mudanças ocorridas em determinado ecossistema e quando esses atributos são modificados, muitas vezes afetados pelo manejo incorreto do solo, a resposta é expressa em perda de qualidade e baixa produtividade uma vez todos estão ligados diretamente com a sua funcionalidade (KARLEN; STOTT, 1994; KARLEN et al., 1997; ARSHAD; MATIN, 2002; ANDREWS; KARLEN; CAMBARDELLA, 2004; NIERO et al., 2010; FREITAS et al., 2013).

Propor práticas de manejo que sejam destinadas a proteger a qualidade da água, mitigar a erosão do solo e prevenir a sedimentação dependem substancialmente do diagnóstico feito a partir de informações da qualidade física, química e da biodiversidade. Diante disso, é possível

afirmar que o desenvolvimento da cultura da oliveira depende intrinsecamente da caracterização e avaliação dos indicadores da qualidade do solo.

Portanto, o uso destes indicadores pode auxiliar na tomada de decisão de melhor manejo e prática de conservação, utilizando com foco na recuperação e ou manutenção da produtividade e sustentabilidade da área em estudo.

## REFERÊNCIAS

- ANDREWS, S. S.; KARLEN, D. L.; CAMBARDELLA, C. A. The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 6, p. 1945–1962, 2004.
- ARSHAD, M. A.; COEN, G. M. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 7, n. 1–2, p. 25–31, 1992.
- ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 88, n. 2, p. 153–160, 2002.
- BENIAICH, A. et al. Assessment of soil erosion in olive orchards (*Olea Europaea* L.) Under cover crops management systems in the tropical region of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, e0190088, 2020.
- BERTOL, I.; CASSOL, E. A.; BARBOSA, F. T. Erosão do solo. In: BERTOL, I.; MARIA, I. C. DE; SOUZA, L. DA S. (Eds.). **Manejo e Conservação do Solo e da Água**. Viçosa: SBCS, 2019. p. 423–460.
- BERTONCINI, E.I.; TERAMOTO, J.R.S; PRELA-PANTANO. **Desafios para produção de azeite no Brasil**. 2010. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2010\\_4/DesafioOliva/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2010_4/DesafioOliva/index.htm)>. Acesso em: 26 de abr. 2023.
- BOUYOUCOS, G. J. Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils 1. **Agronomy Journal**, v. 54, n. 5, p. 464–465, 1962.
- CÂNDIDO, B. M. et al. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na bacia do rio Paraná, no leste do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 5, p. 1565–1575, 2014.
- CÂNDIDO, B. M. et al. Métodos de indexação de indicadores na avaliação da qualidade do solo em relação à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 589–597, 2015.
- CANTALICE, J. R. B. et al. Rates and hydraulics of interrill erosion under different slope and mulch. **Caatinga**, v. 22, n. 2, p. 68-74, 2009.
- CARDOSO, E. J. B. N. et al. Soil health: Looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agricola**, v. 70, n. 4, p. 274–289, 2013.
- CARDOSO, E. L. et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 6, p. 631–637, 2009.
- CARNEIRO, M. A. C. et al. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 4, p. 276-283, 2008.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 743–753, 2003.

COGO, N. P.; MOLDENHAUER, W. C.; FOSTER, G. R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, n. 2, p. 368–373, 1984.

COUTINHO, E. F.; RIBEIRO, F. C.; CAPPELLARO, T. H. (Ed.). Cultivo de oliveira (*Olea europaea* L.) Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. p. 17-17

COUTINHO, E. F. et al. Clima. In: COUTINHO, E. F.; RIBEIRO, F. C.; CAPPELLARO, T. H. (Ed.). Cultivo de oliveira (*Olea europaea* L.) Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. p. 21-28.

CRUZ, M. et al. Botânica, anatomia e ecofisiologia. In: OLIVEIRA, A. F. de. **Oliveira no Brasil: tecnologias de produção**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2012, p. 119–158.

CUNHA, J. M. D., et al. Atributos físicos e estoque de carbono do solo em áreas de Terra Preta Arqueológica da Amazônia. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, p. 263-281, 2017.

D'ANDRÉA, A. F. et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 913–923, 2002.

FREITAS, D. A. F. de et al. Physical Indicators of Soil Quality in Oxisols Under Brazilian Cerrado. **Soil Processes and Current Trends in Quality Assessment**, IntechOpen, cap. 3, p. 87-110. 2013.

DORAN, J.W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America Proceedings, 1994. p. 3-21.

EPAMIG. **Azeites da Serra da Mantiqueira e do Sul do Brasil conquistam medalhas em concurso internacional**. Disponível em: <<https://epamig.wordpress.com/2022/02/21/epamig-aco>>. Acesso em: 22 jan. 2022.

FAO. **Land & Water**. Disponível em: <<https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/olive/en>>. Acesso em: 22 jan. 2022.

FERREIRA, G. M. DOS R. et al. Fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento de mudas de oliveira (*Olea europaea* L.) cultivadas no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 361–366, 2015.

FILHO, A. DA F.; VIEIRA, A. F. S. G. A utilização de fitomassa na recuperação de solo degradado – Vila Buriti / Manaus (AM). Article history : **Mercator**, v. 18, p. 1–16, 2019.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Olive**. Disponível em: <<https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/olive/en/>>. Acesso em: 30 de out. 2021.

FOSTER, G. R; JOHNSON, C. B; MOLDENHAUER, W. C. Hydraulic breaking of unanchored corn and wheat straws for erosion control. **Transações da ASAE**, v. 25, n. 4, p. 940-0947, 1982.

FREITAS, D. A. F. D. et al. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente 1 Soil quality indexes under different forestry and adjacent native scrubland use and. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, n. 3, p. 417–428, 2012.

GOBBATO, C. **Cultura da oliveira e noções sobre a industrialização das azeitonas**. Porto Alegre: Intermédio, 1945. p. 118.

GÓMEZ, J. A. et al. Olive Cultivation, its Impact on Soil Erosion and its Progression into Yield Impacts in Southern Spain in the Past as a Key to a Future of Increasing Climate Uncertainty. **Agriculture**, v. 4, n. 2, p. 170–198, 2014.

GOMIDE, P. H. O. et al. Vegetation characterization in gully areas as basis for soil conservation. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, p. 149-159, 2014.

GOMIDE, P. H. O.; SILVA, M. L. N.; SOARES, C. R. F. S. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 567–577, 2011.

GUIMARÃES, D. V. et al. Dynamics and losses of soil organic matter and nutrients by water erosion in cover crop management systems in olive groves, in tropical regions. **Soil and Tillage Research**, v. 209, e104863, 2021.

HUDSON, N.W. **Soil conservation**. 3. ed. Ames: Iowa State University, 1995. p. 391.

IOC. **WORLD OLIVE OIL STATISTIC**. Disponível em: <<https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2021/02/IOC-Import-profiles-Brazil-2019-20-rev0.html#world-olive-oil-and-olive-pomace-oil-main-import-countries>> Acesso em: 03 de jan. 2022.

KARLEN, D. L. et al. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 4–10, 1997.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. **Defining soil quality for a sustainable environment**, v. 35, p. 53–72, 1994.

LIMA, G. C. et al. Spatialization of soil quality index in the Sub-Basin of Posses, Extrema, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 78–84, 2016.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Balança Comercial do Agronegócio – Março/2015**. Secretaria de Relações Internacionais do Agronegócio, 2015.

Disponível em: <[https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/exportacoes-do-agronegocio-somam-us-5-67-bilhoes-em-janeiro/01\\_2021BalanaComercialdoAgronegocioResumida](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/exportacoes-do-agronegocio-somam-us-5-67-bilhoes-em-janeiro/01_2021BalanaComercialdoAgronegocioResumida)> Acesso em: 31 de out. 2021.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Balança Comercial do Agronegócio – Janeiro/2021**. Secretaria de Relações Internacionais do Agronegócio, 2015. Disponível em: <[https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/exportacoes-do-agronegocio-somam-us-5-67-bilhoes-em-janeiro/01\\_2021BalanaComercialdoAgronegocioResumida](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/exportacoes-do-agronegocio-somam-us-5-67-bilhoes-em-janeiro/01_2021BalanaComercialdoAgronegocioResumida)> Acesso em: 31 out. 2021.

MERLO, M. N. et al. Microbiological properties in cropping systems and their relationship with water erosion in the brazilian cerrado. **Water**, v. 14, n. 4, p. 1–15, 2022.

MOREIRA, F. M. DE S.; SIQUEIRA, J. O. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, n. 2, p. 195–276, 2002.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRCC. Soil and water quality: an agenda for agriculture. Washington, DC: **National Academy Press**. 1993. p. 542.

NETTO, I. T. P.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1441–1448, 2009.

NEVES, C. M. N. et al. Indicadores biológicos da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 1, p. 105–112, 2009.

NIERO, L. A. C. et al. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1271–1282, 2010.

ORGIAZZI, A.; PANAGOS, P. Soil biodiversity and soil erosion: It is time to get married: Adding an earthworm factor to soil erosion modelling. **Global Ecology and Biogeography**, v. 27, n. 10, p. 1155–1167, 2018.

PANACHUKI, E. et al. Soil and water loss and water infiltration in red latosol under different management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1777–1785, 2011.

PANAGOS, P. et al. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. **Land Use Policy**, v. 48, p. 38–50, 2015.

PEPPER, I. L.; BROOKS, J. P. Soil microbial influences on “One Health”. In: TERRY J. GENTRY; FUHRMANN, J. J.; ZUBERER, D. A. (Eds.). **Principles and Applications of Soil Microbiology**. 3<sup>a</sup> ed. Elsevier, 2021. p. 681–700.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2. ed. Barueri, SP: Manole, 2012.

RESENDE, M. et al. Propriedades do solo e interpretação. In: RESENDE, M. et al. **Pedologia**

**base para distinção de ambientes.** 6º Ed. Editora UFLA, Lavras, MG, p. 378, 2014.

SANTOS, W. P. DOS et al. Soil quality assessment using erosion-sensitive indices and fuzzy membership under different cropping systems on a Ferralsol in Brazil. **Geoderma Regional**, v. 25, e00385, 2021.

SANTOS, G. G. et al. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1339–1348, 2011.

SILVA, A. M. M.; ARAÚJO, V. L. P. DE; BARROS, T. H. DA S. A Saúde dos solos agrícolas frente às mudanças climáticas globais. **A Sustentabilidade Ambiental da Agricultura e de Florestas Tropicais: Uma Visão Científica, Ecológica, Política e Social**, 2021.

SILVA, T. M. **Caracterização da estrutura da cadeia produtiva da olivicultura no estado do Rio Grande do Sul: o caso das propriedades rurais de Cachoeira do Sul.** 2013. 76 f. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – UFRGS, Faculdade de Ciências Econômicas, Porto Alegre/RS. 2013. p. 76

TOMBESI, A. et al. **Production techniques in olive growing.** Madrid: International Olive Council, 2007. p. 348

ZHANG, T; WANG, X. Erosion and global change. In: Chesworth W, editor. Encyclopedia of soil science. **New York: Marel Dekker**; p. 419-21. 2002.

ZONTA, J. H. et al. Práticas de Conservação de Solo e Água. **Circular Técnica 133**, 2012. p. 9

## **ARTIGO 1 - Manejo da cobertura do solo na cultura da oliveira (*Olea europaea* L.) melhoram os indicadores do solo, em uma Região Tropical**

Management of soil cover in the olive tree (*Olea europaea* L.) improves soil indicators in the Tropical Region

### **RESUMO**

A oliveira (*Olea europaea* L.) é uma cultura trazida da região do Mediterrâneo que nas últimas décadas foi introduzida no Brasil e tem como principal produto o azeite. A cultura trouxe consigo diversos desafios relacionados ao seu cultivo e manejo, e estes impactam diretamente à microbiota do solo. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da posição de coleta de solo na parcela, tamanho do agregado do solo e o manejo da cobertura da oliveira sobre os indicadores químicos e biológicos do solo na região tropical do sudeste do Brasil. O experimento foi conduzido em blocos inteiramente casualizados, arranjados em esquema fatorial de 2x3x5, com três repetições. Os fatores considerados foram: duas posições na parcela padrão (subparcelas no terço superior e inferior), três tamanhos de agregados do solo (8-4 mm, 4-2 mm e 2-0 mm) e cinco manejo de cobertura [oliveira cultivada em solo descoberto (OD); oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo roçada (OVR); oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo do coroamento e roçada (OVRC); oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo de herbicida (OVH); e solo descoberto (SD)]. O procedimento experimental consistiu na coleta de uma amostra composta por subparcela em uma profundidade de 0-5 cm. Os indicadores biológicos avaliados foram o carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), quocientes metabólicos ( $q\text{CO}_2$ ), proteína do solo relacionada à glomalina facilmente extraível (GFE) e atividades de  $\beta$ -glucosidase ( $\beta$ -Glu). Os indicadores químicos avaliados foram os parâmetros de fertilidade do solo e matéria orgânica do solo (MO). Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de médias, além de análise de componentes principais. Os resultados relacionados aos indicadores químicos apenas o pH apresentou diferença significativa sob o efeito da posição da subparcela e H+Al apresentou diferença significativa sob o efeito da interação dos fatores. Por outro lado, quando relacionados ao manejo de cobertura do solo, o pH, K, Ca, Mg, t, SB (soma de base) e MOS apresentaram maiores valores em OVR e OVRC. A H+Al apresentou valores semelhantes nos manejos OD, OVH e SD. Quanto aos bioindicadores, elevados valores foram encontrados em RBS e  $q\text{CO}_2$  nos terços inferiores das subparcelas. Maiores valores de  $\beta$ -Glu e GFE no agregado de tamanho <2 mm. Elevados valores de CBM, RBS foram encontrados em OVR e valores semelhantes de  $q\text{CO}_2$ ,  $\beta$ -Glu e GFE foram encontrados em OVR e OVRC quando relacionados ao manejo da cobertura do solo. A análise de componentes principais apresentou elevada variação, no entanto, grande parte dos indicadores químicos e biológicos foram mais expressivos em OVR e OVRC. O manejo de cobertura como em OVR e OVRC proporcionaram maior acúmulo de matéria orgânica e consequentemente, favorecem os principais processos microbianos, contribuindo assim para uma melhor saúde do solo.

**Palavras-chave:** Olivicultura. Bioindicadores do solo. Matéria orgânica. Agregados do solo.

## ABSTRACT

The olive tree (*Olea europaea* L.) is a crop brought from the Mediterranean region that in the last decades was introduced in Brazil and its main product is olive oil. The crop brought with it several challenges related to its cultivation and management, and these directly impact the soil microbiota. The objective of this study was to evaluate the effect of soil collection position in the plot, soil aggregate size, and olive cover crop management on soil chemical and biological indicators in the tropical region of southeastern Brazil. The experiment was conducted in entirely randomized blocks, arranged in a 2x3x5 factorial scheme, with three repetitions. The factors considered were: two positions in the standard plot (subplots in the upper and lower third), three soil aggregate sizes (8-4 mm, 4-2 mm and 2-0 mm) and five cover crop management [olive grown in bare soil (OD); olive trees under cover (OD); olive trees under cover (OVR); olive trees under cover (OVRC); olive trees under cover (OVH); and bare ground (SD)]. The experimental procedure consisted of collecting one composite sample per subplot at a depth of 0-5 cm. The biological indicators evaluated were microbial biomass carbon (MBM), soil basal respiration (SBR), metabolic quotients (qCO<sub>2</sub>), easily extractable glomalin-related soil protein (GFE), and  $\beta$ -glucosidase ( $\beta$ -Glu) activities. The chemical indicators evaluated were soil fertility parameters and soil organic matter (MO). Data were submitted to analysis of variance and test of means, in addition to principal component analysis. The results related to the chemical indicators only pH showed significant difference under the effect of the subplot position and H+Al showed significant difference under the effect of the interaction of factors. On the other hand, when related to soil cover management, pH, K, Ca, Mg, t, SB (base sum) and MOS presented higher values in OVR and OVRC. H+Al showed similar values in OD, OVH, and SD management. As for bioindicators, high values were found in RBS and qCO<sub>2</sub> in the lower thirds of the subplots. Higher values of  $\beta$ -Glu and GFE in the aggregate size <2 mm. High values of CBM, RBS were found in OVR and similar values of qCO<sub>2</sub>,  $\beta$ -Glu and GFE were found in OVR and OVRC when related to land cover management. Principal component analysis showed high variation, however, most of the chemical and biological indicators were more expressive in OVR and OVRC. The management of cover as in OVR and OVRC provided greater accumulation of organic matter and consequently favor the main microbial processes, thus contributing to better soil health.

**Keywords:** Olive growing. Soil bioindicators. Cover management.

## 1 INTRODUÇÃO

Originária da região do Mediterrâneo, a oliveira (*Olea europaea* L.) é uma espécie introduzida em quase todos os continentes do mundo e de grande importância econômica principalmente no Sul da Europa devido às qualidades particulares dos seus produtos (OLIVEIRA, 2012; FAO, 2019). No Brasil, a cultura vem despertando interesse em muitos agricultores, particularmente nas regiões Sul e Sudeste (VILLA; OLIVEIRA, 2012). Todavia, essa crescente demanda pela olivicultura depara em problemas como escassez de legislação, e déficits técnicos variados, como a falta de materiais genéticos, de incentivos governamentais, do lançamento de novas cultivares adequadas, de técnicas sobre o seu cultivo, de manejo apropriado e, principalmente, condições do solo (COSTA; MELLONI; FERREIRA, 2019; FERREIRA et al., 2015; NETO, 2014; TEJERO; ROSA, 2020; TERAMOTO; BERTONCINI; PRELA-PANTANO, 2013).

Os estudos visando as melhores condições de manejo do solo para o cultivo da oliveira podem ser um fator chave para o aumento da produtividade dessa cultura na Região Tropical. A oliveira é uma cultura que apresenta alta susceptibilidade à erosão hídrica, uma vez que apresenta pouca área foliar e, quando adulta, requer podas e grande espaçamento devido suas necessidades fisiológicas, acarretando menor proteção do solo, comprometendo a sua sustentabilidade e causando um grande impacto ambiental (GUIMARÃES et al., 2018). Essa suscetibilidade dos solos de olivais à erosão pode ocasionar redução significativa da qualidade do solo agrícola, impactando diretamente na sustentabilidade do seu cultivo.

Manter a cobertura do solo em qualquer condição, e especialmente em olivais, têm trazido grandes respostas positivas por proteger e preservar a biodiversidade, manutenção dos serviços ecossistêmicos, contribuindo assim para a redução de perdas de solo e água, nutrientes e matéria orgânica, principalmente quando a cultura está instalada em áreas de declives (GÓMEZ et al., 2014; GUIMARÃES et al., 2018). Apesar das plantas de cobertura não resultarem em retorno econômico de forma visível aos produtores, o retorno ambiental torna essas plantas muito importantes, considerando que no ano de 2012 a Organização Nacional das Nações Unidas (ONU) instituiu 17 objetivos para superar os desafios que vem sofrendo a humanidade, dentre eles, a agricultura sustentável (MILGROOM et al., 2007; ONU, 2015). Além disso, o aumento do carbono orgânico em determinada área, pode contribuir para o sequestro de carbono, agregação do solo, ciclagem de nutrientes, melhor atividade microbiana, entre tantos outros benefícios.

O solo é o principal componente do meio ambiente onde ocorrem os processos biogeoquímicos que garantem a manutenção da vida na terra. Medidas que preconizam sua sustentabilidade são cada vez mais essenciais (MESQUITA; NAVARRO; COSTA, 2012), principalmente no ambiente agrícola, evitando assim a diminuição de sua qualidade. Doran e Parkin (1994) definiram a qualidade do solo como “*a capacidade de um solo de funcionar nos limites do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde vegetal e animal*”. Ao propor essa definição, os autores destacaram fortemente a funcionalidade do solo dentro do ambiente e no sistema produtivo, portanto, escolhas de manejos agrícolas que visam a qualidade do solo também levarão a aumento da produtividade, em curto, médio e longo prazo.

Os impactos positivos e negativos na qualidade do solo ocasionados por práticas de manejo em sistemas agrícolas são observados através da utilização de diversos indicadores físicos, químicos, microbiológicos e bioquímicos. A escolha dos atributos do solo que melhor indicam a sua qualidade devem, portanto, conciliar a manutenção da biodiversidade ativa e a obtenção de grandes produções (SAIKIA et al., 2020), ou seja, devem atingir uma métrica que indique a sustentabilidade da produção. De forma individual, os bioindicadores (indicadores biológicos) são mais eficientes em responder de forma rápida às mudanças que ocorrem no manejo aplicado no solo, quando comparados aos indicadores físicos e químicos, retratando desta forma a importância da atuação dos microrganismos no funcionamento do solo e na sustentabilidade ambiental (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002; ZUAZO et al., 2020).

Apesar de suas rápidas respostas devido a aplicação de um determinado manejo, esses bioindicadores não podem ser analisados de forma isolada, uma vez há uma inter-relação entre os componentes químicos e físicos do solo que atuam sobre a funcionalidade do sistema solo-planta que envolvem estruturação do solo por meio da estabilidade de agregados, impedem a compactação e aumentam a porosidade resultando em uma melhor infiltração de água no solo, além da sua contribuição na disponibilização de nutrientes para as plantas (RILLING; MUMMEY, 2006; GOMES, 2021).

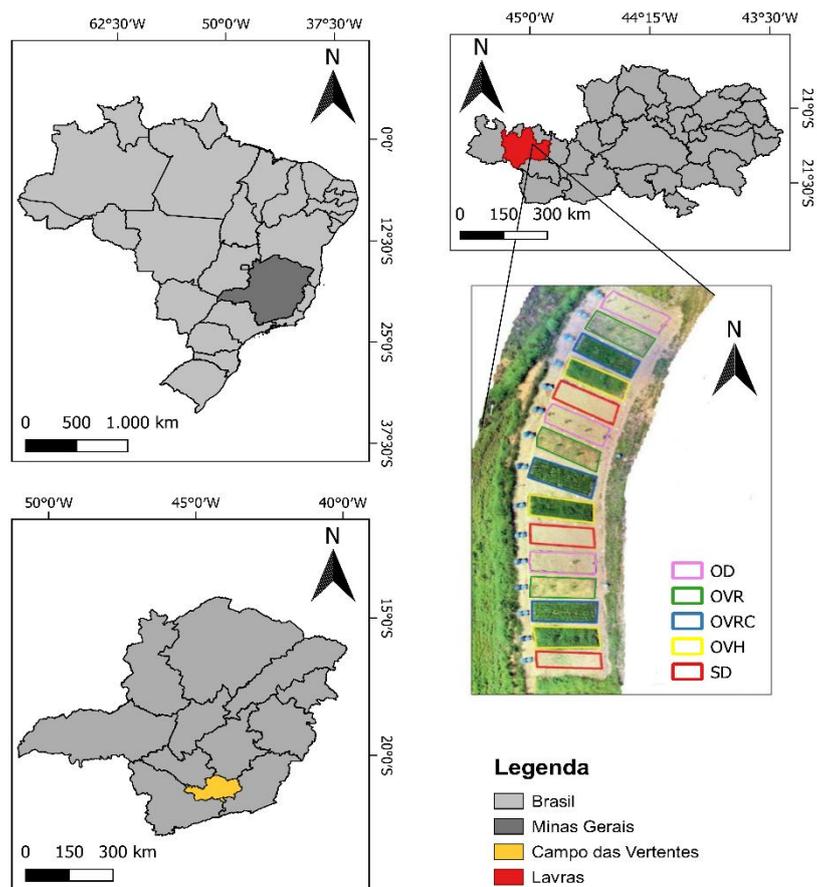
Dessa forma, o objetivo do estudo foi avaliar como os indicadores microbiológicos do solo são influenciados pela posição na parcela padrão, tamanho do agregado do solo e diferentes manejos de cobertura do solo, em um olival na Região Tropical. As hipóteses do estudo são que as práticas de manejo da cobertura do solo na olivicultura aumentam a qualidade do solo de cultivo, e que essa melhora na qualidade do solo pode ser quantificada por meio de indicadores químicos, físicos e biológicos do solo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de Estudo e descrição do experimento

O experimento foi conduzido no setor de Fruticultura da Universidade Federal de Lavras - UFLA (Figura 1), localizada no município de Lavras, sul de Minas Gerais, a 910 m de altitude, latitude 21° 14' 06'' Sul e longitude de 45° 00' 00'' Oeste. O clima local, segundo a classificação de Köppen adaptada por Peel et al. (2007) é Cwb, temperado chuvoso, com inverno seco e verão chuvoso e precipitação e temperatura anual média de 1.411 mm e 19,3 °C, respectivamente. O solo foi classificado como um Cambissolo Háplico (EMBRAPA, 2013) correspondente ao Inceptisol na Soil Taxonomy Háplico (SOIL SURVEY STAFF, 2014), e a declividade das parcelas padrão estudadas é de 23% (BENIAICH et al., 2020).

Figura 1 – Localização da área de estudo em Lavras, no Sul de Minas Gerais, Brasil.



Fonte: Adaptado de Beniaich et al (2020).

O experimento foi implantado em 2015, em esquema de blocos inteiramente casualizados, com três repetições. Os tratamentos consistem em cinco sistemas de manejo de cobertura do solo no olival, descritos como: oliveira cultivada em solo descoberto (OD); oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo roçada (OVR); oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo do coroamento e roçada (OVRC); oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo de herbicida (OVH); e solo descoberto (SD). O experimento avaliado nesse estudo considerou um arranjo fatorial de 2x3x5, com três repetições. Os fatores considerados no estudo foram duas posições na parcela padrão, consideradas como subparcelas, localizadas no terço superior e inferior; três tamanhos de agregados do solo (8-4 mm, 4-2 mm e 2-0 mm); e cinco sistemas de manejo de cobertura do solo no olival.

Inicialmente, no ano agrícola 2015/2016 foram implantadas parcelas padrão para avaliação de erosão hídrica em uma área de aproximadamente 720 m<sup>2</sup>. Em cada parcela há quatro plantas de oliveira, objetivando respeitar o espaçamento de 3m x 5m recomendado para a cultura da oliveira no Brasil, exceto nas parcelas de solo descoberto. Foram avaliados no experimento a perda de solo e água nos olivais influenciados por diferentes plantas de cobertura e manejos da cobertura do solo, manejos esses que sofreram modificações ao longo dos anos (Tabela 1).

As mudas de oliveira foram plantadas em covas de 50 dm<sup>3</sup>, em cada cova, 500 g de superfosfato simples, 200 g de KCl, 10 L de esterco curtido e 100 g de calcário (BENIAICH et al., 2019, 2020; GUIMARÃES et al., 2018, 2021). O plantio e adubação pós plantio foi realizada segundo Vieira Neto et al (2014).

A vegetação espontânea era dominada pela presença da espécie *Brachiaria decumbens*, notadamente no verão e na primavera, e também algumas espécies, como: *Ipomoea acuminata*, *Bidens pilosa*, *Oxalis corniculata*, *Digitaria sanguinalis*, *Emilia fosbergii* Nicolson, *Melinis minutiflora*, *Conyza bonariensis*, *Euphorbia heterophylla* e *Eleusine indica*, estas predominantemente no outono e no inverno (GUIMARÃES et al., 2021, BENIAICH et al., 2020, 2021).

Após o ano agrícola 2015/2016, ocorreu a primeira modificação relacionada ao manejo da cobertura. O tratamento conduzido com milho (*Pennisetum glaucum*) foi substituído pela crotalária (*Crotalaria juncea*), pois apesar das melhorias de alguns atributos do solo proporcionados pela ação das raízes e cobertura do solo realizada pela gramínea, o crescimento da parte aérea tornou-se preocupante durante a fase inicial do cultivo das oliveiras (Tabela 1).

A partir da substituição, no ano agrícola de 2016/2017 o experimento passou a ter em seus tratamentos o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e a crotalária (*Crotalaria juncea*), leguminosas essas de rápido crescimento utilizadas como adubação verde e excelentes fixadoras biológicas de nitrogênio, o que conseqüentemente, proporciona a redução de adubação nitrogenada. Após os anos agrícolas de 2016/2017, as leguminosas foram substituídas por outras formas de manejo da vegetação espontânea (Tabela 1). Ao fim terceiro ano agrícola, o experimento passou a ter a configuração aqui avaliada os tratamentos OSD, OVR, OVRC, OVH e SD (BENIAICH et al., 2020; GUIMARÃES et al., 2018) (Tabela 1).

Tabela 1 – Histórico do manejo das parcelas padrão de perdas de solo e água da área experimental, UFLA, MG.

Tratamentos	2015/2016	2016/2017	2017 até 2021
OD	Oliveira cultivada em solo descoberto	Oliveira cultivada em solo descoberto;	Oliveira cultivada em solo descoberto;
OVR	Oliveira consorciada com vegetação espontâneas e o manejo roçado	Oliveira consorciada com vegetação espontâneas e o manejo roçado	Oliveira consorciada com vegetação espontâneas e o manejo roçado
OVRC	Oliveira consorciada com feijão-de-porco ( <i>Canavalia ensiformis</i> )	Oliveira consorciada com feijão-de-porco ( <i>Canavalia ensiformis</i> )	Oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo do coroamento e roçada
OVH	Oliveira consorciada com milheto ( <i>Pennisetum glaucum</i> )	Oliveira consorciada com crotalária ( <i>Crotalaria juncea</i> )	Oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo de herbicida
SD	Solo descoberto	Solo descoberto	Solo descoberto

Fonte: Beniaich et al (2020)

## **2.2 Amostragem e preparo do solo**

As coletas de solo foram realizadas em março de 2021 e as análises laboratoriais nos meses posteriores. As 15 parcelas foram divididas em subparcelas (terço superior e inferior) e em cada uma foram coletadas amostras compostas na profundidade de 0-5 cm, somando 30 amostras. Os solos das áreas foram separados em duas partes, uma para análise microbiológica e outra para análises físicas e químicas. Em seguida as amostras foram processadas e peneiradas em tamanhos de agregados de 8-4 mm, 4-2 mm e <2 mm. Após o processamento, as amostras foram armazenadas devidamente até a realização das análises.

As amostras para análise microbiológicas foram armazenadas a 4° C até o momento das análises, que foram realizadas no Laboratório de Biologia, Microbiologia e Processos Biológicos do Solo, e as análises físicas e químicas foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo. Todas as análises foram realizadas no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras.

## **2.3 Caracterização física e química**

Para a caracterização química e física foram realizados os seguintes procedimentos, para análise da textura do solo (Tabela 1) foram utilizados o solo separado nos 3 (três) tamanhos de agregados citadas acima. Foi determinado o pH em H<sub>2</sub>O (1: 2.5 v/v), os teores P e K disponível pelo extrator Mehlich<sup>1</sup> (MEHLICH, 1953); Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> disponíveis pelo extrator KCl (1 mol L<sup>-1</sup>) (MCLEAN et al., 1958); e MO por oxidação com dicromato de potássio em ácido sulfúrico (WALKLEY; BLACK, 1934). A textura foi determinada pelo método de Bouyoucos (1962).

## **2.4 Análises dos bioindicadores**

### **2.4.1 Carbono da biomassa microbiana**

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi quantificado por meio de fumigação e extração (VANCE et al., 1987). Para isso, 20 g de solo foram fumigados com clorofórmio, e o carbono foi extraído com sulfato de potássio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 0,5 mol L<sup>-1</sup>. Amostras não fumigadas também foram submetidas ao mesmo processo e utilizadas como controle. Para a quantificação

do carbono, foi realizada a oxidação com dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ )  $0,066 \text{ mol L}^{-1}$  em chapa aquecedora, com adição dos ácidos sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) e fosfórico ( $H_3PO_4$ ). Por fim, a solução foi titulada com sulfato ferroso amoniacal ( $0,033 \text{ mol L}^{-1}$ ) na presença do indicador difenilamina (1%), observando a mudança de cor azul para a cor verde.

#### **2.4.2 Respiração microbiana do solo**

Para determinar a respiração basal do solo (RBS), 20 g de solo foram incubados em recipientes hermeticamente fechados, junto a um frasco contendo 20 mL de hidróxido de sódio (NaOH)  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , pelo período de três dias à uma temperatura de  $28^\circ\text{C}$ . O  $CO_2$  liberado das amostras foi capturado pela solução de NaOH, e quantificado pela titulação com HCl  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , utilizando fenolftaleína 1% como indicador (ALEF; NANNIPIERI, 1995).

#### **2.4.3 Quocientes metabólico e microbiano**

O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) foi calculado por meio da divisão dos resultados da respiração basal do solo e do carbono da biomassa microbiana, indicando a quantidade de  $CO_2$  evoluído por unidade de biomassa, através da razão RBS/CBM (ANDERSON; DOMSCH, 1993).

#### **2.4.4 Atividade da $\beta$ -glicosidase**

A atividade da enzima  $\beta$ -glicosidase ( $\beta$ -glu) foi avaliada através da metodologia proposta pelos autores Eivazi e Tabatabai (1988). Amostras de 1,0 g de solo foram misturadas em frascos com 1 mL de substrato *p*-nitrofenil- $\beta$ -D glucosídeo. Os frascos, com solo e substratos, foram incubados durante uma hora a temperatura de  $37^\circ\text{C}$ , na presença de tolueno e solução tampão em  $\text{pH} = 6,0$ . Após o período de incubação, a reação foi interrompida com a adição de  $CaCl_2$  ( $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ) e NaOH ( $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ), filtrando-se o sobrenadante (papel Whatman nº 42), e procedendo-se a leitura do *p*-nitrofenol liberado em espectrofotômetro a 410 nm.

#### **2.4.5 Concentrações de glomalina facilmente extraível no solo**

A quantificação da proteína relacionada à glomalina facilmente extraível (GFE) foi obtida a partir de 1 g de solo em 8 mL de tampão citrato (20 mM, pH 7,2) e autoclavada a 121 °C, durante 30 min. A solução foi centrifugada a 3.200 rpm por 15 min. Em seguida, foi realizada a mensuração do volume do sobrenadante e quantificação da amostra extraída em espectrofotômetro, com a utilização de Bradford (BRADFORD, 1976; WRIGHT; UPADHYAYA, 1996) e albumina bovina como proteína padrão para determinar a concentração de GFE.

#### **2.5 Análises estatísticas**

A análise estatística dos dados foi realizada no ambiente estatístico R (R Development Core Team, 2020). Para verificação de distribuição dos dados foram utilizados modelos lineares, sendo estes submetidos a testes de normalidade, heterocedasticidade e variância pela visualização gráfica (KOZAK; PIEPHO, 2018) e testes numéricos (PEÑA; SLATE, 2006). Quando necessário, foram aplicadas transformações de log ou raiz quadrada aos dados, ou utilizado o método de mínimos quadrados generalizados (MENKE, 2015).

A aplicação de transformação logarítmica foi utilizada nas variáveis  $q\text{CO}_2$  e  $\text{Al}^{3+}$ , e transformação quadrática para P. O método de mínimos quadrados generalizado foi utilizado nas variáveis  $\text{Ca}^{2+}$ , SB, t, V e m.

Em seguida, uma análise de componentes principais (PCA) foi realizada como auxílio para entender a variância dos dados e as relações entre os indicadores do solo.

### **3 RESULTADOS**

#### **3.1 Indicadores químicos do solo em função dos fatores posição da subparcela na parcela padrão, tamanho de agregados e manejo da cobertura.**

Não foram observadas diferenças significativas nas variáveis de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) trocáveis, saturação de base (SB), CTC efetiva (t) e CTC potencial (T), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m), matéria orgânica (MO), além dos teores de fósforo (P) e potássio (K) (Tabela 2), no entanto, houve diferença significativa na acidez ativa (pH), onde o terço inferior apresentou maior valor que o terço superior, possivelmente

devido ao empobrecimento do solo no terço superior e acúmulo de sedimentos enriquecidos no terço inferior (GOMIDE et al., 2014).

Tabela 2 – Indicadores químicos em função da posição das subparcela da parcela padrão da área experimental, UFLA, MG.

Indicadores Químicos	Unidades	Posição da subparcela	
		Terço Superior	Terço Inferior
pH	H <sub>2</sub> O	5,17 b	5,28 a
K	mg dm <sup>-3</sup>	237,01	233,63 <sup>ns</sup>
P	mg dm <sup>-3</sup>	4,60	12,20 <sup>ns</sup>
Ca <sup>2+</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>	2,69	2,75 <sup>ns</sup>
Mg <sup>2+</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>	0,92	0,97 <sup>ns</sup>
Al <sup>3+</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>	0,12	0,12 <sup>ns</sup>
H+Al	cmolc dm <sup>-3</sup>	2,28	2,08 <sup>ns</sup>
SB	cmolc dm <sup>-3</sup>	4,21	4,32 <sup>ns</sup>
t	cmolc dm <sup>-3</sup>	4,33	4,44 <sup>ns</sup>
T	cmolc dm <sup>-3</sup>	6,50	6,40 <sup>ns</sup>
V	%	64,27	65,75 <sup>ns</sup>
m	%	3,15	3,71 <sup>ns</sup>
MO	g kg <sup>-1</sup>	29,4	28,7 <sup>ns</sup>

Legenda: As médias seguidas de letras diferentes na linha diferem pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).<sup>ns</sup>: não significativo.

Não foram observadas diferenças significativas nas várias analisadas quando relacionadas com o tamanho dos agregados (Tabela 3).

Tabela 3 – Indicadores químicos em função do tamanho do agregado da área experimental, UFLA, MG.

Indicadores Químicos	Unidades	Tamanho do agregado		
		8-4 cm	4-2 cm	<2 cm
pH	H <sub>2</sub> O	5,21	5,19	5,28 <sup>ns</sup>
K	mg dm <sup>-3</sup>	238,00	237,40	230,64 <sup>ns</sup>
P	mg dm <sup>-3</sup>	1,49	1,55	2,53 <sup>ns</sup>
Ca	cmolc dm <sup>-3</sup>	2,74	2,75	2,66 <sup>ns</sup>
Mg	cmolc dm <sup>-3</sup>	0,95	0,95	0,93 <sup>ns</sup>
Al	cmolc dm <sup>-3</sup>	0,11	0,14	0,11 <sup>ns</sup>
H+Al	cmolc dm <sup>-3</sup>	2,28	2,29	1,97 <sup>ns</sup>
SB	cmolc dm <sup>-3</sup>	4,30	4,31	4,19 <sup>ns</sup>
t	cmolc dm <sup>-3</sup>	4,40	4,45	4,30 <sup>ns</sup>
T	cmolc dm <sup>-3</sup>	6,58	6,60	6,16 <sup>ns</sup>
V	%	64,33	64,24	66,46 <sup>ns</sup>
m	%	2,93	3,99	3,36 <sup>ns</sup>
MO	g kg <sup>-1</sup>	28,4	29,7	29,0 <sup>ns</sup>

Legenda: <sup>ns</sup>: não significativo.

O manejo da cobertura do solo não influenciou significativamente os teores de P e na saturação por alumínio, porém, valores mais altos desses indicadores foram encontrados em OVRC e SD, respectivamente (Tabela 4). Já os demais indicadores químicos apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para o manejo da cobertura vegetal (Tabela 4).

O manejo de cobertura SD apresentou o menor valor de pH, sendo estes reflexos da condição natural do solo, com altos teores de Al, H+Al (0,49, e 2,68 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) e m (15,13%) (Tabela 4). Esses resultados pouco diferiram de OVH e OD que também apresentaram elevada acidez do solo. Os manejos de OVR e OVRC não apresentaram diferenças entre si quanto ao

pH, sendo estes valores diretamente influenciados pelos valores de Ca e Mg encontrados nas parcelas.

Tabela 4 – Indicadores químicos do solo em função do manejo de cobertura da área experimental, UFLA, MG.

Cobertura do Solo	Indicadores Químicos do Solo															
	pH	K	P	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V	m	MO	Argila	Silte	Areia
	---- mg dm <sup>-3</sup> ----			----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						----- % -----		g kg <sup>-1</sup>	----- % -----			
OD	5,28 ab	231,65 b	8,76 <sup>ns</sup>	2,64 b	0,70 b	0,25 b	2,17 ab	4,07 b	4,15 b	5,78 c	66,5 b	2,92 <sup>ns</sup>	21,0 b	37,17	18,33	44,50
OVR	5,37 a	339,35 a	4,34	3,33 ab	1,29 a	0,24 b	1,85 b	5,72 a	5,82 a	6,95 ab	76,3 a	1,89	35,0 a	33,50	18,33	48,17
OVRC	5,44 a	305,01 a	12,65	3,70 a	1,32 a	0,28 b	1,83 b	5,86 a	5,96 a	7,23 a	77,8 a	2,19	39,4 a	34,00	17,00	49,00
OVH	5,09 bc	189,98 c	10,99	2,83 b	0,75 b	0,30 b	2,43 a	4,14 b	4,24 b	6,25 bc	63,6 b	3,27	26,3 b	35,33	17,00	47,67
SD	4,94 c	110,74 c	5,25	3,25 ab	0,65 b	0,47 a	2,68 a	4,35 b	4,53 b	6,03 c	62,5 b	15,13	23,5 b	35,00	16,67	48,33

Legenda: As médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey (p<0,05). OD: oliveira em solo descoberto; OVR: oliveira com vegetação espontânea roçada; OVRC: oliveira com vegetação espontânea, roçagem e coroamento; OVH: oliveira consorciada com vegetação espontânea, com o manejo de herbicida e SD: solo descoberto. pH em água, K e P Extrator Mehlich<sup>-1</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup>: KCl<sup>-1</sup> mol/L, H + Al- Extrator: SMP; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) = Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; e Matéria Orgânica do solo (MO) - Oxidação: Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 4N<sup>+</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10N. <sup>ns</sup>= não significativa

Quanto aos resultados referentes à interação dos fatores (posição da subparcela, diferentes tamanhos dos agregados e manejo da cobertura) entre os indicadores químicos avaliados, a H+Al foi o único indicador que apresentou diferença significativa. Ao observar a interação do terço inferior, cada agregado do solo individualizada e o manejo de cobertura, os tamanhos de agregados de 8-4 mm e 2-0 mm sob os manejos de coberturas OVH e SD apresentaram os maiores valores (Tabela 5). Nos agregados de 4-2 mm não foram encontradas diferenças significativas em função do manejo de cobertura. Ao observar a interação do terço inferior, tamanho do agregado e o manejo de cobertura, foi encontrada diferença significativa apenas no manejo de cobertura OVRC onde os agregados 4-2 mm apresentaram maior valor que os demais (Tabela 5).

Quanto aos resultados influenciados pela interação do terço superior, tamanho do agregado individualizada e o manejo de cobertura, em todos os tamanhos (8-4 mm, 4-2 mm < 2 mm) o manejo de cobertura SD apresentou os maiores valores (Tabela 5). Ao observar a interação entre o terço superior, tamanho do agregado e o manejo de cobertura, foi encontrada diferença significativa apenas no manejo de cobertura OVR, onde o agregado 8-4 mm apresentou maior teor que as demais.

Tabela 5 – Diferença de acidez potencial influenciada pela interação dos fatores (posição da parcela, tamanho do agregado e manejo da cobertura do solo) da área experimental UFLA, MG.

Indicador Químico	Tamanho do agregado	Manejo da Cobertura do Solo				
		OD	OVR	OVRC	OVH	SD
Terço Superior						
H+Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	8-4 mm	2,33 ab	3,07 Aa	1,73 b	2,37 ab	2,70 a
	4-2 mm	2,47 ab	1,67 Bb	1,67 b	2,50 ab	3,03 a
	2-0 mm	2,23 ab	1,47 Bb	1,53 b	2,2 ab	3,1 a
Terço Inferior						
H+Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	8-4 mm	2,23 ab	1,53 b	1,77 Bab	2,57 a	2,53 a
	4-2 mm	1,83	2,00	2,60 A	2,6	2,37 <sup>ns</sup>

---

2-0 mm	1,90 ab	1,37 b	1,47 Bab	2,37 a	2,1 ab
--------	---------	--------	----------	--------	--------

---

Legenda: As médias seguidas de letras diferentes diferem pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Letras maiúsculas na coluna diferem quando relacionados os tamanhos de agregados em determinado manejo de cobertura. Letras minúsculas diferem quando relacionados os manejos de cobertura em cada tamanho de agregado. OD: Oliveira em solo descoberto, OVR: Oliveira com vegetação espontânea roçada, OVRC: Oliveira com vegetação espontânea, roçagem e coroamento, OVH: Oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo de herbicida e SD: Solo descoberto. <sup>ns</sup>: não significativo.

### 3.2 Indicadores biológicos do solo em função dos fatores posição da subparcela na parcela padrão, tamanho de agregados e manejo da cobertura.

O efeito da posição das subparcelas foi significativo nos indicadores RBS e  $qCO_2$ , onde o terço inferior das parcelas apresentaram maiores valores que o terço superior. No entanto, não foram observadas diferenças significativas nas variáveis CBM,  $\beta$ -glu e GFE ( $p < 0,05$ ) como observado na Tabela 6.

Tabela 6 – Indicadores biológicos do solo em função da posição da subparcela da parcela padrão da área experimental, UFLA, MG.

<b>Indicadores biológicos do Solo</b>					
<b>Posição da subparcela</b>	<b>CBM</b>	<b>RBS</b>	<b><math>qCO_2</math></b>	<b><math>\beta</math>-Glicosidade</b>	<b>GFE</b>
	(mgC g solo)	( $\mu$ gC-CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> 72h <sup>-1</sup> )	( $\mu$ gC-CO <sub>2</sub> $\mu$ g CBM <sup>-1</sup> 72h <sup>-1</sup> )	( $\mu$ g PNP g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	(mg g <sup>-1</sup> )
Superior	394,82 a	1,34 b	1,11 b	1373,92 a	0,86 a
Inferior	360,99 a	1,58 a	1,40 a	1494,15 a	0,83 a

Legenda: As médias seguidas de letras diferentes na linha diferem pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Foram observados que o teor de carbono microbiano (CBM) diminuiu à medida que o tamanho do agregado do solo também diminuiu (Tabela 7). O contrário ocorreu na respiração basal (RBS) e no quociente metabólico ( $qCO_2$ ), onde os maiores valores foram observados nos maiores tamanhos de agregados do solo (8-4 mm) e os menores valores foram observados nos menores tamanhos de agregados do solo (2-0 mm), se comportando de forma inversamente

proporcional. Apesar das médias demonstrarem variação, em CBM, RBS e  $q\text{CO}_2$  elas não apresentaram diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ , Tabela 7).

Por outro lado, no indicador  $\beta$ -glu, foi observado um decréscimo da atividade enzimática à medida que diminuía o tamanho do agregado do solo, sendo que o menor agregado (2-0 mm) apresentou maior atividade enzimática, enquanto o maior agregado (8-4 mm) apresentou menor atividade. Este mesmo comportamento se repetiu para os dados relacionados à concentração da proteína do solo relacionada à glomalina facilmente extraível (GFE). Foram encontradas diferenças estatisticamente significativas em  $\beta$ -glu e GFE ( $p < 0,05$ ).

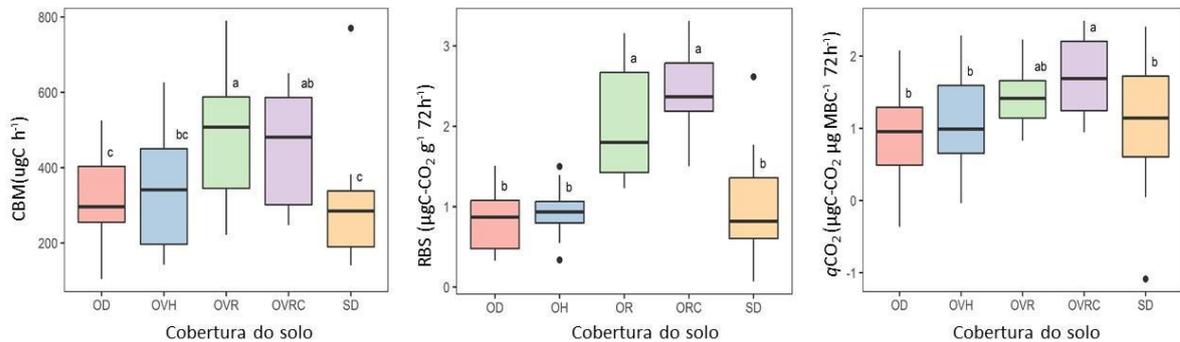
Tabela 7 – Indicadores biológicos do solo em função do tamanho do agregado da área experimental, UFLA, MG.

Tamanho do agregado	Indicadores biológicos do Solo				
	CBM	RBS	$q\text{CO}_2$	$\beta$ -Glicosidade	GFE
	(mgC g solo)	( $\mu\text{gC-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ 72h}^{-1}$ )	( $\mu\text{gC-CO}_2 \mu\text{g CBM}^{-1} \text{ 72h}^{-1}$ )	( $\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )	(mg g <sup>-1</sup> )
8-4 mm	384,64 <sup>ns</sup>	1,34 <sup>ns</sup>	3,78 <sup>ns</sup>	1191,64 b	0,75 b
4-2 mm	378,39	1,50	4,37	1394,91 b	0,86 ab
2-0 mm	370,68	1,55	4,81	1715,55 a	0,92 a

Legenda: As médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). <sup>ns</sup> = não significativo.

Os valores do carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ) do solo foram sensíveis em captar diferenças entre os diferentes manejos de cobertura ( $p < 0,05$ , Figura 2).

Figura 2 – Carbono microbiano (CBM), respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ) em função do manejo de cobertura.



Legenda: As médias seguidas de letras diferentes diferem pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). OD: Oliveira em solo descoberto, OVR: Oliveira com vegetação espontânea roçada, OVRC: Oliveira com vegetação espontânea, roçagem e coroamento, OVH: Oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo de herbicida e SD: Solo descoberto. <sup>ns</sup>: não significativo.

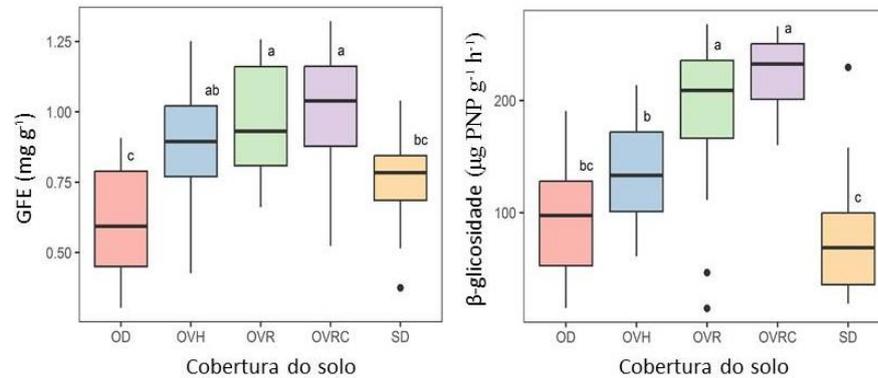
O maior valor de CBM foi observado em OVR e OVRC e o menor valor em SD, apresentando uma redução de aproximadamente 40% influenciado pelo manejo da cobertura do solo (Figura 2).

Através da comparação de médias foi possível observar que em OVH, a utilização de herbicida afeta significativamente a comunidade microbiana do solo, uma vez que a mesma tem valores semelhantes no teor de CBM e não apresenta diferença significativa em RBS e  $q\text{CO}_2$  quando comparada com os tratamentos de SD e OD (Figura 2).

A GFE apresentou diferenças significativas em função dos manejos de cobertura ( $p < 0,05$ , Figura 3). A concentração de GFE variou de 0,61 a 1,01  $\text{mg g}^{-1}$ , sendo estes valores encontrados nos manejos de oliveira descoberta (OD) e oliveira com vegetação espontânea, roçagem e coroamento (OVRC), respectivamente. De modo geral, observou-se maior concentração de GFE em OVR e OVRC, enquanto que OD, OVH e SD apresentaram as menores concentrações, seguindo a mesma tendência que a CBM e MOS.

A atividade enzimática  $\beta$ -Glu também apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ , Figura 3). A atividade enzimática variou de 222,87 a 81,11  $\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , sendo estes valores encontrados nos manejos de oliveira descoberta (OD) e oliveira com vegetação espontânea, roçagem e coroamento (OVRC), respectivamente. As maiores atividades enzimáticas foram encontradas em OVR e OVRC. Do contrário, OD, OVH e SD apresentaram as menores atividades. A ausência de cobertura vegetal na entrelinha da oliveira apresentou uma redução de 63,61% da atividade enzimática.

Figura 3 – Glomalina facilmente extraível (GFE) e  $\beta$ -glicosidase ( $\beta$ -glu) em função do manejo de cobertura.

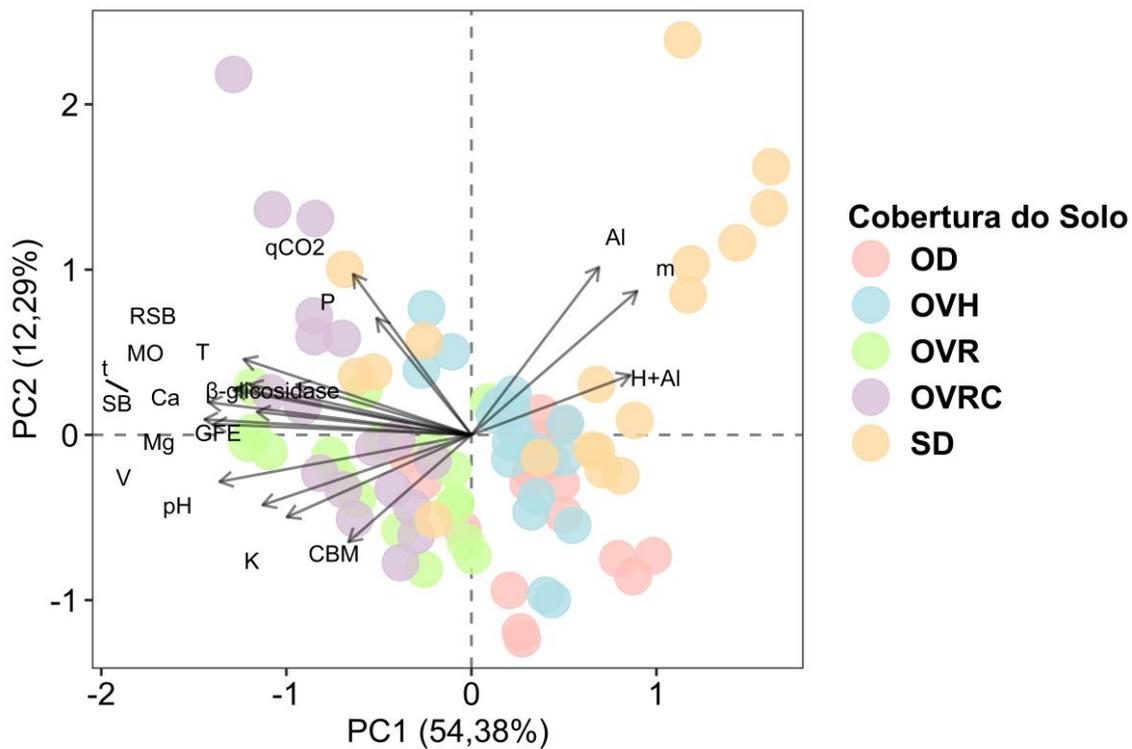


Legenda: As médias seguidas de letras diferentes diferem pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). OD: Oliveira em solo descoberto, OVR: Oliveira com vegetação espontânea roçada, OVRC: Oliveira com vegetação espontânea, roçagem e coroamento, OVH: Oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo de herbicida e SD: Solo descoberto. <sup>ns</sup>: não significativo.

### 3.3 Relação entre os indicadores químicos e microbiológicos

Ao observar em conjunto todos os indicadores, os resultados da PCA explicaram 66,67 % da variância dos dados (Figura 4). Os indicadores H+Al, m e Al são mais expressivos nos tratamentos OD, OVH e SD consequentemente pela falta de cobertura ocasionada pelos manejos. Já os indicadores pH, Mg, Ca, P, K, t, T, V, MO, CBM, RBS,  $q\text{CO}_2$ , GFE e  $\beta$ -glu explicaram melhor as parcelas de OVR e OVRC, sendo eles os melhores indicativos de qualidade do solo beneficiados pela presença de cobertura nas parcelas monitoras.

Figura 4 – Análise dos componentes principais (PCA) de indicadores químicos e biológicos.



Legenda: OD: Oliveira em solo descoberto, OVR: Oliveira com vegetação espontânea roçada, OVRC: Oliveira com vegetação espontânea, roçagem e coroamento, OVH: Oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo de herbicida e SD: Solo descoberto.

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 Indicadores químicos do solo em função dos fatores posição da subparcela na parcela padrão, tamanho de agregados e manejo da cobertura.

O pH é uma variável de grande importância para relação solo-planta, pois interfere diretamente na disponibilidade de nutrientes no solo. Em nosso estudo foi observado que, apesar da diferença influenciada pela posição da subparcela, manejo da cobertura e tamanho do agregado do solo, nota-se que o pH ainda se encontra de forma ácida devido ser uma característica de grande parte dos solos tropicais, com intensas precipitações que favorece ao intenso intemperismo e conseqüentemente que a mineralogia do solo seja mais caulinítica e oxidica, favorecendo à maior acidez. A oliveira é originalmente e predominantemente cultivada em solos neutros a alcalinos, apresentando uma maior dificuldade de desenvolvimento em solos ácidos, pois devido ao baixo valor de pH, diversos nutrientes se tornam inacessíveis para as plantas (NICOLODI et al., 2009).

Nos manejos de OVRC e OVR, os resultados apontam que agregados maiores que 2 mm carregam uma maior acidez. O acúmulo da matéria orgânica e mineralização dos resíduos vegetais na superfície provocam acidificação nos primeiros centímetros do solo e apesar da oliveira ser uma espécie de pouca exigência nutricional, a elevação de acidez é um fator determinante no desenvolvimento desde a instalação do pomar até a produção de seus frutos (NICOLODI et al., 2009).

Os manejos de OVR e OVRC apresentaram médias superiores no teor de MO e o manejo de OD o menor teor (Tabela 4), indicando que a roçagem e o coroamento favorecem o aumento da entrada de matéria orgânica e resíduos orgânicos. A MO apesar da presença da oliveira em OD, a permanência do restante da parcela sem cobertura vegetal resultou em uma redução de 46,70% da MO e esta tem relação direta com a regulação da acidez do solo, além da íntima relação com Ca e Mg. A manutenção de cobertura do solo é um dos principais fatores que melhoram a fertilidade do solo, principalmente o teor de MO (RODRIGUES; CABANAS, 2009; RODRIGUES et al., 2010; HAKOOMAT et al., 2017; GUIMARÃES et al., 2018).

Os manejos de cobertura OVR e OVRC apresentaram maiores teores de K, Ca, Mg e SB e valores de V% quando comparados aos demais manejos (Tabela 4). Estudos conduzidos por Rodrigues et al (2019) encontraram resultados semelhantes relacionados à fertilidade do solo ao comparar o uso de herbicida, pastoreio e mobilização em olivais, onde o uso de herbicida e pastoreio diminuíram estatisticamente a quantidade de matéria orgânica do solo devido à menor deposição dos resíduos das plantas, comprometendo desta forma os parâmetros de fertilidade do solo.

#### **4.2 Bioindicadores do solo em função dos fatores posição da subparcela na parcela padrão, tamanho de agregados e manejo da cobertura.**

A cobertura do solo foi um importante componente no sistema que garante sua sustentabilidade e manutenção das atividades microbianas no solo (Figuras 2 e 3), por outro lado, a ausência da cobertura reduz a mesma. Essa redução está relacionada diretamente com a diminuição da matéria orgânica, pois essa serve de fonte de alimento para a microbiota, impactando diretamente a biomassa microbiana e a sua atividade no solo, quantificada pela respiração e pelas enzimas no solo. A biomassa microbiana é um indicador sensível às alterações de manejo ou uso do solo e sua formação ocorre a partir da decomposição de resíduos orgânicos depositado na superfície (MOREIRA; SIQUEIRA 2006, CARRERA et al., 2007; MELLONI; CARDOSO, 2023).

A falta de cobertura no solo como em OD e SD tem interferência direta na atividade biológica do solo, afetando os principais processos biológicos, como decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e agregação do solo o que pode indicar a redução da qualidade do solo e sua degradação em breve. Hoffmann (2018) ao estudar três diferentes sistemas de manejo (agricultura convencional, cultivo de pastagem e mata secundária), constatou que quanto maior a diversidade vegetal e menor for o impacto do manejo ao solo, maior será a biomassa microbiana devido ao maior aporte e disponibilidade de matéria orgânica (GOMIDE; SILVA; SOARES, 2011).

No presente estudo, pode-se observar que os diferentes manejos afetaram a biomassa microbiana, a atividade microbiana (respiração) e atividade da  $\beta$ -glicosidade e a concentração da glomalina (Figura 2). Os resultados indicam que os maiores teores de CBM encontrados em OVR e OVRC demonstram que práticas conservacionistas que causam menores estresses ao solo e que deixam intacto o sistema radicular das plantas, proporcionam o aumento de matéria orgânica geradas pelos resíduos das plantas nos pomares de oliveiras (SOFO et al., 2013; DRUGOWICH, 2014). Cabe ressaltar que em 2016 e 2017 estas parcelas receberam plantas leguminosas que apresentam menor relação C/N e são capazes de, em associações simbióticas com bactérias fixadoras biológicas de  $N_2$ , fixarem nitrogênio, contribuindo ainda mais com a entrada de resíduos facilmente decomponíveis e aumentando a atividade biológica do solo (GUIMARÃES et al., 2018).

A maior entrada de resíduos orgânicos, que são substratos para os microrganismos heterotróficos do solo, aumentam sua atividade e biomassa refletindo em maior carbono orgânico ao final do processo (GOMIDE et al., 2011; 2014). Esta maior entrada de resíduos orgânicos ocorre através da deposição de fitomassa, raízes mortas e principalmente pela rizosfera através da rizodeposição, o que pode ser comprovado pela maior atividade da respiração, onde a RBS que foi maior em OVR e OVRC e o menor valor em OD, ou seja, o manejo da cobertura do solo considerando a vegetação espontânea contribuiu para maior aumentar a RBS, CBM e matéria orgânico do solo (Figura 2).

Notou-se também que a RBS e  $qCO_2$  foram influenciados pela posição da subparcela na parcela padrão, demonstrando maior atividade dos microrganismos no terço inferior da parcela. Esses resultados são decorrentes do arraste dos sedimentos do terço superior que se acumularam no terço inferior das parcelas independentemente do tipo de manejo realizado na cobertura do solo (GOMIDE et al., 2011).

A presença de matéria orgânica beneficia de forma direta as enzimas do solo que são originadas de macro e microrganismos, onde a biomassa microbiana é sua fonte primária, sendo esta facilmente beneficiada pela presença de plantas de cobertura por uma forte relação de síntese e degradação da matéria orgânica pois são as enzimas que catalisam a decomposição, principalmente na etapa de mineralização, desse material orgânico (EIVAZI; TABATABAI, 1988; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; TEJADA et al., 2006). Observou-se maior atividade enzimática nas parcelas sob manejos de roçagem e coroamento que foi quase três vezes maior que nos sistemas que não continham cobertura vegetal.

Em solos sob cobertura vegetal, os macroagregados são estáveis devido à ação das raízes finas e hifas, no entanto, na camada mais superficial do solo, a formação desses agregados é muito dinâmica. Em níveis hierárquicos, os macroagregados (0,25 a 5 mm de diâmetro) tem como processos mais importantes os biológicos e são constituídos por inúmeros microagregados (2 a 250  $\mu\text{m}$ ) formados por processos físico-químicos e biológicos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; BRADY; WEIL, 2009). No presente estudo, observou-se maior atividade enzimática nos menores agregados estudados (2 a 0 mm), indicando que há formações de microhabitats e que são fundamentais para a atividade biológica no solo com a quebra de ligações glicosídicas que são constituídos por uma maior diversidade e quantidade de resíduos vegetais, sendo elas a própria biomassa microbiana, polissacarídeos, compostos orgânicos diversos e fragmento de restos vegetais.

Resultados diferentes foram encontrados por Perez-Mateos e Gonzalez Carcedo (1985), e Busto e Perez-Mateos (2000), ao observarem a atividade enzimática em diferentes tamanhos de agregados do solo sem pré-tratamento antes do fracionamento, constataram que quanto maior for o agregado, maior será a atividade enzimática devido obterem uma maior quantidade de restos vegetais e compostos orgânicos.

Com relação aos teores de GFE, que é uma importante proteína do solo liberada por fungos de solo, entre eles os micorrízicos arbusculares (FMAs), apresentam alta relação com a estabilidade de agregados do solo (SIQUEIRA; MOREIRA, 2006; WRIGHT; UPAYAYA, 1998). Nos tratamentos com uso de plantas de cobertura, assim como a atividade enzimática que também apresentou valores superiores, variando de 1,00  $\text{mg g}^{-1}$  a 0,60  $\text{mg g}^{-1}$  (Figura xxx). Quando comparados em relação ao tamanho de agregados do solo, os maiores teores de GFE e atividade enzimática da  $\beta$ -glicosidase foram encontrados nos agregados do solo < 2 mm.

Considerando que  $\beta$ -glicosidade atua em frações de resíduos orgânicos que estão sendo mineralizados e ao final há formação de MO (húmus) e que a glomalina que é uma glicoproteína

de carbono recalcitrante, pode-se concluir que nas áreas em que estes dois indicadores biológicos estão maiores, está ocorrendo a conservação e incremento de carbono no sistema, ou seja, mesmo que outros indicadores não mostrem ainda efeitos como a própria MOS e CBM, há indicações de possíveis aumentos no sequestro de carbono nos manejos avaliados. Portanto a  $\beta$ -glicosidade e a glomalina para o presente estudo foram mais sensíveis que os demais indicadores em demonstrar o aumento da qualidade do solo em relação aos diferentes manejos de cobertura do solo no olival.

## 5 CONCLUSÃO

Os bioindicadores do solo CBM, RBS,  $q\text{CO}_2$ , GFE e  $\beta$ -Glu foram sensíveis em detectar diferenças significativas em relação a posição na parcela padrão (terço superior e inferior), o tamanho do agregado do solo e o manejo da cobertura do solo na cultura da oliveira. Possivelmente, por se tratar de posição de maior perda (terço superior) e de deposição de sedimentos (terço inferior). Essas diferenças indicaram solos com olivais cultivados sem a presença de cobertura vegetal apresentam riscos de degradação devido a não manutenção da matéria orgânica do solo e biomassa microbiana do solo, por outro lado, sistemas de manejos que mantêm a cobertura do solo em olivais apresentam maior entrada de carbono no sistema e melhoram as condições relacionada aos indicadores do solo na camada superficial do solo, dentre eles a atividade enzimática e maior concentração de proteína relacionada a glomalina no solo contribuem para a manutenção de matéria orgânica e sustentabilidade da área de cultivo de oliveiras em Região Tropical.

## REFERÊNCIAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, n. 9780125138406, p. 463–490, 1995.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> ( $q\text{CO}_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 25, n. 3, p. 393–395, 1993.

ANGHINONI, I.; MARTINS, A. P.; CARMONA, F. DE C. Inter-relação entre manejo e atributos químicos do solo. In: BERTOL, I.; MARIA, I. C. DE; SOUZA, L. DA S. (Eds.). *Manejo e Conservação do Solo e da Água*. Viçosa: SBCS, 2019. p. 251–280.

BENIAICH, A. et al. Determination of vegetation cover index under different soil management systems of cover plants by using an unmanned aerial vehicle with an onboard digital photographic camera. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 40, n. 1, p. 49–66, 2019.

BENIAICH, A. et al. Assessment of soil erosion in olive orchards (*Olea Europaea* L.) Under cover crops management systems in the tropical region of Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 44, e0190088, 2020.

BOUYOUCOS, G. J. Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils 1. *Agronomy Journal*, v. 54, n. 5, p. 464–465, 1962.

BRADFORD, D.M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos*. Bookman Editora, 2009. p. 686

BUSTO, M. D.; PEREZ-MATEOS, M. Characterization of  $\beta$ -D-glucosidase extracted from soil fractions. *European Journal of Soil Science*, v. 51, n. 2, p. 193–200, 2000.

COSTA, S. M. L.; MELLONI, R.; FERREIRA, G. M. DOS R. Biotechnological potential of soil microorganisms in olive trees in Brazil: A review. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 12, n. 2, p. 723–747, 2019.

DRUGOWICH, M. I. coord. Boas Práticas em Conservação do Solo e da Água. *Campinas, São Paulo: CATI*, p. 38, 2014.

EIVAZI, F., TABATABAI, M.A. Glucosidases and galactosidases in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 20, p. 601–606, 1988.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*, 2013, p. 353.

FERREIRA, G. M. DOS R. et al. Fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento de

- mudas de oliveira (*Olea europaea* L.) cultivadas no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 361–366, 2015.
- GOMES, J. P. A. et al. Uso De Microrganismos Eficientes Como Alternativa Para Agricultura Sustentável: Um Referencial Teórico. **Agroecologia: Métodos e Técnicas para uma Agricultura Sustentável - v. 5**, p. 340–355, 2021.
- GÓMEZ, J. A. et al. Olive cultivation, its impact on soil erosion and its progression into yield impacts in Southern Spain in the past as a key to a future of increasing climate uncertainty. **Agriculture**, v. 4, n. 2, p. 170-198, 2014.
- GOMIDE, P. H. O. et al. Vegetation characterization in gully areas as basis for soil conservation. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, p. 149-159, 2014.
- GOMIDE, P. H. O.; SILVA, M. L. N.; SOARES, C. R. F. S. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 567–577, 2011.
- GUIMARÃES, D. V. et al. Relationship between soil organic matter fractions and cover plants in olive post planting. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 6, p. 1–12, 2018.
- GUIMARÃES, D. V. et al. Dynamics and losses of soil organic matter and nutrients by water erosion in cover crop management systems in olive groves, in tropical regions. **Soil and Tillage Research**, v. 209, e104863, 2021.
- HAKOOMAT, A. et al. Application of pre and post emergence herbicide under improved field irrigation system proved a sustainable weed management strategy in cotton crop. **Planta Daninha**, v. 35, e017158976, 2017.
- HOFFMANN, R. B. et al. Efeito do manejo do solo no carbono da biomassa microbiana. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 1, n. 1, p. 168-178, 2018.
- KOZAK, M.; PIEPHO, H. P. What's normal anyway? Residual plots are more telling than significance tests when checking ANOVA assumptions. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 204, n. 1, p. 86–98, 2018.
- MCLEAN, E. O. et al. Aluminum in soils: I. Extraction methods and magnitudes in clays and Ohio soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 22, n. 5, p. 382-387, 1958.
- MEHLICH, A. Determination of P, Ca, Mg, K, Na, NH<sub>4</sub>. **Short Test Methods Used in Soil Testing Division**, n. 1, p. 8, 1953.
- MELLONI, R.; CARDOSO, E. J. B. N. Microbiome Associated with Olive Cultivation: A Review. **Plants**, v. 12, n. 4, p. 897-921, 2023.
- MENKE, W. Review of the Generalized Least Squares Method. **Surveys in Geophysics**, v. 36, n. 1, p. 1–25, 2015.
- MESQUITA, H. A. DE; GARCIA, C. N.; COSTA, É. L. DA. Solos, aspectos nutricionais e

- sugestões de fertilização. In: OLIVEIRA, A. F. D. (Ed.). **Oliveira no Brasil: tecnologias de produção**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2012, p. 772.
- MILGROOM, J. et al. The influence of a shift from conventional to organic olive farming on soil management and erosion risk in southern Spain. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 22, n. 1, p. 1–10, 2007.
- MOREIRA, F. M. DE S.; SIQUEIRA, J. O. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, n. 2, p. 195–276, 2002.
- NICOLODI, M. et al. Solos. In: COUTINHO, E. F.; RIBEIRO, F. C.; CAPPELLARO, T. H. (Ed.). **Cultivo de oliveira (*Olea europaea* L.)** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 125p. p. 29-40.
- OLIVEIRA, A. F. DE. **Oliveira no Brasil Tecnologias de produção**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2012, p. 772.
- ONU. **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>>. Acesso em: 13 de jul. 2022.
- PEÑA, E. A.; SLATE, E. H. Global validation of linear model assumptions. **Journal of the American Statistical Association**, v. 101, n. 473, p. 341–354, 2006.
- PEREZ MATEOS, M.; GONZALEZ CARCEDO, S. Effect of fractionation on the enzymatic state and behaviour of enzyme activities in different structural soil units. **Biology and Fertility of Soils**, v. 4, n. 3, p. 151–154, 1987.
- RILLIG, M. C.; MUMMEY, D. L. Mycorrhizas and soil structure. **New Phytologist**, v. 171, n. 1, p. 41–53, 2006.
- RODRIGUES, M. Â. et al. Grau de cobertura do solo e dinâmica da vegetação em olivais de sequeiro com a introdução de herbicidas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 2, n. 32, p. 30–42, 2009.
- RODRIGUES, M. A. et al. Gestão da vegetação em olivais de sequeiro com pastoreio. **Livro de Resumos 40ª Reunião de Primavera da SPPF**, p. 1–12, 2019.
- SAIKIA, R. et al. Tillage and residue management practices affect soil biological indicators in a rice–wheat cropping system in north-western India. **Soil Use and Management**, v. 36, n. 1, p. 157–172, 2020.
- SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 12. ed., Washington: United States Department of Agriculture, 2014.
- TEJADA, M. et al. Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: Influence on the physical, chemical and biological properties of soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 6, p. 1413–1421, 2006.
- TEJERO, I. P. T.; ROSA, A. L. T. DA. Potencial Da Olivicultura No Sul Do Brasil. **Revista**

**científica Agropampa**, v. 1, n. 1, p. 114–123, 2020.

TERAMOTO, J. R. S.; BERTONCINI, E. I.; PRELA-PANTANO, A. Mercado dos produtos da oliveira e os desafios brasileiros. **Informações Econômicas**, v. 43, n. 2, p. 24–32, 2013.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 1–5, 1987.

VIEIRA NETO, J. et al. Composição mineral de folhas de oliveira (*Olea europaea* L.) em sistema de produção convencional. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, p. 122-126, 2014.

VILLA, F.; OLIVEIRA, A. F. DE. Origem e expansão da oliveira na América Latina. In: OLIVEIRA, A. F. DE (Ed.). **Oliveira no Brasil Tecnologias de produção**. Belo Horizonte, MG: EPAMIG, 2012. p. 21-38.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil science**, v. 37, n. 1, p. 29-38, 1934.

WRIGHT, S. F., UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**, v. 161, n. 9, p. 575-586, 1996.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v. 198, n. 1, p. 97–107, 1998.

## ARTIGO 2 - Bioindicadores do solo em relação à erosão hídrica em sistemas de manejo da cobertura do solo na cultura da oliveira (*Olea europaea* L.), na Região Tropical

Bioindicators of soil in relation to water erosion in soil cover management systems in the culture of olive (*Olea europaea* L.), in the Tropical Region

### RESUMO

Vários estudos abordam os atributos físicos e químicos para avaliar a erosão hídrica, entretanto, devido a importância dos indicadores biológicos para os serviços ecossistêmicos, como o próprio controle da erosão tem merecido atenção especial recentemente. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar bioindicadores do solo relacionados à erosão hídrica sob diferentes manejos de vegetação espontânea. O experimento de diferentes manejos da cobertura em oliveira (*Olea europaea* L.) foi implantado em 2015, em delineamento em blocos, em uma área de aproximadamente 720 m<sup>2</sup> sob Cambissolo Háplico, com 23% de declividade. Os sistemas de manejo da cobertura do solo avaliados são: oliveira cultivada em solo descoberto (OD); oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo roçada (OVR); oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo do coroamento e roçada (OVRC); oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo de herbicida (OVH); e solo descoberto (SD), com três repetições. Em cada parcela experimental foram coletadas amostras para análises dos indicadores químicos (pH e MO), físicos (DMGs, DMPs) e microbiológicos (CBM, RBS,  $qCO_2$ ,  $\beta$ -Glu e GFE) do solo, e foi quantificado as perdas de solo e água no ano de 2021. Os dados foram submetidos à análise de variância e quando o teste F foi significativo, as médias foram comparadas pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ), também foram realizadas análise de componentes principais e correlação de Pearson. Os bioindicadores CBM, RBS,  $qCO_2$ ,  $\beta$ -Glu e GFE foram beneficiados pela cobertura e manutenção da matéria orgânica nos tratamentos OVR e OVRC. Consequentemente, OVR e OVRC tiveram melhor estabilidade de agregados, observados pelas DMGs e DMPs. As maiores perdas de solo e água foram nos tratamentos com menor cobertura do solo, SD e OD, que também apresentaram relação inversa com os indicadores microbiológicos. Observamos que os indicadores microbiológicos influenciam no processo de erosão do solo, não apenas os físicos e químicos, podendo ser inseridos em avaliações de processos erosivos e perda de qualidade do solo. Os manejos de cobertura do solo que possibilitaram o aumento na matéria orgânica e na atividade biológica foram os que proporcionaram melhoria da qualidade do solo em relação à erosão hídrica.

**Palavras-chave:** Matéria orgânica. Perda de solo. Perda de água. Oliveira consorciada. Qualidade do solo.

## ABSTRACT

Several studies address the physical and chemical attributes to assess water erosion, however, due to the importance of biological indicators for ecosystem services, such as erosion control itself has deserved special attention recently. Thus, the objective of this study was to evaluate soil bioindicators related to water erosion under different management of spontaneous vegetation. The experiment of different cover management in olive (*Olea europaea* L.) was implemented in 2015, in block design, in an area of approximately 720 m<sup>2</sup> under Cambissolo Háplico, with 23% slope. The soil cover management systems evaluated are: olive tree grown in bare soil (OD); olive tree intercropped with spontaneous vegetation, with mowed management (OVR); olive tree intercropped with spontaneous vegetation, with crowning and mowing management (OVRC); olive tree intercropped with spontaneous vegetation, with herbicide management (OVH); and bare soil (SD), with three repetitions. In each experimental plot samples were collected for analysis of chemical (pH and MO), physical (DMGs, DMPs) and microbiological (CBM, RBS, qCO<sub>2</sub>, β-Glu and GFE ) soil indicators, and soil and water losses were quantified in the year 2021. The data were subjected to analysis of variance and when F-test was significant, the means were compared by Tukey test ( $p < 0.05$ ), principal component analysis and Pearson correlation were also performed. The bioindicators CBM, RBS, qCO<sub>2</sub>, β-Glu and GFE were benefited by organic matter cover and maintenance in OVR and OVRC treatments. Consequently, OVR and OVRC had better aggregate stability, observed by DMGs and DMPs. The highest soil and water losses were in the treatments with the lowest soil cover, SD and OD, which also showed an inverse relationship with the microbiological indicators. We observed that microbiological indicators influence the process of soil erosion, not only the physical and chemical ones, and can be inserted in evaluations of erosive processes and loss of soil quality. The management of soil cover that allowed an increase in organic matter and biological activity were those that provided an improvement in soil quality in relation to water erosion.

**Key words:** Organic matter. Soil loss. Water loss. Olive tree intercropping. Soil quality.

## 1 INTRODUÇÃO

O solo é um recurso essencial ao funcionamento dos ecossistemas e que garante a manutenção da vida no planeta. O uso do solo de forma mais racional e sustentável é uma das maiores preocupações mundiais (SILVA; ARAÚJO; BARROS, 2021). Concomitante ao manejo sustentável, o setor agrícola no Brasil exerce função fundamental na estabilidade econômica do país, pois o crescimento desse setor e os ganhos em produtividade dos últimos 40 anos é certamente o fato importante da história econômica recente e continua abrindo perspectivas para o desenvolvimento futuro do país. Segundo dados da Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária do Brasil/CNA (2021), o setor foi responsável por empregar cerca de 62,6 mil novos postos de trabalho entre os meses de janeiro a junho do ano de 2020.

O paralelismo entre busca de altas produtividades em troca de solos empobrecidos tem sido uma grande ameaça às funções do solo, causadas pela má gestão dos recursos e intensificação do uso (MERLO et al., 2022). Dentre essas ameaças, a erosão hídrica é uma das mais preocupantes, por conta do comprometimento da qualidade do solo e a sua sustentabilidade (BENIACH et al., 2020; GUIMARÃES et al., 2018). Entretanto, a maioria das pesquisas relaciona a diminuição da qualidade física e química do solo com a erosão hídrica, deixando de lado o aspecto da qualidade biológica do solo (GOMIDE et al., 2014; GOMIDE; SILVA; SOARES, 2011). Sendo que os atributos biológicos do solo estão relacionados fortemente com os serviços ecossistêmicos do solo e são sensíveis indicadores das mudanças nas práticas de manejo, empregados como importantes indicadores de qualidade do solo (MELLONI; CARDOSO, 2023).

Dentro deste cenário, a cultura da oliveira (*Olea europaea* L.) tem apresentado muitas preocupações, pois o método de cultivo tradicional dessa cultura costuma apresentar altas taxas de erosão hídrica, principalmente quando não aplicam práticas conservacionistas que garantem a manutenção da qualidade do solo (BENIACH et al., 2020; GUIMARÃES et al., 2018; ZUAZO et al., 2020).

De origem Mediterrânea, a oliveira é uma planta de grande importância na Espanha onde se concentram aproximadamente mais de 27% da área total cultivada no mundo, mas atualmente há uma expansão da cultura, sendo implantada em diversos países. No Brasil, a oliveira gera produtos fortemente valorizados pelo mercado consumidor interno, principalmente o azeite e as azeitonas em conserva (TERAMOTO; BERTONCINI; PRELA-PANTANO, 2013). O desenvolvimento vegetativo da oliveira apresenta certa preocupação

devido à baixa densidade de plantas, à pouca área foliar e quando adulta requer de um grande espaçamento, não tolerando competição com outras espécies, desta forma, a cultura apresenta baixa proteção ao solo (GUIMARÃES et al., 2018). Assim, a cobertura do solo em cultivos de oliveira tem se destacado como alternativas de manejo que são cada vez mais importantes para essa cultura. Dentre as alternativas de manejo, a cobertura com vegetação espontânea em olivais tem se tornado uma medida sustentável e economicamente viável (BENIAICH et al., 2020; TAGUAS et al., 2015).

Estudos realizados em olivais relataram que em áreas onde as entrelinhas permaneceram expostas, ocorreram grandes perdas solo, de carbono e que há uma maior susceptibilidade à erosão hídrica, bem como o menor estabelecimento e propagação de biodiversidade, comprometendo a qualidade do solo de forma acelerada (BENIAICH et al., 2020; GUIMARÃES et al., 2021). Práticas conservacionistas como sistema agrofloretais (FRANCO et al., 2002), plantas de cobertura (DE ALMEIDA et al., 2016; GUIMARÃES et al., 2021) e plantio direto (OLIVEIRA et al., 2012) tem sido cada vez mais utilizadas e necessárias para controlar o escoamento superficial da água e conseqüentemente a erosão hídrica do solo, uma vez, que elas proporcionam maior proteção do solo, além dos aspectos positivos de condicionamento químico, físico e ecológico do solo.

Nesse contexto, a hipótese levantada nessa pesquisa é que o manejo com plantas de cobertura do solo diminuem os efeitos da erosão hídrica e podem ser avaliados por meios de bioindicadores do solo devido sua capacidade de indicar alterações na qualidade do solo mais rapidamente. Para tanto, o objetivo deste estudo foi relacionar os bioindicadores com perdas de solo e água por erosão hídrica em áreas sob diferentes manejos de cobertura em olivais na região Sul do Estado de Minas Gerais.

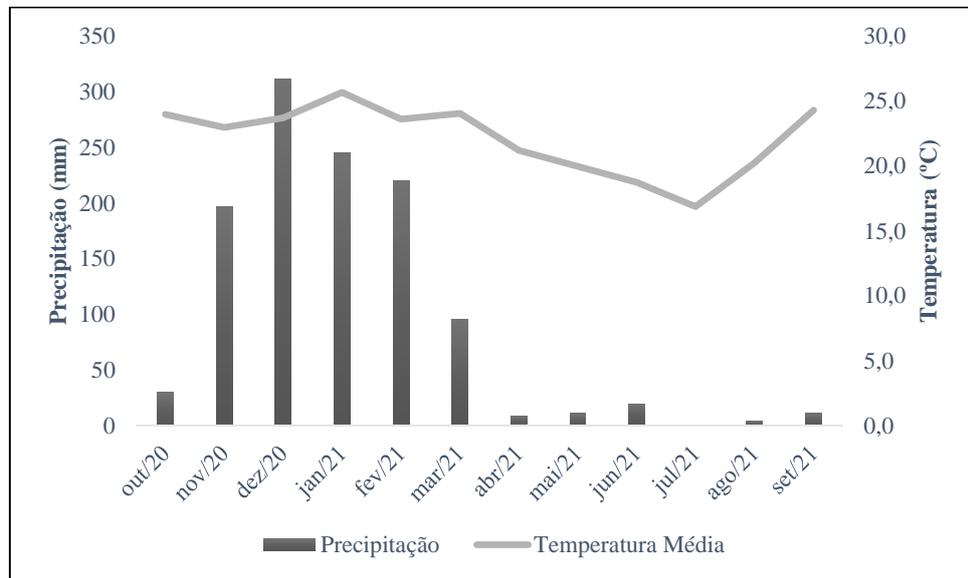
## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudo**

O experimento foi conduzido no setor de fruticultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizada no município de Lavras, Minas Gerais, a 910 m de altitude (21° 14' 06" S, 45° 00' 00" O). O solo foi classificado como Cambissolo Háplico Tb Distrófico (SANTOS et al., 2018), correspondente a Dystrustepts conforme a Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF, 2014), e Dystric Cambisols na WRB (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015), encontrado em uma paisagem com declividade média de 23%. O clima local, segundo a classificação de Köppen adaptada por Peel et al. (2007) é Cwb, temperado chuvoso, com inverno seco e verão

chuvoso, com temperatura média de 19,3 °C e precipitação média anual é de 1.411 mm, concentrada principalmente no período de outubro a março (Figura 1).

Figura 1 – Dados de temperatura média diária e precipitação mensal durante o período de monitoramento do experimento (2020/2021).



Fonte: INMET (2022)

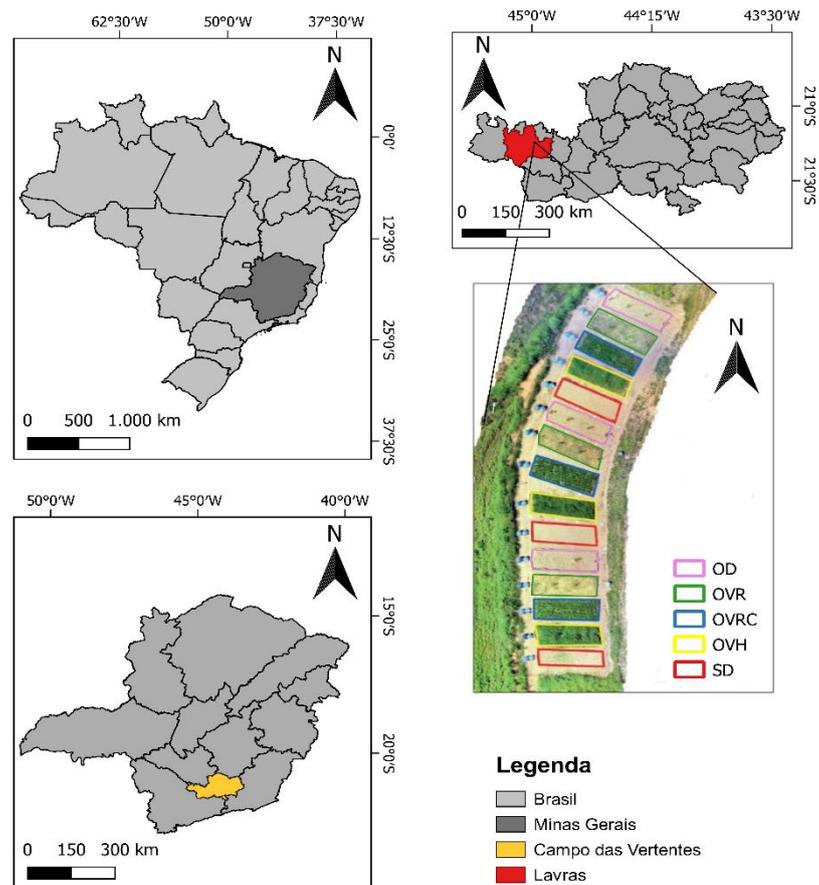
## 2.2 Desenho experimental

Foi utilizado um delineamento com cinco tratamentos em blocos casualizados com três repetições, resultando em 15 unidades experimentais (Figura 2). O experimento foi implantado no ano agrícola 2015/2016 em uma área de aproximadamente 720 m<sup>2</sup>. O histórico de plantio e adubação da área está sendo apresentado na Tabela 1. Os tratamentos correspondem às práticas de manejo da cobertura do solo (descritas detalhadamente na Tabela 2), oliveira cultivada em solo descoberto (O D); oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo roçada (OVR); oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo do coroamento e roçada (OVRC); oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo de herbicida (OVH); e solo descoberto (SD).

Tabela 1 – Histórico de cultivo e adubação da área experimental.

Período	Atividade
Nov 2015	Semeadura das plantas de cobertura (Milheto e feijão de porco). Adubação de plantio das plantas de oliveira: <ul style="list-style-type: none"> <li>● Superfosfato simples (500 g planta<sup>-1</sup>)</li> <li>● Esterco (20 L planta<sup>-1</sup>)</li> <li>● Cloreto de potássio (200 g planta<sup>-1</sup>)</li> </ul> Calcário (100 g planta <sup>-1</sup> )
Nov 2016	Semeadura das plantas de cobertura (Crotalária - <i>Crotalaria juncea</i> L. e feijão de porco - <i>Canavalia ensiformis</i> )
Nov 2016 – Abr 2017	Manutenção dos tratamentos em solo descoberto com aplicação mensal de herbicida
Nov 2015; Jan 2016 – Mai 2021	Manutenção e roçagem da vegetação espontânea nos respectivos tratamentos
2015/2016	Adubação das plantas de cobertura: aplicação de 500 kg ha <sup>-1</sup> NPK 8:28:16
2016/2017	Adubação das plantas de cobertura: aplicação de 250 kg ha <sup>-1</sup> NPK 8:28:16
Nov e Dez 2015; Jan 2016.	Adubação de cobertura das plantas de oliveira: Sulfato de Amônia (50 g planta <sup>-1</sup> )
Out 2016	Adubação de cobertura das plantas de oliveira: Outubro: 100 g planta <sup>-1</sup> de sulfato de amônia, 50 g planta <sup>-1</sup> de cloreto de potássio e 20 g planta <sup>-1</sup> de ácido bórico.
Dez 2016	Adubação de cobertura das plantas de oliveira: 100 g planta <sup>-1</sup> de sulfato de amônia e 50 g planta <sup>-1</sup> de cloreto de potássio.
Jan 2017	Adubação de cobertura das plantas de oliveira: 100 g planta <sup>-1</sup> de sulfato de amônia.
Jul 2017	Poda das oliveiras.

Figura 2 – Localização da área de estudo (Lavras) no Sul de Minas Gerais, Brasil.



Fonte: Adaptado de Beniaich et al. (2020).

Tabela 2 – Práticas de manejo da cobertura do solo aplicadas ao longo do estudo que corresponderam aos tratamentos em estudo.

Tratamentos	2015/2016	2016/2017	2017 até 2021
OD	Oliveira cultivada em solo descoberto	Oliveira cultivada em solo descoberto;	Oliveira cultivada em solo descoberto;
OVR	Oliveira consorciada com vegetação espontâneas e o manejo roçado	Oliveira consorciada com vegetação espontâneas e o manejo roçado	Oliveira consorciada com vegetação espontâneas e o manejo roçado

OVRC	Oliveira consorciada com feijão-de-porco ( <i>Canavalia ensiformis</i> )	Oliveira consorciada com feijão-de-porco ( <i>Canavalia ensiformis</i> )	Oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo do coroamento e roçada
OVH	Oliveira consorciada com milho ( <i>Pennisetum glaucum</i> )	Oliveira consorciada com crotalária ( <i>Crotalaria juncea</i> )	Oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo de herbicida
SD	Solo descoberto	Solo descoberto	Solo descoberto

Legenda: VE: Vegetação Espontânea.

A vegetação espontânea era dominada pela presença da espécie *Brachiaria decumbens*, notadamente no verão e na primavera, já no outono e no inverno dominavam as seguintes espécies: *Ipomoea acuminata*, *Bidens pilosa*, *Oxalis corniculata*, *Digitaria sanguinalis*, *Emilia fosbergii* Nicolson, *Melinis minutiflora*, *Conyza bonariensis*, *Euphorbia heterophylla* e *Eleusine indica* (GUIMARÃES et al., 2021, BENIAICH et al., 2020, 2022).

### 2.3 Determinação da erosividade

A erosividade foi determinada pelo cálculo  $EI_{30}$  ( $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ ) desenvolvido por Aquino et al. (2012) para a região sul de Minas Gerais (Equação 1).

$$\text{Equação 1: } EI_{30} = 85.672 \times \left(\frac{p^2}{P}\right)^{0,6557}$$

Onde:

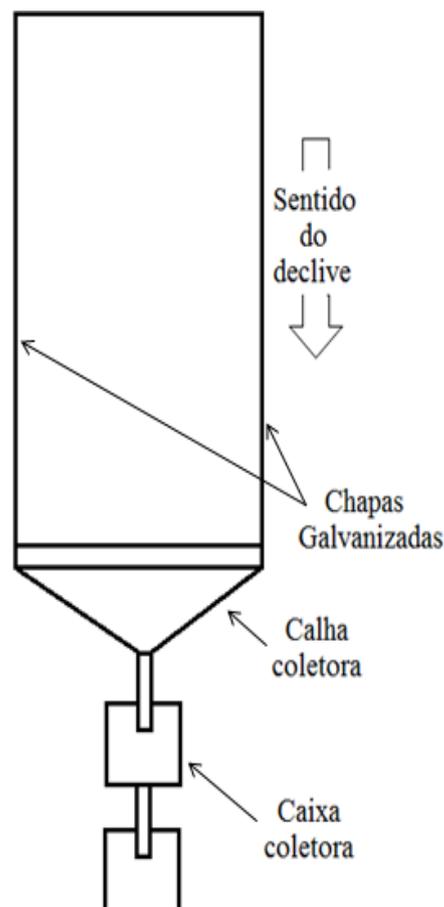
p: precipitação média mensal (mm)

P: precipitação média anual (mm) em 30 anos.

## 2.4 Avaliação de erosão hídrica

As parcelas de erosão de 48 m<sup>2</sup> (4 m de largura x 12 m de comprimento) foram implantadas para cada tratamento, dispostas com seu comprimento na direção da encosta. As parcelas de erosão foram delimitadas por chapas de zinco galvanizado inseridas 0,20 m no solo e mantidas 0,20 m acima da superfície do solo (Figura 3). A calha coletora localizada na extremidade inferior da parcela conduziu o escoamento até os reservatórios de 250 L para armazenamento de água e sedimentos do escoamento e das partículas de solo transportadas. A coleta de sedimentos nas caixas para determinação das perdas de solo e medição da lâmina de água presente na caixa para calcular as perdas de água foi realizada com intervalo de 12 meses (BENIAICH et al., 2020; GUIMARÃES et al., 2021).

Figura 3 – Esquema representativo da parcela padrão de perdas de solo.



Fonte: Guimarães et al. (2018)

O volume de água perdido por escoamento superficial e os sedimentos foram quantificados integralmente por meio da coleta de amostras do volume presente no tanque em

recipientes de 250 mL, anteriormente homogeneizados. Em cada recipiente foram adicionadas 3 gotas de HCl a 50% de concentração de modo a possibilitar a floculação e decantação das partículas suspensas. O peso de sedimento foi quantificado após secagem por 48 h em estufa a 105 °C (BENIAICH et al., 2020; GUIMARÃES et al., 2021).

## 2.5 Amostragem e preparo do solo

A coleta foi realizada no período chuvoso do ano de 2021. Foram coletadas 2 amostras simples por parcela para composição de 1 amostra composta na profundidade de 0-5 cm, somando 30 amostras. Os solos das áreas foram separados em duas partes, uma para análise biológica e outra para análises físicas e químicas. Em seguida as amostras foram processadas e peneiradas em malha de 8 a 4 mm e 2 a 0 mm. Após o processamento, as amostras foram armazenadas devidamente até a realização das análises.

As amostras para análise biológicas foram armazenadas a 4° C até o momento das análises em câmara fria, que foram realizadas no Laboratório de Biologia, Microbiologia e Processos Biológicos do Solo, no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras.

## 2.6 Atributos físicos, químicos e biológicos do solo

Os indicadores do solo utilizados neste estudo e suas respectivas metodologias estão resumidos na Tabela 3.

Tabela 3 – Indicadores físicos, químicos e biológicos do solo avaliados e metodologias utilizadas no estudo.

Variáveis	Indicadores Físicos	
	Metodologia	Referências
Textura do solo	Bouyoucos	Bouyoucos (1962)
Estabilidade de agregados	Peneiramento via seco	Embrapa (2012)
Perdas de solo	Escoamento e coleta do sedimento	Adaptado de Beniaich (2019)
Perdas de água	Escoamento e coleta do sedimento	Adaptado de Beniaich (2019)
	Indicadores químicos	

Matéria Orgânica do solo (MOS)	Oxidação do carbono	Walkley; Black (1934)
pH	Eletrodo combinado imerso em suspensão solo:líquido (1:2,5)	Teixeira et al. (2017)
<b>Indicadores biológicos</b>		
Respiração microbiana do solo (RBS)	Quantificação do CO <sub>2</sub> evoluído com extração pelo NaOH	Alef; Nannipieri (1995)
Carbono da biomassa microbiana (CBM)	Fumigação e extração	Vance; Brookes; Jenkinson (1987)
Quociente metabólico ( $qCO_2$ )	Relação entre respiração e o carbono da biomassa microbiana	Anderson; Domsch (1993)
Proteína do solo relacionada à glomalina facilmente extraível (GFE)	Extração com citrato de sódio, centrifugação e quantificação em espectrofotômetro	Bradford (1976); Wright; Upadhyaya (1996)
$\beta$ -glicosidase ( $\beta$ -glu)	Leitura em espectrofotômetro do p—nitrofenol	Eivazi; Tabatabai (1988)

## 2.7 Análise de dados

Os dados foram submetidos à testes de normalidade, heterocedasticidade e variância pela visualização gráfica (KOZAK; PIEPHO, 2018) e testes numéricos (PENA; SLATE, 2006), com auxílio de modelos lineares para verificação da distribuição dos indicadores. Quando necessário, foram aplicadas transformações logarítmicas aos dados ou o método de mínimos quadrados generalizados (MENKE, 2015). A aplicação de transformação logarítmica foi necessária na variável  $qCO_2$  e o método de mínimos quadrados generalizados foi utilizado na

variável DMGs. Em seguida, todas as variáveis foram submetidas à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade considerando o delineamento experimental (cinco tratamentos em três blocos casualizados), e as médias, quando significativas, foram comparadas com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para realização das análises estatísticas, foi empregado modelos lineares no ambiente de desenvolvimento R (R Development Core Team, 2020).

Por fim, foram realizadas análises comparativas através da Correlação de Pearson e de componentes principais (PCA) para observar as relações entre erosão hídrica (perda de solo e água), estabilidade de agregados e atributos microbiológicos do solo.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Erosividade da chuva no período de 2020/2021

Os meses de novembro a março foi o período que ocorreram as chuvas mais erosivas, com 96,2 % do total da erosividade anual (Tabela 4).

Tabela 4 – Precipitação e erosividade mensal e total anual (EI<sub>30</sub>) para o período 2017 a 2021.

Meses	Precipitação	Erosividade
	2020/2021	2020/2021
	mm	MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>
Outubro	30	67
Novembro	197	786
Dezembro	312	1436
Janeiro	245	1046
Fevereiro	220	908
Março	95	302
Abril	9	14
Maio	11	18
Junho	19	37
Julho	0	0
Agosto	4	5

Setembro	11	18
Total	1153	4637

Fonte: Autora, 2023.

### 3.2 Perdas de solo e água por erosão hídrica

As perdas de solo (PS) e de água (PA) não apresentaram diferenças estatísticas significativas (Tabela 5), no entanto, é notável que os tratamentos de oliveira descoberta (OD) e solo descoberto (SD) nos três anos hidrológicos tiveram os maiores valores de PS e PA. Por outro lado, os tratamentos onde a cobertura do solo foi manejada com roçagem (OVR), roçagem e coroamento (OVRC) e vegetação controlada com herbicida (OVH) foram observadas as menores perdas nas duas variáveis estudadas, pois esses manejos proporcionaram uma menor exposição do solo aos agentes erosivos nos três anos hidrológicos.

Uma alta variância foi encontrada na perda de solo e na perda de água (Tabela 5), o que restringiu a evidência de diferenças entre os tratamentos. No entanto, pode-se afirmar que a falta de cobertura tem relação direta com as altas perdas de solo e água.

Tabela 5 – Perda de solo de água em diferentes sistemas de manejos de cobertura.

Manejo de Cobertura	Perda de Solo	Perda de Água
	2020/2021	2020/2021
	Mg ha <sup>-1</sup> período <sup>-1</sup>	mm ano <sup>-1</sup>
OD	42,78 <sup>ns</sup>	24,90 <sup>ns</sup>
OVR	0,01	20,59
OVRC	0,01	27,03
OVH	0,41	21,34
SD	39,72	27,10

Legenda: OD: Oliveira em solo descoberto, OVR: Oliveira com vegetação espontânea roçada, OVRC: Oliveira com vegetação espontânea, roçagem e coroamento, OVH: Oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo de herbicida e SD: Solo descoberto. <sup>ns</sup>: não significativo.

### 3.3 Atributos físicos, químicos e biológicos do solo

Os indicadores físicos apresentaram diferença significativa em função dos sistemas de manejos de cobertura do solo, assim como os indicadores químicos, representados pelo pH e pela MOS, onde o manejo OVRC contribuiu com o aumento do pH e maior estabilidade de agregados devido a manutenção da MOS no sistema (Tabela 6).

Através do DMG e DMP foi possível verificar variações entre os tratamentos para o método de determinação via seco (VS). Nos tratamentos OVR e OVRC foram observados os maiores valores de DMGs e DMPs, demonstrando que para as condições edáficas encontradas na área de estudo, esses tratamentos favoreceram a formação de agregados com maior grau de estabilidade, fazendo com que essas áreas tenham perdas de solo e água por erosão hídrica reduzidas (Tabela 6).

Quanto aos indicadores biológicos (Tabela 6), os tratamentos de OVR e OVRC apresentaram maiores valores que os demais tratamentos em CBM, RBS,  $q\text{CO}_2$ ,  $\beta\text{-glu}$ , GFE. Já nos tratamentos SD, OD e OVH foram evidenciados os menores valores de CBM e  $q\text{CO}_2$ . Observa-se que os estresses causados pela ausência de cobertura do solo e uso de herbicida, afeta significativamente a comunidade biológica do solo.

Tabela 6 – Indicadores físicos, químicos e biológicos avaliados em diferentes sistemas de manejos de cobertura.

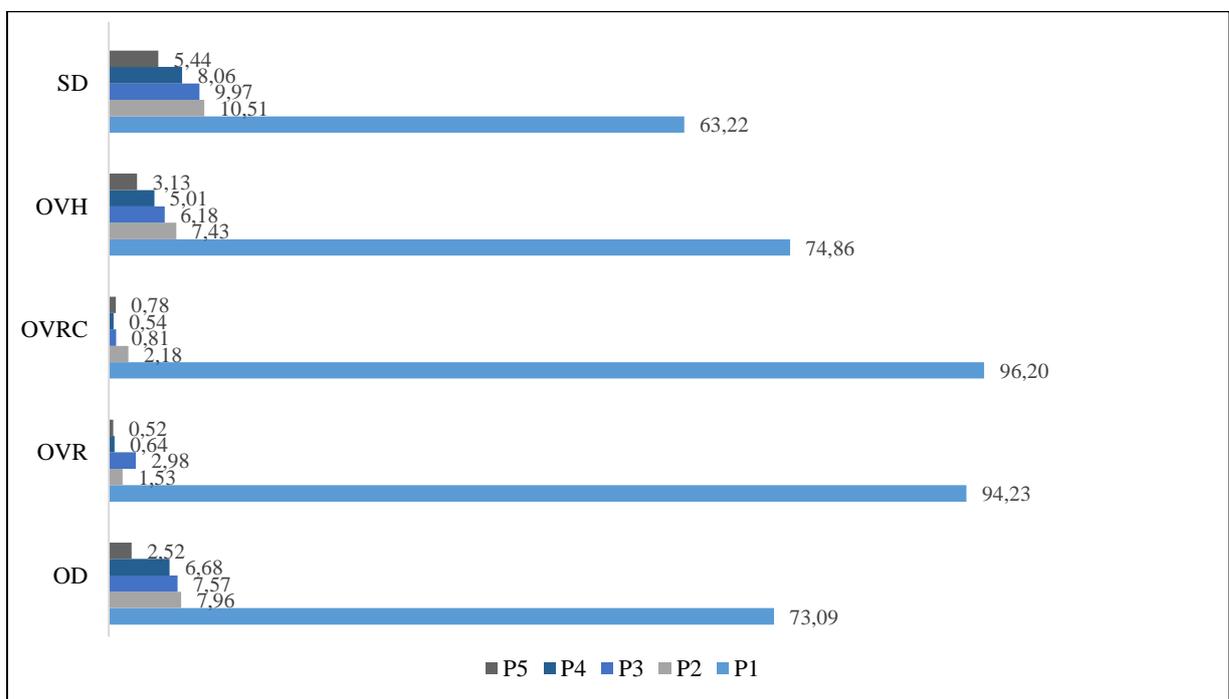
Manejo da Cobertura do Solo	Indicadores do Solo								
	Físicos		Químicos			Biológicos			
	DMGs	DMPs	pH	MO	CBM	$q\text{CO}_2$	RBS	$\beta\text{-glu}$	GFE
	----- mm -----		H <sub>2</sub> O	g kg <sup>-1</sup>	(mgC g solo)	( $\mu\text{gC-CO}_2$ g <sup>-1</sup> 72h <sup>-1</sup> )	( $\mu\text{gC-CO}_2$ $\mu\text{g}$ CBM <sup>-1</sup> 72h <sup>-1</sup> )	( $\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ )	(mg g <sup>-1</sup> )
OD	1,77 ab	3,81 bc	5,27 ab	19,8 b	296,51 <sup>ns</sup>	3,39 <sup>ns</sup>	0,96 b	129,80 ab	0,64 b
OVR	2,65 a	4,77 ab	5,52 a	36,4 a	506,33	4,46	2,10 ab	231,58 a	1,11 ab
OVRC	2,60 a	4,86 a	5,45 a	43,0 ab	454,19	6,67	2,48 a	247,09 a	1,18 a
OVH	1,98 ab	3,93 bc	5,17 b	23,4 b	323,48	4,87	1,13 b	148,26 ab	0,86 ab
SD	1,72 b	3,44 c	4,98 b	22,6 b	272,90	4,65	1,07 b	101,05 b	0,79 ab

Legenda: As médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). OD: Oliveira em solo descoberto, OVR: Oliveira com vegetação espontânea roçada, OVRC: Oliveira com vegetação espontânea, roçagem e coroamento, OVH: Oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo de herbicida e SD: Solo descoberto, <sup>ns</sup>: não significativo.

### 3.4 Distribuição dos agregados

Quanto a porcentagem da distribuição dos agregados nas classes de tamanho avaliadas (Figura 4), a maior parte dos agregados estáveis se concentrou na classe de diâmetro entre 8,00-2,00 (P1), com elevada porcentagem (mais de 90%) para o método VS nos tratamentos OVR e OVRC. No que tange às classes texturais, e segundo o Soil Quality Kit Test Guide (SOIL QUALITY INSTITUTE. 1999), o teor de maior que 90% supera o mínimo preconizado como ideal na avaliação do indicador na qualidade do solo.

Figura 4 – Porcentagem da distribuição de agregados do solo da camada de 0,0-0,5 cm de profundidade em diferentes sistemas de manejos de cobertura.

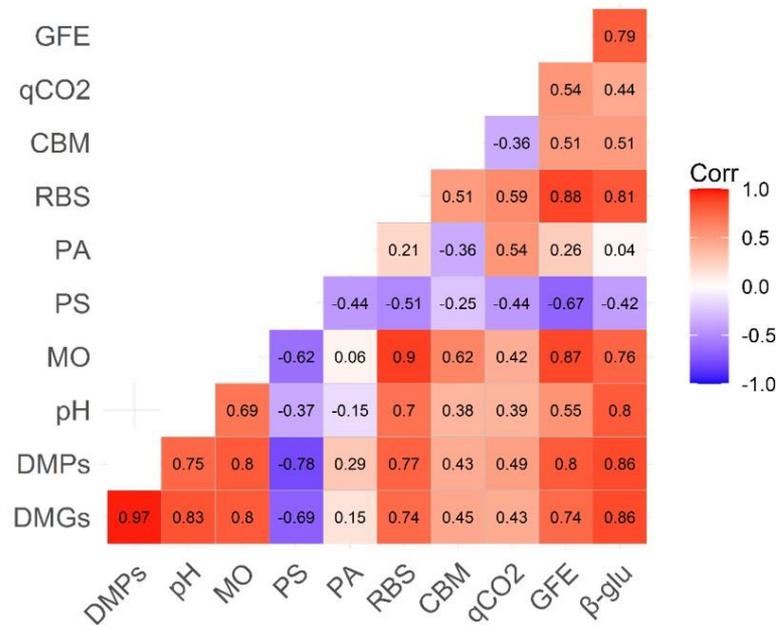


Legenda: OD: Oliveira em solo descoberto, OVR: Oliveira com vegetação espontânea roçada, OVRC: Oliveira com vegetação espontânea, roçagem e coroamento, OVH: Oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo de herbicida e SD: Solo descoberto. P1: agregados de 8,00 a 2,00 mm; P2: agregados de 2,00 a 1,00 mm; P3: agregados de 1,00 a 0,50 mm; P4: agregados de 0,50 a 0,25 mm; e P5: agregados de 0,25 a 0,105 mm.

### 3.5 Correlação e análise de componentes principais (PCA)

A matriz de correlação entre as variáveis analisadas em função do manejo de cobertura do solo está apresentada na Figura 5 e a PCA está apresentada na Figura 6.

Figura 5 – Matriz de correlação de Pearson para variáveis em função do manejo da cobertura do solo.



Legenda: β-glu = β-glicosidase, GFE = glomalina facilmente extraível, qCO<sub>2</sub> = quociente metabólico, CBM = carbono da biomassa microbiana, RBS = respiração basal do solo, PA = perdas de água, PS = perdas de solo, MO = matéria orgânica do solo, pH= potencial hidrogeniônico; DMPs = Diâmetro médio ponderado determinado a seco e DMGs = Diâmetro médio geométrico determinado a seco. O coeficiente de correlação linear apresentar uma correlação (valores negativos e azuis) ou direta (valores positivos de vermelhos). Devido suas variações, as correlações podem ser classificadas em pequenas ( $0 \leq r < 0,25$ ), fracas ( $0,25 \leq r < 0,50$ ), moderado ( $0,50 \leq r < 0,75$ ), forte ( $0,75 \leq r < 1,00$ ) ou perfeito ( $r = 1,00$ ) (VIERA, 2018).

A PS correlacionou-se de forma inversa e pequena com CBM e DMGs, inversa e fraca com PA, qCO<sub>2</sub> e β-glu e de forma inversa e moderada em RBS, GFE e MOS. A PA correlacionou-se de forma inversa e fraca com CBM, de forma direta e fraca com β-glu, MOS e DMGs, de forma direta e fraca com qCO<sub>2</sub> e moderada com e GFE. Os resultados indicam que as perdas de solo e água no sistema causam grande desequilíbrio na comunidade microbológica do solo e por consequência, na estabilidade de agregados, expressa pelo DMGs, tornando manejos que favorecem essas perdas elevadas não sustentáveis.

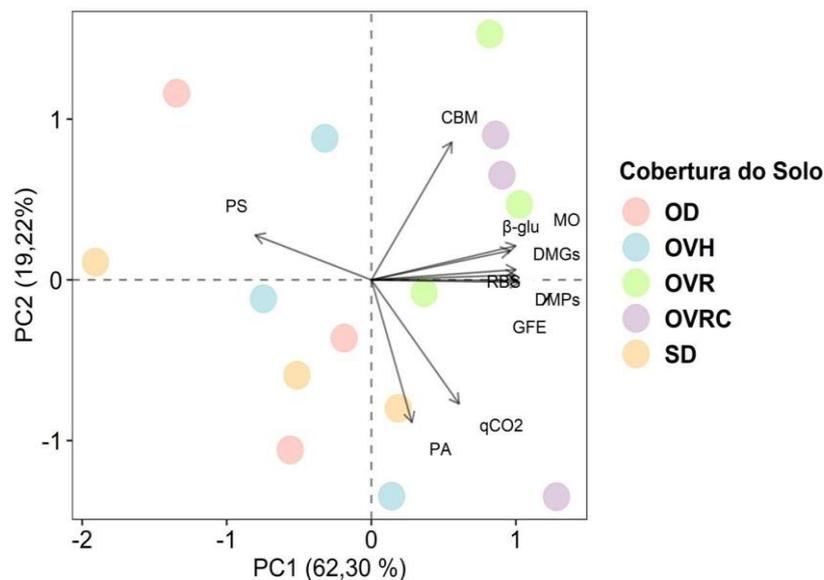
O RBS correlacionou-se de forma direta e moderada com CBM e qCO<sub>2</sub> e de forma direta e forte com GFE, β-glu e MOS. O CBM correlacionou-se de forma inversa e fraca com qCO<sub>2</sub> e de forma direta e moderada GFE, β-glu e MOS. O qCO<sub>2</sub> correlacionou-se de forma direta e moderada com GFE e de forma fraca com β-glu e MOS.

Quanto à GFE, esta apresentou correlação direta e forte com β-glu e MOS. A β-glu apresentou correlação direta e forte com MOS. Observa-se que a proteína do solo relacionada

à glomalina e a atividade enzimática são completamente influenciadas pela matéria orgânica presente no solo, que influenciam diretamente na variação de DMGs.

A PCA (Figura 6) reforça, em geral, que os tratamentos OD, OVH e SD foram fortes componentes das variações PS e PA e inversamente relacionada à grande maioria das variáveis microbiológicas. Entre as variáveis, a matéria orgânica do solo foi negativamente e moderadamente correlacionada com as perdas de solo, e positivamente e fracamente correlacionada com a perda de água, fornecendo informações úteis sobre a relação entre erosão do solo e de matéria orgânica, o que interfere diretamente a funcionalidade da camada superficial do solo.

Figura 6 – Análise dos componentes principais (PCA) dos indicadores físicos, químicos, biológicos, perdas de solo, perdas de água e estabilidade de agregados.



Legenda: OD: Oliveira em solo descoberto, OVR: Oliveira com vegetação espontânea roçada, OVRC: Oliveira com vegetação espontânea, roçagem e coroamento, OVH: Oliveira consorciada com vegetação espontâneas, com o manejo de herbicida e SD: Solo descoberto.

#### 4 DISCUSSÃO

As altas perdas de solo e água para o tratamento OD indicam que o cultivo de oliveiras sem planta de cobertura é um sistema de baixa sustentabilidade e de alta suscetibilidade em áreas com declividade elevada e com alta suscetibilidade à erosão hídrica, como o Cambissolo avaliado, e se assemelha a uma superfície de solo nua (como o tratamento SD) (Tabela 5). Essas

perdas são consequências da falta de fitomassa no sistema ocasionando exposição do solo aos agentes erosivos, como por exemplo, impacto de gotas de chuva e vento (BENIAICH, *et al.*, 2020). Outro aspecto está relacionado à suscetibilidade natural dos Cambissolos a erosão hídrica, segundo Silva *et al.* (2009), estes solos são mais siltosos, apresentando uma estrutura em blocos e baixa permeabilidade do solo a água, além de serem solos rasos e que ocorrem em ambientes mais declivosos, favorecendo a erosividade. Com valores altos de erosividade, podem ocorrer maiores perdas de solo.

Baixas perdas de solo e água foram observadas nos tratamentos OVR, OVRC e até mesmo em OVH (Tabela 5). A utilização de plantas de cobertura tem sido bastante eficiente em mitigar as perdas de solo e água e a quantificação dessas perdas em função do manejo utilizado em pomares de oliveiras são cada vez mais importantes devido a expansão da cultura e escassez dos resultados de pesquisa (ARIAS-GIRALDO *et al.*, 2021; GÓMEZ *et al.*, 2003; SANTOS *et al.*, 2021). Além de benefícios ambientais, a adoção de práticas conservacionistas também gera lucros financeiros de forma indireta através de altas produtividades (FORTINI; BRAGA; FREITAS, 2020) e a redução das perdas de nutrientes (GUIMARÃES *et al.*, 2021).

Os indicadores de agregação do solo DMGs e DMPs, acompanhados da porcentagem de distribuição dos agregados demonstram que áreas com coberturas como observado em OVR e OVRC tendem a ser mais sustentáveis do que áreas sem cobertura vegetal (Tabela 6). Áreas descobertas resultam em menor resistência dos agregados que são facilmente desestruturados quando submetidos à forças externas (SALTON *et al.*, 2008). Do contrário, a utilização de cobertura do solo é considerada um fator chave no controle de processos erosivos devido proporcionar maiores tamanhos de agregados que favorecem uma maior capacidade de infiltração de água mediante às chuvas (MERLO, 2022). Além disso, em condições de manejo da cobertura vegetal, mais matéria orgânica é adicionada no solo, favorecendo a atividade biológica, o que favorece a síntese de húmus no solo, e conseqüentemente, agregados que apresentam maior estabilidade.

Uma forma de avaliar a atividade biológica em solo é por meio da quantificação da RBS. Nesse experimento a RBS apresentou diferença significativa entre os manejos de cobertura do solo adotados ( $p < 0,05$ ) (Tabela 6). O manejo de cobertura OVRC apresentou o maior valor médio de RBS quando comparado aos demais manejos, constatando que a roçagem e o coroamento geram maior oxidação da matéria orgânica, favorecendo a maior ciclagem de nutriente, podendo aumentar a disponibilidade dos nutrientes para as plantas (MEDEIROS *et al.*, 2018). Uma alta RBS pode estar relacionada com maior atividade biológica, no entanto, a

interpretação desta atividade deve ser minuciosamente avaliada, uma vez que a curto prazo, obtém-se a disponibilização de nutrientes para as plantas, a longo prazo, perda de carbono orgânico do solo para atmosfera (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Então, a avaliação da RBS deve estar associada a outras avaliações de atividade biológica do solo, como as atividades enzimáticas ou a quantificação do CBM e do  $qCO_2$ , entretanto esses últimos não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos avaliados nessa pesquisa (Tabela 6).

A atividade de  $\beta$ -glicosidase foi sensível em captar diferenças entre os manejos de cobertura do solo adotados ( $p < 0,05$ ) (Tabela 6). Médias elevadas de atividade enzimática foram encontradas em OVR e OVRC e demonstraram valores superiores a SD, além disso, observa-se uma correlação direta e forte com a MOS (Figura 5). As enzimas no solo têm grande importância por atuarem na quebra e catalisação de compostos orgânicos que participam da formação da matéria orgânica e estrutura do solo (KANDELER, 2007). Estes resultados corroboram com SOFO *et al.*, (2014) ao constatarem que os microrganismos do solo são positivamente beneficiados pela entrada e manutenção constantes de matéria orgânica no solo.

O maior acúmulo de GFE observado em OVRC demonstram o papel fundamental dos fungos micorrízicos na conservação do solo em sistemas agrícolas, além disso, observa-se que a GFE contribui para menores PS e maiores DMG (Figura 4). Os fungos em simbiose com as plantas dão origem as hifas que, conseqüentemente, produzem a glomalina que atua como componente ligante do solo, conferindo maior estabilidade dos agregados, reduzindo perdas de solo através da erosão hídrica (COGO, 2016).

Nossos resultados demonstram a importância da manutenção de um solo sempre coberto. Esta cobertura reduz o processo de erosão do solo devido impedir o impacto da gota de chuva diretamente ao solo, evitando assim o salpicamento e a quebra dos agregados, fatores que aumentam o carregamento de partículas do solo e ainda reduz a velocidade das enxurradas, contribuindo assim com a redução da perda de solo e água. Além disso, com a cobertura do solo favorece muito a atividade microbiana, observado pelo aumento da RBS, da atividade da  $\beta$ -glicosidase e da GFE, o que impulsiona a ciclagem de nutrientes e o aumento de carbono no solo, o que impulsiona a formação de agregados mais estáveis, favorecendo a infiltração de água, o que conseqüentemente, diminui a erosão.

## 5 CONCLUSÃO

Os indicadores microbiológicos de qualidade do solo são sensíveis em indicar manejos de cobertura do solo em olivais que diminuem as perdas de solo e água por erosão hídrica. Os manejos OVR e OVRC melhoram a estabilidade de agregados, a matéria orgânica do solo e as atividades biológicas de respiração, da enzima  $\beta$ -glucosidase e GFE. Esses resultados também indicam que os atributos microbiológicos influenciam no processo de erosão do solo, não apenas os físicos e químicos, podendo ser inseridos em avaliações de processos erosivos e perda de qualidade do solo em olivais na região Sul do Estado de Minas Gerais.

O plantio de oliveiras em solos rasos, declivosos, sem a presença de cobertura vegetal e com manejos que não mantenham os teores adequados de matéria orgânica no solo, apresentam baixa estabilidade dos agregados do solo, altas perdas de solo e água e acabam comprometendo o papel benéfico da comunidade microbiana do solo. A presença de plantas de cobertura na entrelinha dos olivais melhora as condições dos solos e a constante entrada de resíduo vegetal via fitomassa, raízes mortas e rizoposição ativam o sistema biológico do solo, como demonstrado no presente estudo, proporcionando maior atividade microbiana, como podemos ver na respiração do solo e na  $\beta$ -glucosidase, e contribuindo no maior sequestro de carbono incorporado pela biomassa microbiana e pela glomalina. Portanto a manutenção de um solo sempre coberto é de fundamental importância para a manutenção da sustentabilidade do sistema.

## REFERÊNCIAS

- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. **Academic Press**, n. 9780125138406, p. 463–490, 1995.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> ( $q\text{CO}_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393–395, 1993.
- ARIAS-GIRALDO, L. F. et al. Going beyond soil conservation with the use of cover crops in Mediterranean sloping olive orchards. **Agronomy**, v. 11, n. 7, p. 1387, 2021.
- BENIAICH, A. et al. Determination of vegetation cover index under different soil management systems of cover plants by using an unmanned aerial vehicle with an onboard digital photographic camera. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 49–66, 2019.
- BENIAICH, A. et al. Assessment of soil erosion in olive orchards (*Olea Europaea* L.) Under cover crops management systems in the tropical region of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, e0190088, 2020.
- BOUYOUCOS, G. J. Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils 1. **Agronomy Journal**, v. 54, n. 5, p. 464–465, 1962.
- BRADFORD, D.M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical biochemistry**, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.
- COGO, F. D. **Doses de gesso e distribuição em profundidade no solo de fungos micorrízicos arbusculares e glomalina em cafeeiro no cerrado**. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, p. 102, 2016.
- COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 743–753, 2003.
- DE ALMEIDA, W. S. et al. Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1110–1119, 2016.
- EIVAZI, F., TABATABAI, M.A. Glucosidases and galactosidases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, p. 601–606, 1988.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2011, p. 30.
- FORTINI, R. M.; BRAGA, M. J.; FREITAS, C. O. Impacto das práticas agrícolas conservacionistas na produtividade da terra e no lucro dos estabelecimentos agropecuários brasileiros. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 58, n. 2, p. 1–19, 2020.

- FRANCO, F. S. et al. Quantificação de erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 751–760, 2002.
- GÓMEZ, J. A. et al. Evaluating the impact of soil management on soil loss in olive orchards. **Soil use and management**, v. 19, n. 2, p. 127-134, 2003.
- GOMIDE, P. H. O. et al. Vegetation characterization in gully areas as basis for soil conservation. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, p. 149-159, 2014.
- GOMIDE, P. H. O.; SILVA, M. L. N.; SOARES, C. R. F. S. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 567–577, 2011.
- GUIMARÃES, D. V. et al. Relationship between soil organic matter fractions and cover plants in olive post planting. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 6, p. 1–12, 2018.
- GUIMARÃES, D. V. et al. Dynamics and losses of soil organic matter and nutrients by water erosion in cover crop management systems in olive groves, in tropical regions. **Soil and Tillage Research**, v. 209, e104863, 2021.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. “**Normais Climatológicas do Brasil (1991-2021) – Temperatura e Precipitação**”. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 04 de jul. de 2022.
- IUSS WORKING GROUP WRB. **World reference base for soil resources 2014, update 2015: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015.
- KANDELER, E. Physiological and biochemical methods for studying soil biota and their function. In: **Soil microbiology, ecology and biochemistry**. Academic press, 2007. p 53–83.
- KOZAK, M.; PIEPHO, H. P. What’s normal anyway? Residual plots are more telling than significance tests when checking ANOVA assumptions. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 204, n. 1, p. 86–98, 2018.
- MEDEIROS, E. J. T. et al. Diversidade cultural de cepas de actinobactérias do Semiárido. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 27, p. 205–218, 2018.
- MELLONI, R.; CARDOSO, E. J. B. N. Microbiome Associated with Olive Cultivation: A Review. **Plants**, v. 12, n. 4, p. 897-921, 2023.
- MENKE, W. Review of the Generalized Least Squares Method. **Surveys in Geophysics**, v. 36, n. 1, p. 1–25, 2015.
- MERLO, M. N. et al. Microbiological Properties in Cropping Systems and Their Relationship with Water Erosion in the Brazilian Cerrado. **Water**, v. 14, n. 4, p. 1–15, 2022.
- MOREIRA, F. M. DE S.; SIQUEIRA, J. O. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. **Tópicos em ciência do solo**, n. 2, p. 195–276, 2002.

OLIVEIRA, J. G. R. et al. Erosão no plantio direto: perda de solo, água e nutrientes. **Boletim de Geografia**, v. 30, n. 3, p. 91–98, 2012.

PEÑA, E. A.; SLATE, E. H. Global validation of linear model assumptions. **Journal of the American Statistical Association**, v. 101, n. 473, p. 341–354, 2006.

SALTON, J. C. et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 11–21, 2008.

SILVA, A. M. M.; ARAÚJO, V. L. P. DE; BARROS, T. H. D. S. A saúde dos solos agrícolas frente às mudanças climáticas globais. **A sustentabilidade ambiental da agricultura e de florestas tropicais: uma visão científica, ecológica, política e social** / Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso (org.). - 1. ed. Curitiba: Appris, p. 69-80, 2021.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2020. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 25 de abr. 2021.

SOFO, A. et al. Soil microbial diversity and activity in a Mediterranean olive orchard using sustainable agricultural practices. **Soil Use and Management**, v. 30, n. 1, p. 160–167, 2014.

SOIL QUALITY INSTITUTE (US). **Soil quality test kit guide**. Soil Quality Institute, National Resources Conservation Service, US Department of Agriculture, 1998. 80 p.

TAGUAS, E. V. et al. Exploring the linkage between spontaneous grass cover biodiversity and soil degradation in two olive orchard microcatchments with contrasting environmental and management conditions. **Soil**, v. 1, n. 2, p. 651–664, 2015.

TEIXEIRA, P. C. et al. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, p. 200–202, 2017.

TERAMOTO, J. R. S.; BERTONCINI, E. I.; PRELA-PANTANO, A. Mercado dos produtos da oliveira e os desafios brasileiros 1. **Informações Econômicas**, v. 43, n. 2, p. 24–32, 2013.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 1–5, 1987.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil science**, v. 37, n. 1, p. 29-38, 1934.

WRIGHT, S. F., UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**, v. 161, n. 9, p. 575-586, 1996.

XAVIER, M. V. B. et al. Capacidade de uso e manejo conservacionista do solo de um fragmento de cerrado sensu stricto, Montes Claros-MG. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, e41410716697, 2021.

ZUAZO, V. H. D. et al. Benefits of organic olive rainfed systems to control soil erosion and runoff and improve soil health restoration. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 40, n. 6, p. 1–15, 2020.