

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO, ACÚMULO DE
CARBONO E CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DA
SOJA EM SISTEMAS DE MANEJO DE LONGA DURAÇÃO**

ALVES ALEXANDRE ALOVISI

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2023**

**INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO, ACÚMULO DE
CARBONO E CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DA
SOJA EM SISTEMAS DE MANEJO DE LONGA DURAÇÃO**

ALVES ALEXANDRE ALOVISI

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Produção Vegetal

Orientador: PROF. DR. LUIZ CARLOS FERREIRA DE SOUZA

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

A455i Alovisi, Alves Alexandre

Indicadores de qualidade do solo, acúmulo de carbono e características agronômicas da soja em sistemas de manejo de longa duração [recurso eletrônico] / Alves Alexandre Alovisi. -- 2023.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Luiz Carlos Ferreira de Souza.

Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. sistema plantio direto. 2. atributos químicos. 3. estoque de carbono. 4. atividade enzimática. 5. Glycine max (L) Merrill. I. Souza, Luiz Carlos Ferreira De. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

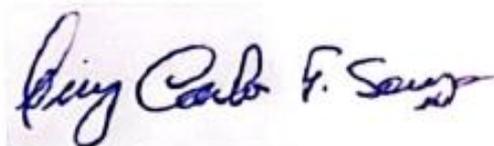
©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO, ACÚMULO DE CARBONO E CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DA SOJA EM SISTEMAS DE MANEJO DE LONGA DURAÇÃO

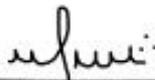
por
ALVES ALEXANDRE ALOVISI

Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de
DOUTOR EM AGRONOMIA

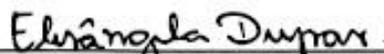
Aprovada em:



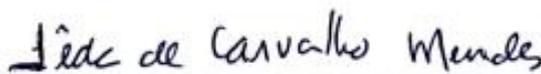
Prof. Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza
Orientador- UFGD/FCA



Prof. Dr Antônio Marcos Camacho
UEMS



Prof. Dra. Elisângela Dupas
UFGD/FCA



Prof. Dra. Ieda Carvalho Mendes



Documento assinado digitalmente
SILVIA CORREA SANTOS
Data: 24/04/2023 10:33:14-0300
Verifique em <https://validar.ib.gov.br>

Prof. Dra. Silvia Correa Santos
UFGD/FCA

*Dedico,
às minhas filhas, Heloísa e Yasmin, e
a minha esposa Alessandra,
pois são elas que dão qualidade
à minha vida*

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida que tem me concedido, e por sempre me iluminar e me orientar.

À Universidade Federal da Grande Dourados e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, pela oportunidade da realização do curso de doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza, pela convivência, pela amizade, orientação, confiança, oportunidades, incentivos e conselhos que me foram dados durante a curso de doutorado.

Aos meus pais Altamiro Alovisei (in memoriam) e Adelina Alovisei e aos meus irmãos Valmor Alovisei, Clarice Alovisei, Dora Alovisei e Serlei Alovisei pelo apoio.

A minha esposa Alessandra Mayumi T. Alovisei, pois não seria possível concretizar este trabalho sem o seu imenso apoio.

As minhas filhas Heloisa Akemi e Yasmin Tiemi, pelo carinho.

Aos funcionários da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD que me proporcionaram condições para a realização desse trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia, pelo conhecimento transmitido.

Aos colegas de pós-graduação pelo incentivo e apoio durante o curso.

Aos amigos Jucimar Ferreira Neves, Gabriel Piatí, Diandra Della Flora, Robervaldo Soares, pelo auxílio na condução do experimento, na coleta de dados e pela amizade.

Aos pesquisadores da EMBRAPA, Ieda de Carvalho Mendes, Michely Tomazi e Julio C. Salton e ao professor Elias Silva de Medeiros (FACET) pela valiosa colaboração.

Aos funcionários da Fazenda Experimental da UFGD, que auxiliaram no trabalho de campo.

Aos membros das bancas de qualificação e defesa pelas valiosas contribuições.

Muito obrigado!!!

SUMÁRIO

RESUMO.....	13
ABSTRACT.....	14
1 INTRODUÇÃO.....	15
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 Plantio Direto (PD).....	17
2.2 Atributos químicos do solo.....	18
2.3 Atributos biológicos do solo.....	19
2.3 Qualidade do Solo e indicadores.....	22
2.3.1 Índice de qualidade dos solos.....	22
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Local do experimento e descrição edafoclimática.....	25
3.2. Delineamento experimental e tratamentos.....	27
3.2. Instalação e condução.....	29
3.2.1 Culturas de cobertura e sucessão.....	29
3.2.2 Cultura da soja.....	29
3.3. Amostragens e avaliações.....	30
3.3.1 Amostragem de solo para análise química.....	30
3.3.1.1 Análise química e física (densidade) do solo.....	31
3.3.2 Análise foliar.....	31
3.3.3 Componentes de produção da soja.....	32
3.3.4 Atividade enzimática do solo (Bioanálise de solo- BioAS).....	33
3.4. Análise estatística.....	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1 Atributos químicos do solo.....	35
4.1.1 Camada de 0-10 cm.....	35
4.1.2 Camada de 10-20 cm.....	42
4.1.3 Camada de 20-40 cm.....	44
4.1.4 Camada de 40-60 cm.....	45
4.1.5 Estoque de carbono.....	48
4.2 Atividade enzimática do solo.....	50
4.3. Teores foliares de macro e micronutrientes.....	59
4.4. Componentes biométricos e produtividade da soja.....	62

4.5 Análise de Correlação (Pearson).....	66
4.6 Agrupamento hierárquico e análise de componentes principais.....	68
5 CONCLUSÕES.....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1. Textura do solo nas profundidades avaliadas, na Fazenda experimental de ciências agrárias, UFGD, Dourados_MS 2019.....	25
Quadro 2. Histórico e síntese dos tratamentos avaliados, compostos por sequência de tratamentos no experimento de sucessão e rotação de culturas, entre os anos de 2017 a 2020. Dourados, MS.....	28
Quadro 3. Valores médios de pH (CaCl ₂), matéria orgânica do solo (MOS), fósforo (P), potássio (K ⁺), cálcio (Ca ²⁺), magnésio (Mg ²⁺), alumínio (Al ³⁺), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação de bases (V%) e fósforo remanescente (P _{rem}), na camada de 0-10 cm, avaliados no ano de 2019. Dourados-MS	36
Quadro 4. Valores médios de pH (CaCl ₂), matéria orgânica do solo (MOS), fósforo (P), potássio (K ⁺), cálcio (Ca ²⁺), magnésio (Mg ²⁺), alumínio (Al ³⁺), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação de bases (V%) e fósforo remanescente (P _{rem}), na camada de 10-20 cm, avaliados no ano de 2019. Dourados-MS	44
Quadro 5. Valores médios de pH (CaCl ₂), matéria orgânica do solo (MOS), fósforo (P), potássio (K ⁺), cálcio (Ca ²⁺), magnésio (Mg ²⁺), alumínio (Al ³⁺), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação de bases (V%) na camada de 20-40 cm, avaliados no ano de 2019. Dourados-MS	46
Quadro 6- Valores médios de pH (CaCl ₂), matéria Orgânica do solo (MOS), fósforo (P), potássio (K ⁺), cálcio (Ca ²⁺), magnésio (Mg ²⁺), alumínio (Al ³⁺), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação de bases (V%) na camada de 40-60 cm, avaliados no ano de 2019. Dourados-MS	47
Quadro 7. Valores médios de estoque de Carbono orgânico total (EstC), nas camadas de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm e Total (0-60 cm), avaliados no ano de 2019. Dourados-MS	49
Quadro 8. Efeito dos sistemas de manejo sobre a atividade das enzimas Arilsufatase, β-glicosidase e carbono orgânico total (COT), na camada de 0-10 cm	51
Quadro 9. Classes de interpretação de bioindicadores para Latossolos Vermelhos argilosos de cerrado, sob cultivos anuais, na camada de 0 cm a 10 cm, utilizando o conceito Fertbio: específica para amostras de solo coletadas na fase de pós-colheita e secas ao ar.....	55
Quadro 10. Escala de qualidade cromática usada para classificar os índices de BioAnálise de Solo.....	57

- Quadro 11. Efeito dos sistemas de manejo sobre os índices de qualidade solo (IQS) e escores (ciclagem, armazenamento e suprimento) na profundidade de 0-10cm..... 58
- Quadro 12. Influência dos sistemas de sucessão e rotações de cultura sobre os resultados de análise de tecido foliar da cultura da soja nas safras 2019/2020 e 2020/2021. Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). Dourados, MS.....60
- Quadro 13. Altura de planta (ALT), número de ramos (NR), número de vagens (NV), massa de 1000 grãos (M1000), produtividade de grãos (PROD) de soja em sistemas de sucessões e rotações de culturas, safras 2019/2020 e 2020/2021. Dourados, MS..... 63
- Quadro 14. Correlação de Pearson entre as enzimas (arilsulfatase e β -glicosidase), ciclagem, armazenagem, suprimento, matéria orgânica (MO), estoque de carbono (EC) nas camadas de solo (0-10, 10-20, 20-40, 40-60cm e total), macronutrientes do solo (P, K, Ca e Mg), capacidade de troca catiônica (CTC), fósforo remanescente (P_{rem}) e produtividade da soja em sistemas de pousio, sucessões e rotações de culturas, safras 2019/2020 e 2020/2021. Dourados, MS.....67
- Quadro 15. Cargas, scores fatoriais e variabilidade explicada pelos eixos na análise de componentes principais (CP) de atributos químicos do solo (MO, EstC, P, CTC, P_{rem}) funções do solo (ciclagem, armazenamento e suprimento) e produtividade da soja das safras 2019/20 e 2020/21. Dourados – MS.....71

LISTAS DE FIGURAS

- Figura 1. Modelo do IQS_{FERTBIO} , $IQS_{\text{BIOLÓGICO}}$ e $IQS_{\text{QUÍMICO}}$ e suas relações com as funções do solo (F1, F2 e F3) e respectivos indicadores obtidos por meio de análises de solo. Dourados, MS.....24
- Figura 2. Imagem aérea do experimento, localizado na fazenda experimental de ciências agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados. Dourados, MS.....25
- Figura 3. Temperaturas máximas, mínimas ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação (mm) no período de 120 dias após a semeadura da soja nas safras 2019/20 e 2020/21. Dourados, MS.....27
- Figura 4. Modelo de laudo BioAS, Dourados-MS,54
- Figura 5- Relação entre os níveis de atividade de arilsulfatase (sulfa) e β -glicosidase (Glico) com os estoques de carbono (EstC) nas camadas de 0 a 60 cm e 0 a 10cm, em sistemas sob pousio, rotação e sucessão. Dourados_MS.....56
- Figura 6. Dendrograma de distância euclidiana com base na discriminação dos oito sistemas de sucessão e rotações de cultura. (ST1: soja verão e pousio no inverno; ST2: soja no verão e milho solteiro no inverno; ST3: soja no verão e consórcio de milho + *Braquiaria ruziziensis* no inverno; ST4: soja no verão e Aveia preta + milho + trigo mourisco + ervilhaca no outono/inverno; ST5: soja no verão e Níger no outono/inverno; ST6: soja no verão e ervilhaca no outono/inverno; ST7: soja no verão e *Crotalaria spectabilis* no outono/inverno; ST8: soja no verão e aveia preta + milho + trigo mourisco + *Braquiaria ruziziensis* no outono/inverno). Atributos considerados na avaliação: enzima arilsulfatase, enzima β -Glucosidase; ciclagem de nutrientes; armazenamento de nutrientes; suprimento de nutrientes; MO: matéria orgânica; EstC_10=: estoque carbono 0-10cm . ; EstC_20: estoque carbono 10-20cm; EstC_40: estoque carbono 20-40cm; EstC_60: estoque carbono 40-60cm; EstC_T: estoque carbono total (0-60cm); P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; CTC: capacidade de troca catiônica; P_{rem} : fósforo remanescente; produtividade soja safra 2019/2020; produtividade soja safra 2020/2021. G1: grupo 1; G2: grupo 2; G3: grupo 3. Dourados-MS..... 69
- Figura 7. Biplot mostrando a projeção das variáveis nos dois primeiros componentes principais com a discriminação dos oito sistemas de sucessão e rotações de cultura. ST1: soja verão e pousio no inverno; ST2: soja no verão e milho solteiro no inverno; ST3: soja no verão e consórcio de milho + *Braquiária ruziziensis* no inverno; ST4: soja no verão e Aveia preta + milho + trigo mourisco + ervilhaca no outono/inverno; ST5: soja no verão e niger no outono/inverno; ST6: soja no verão e ervilhaca no outono/inverno; ST7: soja no verão e *Crotalária spectabilis* no outono/inverno; ST8: soja no verão e aveia preta + milho + trigo mourisco + *Braquiária ruziziensis* no outono/inverno.....70

ALOVISI, A. A. **Indicadores de qualidade do solo, acúmulo de carbono e características agronômicas da soja em sistemas de manejo de longa duração.** 89 f. Tese (doutorado em agronomia, produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS, 2023.

RESUMO

A expansão e a adoção por longos períodos de sistemas de manejo conservacionistas, como o sistema plantio direto, permitiu verificar que os aumentos de produtividade das culturas ou a manutenção da produção muitas vezes não são explicadas pelos resultados das análises químicas de solo, demonstrando a necessidade de utilizar um conjunto de indicadores da qualidade do solo como a entrada de outros atributos, entre eles os biológicos. Este trabalho foi executado na Fazenda experimental – UFGD em Dourados-MS e teve como objetivo avaliar os efeitos de sistemas de sucessão e rotação de culturas nos atributos químicos e biológicos do solo, acúmulo de carbono no perfil, atributos nutricionais e características agronômicas da soja. O experimento foi composto por oito tratamentos, sendo três sistemas de sucessão e cinco sistemas de rotações de culturas no período de inverno, sendo: 1) soja/pousio; 2) soja/milho; 3) soja/milho+braquiária; 4) aveia preta + milho + trigo mourisco + ervilhaca; 5) niger; 6) ervilhaca; 7) *Crotalaria spectabilis*; 8) aveia preta + milho + trigo mourisco + *Braquiária ruziziensis*, respectivamente. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Foram avaliados os atributos químicos do solo (pH, MO, P, K, Ca, Mg, A, H+Al, SB, V%, CTC e Premanescente) acúmulo de carbono no perfil em quatro camadas (0-10, 10-20, 20 a 40 e 40-60 cm), atividade enzimática no solo, atributos nutricionais e características agronômicas da soja (altura de plantas, número de vagens, peso 1000 grãos e produtividade). Os atributos químicos e acúmulo de carbono no solo foram avaliados nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm. A atividade enzimática e fósforo remanescente foram realizadas somente na camada de 0-10. Os sistemas de manejo estudados foram capazes de alterar os teores de MO, P, K, Ca e fósforo remanescente na camada de 0-10 cm e P nas camadas de 10-20 e 20-40 cm. Os sistemas de manejo envolvendo rotações de culturas, sucessão soja/milho solteiro e sucessão soja/milho + braquiária foram mais eficientes no aporte de matéria orgânica do solo e por consequência na qualidade do solo, em relação ao monocultivo de soja. Somente os teores foliares de P, K, Cu, Fe e Zn foram alterados nos diferentes sistemas de manejo. Os indicadores químicos (MO e P remanescente) e biológicos (arilsulfatase e β -glicosidase) e estoque de carbono apresentam potencial para detectar alterações nos sistemas de manejo. Com exceção da soja em monocultivo, todos os sistemas de rotação ou sucessão de cultivos apresentaram melhor atividade enzimática no solo. As maiores produtividades de soja foram obtidas nos tratamentos que envolveram as rotações de culturas. Os atributos químicos do solo, isoladamente, pouco contribuíram para a avaliação da qualidade do solo, no entanto, com o uso da análise multivariada, subsidiou-se a constatação dos manejos do solo mais promissores. Os sistemas ST4, ST6, ST7 e ST8 se destacaram entre os sistemas de rotações, com maiores correlações com os índices de qualidade do solo.

Palavras-chave: sistema plantio direto, atributos químicos, estoque de carbono, atividade enzimática, *Glycine max* (L) Merrill.

ALOVISI, A. A. **Indicators of soil quality, carbon accumulation and agronomic characteristics of soybean in long-term management systems.** 89 f. Thesis (PhD in agronomy, plant production). Faculty of Agricultural Sciences (FCA), Federal University of Grande Dourados, Dourados-MS, 2023.

ABSTRACT

The expansion and adoption for long periods of conservationist management systems, such as the no-tillage system, made it possible to verify that increases in crop productivity or maintenance of production are often not explained by the results of soil chemical analysis, demonstrating the need to use a set of soil quality indicators as input for other attributes, including biological ones. This work was carried out at the Experimental Farm - UFGD in Dourados-MS and aimed to evaluate the effects of crop succession and rotation systems on chemical and biological soil attributes, carbon accumulation in the profile, nutritional attributes and agronomic characteristics of soybean. The experiment consisted of eight treatments, three succession systems and five crop rotation systems in the winter period, as follows: 1) soybean/fallow; 2) soy/corn; 3) soybean/corn+brachiaria; 4) black oats + millet + buckwheat + vetch; 5) niger; 6) vetch; 7) *Crotalaria spectabilis*; 8) black oats + millet + buckwheat + *Brachiaria ruziziensis*, respectively. The experimental design was randomized blocks with four replications. Data were subjected to analysis of variance and means compared using the Tukey test ($p < 0.05$). Soil chemical attributes were evaluated (pH, MO, P, K, Ca, Mg, A, H+Al, SB, V%, CTC and Remaining) carbon accumulation in the profile in four layers (0-10, 10- 20, 20 to 40 and 40-60 cm), enzymatic activity in the soil, nutritional attributes and agronomic characteristics of soybean (plant height, number of pods, weight per 1000 grains and productivity). The chemical attributes and carbon accumulation in the soil were evaluated in the layers of 0-10, 10-20, 20-40 and 40-60 cm. Enzymatic activity and remaining phosphorus were performed only on layer 0-10. The management systems studied were capable of altering the contents of MO, P, K, Ca and remaining phosphorus in the 0-10 cm layer and P in the 10-20 and 20-40 cm layers. The management systems involving crop rotations, soybean/single corn succession and soybean/corn + brachiaria succession were more efficient in the contribution of soil organic matter and, consequently, in soil quality, in relation to the soybean monoculture. Only the foliar P, K, Cu, Fe and Zn contents were altered in the different management systems. Chemical (MO and remaining P) and biological (arylsulfatase and β -glucosidase) and carbon stock indicators have the potential to detect changes in management systems. With the exception of soybean in monoculture, all systems of rotation or succession of crops showed better enzymatic activity in the soil. The highest soybean yields were obtained in treatments involving crop rotations. Soil chemical attributes, in isolation, contributed little to the assessment of soil quality, however, with the use of multivariate analysis, the verification of the most promising soil managements was subsidized. The ST4, ST6, ST7 and ST8 systems stood out among the rotation systems, with higher correlations with soil quality indices.

Keywords: no-tillage system, chemical attributes, carbon accumulation, enzymatic activity, Glycine max (L) Merrill.

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) é a principal oleaginosa cultivada no Brasil. Em Mato Grosso do Sul, a produtividade de soja, safra de 2020/21, foi de 3.662 kg por hectare, um aumento de 9% em relação à safra anterior (CONAB, 2022). Este destaque é decorrente de uso adequado de maquinários, cultivares adaptadas e o tipo de manejo utilizado. O aproveitamento das áreas cultiváveis em função do aumento da produtividade atual impõe o uso de tecnologias que garantam o bom desenvolvimento das culturas.

Entre as técnicas de manejo, o plantio direto (PD) se destaca especialmente nas regiões tropicais e atinge mais de 33 milhões de hectares da área cultivada no Brasil (FEBRAPDP, 2022). Hoje, aproximadamente 10% desse total pode ser caracterizado com o verdadeiro sistema de plantio direto (SPD), sistema esse que preconiza a produção e manutenção da cobertura vegetal sobre a superfície do solo de forma constante através do não revolvimento do solo e da rotação de culturas, visando a sustentabilidade do ambiente.

O sistema plantio direto (SPD) tem sido a prática de manejo conservacionista de maior importância para a sustentabilidade da agricultura não só no Brasil, mas também em âmbito global (LOPES; GUIMARÃES, 2016). Porém apesar do grande número de pesquisas e observações a campo, em grande parte das áreas, ainda existem algumas limitações iniciais relacionadas a prática do SPD.

Um fator que tem limitado a sustentabilidade do SPD no Brasil é a sua prática errônea, na maioria dos casos têm se observado a adoção do monocultivo e/ou sucessão de culturas soja e milho safrinha. Essas práticas de manejo tendem a ocasionar degradação física, química e biológica do solo, além de propiciar aumento na incidência e severidade de pragas, doenças e plantas daninhas nos sistemas de produção, tornando-o insustentável a longo prazo (SEDIYAMA, 2009; BERTOLLO; LEVIEN, 2019).

É indispensável manejos que permitam altos aportes de material orgânico ao solo (rotação, sucessão, consórcios), qualidade e diversidade elevando os teores de matéria, promovendo o aporte de cargas negativas, aumentando a capacidade de troca catiônica e a disponibilidade de nutrientes (PÉREZ et al., 2017).

A aptidão do solo para a produção de alimentos e fibras de forma satisfatória aliado a uma produção sustentável nos âmbitos ambiental, econômico e social, está atrelada à construção da sua qualidade, a qual serve de indicador para o manejo adequado do solo e das culturas (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009). Ao considerar a qualidade do

solo, deve-se correlacionar os atributos do solo, para tornar possível a detecção precoce de possíveis alterações em função do sistema de manejo adotado (MAHARJAN et al., 2017, MENDES et al., 2019).

Pelo fato de existir um número razoável de variáveis dentro da química, física e biologia do solo, a avaliação de sua qualidade tem limitações quando mensurada diretamente, podendo assim, ser estimada a partir de indicadores de qualidade do solo (KARLEN et al., 1997; ANDREWS et al., 2004). Nesse sentido, a pesquisa tem procurado identificar e selecionar atributos mensuráveis que estejam associados a determinadas funções que desempenham no solo, servindo assim de indicador de sua qualidade (MOTA et al., 2013; Mendes et al., 2021).

O manejo adequado de práticas conservacionistas, quando introduzido gradativamente, tende a apresentar resultados a longo prazo, de forma satisfatória e contínua e, por meio dos indicadores de qualidade do solo é possível verificar as alterações ocorridas nesse recurso natural ao longo do uso e do tempo.

Diante da importância econômica da soja e o grande aumento na demanda de grãos dessa cultura, são primordiais a compreensão e avaliação da qualidade do solo, com o intuito de auxiliar consultores e produtores na tomada de decisão dos manejos e seus possíveis impactos no sistema produtivo.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi de avaliar os Indicadores de qualidade do solo, acúmulo de carbono e características agrônômicas da soja em sistemas de manejo de longa duração.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Plantio Direto (PD)

O plantio direto vem ganhando espaço ao longo de décadas, sendo uma prática que norteia diversas pesquisas sobre sua influência aos atributos do solo (PASSOS et al., 2018). Sua importância é tão expressiva que de acordo com a Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação (FEBRAPDP, 2022), o plantio direto ocupa aproximadamente 34 milhões de hectares das áreas cultivadas, correspondendo a 90% das áreas de plantio de grãos no País. Segundo dados da FEBRAPDP (2022), houve aumento significativo das áreas sob PD no Brasil, passando de 1 milhão de hectares no início dos anos 90 para 33,8 milhões de hectares em 2017/2018, representando 26,6% da área sob plantio direto no mundo, sendo o País com a maior área de adoção desse sistema.

Atualmente, o sistema é considerado uma ferramenta primordial para se alcançar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas devido aos seus efeitos benéficos sobre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (CRUZ et al., 2014). Mas para que o PD seja sustentável e não haja descontinuidade de seus impactos positivos sobre o ambiente, é necessário conscientizar-se do uso dos princípios básicos que são: manutenção de uma cobertura permanente sobre a superfície do solo e a adoção de modelos de produção diversificada de culturas, que produza quantidade de resíduos vegetais adequados na superfície do solo, baseados na rotação e consorciação de culturas (CONTE et al., 2020). Assim, é essencial o planejamento dos modelos de produção que proporcionem suficiente adição de carbono ao solo para que o balanço do sistema seja positivo e com isso incrementar o teor de MOS.

Além da proteção do solo, a diversificação da rotação e sucessão de culturas, propicia a quebra de ciclo de pragas e doenças, além da palhada diminuir a infestação de plantas daninhas. Também de grande valia, as espécies que entram nesse sistema de rotação, pelos diferentes sistemas radiculares, contribuem para manutenção da estrutura do solo (PIATI, 2022).

A ciclagem de nutrientes proporcionada pela rotação de culturas é considerada uma importante forma de gestão da fertilidade do solo no sistema de plantio direto, pois agrega na disponibilidade de nutrientes demandados pela cultura de interesse econômico. A dinâmica da ciclagem de nutrientes no SPD é altamente dependente das espécies vegetais utilizadas em rotação e das condições ambientais as quais estão inseridas, o que influencia a taxa de decomposição de seus resíduos (MARTINS, 2016).

A microbiota do solo está entre os fatores que exercem forte influência do sistema de manejo adotado, desempenhando importante papel na ciclagem de nutrientes e na decomposição dos resíduos vegetais (GONÇALVES et al., 2019). Segundo Cardoso et al. (2013), os indicadores microbianos são mais susceptíveis que os atributos químicos e físicos do solo, às mudanças do meio, por isso qualquer estratégia de manejo conservacionista que agregue em melhor qualidade microbiológica do solo é capaz de resultar em produtividade das culturas.

A matéria orgânica proveniente da decomposição da palhada em SPD, possibilita uma racionalização do adubo mineral, aumento da capacidade de troca catiônica e redução de perdas de nutrientes por lixiviação (ALVES et al., 2013).

O aporte contínuo de matéria orgânica e a manutenção de resíduos vegetais em SPD, criam um ambiente no solo de elevada produção de compostos orgânicos, como, substâncias húmicas, ácido tânico, aminas, compostos aromáticos, ácidos orgânicos de baixa massa molecular que aumentam na medida em que se eleva a adição de palhada no sistema, produzindo contínuos efeitos positivos em sua fertilidade (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

A introdução das plantas de cobertura deve ser uma prática planejada antecipadamente, devendo levar em consideração as diferentes características das espécies que apresentam potencial para esse fim. Além disso, é importante ter em mente que as melhorias no sistema de produção normalmente não vêm de imediato, visto que, como se trata de sistema, é preciso que se dê tempo para que o processo possa dar resposta (BARRADAS, 2010).

2.2 Atributos químicos do solo

O SPD tende com o decorrer dos anos a proporcionar um incremento nos teores de matéria orgânica nas camadas superiores do perfil dos solos, provocando alterações na fertilidade do solo.

Os principais atributos químicos cujas alterações podem ocorrer no tempo são: (pH) potencial hidrogeniônico, MO (matéria orgânica), (P) fósforo, (K) potássio, (Ca) cálcio, (Mg) magnésio e (Al) alumínio. Estes atributos são os mais utilizados em estudos realizados em curto espaço de tempo, em função de seus reflexos imediatos e a ferramenta mais utilizada para esse diagnóstico tem sido a análise do solo (MARTINAZZO, 2006).

As alterações dos atributos químicos agravados pela mudança de uso da terra, somando-se as condições edafoclimáticas desfavoráveis causam prejuízos à capacidade produtiva dos sistemas agrícolas, por causa da perda da fertilidade do solo, seja pelos nutrientes exportados pelas culturas, pela lixiviação dos nutrientes superficiais ou mesmo pela erosão do solo provocado pela chuva ou pelo vento (LOPES, 2012).

Os nutrientes mesmo que estejam disponíveis, em boas concentrações e dentro da faixa de pH do solo para serem absorvidos, necessitam estar mineralizados pelos microrganismos e transformados através das reações químicas na presença de oxigênio. Neste sentido, as análises dos atributos químicos que condicionam o melhor manejo agrônomo e ambiental são importantes, para se conhecer previamente as formas de uso do solo a serem adotadas.

A rotação de culturas em sistemas de plantio direto (SPD) proporciona inúmeros benefícios, dentre as principais cita-se a elevação do teor de MO. Esse incremento influencia diretamente a produtividade das culturas, pois está associado ao fornecimento e disponibilidade de nutrientes bem como elevação da capacidade de troca de cátions (CTC) e complexação de componentes tóxicos às culturas (FRANCHINI et al., 2007; BODDEY et al., 2010). A ciclagem de nutrientes é considerada um dos maiores benefícios proporcionados pela rotação de culturas.

A expansão e a adoção por longos períodos de sistemas de manejo conservacionistas, como o SPD, também permitem verificar aumentos de produtividade das culturas ou a manutenção da produção frente a situações ambientais adversas, que muitas vezes, não são explicados pelos resultados das análises químicas de solos (DRINKWATER e SNAPP, 2007; NICOLODI et al., 2008; MENDES et al., 2017, 2020). Essa constatação de que solos quimicamente semelhantes podem apresentar desempenhos diferenciados demonstra uma real necessidade da inclusão de parâmetros relacionados ao funcionamento biológico do solo (bioindicadores) nas análises de rotina (MENDES et al., 2021).

2.3 Atributos biológicos do solo

Cerca de 60% a 80% da fração viva e mais ativa da matéria orgânica é representado pelos microrganismos, sendo responsável por diversos processos biológicos e bioquímicos no solo (LIANG e BALSER, 2011). Esses valores dão uma ideia da imensa

diversidade das comunidades microbianas do solo e, conseqüentemente, da diversidade de processos em que elas atuam (MENDES et al., 2021).

A própria estrutura do solo geralmente é favorecida pela ação da fauna, prova disso são os efeitos melhoradores na estabilização de agregados através das secreções de diversos microrganismos, bem como o aumento no volume de macroporos pela ação de minhocas e formigas (DERPSCH et al., 1991). Além desses fatores, também a aeração, relação C/N e pH do solo são determinantes no que diz respeito a uma maior ou menor degradação da matéria orgânica.

Neste sentido os fatores biológicos podem ser usados como indicadores de qualidade, pois podem influenciar grandemente no uso do solo, onde qualquer estresse no sistema poderá afetar a diversidade e as atividades das populações microbianas (PANKHUST et al., 1995). Os microrganismos atuam na intemperização das rochas, na decomposição dos resíduos orgânicos, na ciclagem de nutrientes e na biorremediação de poluentes e metais pesados (MENDES e REIS JÚNIOR, 2004), principalmente nas camadas superficiais do solo onde a atividade dos microrganismos é mais intensa (ALVARENGA, 1999).

Entre os indicadores de qualidade do solo, a atividade enzimática é importante tanto no que se refere a ciclagem de nutrientes, como também na estimativa da capacidade do solo, solo para o crescimento vegetal. As enzimas são biomoléculas da classe das proteínas que atuam como catalisadores, sendo elas específicas para cada composto a ser degradado (MANISHA, 2017) e fornecem entre outras contribuições, uma indicação do potencial do solo para degradar a matéria orgânica natural e compostos xenobióticos (FRIGUETO & VALARINI, 2000).

Ademais, as enzimas atuam de forma a reduzir a toxicidade das moléculas fenólicas e de íons metálicos e ajudam na defesa antimicrobiana (SINSABAUGH et al., 2010). Possuem forte papel para os ciclos biogeoquímicos, participando da formação da matéria orgânica e estrutura do solo, estando diretamente ligadas à fertilidade e diversidade de organismos no solo, mantendo-se ativas mesmo na ausência de microrganismos (FERREIRA et al., 2017; OLIVEIRA-SILVA et al., 2020).

Para Utobo e Tewari (2015), a atividade enzimática é influenciada pela umidade do solo, temperatura, pH, além das características nutricionais e atividade antrópica que podem influenciar em maior ou menor quantidade.

As enzimas do solo participam da decomposição da matéria orgânica, formação e decomposição dos húmus, bem como na liberação e transferência de substâncias minerais

para as plantas. São, portanto, um determinante preciso e importante da qualidade e na determinação das mudanças que ocorrem no solo (BURNS et al., 2013; NIEWIADOMSKA et al., 2018).

A avaliação das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase pode ser utilizado no monitoramento de alterações ocorridas no solo em função do uso e manejo. A arilsulfatase é uma enzima da classe das esterases que catalisa a hidrólise de ésteres-sulfatos com liberação de ânion sulfato (TABATABAI e BREMNER, 1970; MENDES et al., 2021).

A atividade da arilsulfatase no solo decresce com a profundidade e com a diminuição do teor de matéria orgânica (BALIGAR et al., 1988). Entretanto (SPEIR, 1984) não observou correlação entre C-orgânico e atividade de arilsulfatase e concluiu que cada solo tem sua característica típica que pode ser influenciada por fatores, tais como: grau de evolução da matéria orgânica ou tipo de vegetação que lhe deu origem.

Baseada em avaliações de sistemas de manejo, MENDES et al. (2019) definiu a classe de interpretação da arilsulfatase para Latossolos Vermelhos argilosos de Cerrado sob cultivos anuais, na camada de 0 cm a 10 cm, utilizando o conceito Fertbio. Sendo, essa classificação específica para amostras de solo coletadas na fase de pós-colheita e secas ao ar, sendo: Baixa: ≤ 30 mg de p-nitrofenol/kg de solo/h. Moderada: 31-70 mg de p-nitrofenol/kg de solo/h. Adequada >71 mg de p- 12 nitrofenol/kg de solo/h.

A β -glicosidase é uma exocelulase que atua na etapa final da decomposição da celulose, hidrolisando os resíduos de celobiose, liberando glicose, importante fonte de energia para a microbiota do solo (MAKOI e NDAKIDEMI, 2008; MENDES et al., 2019). Dentre os principais fatores que afetam a sua atividade, destacam-se a quantidade e qualidade dos resíduos vegetais (MENDES e REIS Jr., 2004) e também o pH do solo (EKENLER e TABATABAI, 2003). A atividade da β -glicosidase tem sido utilizada para avaliar a qualidade do solo sob diferentes práticas de manejo (DONI et al., 2012).

A adoção SPD pode contribuir para o aumento da atividade da β -glucosidase, em comparação ao sistema de preparo convencional do solo (PANDEY et al., 2014; LOPES et al., 2015). Essa contribuição ocorre devido a celulose ser o principal constituinte desses resíduos vegetais, o que favorece a hidrólise da celobiose e, conseqüentemente, a maior liberação de glicose para os microrganismos do solo. Portanto, o monitoramento da atividade dessa enzima é importante por ela estar associada ao ciclo do carbono no solo (MENDES et al., 2015).

Assim como para a arilsulfatase, Mendes et al (2019) definiu a classe de interpretação da β -glicosidase utilizando o conceito Fertbio, sendo: Baixa: ≤ 66 mg de

p-nitrofenol/kg de solo/h. Moderada: 67-115 mg de p-nitrofenol/kg de solo/h. Adequada >116 mg de p-nitrofenol/kg de solo/h.

A identificação de atributos químicos e biológicos é uma realidade e apresenta potencial para a utilização como indicadores, o que possibilita seu uso para identificar sistemas de manejo que promovam aumento da qualidade do solo.

2.3 Qualidade do Solo e indicadores

O conceito de qualidade de solo inovou ao destacar a importância do funcionamento do solo não só para a produção biológica, mas também para o funcionamento global dos ecossistemas. Segundo Mendes et al., 2021, é possível ter um solo com baixa qualidade, mas cujas elevadas produtividades estejam relacionadas a entradas massivas de adubos e defensivos, uma condição que pode não ser sustentável a longo prazo.

Karlen et al. (1997) define a qualidade do solo como a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites do ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade animal e vegetal, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar e apoiar a saúde humana e a habitação.

As propriedades medidas para inferências sobre a qualidade do solo são citadas como indicadores ou índices da qualidade do solo e estes são geralmente divididos em físicos, químicos e biológicos. Indicadores são atributos que medem ou refletem o status ambiental ou a condição de sustentabilidade do ecossistema (MURPHY et al., 2006) e (ARAÚJO E MONTEIRO, 2007) e não devem sob nenhuma hipótese ser usados de maneira isolada para a determinação da qualidade do solo (FREITAS et al., 2012; ROUSSEAU et al., 2013).

A maior vantagem dos indicadores biológicos é que eles são mais sensíveis que indicadores químicos e físicos, detectando com maior antecedência alterações que ocorrem no solo, em função do seu uso e manejo (BANDICK & DICK, 1999, BALOTA et al., 2004; HUNGRIA et al., 2009; PEIXOTO et al., 2010; LISBOA et al., 2012).

2.3.1 Índice de qualidade dos solos

Os índices de qualidade do solo podem ser obtidos por meio de uma expressão ou modelo matemático que inclua os atributos do solo de interesse. A soma dos efeitos dos

atributos selecionados, é expressa no índice de qualidade (BURGUER e KELTING, 1999).

Novas tecnologias de análises foram desenvolvidas pelos pesquisadores permitindo o monitoramento da saúde do solo, sabendo exatamente o que avaliar, porque avaliar, como avaliar, quando avaliar e, principalmente, como interpretar o que foi avaliado (MENDES et al., 2019).

A Bioanálise de solo (BioAS) é uma tecnologia desenvolvida para preencher a lacuna deixada pela ausência do componente biológico nas análises químicas tradicionais. Consiste na análise das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase, associadas aos ciclos do enxofre e do carbono, respectivamente. Por possuírem ligação, direta ou indiretamente, com a potencialidade produtiva de um solo e a sustentabilidade do mesmo, essas servem como bioindicadores da saúde do solo (MENDES et al., 2018). Além disso, as duas enzimas são relacionadas à ciclagem da MOS e não são influenciadas pela aplicação de adubos e calcário (MENDES et al., 2019).

A capacidade que o solo tem de guardar em sua “memória” o tipo de manejo ao qual ele é submetido está intimamente relacionada à sua parte viva ou componente biológico (MENDES et al. 2019). Portanto, as determinações de atividade enzimática são uma das vias de acesso à memória do solo (MENDES et al., 2021).

Os resultados da tecnologia BioAS podem também ser integrados aos resultados das análises de rotina de química de solo para gerar o que é chamado de Índice “Fertbio” de Qualidade do Solo (IQSFertbio). Esse índice integra os resultados da tecnologia BioAS e de fertilidade do solo gerando uma nota, que expressa a qualidade/saúde do solo. O IQSFertbio também pode ser decomposto em dois sub-índices: o índice de qualidade química do solo (IQSquímico) e o índice de qualidade biológica do solo (IQSbiológico) (Figura 1) (MENDES et al., 2020).

Segundo Mendes et al. (2020), para o cálculo dos índices descritos são atribuídas três principais funções ao solo (Figura 1): (F1) a capacidade do solo de ciclar nutrientes; (F2) a capacidade do solo de armazenar nutrientes e (F3) a capacidade do solo de suprir nutrientes. Assim, a F1 objetiva estimar o desempenho da atividade biológica nos processos como a ciclagem de nutrientes, formação e decomposição da MOS. A F2 objetiva quantificar o “reservatório” de nutrientes do solo, o qual está principalmente relacionado à textura, qualidade das argilas e ao conteúdo e qualidade da MOS. Por fim, a F3 avalia a qualidade do conteúdo do “reservatório” de nutrientes do solo, envolvendo tanto aspectos relacionados à acidez, quanto à capacidade do solo de disponibilizar vários

dos principais macronutrientes. O desempenho dessas três funções é mensurado pelos indicadores obtidos nas análises químicas e biológicas do solo os quais são individualmente interpretados por meio de algoritmos definidos conforme o tipo e uso do solo.

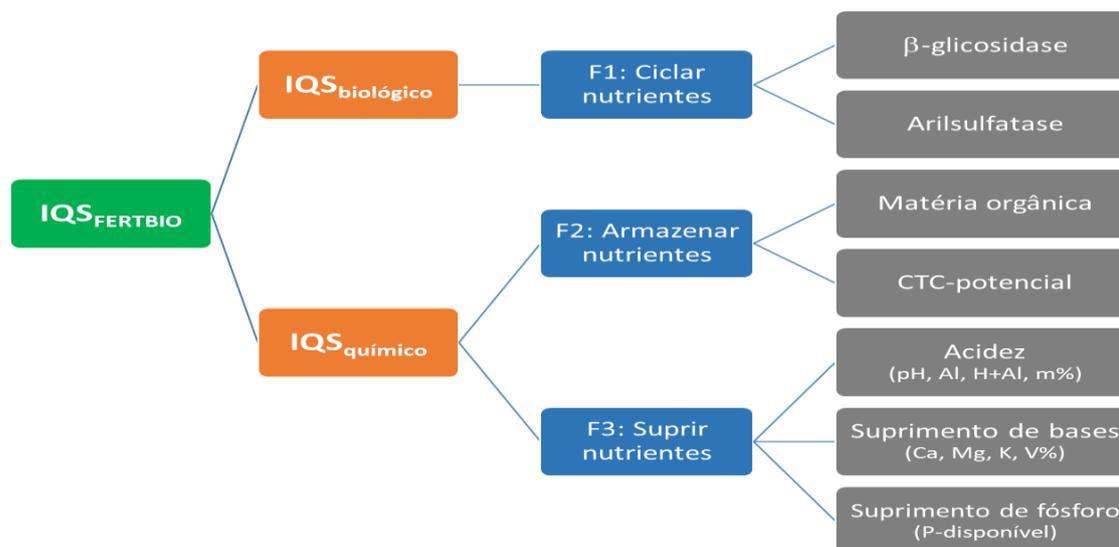


Figura 1. Modelo do IQS_{FERTBIO}, IQS_{BIOLÓGICO} e IQS_{QUÍMICO} e suas relações com as funções do solo (F1, F2 e F3) e respectivos indicadores obtidos por meio de análises de solo. Fonte: Mendes et al., 2020.

De acordo com Mendes et al. (2021), o uso da BioAS, como parte de um conjunto de métricas para avaliar a qualidade do solo, auxiliará na identificação de sistemas agropecuários com diferentes “condições” de sustentabilidade, reforçando o papel da agricultura como importante prestadora de serviços ambientais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento e descrição edafoclimática

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), no município de Dourados, MS. com coordenadas geográficas de 22° 14' S e 54° 59' W e altitude de 410 m (Figura 2).



Figura 2. Imagem aérea do experimento, localizado na fazenda experimental de ciências agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados. Dourados, MS.

O solo é caracterizado como Latossolo Vermelho Distroférico (SANTOS et al., 2018) e textura muito argilosa (Quadro 1). Conforme a classificação de Köppen o clima é do tipo Cwa (clima mesotérmico úmido, verões quentes e invernos secos (FIETZ e FISCH, 2008), com precipitação média anual de 1.400 mm.

Quadro 1. Textura do solo nas profundidades avaliadas, na Fazenda experimental de ciências agrárias, UFGD, Dourados_MS 2019.

Camada (cm)	Argila	Silte	Areia
0-10	0,62	0,21	0,17
10-20	0,65	0,20	0,15
20-40	0,68	0,19	0,13
40-60	0,68	0,20	0,12

Fonte: autor

As avaliações foram desenvolvidas nos anos agrícolas 2019/20 e 2020/21, porém desde 2009, a área já era cultivada com culturas anuais, após correção e preparo do solo. Desde então, os tratamentos de sucessão de culturas, caracterizado pelo cultivo de soja na primeira safra e milho solteiro ou milho + braquiária na segunda safra (safrinha), foram implantados todos os anos no mesmo local. No caso das parcelas com rotação de culturas, a soja e o milho alternaram-se nas mesmas parcelas ao longo dos anos.

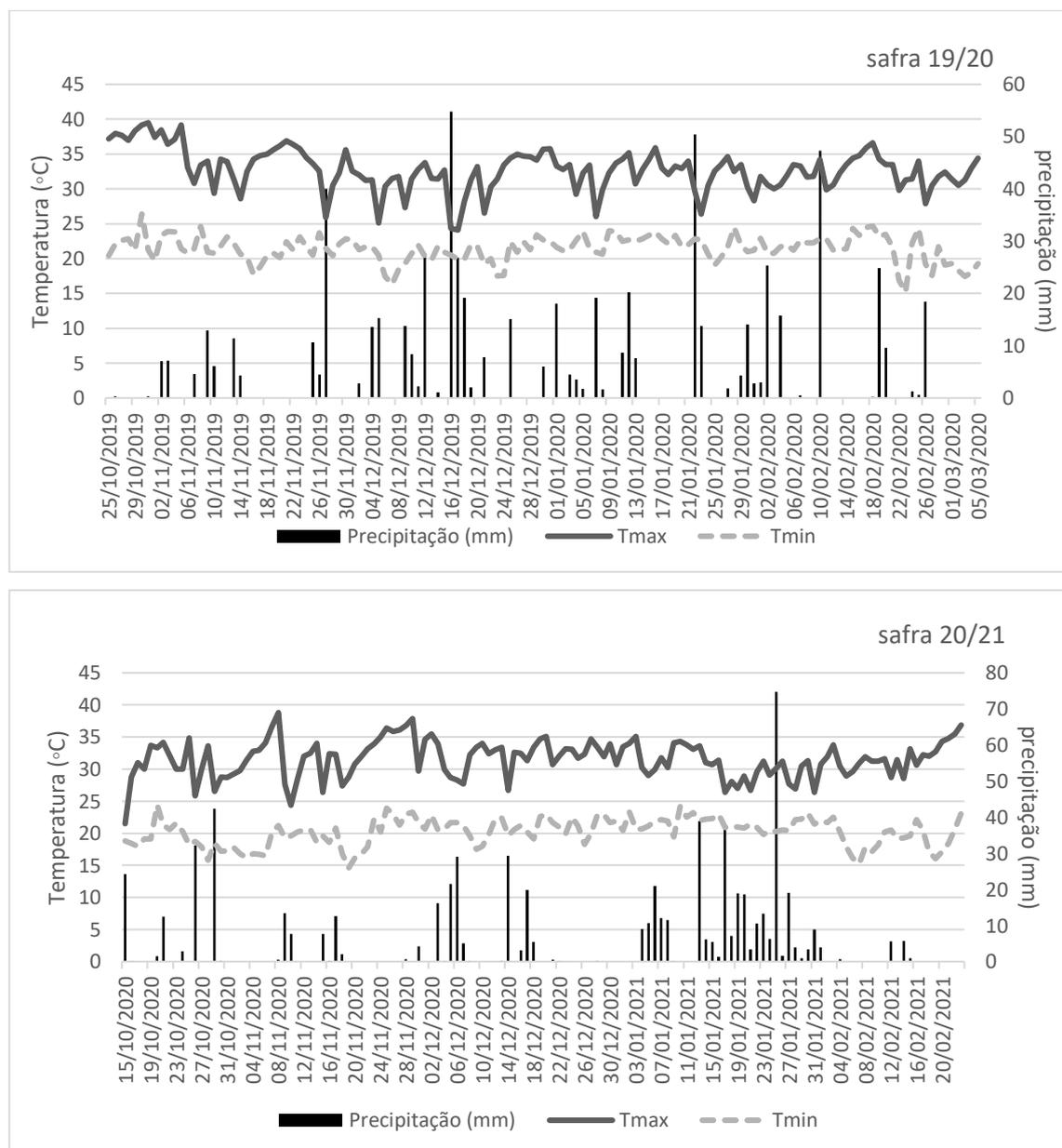


Figura 3. Temperaturas máximas, mínimas (°C) e precipitação (mm) no período de 130 dias após a semeadura da soja nas safras 2019/20 e 2020/21. Dourados, MS.

Os dados climáticos referentes aos valores médios de precipitação pluviométrica e de temperaturas máxima e mínima foram obtidos na estação meteorológica da Embrapa

no município de Dourados, MS, durante os períodos de avaliação do experimento (Figuras 2). As informações climáticas referentes aos cultivos da soja safra 2019/20 e 2020/21 compõe informações referentes a aproximadamente 130 dias (Figura 3), a partir da data de semeadura das culturas em cada período.

3.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado no experimento foi o de blocos casualizados, com oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram: três sistemas de sucessão (ST1, ST2 e ST3) e cinco sistemas de rotações (ST4, ST5, ST6, ST7 e ST8)

Os tratamentos ST1, ST2 e ST3 foram sempre cultivados com as sucessões, já os tratamentos ST4 ao ST8 foram cultivados em parcelas duplicadas, de modo que as parcelas possam alternar com outras espécies de cobertura de solo no outono/inverno e também, que a soja e o milho possam se alternar na primeira safra (verão). Desta forma, tanto a soja, quanto as culturas de cobertura podem retornar a mesma área após 2 anos (Quadro 2).

Quadro 2. Histórico e síntese dos tratamentos avaliados, compostos por sequência de tratamentos no experimento de sucessão e rotação de culturas, entre os anos de 2017 a 2020. Tratamentos ST1, ST2 e ST3 são sucessões, tratamentos ST4, ST5, ST6, ST7 e ST8 são rotações em parcelas duplicadas, no qual foram avaliadas as parcelas nas células destacadas em negrito.

Tratam					Amostragem para atributos químicos do solo		Amostragem para bioanálise do solo (03/2021)	
	Outono/inverno 2017	Verão 2017/18	Outono/Inverno 2018	Verão 2018/19	Outono/Inverno 2019 *	Verão 2019/20	Outono/Inverno 2020	Verão 2020/21
ST1	pousio	Soja	pousio	Soja	pousio	Soja	pousio	Soja
ST2	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja
ST3	Milho + braquiária	Soja	Milho + braquiária	Soja	Milho + braquiária	Soja	Milho + braquiária	soja
ST4a	cártamo	Soja	Milheto + C. ochroleuca	Milho	Aveia pta. + milheto + TM + ervilhaca	Soja	Milheto + C. ochroleuca	milho
ST4b	cártamo	Milho	Aveia pta. + milheto + TM + ervilhaca	Soja	Milheto + C. ochroleuca	Milho	Aveia pta. + milheto + TM + ervilhaca	soja
ST5a	Milheto + C espect	Soja	Aveia branca	Milho	Niger	Soja	Aveia branca	Milho
ST5b	Milheto + C espect	Milho	Aveia branca	Soja	Niger	Milho	Guandu	Soja
ST6a	Niger	Soja	C spectabilis	Milho	Ervilhaca	Soja	C espect	Milho
ST6b	Niger	Milho	C spectabilis	Soja	Ervilhaca	Milho	C espect	Soja
ST7a	C Ochroleuca	Soja	Ervilhaca	Milho	C espect	Soja	Ervilhaca	Milho
ST7b	trigo	milho	Ervilhaca	Soja	C espect	Milho	Ervilhaca	soja
ST8a	Braquiária	milho	Milheto	Soja	Aveia pta + milheto+TM + braq	soja	guandu	milho
ST8b	aveia	Milho	Nabo+aveia+ervilhaca	Soja	Aveia pta + milheto+TM + braq	Milho	Nabo+aveia+ervilhaca	soja

*As culturas que constam na descrição de cada sistema no período outono/inverno de 2019, referem-se as plantas que estavam presentes no ano do início da avaliação deste trabalho. Tratam= tratamentos; ST= sistema; aveia pta= aveia preta; TM= trigo mourisco; C. Ochroleuca= crotalaria ochroleuca; C. espect= crotalaria spectabilis; braq= braquiária= bráquiária ruziziensis.

3.2. Instalação e condução

3.2.1 Culturas de cobertura e sucessão

As unidades experimentais contêm 15 m de largura por 35 m de comprimento, totalizando 525 m². A semeadura das culturas de cobertura, nos tratamentos de rotação, ocorreu anualmente entre março e abril, utilizando uma semeadora semeato modelo TD de oito linhas distanciadas entre si de 0,4 m, para sementes miúdas com sistema de rotor.

A cultura de milho nas sucessões foi semeada no mês de março nos anos de 2019 e 2020. O espaçamento utilizado foi de 0,9 m, com 60.000 sementes ha⁻¹, buscando estabelecer uma população final de plantas próxima a 57.000 plantas ha⁻¹. No tratamento milho + braquiária (*Urochloa ruziziensis*) semeou-se o mesmo híbrido (híbrido simples DKB 177 VT PRO) de milho utilizado no cultivo solteiro, juntamente com *U. ruziziensis*. Para esse consórcio, primeiro foi semeada a forrageira em um espaçamento de 0,4 m e logo em seguida foi semeado o milho em um espaçamento de 0,90 m, ou seja, em cada entrelinha da cultura do milho houve duas linhas de *U. ruziziensis*. Para o estabelecimento de 10- 15 plantas m² de *U. ruziziensis* foi utilizado aproximadamente 4 kg ha⁻¹ de sementes com VC 80.

O milho safrinha solteiro e o milho safrinha + braquiária receberam nas duas safras do experimento, a adubação de manutenção (200 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 08-20-20 + 0,15% B + 0,50% Zn na base), enquanto, as plantas utilizadas apenas para a cobertura do solo e rotação não receberam adubação.

3.2.2 Cultura da soja

A soja (cultivar Monsoy 6410 IPRO) foi semeada nos dias 20 de outubro de 2019 e 09 de outubro de 2020. Procurou-se estabelecer uma densidade média de 10 a 12 sementes m⁻¹ para as safras 2019/20 e 2020/21, e um espaçamento de 0,45 m entre linhas. Na safra 2020/21 ocorreu um problema mecânico com a semeadora na operação de semeadura do experimento, o que ocasionou irregularidade na população da cultura com variações de população de 4 a 13 sementes m⁻¹ e CV superior a 50%, o que dificultou a avaliação dos atributos da soja devido a irregularidade no estabelecimento das plantas.

As sementes de soja foram co-inoculadas com 150 ml de inoculante contendo *Bradyrhizobium* e 100 ml contendo *Azospirillum brasiliense*, além de 250 ml de regulador

de crescimento a base de cinetina, ácido giberélico e ácido indol-butírico para cada 50 kg de sementes.

A adubação de semeadura foi de 220 kg ha⁻¹ do formulado 05-20-10 + S+Zn + 140 kg/ha⁻¹ de cloreto de potássio (60% K₂O) em cobertura.

O controle de plantas daninhas aconteceu cerca de 30 dias antes da semeadura da soja com a aplicação de glifosato, na dose de 3 L ha⁻¹. Na semana que antecedeu a semeadura da soja aplicou-se 2 L ha⁻¹ de paraquat, associado a 2 L ha⁻¹ de Dual Gold® e 200 ml ha⁻¹ de espalhante adesivo. Em pós-emergência foram realizadas duas aplicações de glifosato aos 15 e 35 dias após a emergência.

O controle de pragas foi necessário para percevejo marrom (*Euschistus heros*), com duas aplicações, sendo, uma a base de tiametoxam + lambda-cialotrina e outra à base de imidacloprido + bifentrina.

O controle de doenças (ferrugem asiática da soja e doenças de final de ciclo) foi realizado quimicamente, com 3 aplicações de fungicidas. Na primeira, aos 40 dias após a emergência foi aplicado um produto a base de azoxistrobina + benzovindiflupir, associado a outro fungicida a base de ciproconazol + difenoconazol. Na segunda aplicação utilizou-se dois fungicidas, sendo um a base de azoxistrobina + benzovindiflupir associado a outro a base de clorotalonil. Na terceira associou-se um fungicida a base de clorotalonil a outro contendo ciproconazol + difenoconazol.

3.3. Amostragens e avaliações

3.3.1 Amostragem de solo para análise química

A amostragem de solo foi realizada nos meses de agosto e setembro de 2019 após a colheita das culturas de 2^a safra (outono/inverno) e manejo mecânico das culturas de rotação.

O procedimento de coleta foi realizado amostrando-se 6 diferentes locais dentro de cada parcela experimental. Cada local de amostragem foi composto por 2 sub-amostras distanciadas 15 cm entre si perpendicular as linhas de semeadura, totalizando 12 sub-amostras para compor uma amostra composta representativa de cada repetição.

As amostras foram coletadas manualmente nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm. Foi utilizado um trado amostrador de solo modelo caneca, de aço inox e diâmetro de 50 mm.

Após cada coleta, as amostras foram destorroadas, secas ao ar, homogeneizadas e passadas na peneira com 2 mm de malha (TFSA-terra fina seca ao ar) e armazenadas para posterior procedimento laboratorial de análise.

3.3.1.1 Análise química e física (densidade) do solo

As avaliações efetuadas para pH, matéria orgânica, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, acidez potencial e micronutrientes foram analisadas de acordo com metodologias de Raij et al. (2001). Para o fósforo remanescente, a metodologia utilizada foi de Teixeira et al. (2017).

A determinação dos teores de carbono foi realizada pelo método Walkley & Black (1934) - WB. Após a determinação dos teores de carbono orgânico calculou-se o estoque de carbono orgânico do solo segundo Fernandes e Fernandes (2009) de acordo com a equação 1.

A densidade do solo foi feita por meio de coleta com estrutura preservada, em cilindros metálicos de 98 cm³, raio de 2,5 cm e 5,0 cm de altura, nas entrelinhas das culturas de cobertura já manejadas, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm, sendo coletadas 4 amostras em cada tratamento. As amostras foram envolvidas em papel filme e armazenadas a 4° C. Determinou-se a densidade de acordo com Almeida et al. (2017).

Equação 1

$$\text{EstC} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times \text{e}) / 10$$

onde:

Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade (Mg ha⁻¹)

CO = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g kg⁻¹)

Ds = densidade do solo da profundidade (kg dm⁻³)

e = espessura da camada considerada (cm)

3.3.2 Análise foliar

As coletas de folhas da cultura da soja foram efetuadas no estágio de floração plena, correspondente a R2/R3 (FEHR e CAVINESS, 1977). A amostragem foi realizada na safra de 2019/2020 e 2020/2021. Foram coletados 30 trifólios com pecíolo para representar cada parcela.

As amostras de tecido foliar foram submetidas à limpeza sequencial com água, solução ácida (HCl 0,1 mol L⁻¹) e água destilada. Após secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C, por 72 h, procedeu-se à moagem em moinho tipo Wiley (peneira 0,85 mm). A amostragem de tecido foliar na safra 20/21 teve imprevisto, pois a área experimental teve suas ruas entre parcelas roçada cerca de 1-2 dias antes da coleta das folhas. Essa roçada foi realizada com tempo seco e presença de orvalho e resultou em grande quantidade de poeira sobre as parcelas, que mesmo submetida a limpeza não foi possível eliminar toda a contaminação.

A análise química das amostras de tecido foliar foi efetuada conforme Malavolta et al. (1997). O N foi extraído por digestão sulfúrica e determinado pelo método semi-micro Kjeldahl. O P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn foram extraídos por digestão nítrico-perclórica e determinação colométrica com metavanadato (P), espectrofotometria de absorção atômica (K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn).

3.3.3 Componentes de produção da soja

A colheita da soja foi realizada nos dias 22 de fevereiro de 2020 e 10 de março de 2021. Para determinar a produtividade, foi realizada a colheita mecanicamente, colhendo duas faixas de 3 linhas de soja de 30 metros de comprimento, obtendo uma área útil de 81 m² colhida em cada unidade experimental.

Para componentes de produção as plantas foram coletadas após a maturação fisiológica avaliando-se 15 plantas em cada unidade experimental. As variáveis avaliadas foram:

- Altura de planta: foi determinada com auxílio de uma trena adaptada, medindo-se a distância entre o nível do solo até o ápice da planta, em quinze plantas ao acaso dentro de cada parcela próximo ao momento da colheita.
- Número de vagens por planta: foram contabilizadas as vagens das 15 plantas, com os valores representando a média de vagens por planta.
- Massa de mil grãos: após determinada a produtividade foi efetuada a contagem de três sub-amostras de 1000 grãos por repetição de cada tratamento. As amostras foram pesadas em balança de precisão e corrigidas para umidade de 13%, conforme as Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009).

- **Produtividade:** foi determinada por meio de colheita mecanizada. Após os grãos limpos, tiveram suas massas aferidas em balança digital, corrigindo-se o grau de umidade para 13%, com os valores expressos em kg ha⁻¹.

3.3.4 Atividade enzimática do solo (Bioanálise de solo- BioAS)

Após a colheita das culturas de verão, e antes da semeadura das culturas de outono/inverno (março/abril de 2021) foi realizada a coleta de amostras de solo para a avaliação da atividade enzimática. A amostragem foi realizada utilizando uma broca elétrica de rosca de 25 mm, coletando 4 locais diferentes dentro de cada unidade experimental. Em cada local de coleta foi retirado 5 sub-amostras sendo uma na linha e quatro na entre linha da cultura de verão anterior, totalizando 20 sub-amostras para compor uma amostra composta.

A amostragem foi realizada na profundidade de 0-10 cm de profundidade. Uma parte das amostras de solo foi encaminhadas para o laboratório de análise química de solo na Embrapa Dourados (para análise química para a determinação do IQS químico) e outra parte para o laboratório de Microbiologia do Solo da Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF (análise enzimática e determinação de índices BioAS).

As atividades das enzimas do solo, associadas aos ciclos do carbono (β -glicosidase) e do enxofre (arilsulfatase), foram determinadas de acordo com Tabatabai (1994). Esse método baseia-se na determinação colorimétrica do *p*-nitrofenol (coloração amarela) formado após a adição de substratos incolores específicos para cada enzima avaliada. A atividade enzimática do solo é expressa em $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol liberado por grama de solo seco por hora}$.

A tecnologia BioAS consiste na análise e na interpretação das atividades das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase, permitindo acessar o funcionamento da maquinaria biológica do solo, complementarmente às análises tradicionais de fertilidade do solo. A BioAS também abrange o cálculo do desempenho de três funções essenciais do solo relativas a nutrientes, que consistem na (1) função ciclar; (2) função armazenar e (3) função suprir. A função ciclar nutrientes é a base para o cálculo do IQSBIOLÓGICO (Índice de Qualidade Biológica do Solo), sendo as outras duas funções utilizadas no cálculo do IQSQUÍMICO (Índice de Qualidade Química do Solo). Por sua vez, esses dois índices são aplicados no cálculo do IQSFERTBIO (Índice de Qualidade do Solo “FertBio”), que expressa a qualidade química e biológica do solo em um único índice.

O solo para BioAS deverá ser coletado na profundidade 0 cm a 10 cm, seguindo os mesmos princípios da amostragem de solo tradicional para análise química e deverá ser coletado após a colheita das lavouras (preferencialmente após o milho safrinha).

3.4. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias das variáveis foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2019).

Os atributos químicos e biológicos do solo da camada de 0-10 cm, teores foliares e produtividades foram correlacionados e analisados através da correlação de Pearson, a 5% de probabilidade. Utilizou-se o programa SigmaPlot.

A análise multivariada foi realizada a partir da matriz de variância e covariância por meio da Análise de Componentes Principais (PCA). Posteriormente, os dados foram submetidos à análise multivariada de agrupamento usando o método do vizinho mais distante para descrever a similaridade entre os tratamentos, agrupando os dados pelo método clássico através de distâncias euclidianas, que é representado pelo intervalo de maior variação expressiva no teorema de Pitágoras segundo o método descrito por Vicini, (2005). As análises foram feitas com o software PAST (HAMMER et al., 2001). Para a escolha das variáveis para a análise multivariada procedeu-se a exclusão de variáveis com ausência de correlação entre si e as que apresentavam relação de interdependência direta com variáveis originais do estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos químicos do solo

4.1.1 Camada de 0-10 cm

Houve diferença significativa entre os sistemas de manejo para matéria orgânica do solo (MOS), fósforo (P), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e fósforo remanescente (P_{rem}) (Quadro 3).

O teor de MOS do ST1 (pousio) foi estatisticamente menor em relação aos outros sistemas de manejo, com exceção do ST5 (rotação) (Quadro 3). Esses resultados demonstram que a presença de material orgânico, aliada a rotação de culturas e ao não revolvimento do solo contribui com o aumento dos teores de MOS. Segundo a classe de interpretação da MOS, para as culturas anuais proposta por Sousa e Lobato (2004), os valores médios de MO encontrado no ST1 (pousio) enquadra-se como médio e para os demais tratamentos (ST2 ao ST8) enquadram-se como adequados.

De maneira geral observa-se uma similaridade nos valores de MOS para a maioria dos sistemas (exceção para o ST1). Esse comportamento pode ser devido a qualidade e composição da MOS nos diferentes sistemas e, em função do longo período de implantação do SPD na área (10 anos) pode ter contribuído com o sequestro de carbono nessa camada de solo, elevando os teores de MOS.

É interessante observar que o ST2 (sucessão milho/soja), não diferiu dos demais sistemas com maiores diversidades de plantas cultivadas; pois esperava-se valores que se sobressaíssem aos demais. Uma explicação para isso pode estar relacionada ao fato de que nas áreas de rotação (ST4 ao ST8), a cultura de verão era intercalada um ano com soja e outro ano com milho. Essa ausência da cultura do milho a cada 2 safras, pode ter limitado maiores ganhos de MOS, devido à redução na entrada de maior volume de biomassa com relação C/N mais elevada, fornecida pela cultura do milho. Sá (1995) destaca que a relação C/N das culturas em rotação influi na taxa de mineralização dos resíduos orgânicos, na mobilização e na ciclagem de nutrientes no solo. A decomposição é inversamente proporcional ao teor de lignina e relação C/N, visto que, quanto maior a relação C/N mais lento será a decomposição dos resíduos depositados na superfície. Assim, resíduos com relação C/N maiores que 25/1 formam coberturas mais estáveis no solo, enquanto as menores que 25/1 decompõem-se mais rapidamente.

Quadro 3- Valores médios de pH (CaCl₂), matéria orgânica do solo (MOS), fósforo (P), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio (Al³⁺), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação de bases (V%) e fósforo remanescente (P_{rem}), na camada de 0-10 cm, avaliados no ano de 2019. Dourados-MS.

Sistemas*	pH	MOS	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	----- mmol _c dm ⁻³ -----		
ST1	5,72 ^{ns}	29,66 b	29,29 ab	4,73 b	76,01 a	31,06 ^{ns}
ST2	5,62	38,99 a	30,01 a	5,10 ab	68,89 b	29,27
ST3	5,40	39,88 a	20,93 b	4,53 b	62,60 b	25,48
ST4	5,58	38,68 a	26,30 b	6,95 a	67,69 b	27,38
ST5	5,64	35,55 ab	25,24 b	5,80 ab	69,86 b	29,25
ST6	5,48	38,93 a	20,67 b	6,42 ab	67,69 b	27,67
ST7	5,47	39,70 a	22,33 b	5,43 ab	60,64 b	22,01
ST8	5,49	37,29 a	27,54 ab	7,03 a	69,98 b	27,97
CV (%)	3,55	8,01	14,19	14,8	12,47	13,95
Média	5,56	37,33	25,22	5,75	67,90	27,51
DMS	0,47	7,09	8,96	2,01	20,82	9,1

Sistemas*	Al	H+Al	SB	CTC	V	P _{rem}
	----- mmol _c dm ⁻³ -----				%	mg dm ⁻³
ST1	0,0 ^{ns}	47,22 ^{ns}	111,80 a	159,02 a	70,30 ^{ns}	16,59 b
ST2	0,0	47,62	103,27 ab	150,88 ab	68,80	19,27 a
ST3	0,0	53,91	92,61 ab	146,52 ab	63,2	19,25 a
ST4	0,0	56,09	102,02 ab	158,11 ab	64,45	18,33 a
ST5	0,0	51,05	104,90 ab	155,95 ab	67,26	19,96 a
ST6	0,0	54,32	101,78 ab	156,10 ab	65,13	20,75 a
ST7	0,0	53,49	88,08 b	141,57 b	62,20	20,98 a
ST8	0,0	44,53	104,98 ab	149,51 ab	70,21	20,48 a
CV (%)	0,0	14,01	12,67	6,45	8,02	12,56
Média	0,0	51,03	101,18	152,20	66,44	19,57
DMS	0,0	16,96	30,61	23,43	12,57	5,82

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de significância. CV: Coeficiente de variação. DMS: diferença mínima significativa. *ST1:soja verão e pousio no inverno; ST2:soja no verão e milho solteiro no inverno; ST3:soja no verão e consórcio de milho + *Braquiaria ruziziensis* no inverno; ST4:soja no verão e Aveia preta + milho + trigo mourisco + ervilhaca no outono/inverno; ST5:soja no verão e niger no outono/inverno; ST6: soja no verão e ervilhaca no outono/inverno; ST7: soja no verão e *Crotalaria spectabilis* no outono/inverno; ST8: soja no verão e aveia preta + milho + trigo mourisco + *Braquiaria ruziziensis* no outono/inverno

Nascente et al. (2013) também relataram valores similares nos teores de matéria orgânica do solo quando utilizando diferentes plantas de cobertura no SPD. Segundo os autores, os tratamentos com diferentes culturas não permitiram destaque nos incrementos

de matéria orgânica para nenhuma das culturas utilizadas. Kluthcouski et al. (2003) relata que sistemas de rotação de culturas do tipo grão/grão sem a introdução de espécies capazes de produzir grande quantidade de biomassa (superior a 10 Mg ha⁻¹) não proporcionam incrementos significativos nos teores de matéria orgânica do solo ao longo dos anos. Além disso, as condições climáticas da região onde o experimento foi conduzido, com verão quente e úmido e inverno curto, favorecem a rápida mineralização do material orgânico.

Quanto aos teores de fósforo (P), os tratamentos ST3, ST4, ST5, ST6 e ST7 (rotações) apresentaram menores teores de P quando comparado ao tratamento ST2, porém não diferindo dos tratamentos ST1(pousio) e ST8(rotação), para a camada de 0-10 cm (Quadro 3). Os menores valores, na sua maioria, foram observados nos sistemas que incluem as rotações de cultura. Apesar da diferença estatística entre os sistemas, os teores médios de P no solo estão classificados como altos, para ambos os tratamentos (SOUSA e LOBATO, 2004). O maior teor de P no ST1 deve-se provavelmente a menor extração desse elemento tendo em vista a menor capacidade produtiva desse sistema devido a menor qualidade biológica. Anghinoni et al., (2021) em estudo realizado na região do cerrado do MT sob Latossolo vermelho distrófico e comparando diferentes sistemas de rotação, observaram o mesmo comportamento para o P no pousio.

Uma forma de tornar o P mais disponível é por meio da rotação com culturas de cobertura, que além de contribuírem para o aumento da MOS, também são geralmente mais eficientes na absorção e ciclagem de P do que as culturas comerciais (CALEGARI et al., 2013; MERLIN et al., 2015). Várias são as razões para o aumento de P no solo por plantas em rotação. Segundo Klose e Tabatabai (2002), a exsudação de ácidos orgânicos pode compensar a associação com micorrizas em tremoço; Nahas (2002) aponta que o cultivo de braquiária e guandu pode aumentar atividade de fosfatase ácida. Assim como, Merlin et al. (2009) e George et al. (2006) argumentam que o cultivo de braquiária pode solubilizar formas não lábeis de P e reduzir a adsorção no solo, aumentando a eficiência de adubações fosfatadas. Desta forma, era de se esperar que nesse trabalho, os teores de fósforo nas áreas de rotação fossem superiores aos sistemas com pousio (ST1), sucessão (ST2) e consorcio (ST3), no entanto, não foi observado.

Alguns prováveis fatores podem explicar esse comportamento do P nas áreas de rotação. A sucessiva deposição de resíduos de plantas cultivadas nas rotações na superfície do solo, junto com os resíduos de raízes, o que poderia resultar no aumento de P orgânico (MERLIN et al., 2015; DODD e SHARPLEY, 2015), reduzindo a

disponibilidade de P inorgânico detectada nas análises de solo. Outros estudos também reportaram a redução da disponibilidade de P após o cultivo de plantas de cobertura. Teles et al. (2017) observaram a redução de P extraído com resina em solo cultivado com ervilhaca, nabo forrageiro, avezem e aveia preta em comparação com tremoço branco. A redução de P inorgânico lábil (extraído pela resina) também foi observada na rizosfera de mucuna, lab-lab, feijão-guandu e milho (HORST et al., 2001).

A grande diversidade de formas de fósforo no solo e a grande variação da solubilidade destas, dificultam bastante a quantificação do P considerável disponível para as plantas por meio da análise de solo (BEEGLE, 2005). O equilíbrio dos processos de precipitação e dissolução que governa a solubilidade dos minerais de P está sobre a direta dependência de reações químicas do solo. Contudo, devido ao efeito de diversos fatores e processos que podem afetar a precipitação de fosfatos, é difícil prever esse equilíbrio (HINSINGER, 2001).

Outro fator que poderia contribuir para essa redução de fosforo nas áreas de rotações seria devido à exportação do P pelos grãos de soja/milho colhidos. Segundo Santos et al. (2006), os sistemas conservacionistas podem influir positivamente sobre o rendimento de grãos, o que poderia estar intensificando a exportação desse nutriente devido a maiores produtividades anuais. Santos et al. (2006) conduzindo experimentos de rotação de culturas e intercalando uma cultura de milho ou sorgo no verão, encontraram maiores rendimento de grãos de soja, em comparação a outros sistemas menos conservacionistas. Lourente et al. (2010), estudando sistemas de rotação, também encontraram influência positiva da rotação de culturas sobre a produtividade do milho cultivado no sistema de rotação com crotalária e ervilhaca.

Portanto, é de se esperar que no presente trabalho as áreas de rotação entreguem melhores produtividades. Dessa forma, torna-se necessário o dimensionamento rigoroso de adubação com base nas entradas e saídas de nutrientes do sistema. Caso contrário, pode levar a redução nos níveis de nutrientes, mesmo em solos com fertilidade construída.

Para o potássio, a análise de variância revelou efeitos significativos dos sistemas de manejo de cobertura do solo na profundidade de 0-10 cm (Quadro 3). Os maiores teores de K foram encontrados no ST4(rotação) ($6,95 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e ST8 (rotação) ($7,03 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e os menores teores foram para o ST1 (pousio) ($4,73 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e ST3 (sucessão) ($4,53 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Os maiores teores se devem em parte, ao histórico de culturas implantadas nesses dois sistemas (ST4 e ST8), os quais tinham ao longo dos últimos quatro anos a presença de gramíneas como milheto, aveia e braquiária (Quadro

2). Essas culturas, por terem sistema radicular profundo (principalmente o milho e braquiária) possuem grande capacidade de ciclagem e liberação de nutrientes como o potássio (TORRES e PEREIRA, 2008; PACHECO et al., 2013). Isso provavelmente contribuiu para a elevação dos teores de K no solo.

Nascente et al. (2014), também encontraram diferentes teores de potássio na profundidade de 0-10 cm de acordo com as categorias de sistemas de rotação de culturas. Silveira et al. (2005) também, verificaram aumento nos teores de K⁺ nas camadas superficiais em sistemas de rotação onde usou maiores números de cultivo com a cultura do milho.

Os menores teores de K⁺ no ST1 (pousio) podem ser devidos principalmente à ausência de plantas no outono inverno que são capazes de reciclar o potássio, liberando-o nas camadas mais superficiais do solo. Quanto ao ST3 (sucessão) é possível que parte do potássio ainda estivesse na biomassa da cultura da braquiária, uma vez que no período de amostragem de solo essa cobertura ainda estava verde.

Além da quantidade e qualidade da espécie de cobertura, outro fator determinante nos níveis de nutrientes no solo é a condição em que essa cobertura se encontra no momento da amostragem, sua relação C/N, além da influência do clima (mais úmido ou mais seco). Todos esses fatores poderão proporcionar maior ou menor taxa de liberação dos nutrientes dependendo do estágio de mineralização.

No momento da coleta de solo do presente estudo havia variações nos estágios de mineralização nos diferentes sistemas e culturas; além de pancadas de chuvas irregulares durante o período de coleta. A liberação de K⁺ pelos resíduos pode ser rápida em função do nutriente não estar associado a componentes estruturais do tecido vegetal (MARSCHNER, 2012). Esse nutriente não é metabolizado na planta e forma ligações com complexos orgânicos de fácil reversibilidade (MATEUS et al., 2017). Assim, à medida que a parte aérea das plantas de cobertura inicia o processo de secagem e se decompõe, a concentração de K no tecido vegetal diminui drasticamente, pois é facilmente lavado pela água das chuvas, após o rompimento das membranas plasmáticas (CALONEGO et al., 2012).

Para os teores de cálcio (Quadro 3), na profundidade de 0-10 cm, observou-se que o ST1 (pousio) teve valor significativamente superior aos demais sistemas de sucessão (ST2) e rotação (ST8) de culturas. Para ST1 o teor de cálcio foi de 76,01 mmol_c dm⁻³, enquanto nos demais sistemas os valores variaram de 60,64 mmol_c dm⁻³ (ST7) até 69,98 mmol_c dm⁻³ (ST8). Embora os teores de cálcio tenham mostrado essas diferenças em

função dos sistemas, seus teores permanecem como adequado (ST2 a ST8) a alto (ST1) (SOUSA e LOBATO, 2004).

O maior teor de cálcio encontrado no ST1 (pousio) pode ser devido há alguns fatores, como: (a) o sistema de pousio pode estar exportando menos cálcio, possivelmente, por apresentar menor potencial produtivo; (b) os sistemas de sucessão (ST2 e ST3) e rotação (ST4 a ST8) continham no momento da amostragem, boa parte da biomassa das culturas de inverno, a qual poderia ainda reter boa parte desse cálcio na biomassa; (c) os sistemas de rotação são cultivados com milho a cada dois anos, o que poderia também contribuir para a redução de cálcio no sistema devido as menores entradas de cálcio na adubação (fosfato de cálcio).

Dentro da dinâmica do cálcio no solo, é muito importante destacar também a possibilidade da sua movimentação para camadas abaixo da camada arável. A lixiviação do cálcio para camadas mais profundas no solo depende do volume de água percolada, da concentração deste nutriente na solução do solo, da CTC do solo e da concentração de CO_2 no solo (FURTINI NETO et al., 2001). Destaca-se aqui a importância da concentração na lixiviação do cálcio através da formação de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. As principais fontes de CO_2 para o solo são a água da chuva, a exsudação radicular e, de grande importância, a matéria orgânica através de sua decomposição. Portanto, a presença de resíduos orgânicos no solo pode ser importante para aumentar a lixiviação de cálcio.

No caso de solos que receberam calcário, a elevação do pH favorece a mineralização, aumentando a liberação de CO_2 e, conseqüentemente, a percolação de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ com a água. A combinação de calagem e resíduos orgânicos pode promover uma significativa lixiviação de cálcio na forma de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, devido a aceleração da nitrificação pelo aumento do pH. Em termos quantitativos, o NO_3^- desempenha um papel muito mais importante que o HCO_3^- na lixiviação do cálcio (FURTINI NETO et al., 2001)

Assim, a rotação de culturas em semeadura direta é um dos sistemas de produção mais indicados para o manejo de solos. No entanto, deve-se chamar a atenção para o fato de o aumento das perdas de Ca em alguns sistemas requerer maior reposição do nutriente pela aplicação de calcário ou redução do intervalo de tempo entre as aplicações de corretivo.

Os teores de Mg^{+2} não diferiram entre os tratamentos, obtendo o teor médio de $27,31 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Quadro 2). Teor esse considerado alto para o desenvolvimento das culturas (SOUSA e LOBATO, 2004). Importante salientar que, dois anos antes da amostragem de solo (2019) que deu origem aos dados deste experimento, foi realizada

calagem em 2017 com calcário dolomítico (PRNT 85%) em todas as parcelas, visando elevar os teores de magnésio no solo. As dosagens de calcário variaram para cada parcela, de acordo com teores de Mg na análise de solo na época supracitada.

A acidificação do solo, caracterizada pelo pH, acidez trocável (Al^{+3}) e potencial ($\text{H} + \text{Al}$) não diferiram entre os sistemas, com médias de 5,56; 0,0 e 51,03 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente (Quadro 3). Isso pode ser atribuído a correção do solo através da calagem superficial realizada, neutralizando o Al^{+3} , na forma de $\text{Al}(\text{OH})_3$. A calagem, além de neutralizar a acidez do solo fornece cálcio e magnésio (RESENDE et al. 2016), conforme verificado teores adequados a altos de Ca e Mg em todos os sistemas. Outro fator pode ser atribuído a inalteração da acidez devido à adsorção de H^+ e Al^3 na superfície de materiais vegetais sobre o solo, à troca de ânions entre o OH^- terminal de óxidos de Fe e Al e os ânions orgânicos e ao aumento do potencial de oxidação biológica de ânions orgânicos.

A complexação do alumínio por substâncias húmicas da matéria orgânica parece ser a reação mais importante sob ponto de vista da redução da fitotoxidez, uma vez que essa reação tende a ser mais duradoura do que o efeito no pH do solo (AMARAL et al. 2000). Amaral et al. (2000) estudando efeito de resíduos de gramíneas e leguminosas no pH superficial do solo, observaram efeito significativo no aumento de pH e redução nos teores de Al com a aplicação de resíduos de ervilhaca e aveia-preta sobre o solo (ervilhaca mais eficiente). Possivelmente esse efeito benéfico seja semelhante ao da aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado e se manifesta rapidamente nas características químicas, tanto da solução como da fase sólida do solo.

Valor superior de soma de bases (111,8 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) e CTC (159,02 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) foram observados no sistema ST1 (pousio) e os menores valores para esses dois atributos, respectivamente, foram encontrados no ST7 (88,08 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) e (141,57 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$).

Quanto ao índice de saturação por bases (V%) na profundidade de 0-10 cm não houve diferença significativa entre os sistemas (Quadro 3), obtendo como média 66,44%. Valor esse considerado alto, segundo classe de interpretação por Sousa e Lobato (2004). Segundo Tomé Júnior (1997) este índice fornece informações a respeito do total de cargas negativas existentes no solo e apresenta uma percepção sobre a proporção ocupada pelos cátions Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^+ , servindo como base para a avaliação da fertilidade do solo, ou seja, em todos os sistemas estudados, a saturação por bases estava adequada para o desenvolvimento das plantas.

Para o fósforo remanescente (P_{rem}), o tratamento ST1 (pousio) apresentou o menor teor ($16,59 \text{ mg dm}^{-3}$), diferindo dos demais tratamentos (Quadro 3). Esses resultados indicam que os diferentes sistemas (sucessões e rotações) podem contribuir na redução da adsorção de fósforo do solo na camada de 0-10 cm.

É possível verificar que os teores de P_{rem} apresentaram padrão semelhante aos dos teores de MOS na profundidade de 0–10 cm, ou seja, pode estar ocorrendo aumento no teor em função da elevação dos teores de MOS. De acordo com Borggaard et al. 2005 e Hinsinger, 2001, ânions orgânicos podem afetar a adsorção de fosfato por cinco diferentes mecanismos: (1) competição pelos sítios de adsorção, (2) dissolução dos adsorventes, (3) troca da carga de superfície dos adsorventes, (4) criação de novos sítios de adsorção através dos íons metálicos como Al^{3+} e Fe^{3+} , e (5) pela redução no crescimento de cristais de Fe e Al de baixa ordenação. Resultados semelhantes foram observados por Pereira et al. (2010) em solos do Cerrado mineiro. Estes autores mencionam que o uso de plantas de cobertura em SPD acarretaram aumento dos teores de carbono orgânico (CO) total e, conseqüentemente, diminuiu a adsorção de fosfatos e favoreceu o aumento nos teores de P_{rem} .

Guareschi et al. (2012) também encontraram valores superiores de P_{rem} na camada de 0-5 cm em avaliações de SPD com 20 anos de duração. Fontana et al. (2008) concluíram que o aumento das substâncias húmicas de maior estabilidade como os ácidos húmicos e humina contribui para a menor adsorção de fosfato, aumentando a disponibilidade deste íon na solução do solo, propiciados principalmente pela introdução de plantio direto como sistema base para o cultivo agrícola. Esses resultados, segundo Stevenson (1982) estão relacionados aos compostos orgânicos de estrutura complexa como os ácidos húmicos e humina formarem “capas” ou “superfícies protetoras” nos oxidróxidos, diminuindo a adsorção de fosfato. Isso é possível, devido a estes minerais poderem adsorver compostos orgânicos com grande energia, competindo e bloqueando os sítios de adsorção de fosfato, diminuindo, conseqüentemente, a capacidade de adsorção de fósforo pelo solo (NOVAIS e SMYTH, 1999; ALMEIDA et al., 2003; ARAÚJO et al., 2004; SOUZA et al., 2006).

4.1.2 Camada de 10-20 cm

Quanto aos atributos químicos, na profundidade de 10 - 20 cm (Quadro 4), somente houve diferença entre os sistemas para o nutriente P. O maior teor de fosforo foi

encontrado no ST1 ($9,68 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), enquanto os menores teores foram nos sistemas de rotação ST4 ($5,93 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e ST6 ($5,84 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Os demais sistemas mostraram valores intermediários. O sistema de pousio (ST1) teve um comportamento semelhante ao encontrado na camada de solo de 0 – 10 cm (Quadro 3) mostrando valores superiores a boa parte dos sistemas de rotação.

Esse comportamento do fósforo no perfil deve-se, provavelmente, devido a camada de solo representar ainda a camada arável (0-20 cm) e por isso ter forte influência das adubações de semeadura. Outra contribuição pode ser devida as menores exportações de P pela cultura da soja nesse tratamento o que estaria permitindo manter um perfil com maior teor desse nutriente. Essa justificativa seria devido à redução na adsorção de P devido ao aumento da sua concentração no solo (WHALEN e CHANG, 2002).

A variação dos teores de P no solo está relacionado com os diferentes tipos de plantas nos sistemas, que variam na composição química (GAUME et al., 2001) e na densidade de raízes (SILVA e MIELNICZUK, 1997a, b). A liberação de ácidos orgânicos proporcionada pelos diferentes tipos de plantas pode favorecer à percolação do P ao longo do perfil do solo (GAUME et al., 2001). Estes resultados estão de acordo com Santos e Tomm (1996), que avaliaram cinco sistemas de rotação, verificando diferenças significativas de P extraível na maioria das profundidades estudadas.

A média dos teores de MOS foram de $22,4 \text{ g dm}^{-3}$, uma redução acima de 68% quando comparada a camada de 0-10 cm. Isso já é esperado devido à redução de deposição de resíduos culturais conforme aumenta a profundidade. Alguns autores destacam que o maior acúmulo de MO sempre ocorre nas camadas superficiais e diminui com a profundidade (SÁ, 1993; TOMÉ JR, 1997).

Os valores de K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , SB, CTC e de V% demonstram manutenção uniforme da fertilidade do solo para a camada de 10-20 cm, não demonstrando ganhos ou perdas significativas para nenhum sistema (Quadro 4). Observa-se presença de alumínio na camada de 10-20 cm em todos os tratamentos (Quadro 4), com teor médio de $1,24 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, entretanto, considerado muito baixo (ALVAREZ et al., 1999).

Importante ressaltar a importância da interação entre o alumínio (Al) e a matéria orgânica. A fração orgânica do solo possui a capacidade de complexar cátions, dentre eles o Al (VANCE et al., 1996). Desse modo, sistemas de manejo de solo que favorecem o aumento dos teores de MO podem favorecer a complexação do Al, diminuindo a toxicidade desse elemento para as plantas. Assim, é de se esperar que a diminuição dos teores de MO favoreça o aumento dos teores de Al ao longo do perfil do solo.

Quadro 4- Valores médios de pH (CaCl₂), matéria orgânica do solo (MOS), fósforo (P), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio (Al³⁺), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação de bases (V%) e fósforo remanescente (P_{rem}), na camada de 10-20 cm, avaliados no ano de 2019. Dourados-MS.

Sistemas*	pH	MOS	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	----- mmol _c dm ⁻³ -----		
ST1	4,84 ^{ns}	22,90 ^{ns}	9,68 a	1,71 ^{ns}	43,52 ^{ns}	13,25 ^{ns}
ST2	4,77	23,40	7,83 ab	1,67	38,75	12,11
ST3	4,79	21,77	8,38 ab	1,58	39,77	12,03
ST4	4,68	23,53	5,93 b	2,15	37,64	11,42
ST5	4,69	24,21	6,58 ab	1,78	37,64	12,00
ST6	4,64	22,02	5,84 b	2,00	35,16	12,06
ST7	4,62	20,59	7,03 ab	1,67	34,94	11,42
ST8	4,69	20,77	7,96 ab	1,65	36,76	11,69
CV (%)	3,96	12,39	24,02	16,38	16,22	19,09
Média	4,72	22,40	7,53	1,78	38,02	12,12
DMS	0,44	6,59	4,29	0,69	14,63	5,50

Sistemas*	Al	H+Al	SB	CTC	V	P _{rem}
	----- mmol _c dm ⁻³ -----				%	mg dm ⁻³
ST1	0,87 ^{ns}	70,25 ^{ns}	58,49 ^{ns}	128,74 ^{ns}	45,78 ^{ns}	13,87 ^{ns}
ST2	1,10	76,64	52,52	129,16	40,60	14,23
ST3	0,62	76,31	53,38	129,70	41,30	13,60
ST4	1,57	92,66	51,21	143,87	36,38	13,25
ST5	2,01	81,41	51,42	132,83	38,87	13,38
ST6	1,35	87,12	50,23	137,35	36,70	13,50
ST7	0,90	90,71	48,03	138,75	35,05	14,65
ST8	1,50	92,66	50,10	135,87	36,60	12,96
CV (%)	101,34	16,40	16,17	9,67	16,53	13,94
Média	1,24	82,61	51,92	134,53	38,91	13,68
DMS	2,99	32,14	19,22	30,87	15,25	4,52

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de significância. CV: Coeficiente de variação. DMS: diferença mínima significativa. *ST1:soja verão e pousio no inverno; ST2:soja no verão e milho solteiro no inverno; ST3:soja no verão e consórcio de milho + *Braquiaria ruziziensis* no inverno; ST4:soja no verão e Aveia preta + milho + trigo mourisco + ervilhaca no outono/inverno; ST5:soja no verão e niger no outono/inverno; ST6: soja no verão e ervilhaca no outono/inverno; ST7: soja no verão e *Crotalaria spectabilis* no outono/inverno; ST8: soja no verão e aveia preta + milho + trigo mourisco + *Braquiaria ruziziensis* no outono/inverno

4.1.3 Camada de 20-40 cm

Observou-se diferença significativa para essa camada, somente nos teores de P

(Quadro 5). Os maiores teores de P foram encontrados nos sistemas ST3 (2,18 mg dm⁻³) e ST1 (2,04 mg dm⁻³), enquanto os menores teores foram encontrados nos sistemas ST5 e ST7 (1,34 e 1,30 mg dm⁻³, respectivamente). Embora tenha sido detectada essas diferenças entre os sistemas, é prudente considerar que tais diferenças são muito sutis e não seria apropriado definir um sistema como sendo melhor para enriquecer fósforo no perfil do solo. De maneira geral, todos os sistemas apresentam teores inferiores a 2,2 mg dm³ de P e enquadram-se dentro de uma faixa de disponibilidade classificada como baixa (SOUSA e LOBATO, 2004).

Para os demais atributos do solo os tratamentos estudados não diferiram e apresentaram médias de: pH (4,84), MOS (16,29 g dm⁻³), K⁺ (0,76 mmol_c dm⁻³), Ca⁺² (25,98 mmol_c dm⁻³), Mg⁺² (8,31 mmol_c dm⁻³), Al⁺³ (0,82 mmol_c dm⁻³), SB (35,06 mmol_c dm⁻³), CTC (99,40 mmol_c dm⁻³) e V% (35,67 mmol_c dm⁻³) na camada de solo de 20-40 cm (Quadro 5). Comportamento semelhante foi observado na camada de solo de 10-20 cm desse trabalho (Quadro 4). Esses resultados se assemelham aos obtidos por Nascente et al. (2002), que avaliando alterações nos atributos químicos do solo afetados pelo manejo de rotações, concluiu que as alterações nos atributos químicos ocorrem somente nas camadas mais superficiais, independente do sistema de rotação utilizado.

Segundo classe de interpretação de Sousa e Lobato (2004), os teores de MO estão baixos, Ca e Mg adequados e, K e V% estão classificados como médios para o desenvolvimento das plantas.

4.1.4 Camada de 40-60 cm

No quadro 6, observa-se que não houve diferença significativa entre os sistemas de manejo do solo na camada de 40-60 cm (Quadro 5). A acidez ativa do solo (pH = 4,96), Acidez trocável (Al⁺³ = 0,14 mmol_c dm⁻³) e acidez potencial (H+Al = 54,48 mmol_c dm⁻³) tiveram média de valores que os classificaram como altamente ácido, muito baixa acidez e alta acidez, respectivamente (ALVAREZ et al., 1999). Para MOS (12,74 mg dm⁻³), P (0,81 mg dm⁻³), K⁺ (0,53mmol_c dm⁻³), Ca⁺² (20,38 mmol_c dm⁻³), Mg⁺² (7,8 mmol_c dm⁻³), SB (28,71 mmol_c dm⁻³), CTC (83,19 mmol_c dm⁻³) e V% (34,59 mmol_c dm⁻³), os valores obtidos enquadram-se dentro de uma classe muito baixa (P), baixa (MOS, K⁺ e V%) e média (Ca⁺², Mg⁺², SB e CTC), segundo Alvarez et al. (1999).

Quadro 5- Valores médios de pH (CaCl₂), matéria orgânica do solo (MOS), fósforo (P), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio (Al³⁺), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação de bases (V%) e fósforo remanescente (P_{rem}), na camada de 20-40 cm, avaliados no ano de 2019. Dourados-MS.

Sistemas*	pH	MOS	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	----- mmol _c dm ⁻³ -----		
ST1	4,84 ^{ns}	16,39 ^{ns}	2,14 a	0,74 ^{ns}	25,7 ^{ns} 1	8,07 ^{ns}
ST2	4,96	16,64	1,71 ab	0,74	28,70	8,78
ST3	4,83	14,95	2,18 a	0,69	23,87	7,46
ST4	4,93	16,27	1,43 ab	0,80	25,17	7,80
ST5	4,86	16,14	1,34 b	0,75	25,81	8,37
ST6	4,75	17,58	1,52 ab	0,86	27,12	9,39
ST7	4,86	16,48	1,30 b	0,73	25,00	8,10
ST8	4,66	15,89	1,64 ab	0,80	26,43	8,53
CV (%)	3,70	11,30	24,14	15,87	9,84	15,38
Média	4,84	16,29	1,68	0,76	25,98	8,31
DMS	0,42	4,36	0,96	0,27	6,06	3,03

Sistemas*	Al	H+Al	SB	CTC	V	-
	----- mmol _c dm ⁻³ -----				%	-
ST1	1,95 ^{ns}	73,98 ^{ns}	34,52 ^{ns}	108,50 ^{ns}	32,94 ^{ns}	-
ST2	0,60	58,47	38,22	96,69	39,69	-
ST3	0,40	59,65	32,03	91,67	35,02	-
ST4	0,30	56,43	33,77	90,21	37,48	-
ST5	0,25	64,42	34,94	99,36	35,62	-
ST6	1,77	69,48	37,47	106,95	35,25	-
ST7	0,75	58,39	33,76	92,16	36,66	-
ST8	1,67	73,90	35,77	109,67	32,77	-
CV (%)	159,27	17,56	10,19	9,71	14,45	-
Média	0,82	64,34	35,06	99,40	35,67	-
DMS	3,02	26,80	8,47	22,90	12,23	-

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de significância. CV: Coeficiente de variação. DMS: diferença mínima significativa. *ST1:soja verão e pousio no inverno; ST2:soja no verão e milho solteiro no inverno; ST3:soja no verão e consórcio de milho + *Braquiaria ruziziensis* no inverno; ST4:soja no verão e Aveia preta + milho + trigo mourisco + ervilhaca no outono/inverno; ST5:soja no verão e niger no outono/inverno; ST6: soja no verão e ervilhaca no outono/inverno; ST7: soja no verão e *Crotalaria spectabilis* no outono/inverno; ST8: soja no verão e aveia preta + milho + trigo mourisco + *Braquiaria ruziziensis* no outono/inverno

Quadro 6- Valores médios de pH (CaCl₂), matéria Orgânica do solo (MOS), fósforo (P), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio (Al³⁺), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação de bases (V%) e fósforo remanescente (P_{rem}), na camada de 40-60 cm, avaliados no ano de 2019. Dourados-MS.

Sistemas*	pH	MOS	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	----- mmol _c dm ⁻³ -----		
ST1	4,91 ^{ns}	12,44 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,55 ^{ns}	21,10 ^{ns}	8,03 ^{ns}
ST2	4,93	11,57	0,91	0,44	16,80	6,31
ST3	4,94	11,45	0,63	0,51	19,70	7,05
ST4	5,03	12,20	0,82	0,60	21,06	7,67
ST5	4,99	13,64	0,80	0,68	21,59	8,10
ST6	4,95	14,45	0,76	0,50	21,06	8,40
ST7	5,00	13,64	0,90	0,55	21,04	8,96
ST8	4,89	12,51	0,83	0,43	20,66	7,90
CV (%)	2,59	13,02	18,05	20,84	12,33	15,62
Média	4,96	12,74	0,81	0,53	20,38	7,80
DMS	0,30	3,93	0,34	0,26	5,96	2,89

Sistemas*	Al	H+Al	SB	CTC	V	-
	----- mmol _c dm ⁻³ -----				%	-
ST1	0,60 ^{ns}	55,85 ^{ns}	29,69 ^{ns}	85,54 ^{ns}	35,09 ^{ns}	-
ST2	0,00	52,82	23,55	76,37	30,53	-
ST3	0,00	53,03	27,25	80,28	33,60	-
ST4	0,00	49,52	29,33	78,85	37,20	-
ST5	0,00	50,02	30,38	80,40	37,82	-
ST6	0,00	55,69	29,96	85,65	34,99	-
ST7	0,00	56,81	30,56	87,37	35,48	-
ST8	0,50	62,09	29,00	91,09	32,03	-
CV (%)	347,43	13,03	11,30	9,31	11,74	-
Média	0,14	54,48	28,71	83,19	34,59	-
DMS	1,33	16,84	7,69	18,37	9,63	-

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de significância. CV: Coeficiente de variação. DMS: diferença mínima significativa. *ST1:soja verão e pousio no inverno; ST2:soja no verão e milho solteiro no inverno; ST3:soja no verão e consórcio de milho + *Braquiaria ruziziensis* no inverno; ST4:soja no verão e Aveia preta + milho + trigo mourisco + ervilhaca no outono/inverno; ST5:soja no verão e niger no outono/inverno; ST6: soja no verão e ervilhaca no outono/inverno; ST7: soja no verão e *Crotalaria spectabilis* no outono/inverno; ST8: soja no verão e aveia preta + milho + trigo mourisco + *Braquiaria ruziziensis* no outono/inverno.

4.1.5 Estoque de carbono

Houve diferença significativa para estoque de carbono (EstC), na camada superficial (0-10 cm) e no somatório das camadas (0-60 cm) entre os diferentes sistemas adotados (Quadro 7). O menor EstC foi verificado no ST1 com 23,137 Mg ha⁻¹, diferindo dos demais sistemas, na camada de 0-10 cm.

Segundo Sá et al. (2022) o balanço de carbono do solo em ecossistemas terrestres é composto pela fotossíntese (representada pela biomassa da vegetação acima e abaixo do solo) subtraindo dos demais drenos de carbono (respiração das plantas, respiração do solo, erosão, lixiviação). Assim, subtraindo a média do estoque de carbono dos sistemas ST2 a ST8 (30,963 Mg ha⁻¹) com o sistema ST1 (23,137 Mg ha⁻¹), observa-se que em 10 anos de SPD foi possível estocar no solo o equivalente a 7,8 Mg ha⁻¹ de carbono, um ganho anual de 0,78 Mg ha⁻¹, ou seja, o acúmulo de carbono total, via biomassa das plantas cultivadas nos tratamentos ST2 a ST8, foi maior que as perdas. O aumento da resiliência do solo por meio do sequestro de carbono tem efeito positivo e linear na produtividade da soja (Sá et al, 2013). Segundo o autor, o aumento de 1 Mg ha⁻¹ no EstC até a profundidade de 1 metro aumentou o rendimento da soja em 28 kg ha⁻¹. A agricultura de conservação através de rotações de cobertura vegetal (Sà et al., 2015) é nossa melhor aposta atual para o sequestro eficaz de C no solo (Lal et al., 2018).

Para ambiente tropical, a quantidade mínima de entrada de C é estimada em 5,1 – 5,8 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (SÁ et al., 2015), enquanto para o ambiente subtropical a entrada de C varia entre 3,2 e 4,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (SÁ et al., 2014; de OLIVEIRA FERREIRA et al., 2021). Portanto, o desafio será gerenciar o aporte de carbono de forma a exceder a quantidade mínima para atingir um nível de equilíbrio de carbono no solo. O uso prolongado do SPD pode ser o caminho para a proteção física das frações lábeis do carbono, bem como as fortes associações organominerais. Juntos, esses processos contribuem para a estabilização e acúmulo de carbono no solo (BRIEDIS et al., 2018).

Percebe-se, portanto, que há associação do EstC com a taxa de entrada de C nos sistemas de rotação/sucessão, quando comparado ao sistema de manejo convencional (ST1-pousio) (Quadro 7). A introdução de espécies de gramíneas com leguminosas pode ser uma boa maneira de melhorar o sequestro de C devido ao maior aporte de material vegetal comumente proporcionado pelas rotações com diferentes culturas e por consequência diferentes aportes de C (DIEKOW et al., 2005). Além disso, uma fonte de N como o uso de leguminosas é muito importante para controlar o sequestro de C em

sistemas de cultivo com resíduos de culturas com alta relação C/N (SÁ et al., 2006).

A ausência de diferenças nos valores de carbono nas profundidades abaixo de 10 cm revela que os 10 anos de sistema de SPD não foram suficientes para incrementar carbono significativamente em camadas mais profundas de solo, no modelo de estratificação de camadas utilizado. Por outro lado, o comportamento dos valores de carbono nos sistemas que incluem rotações (ST4 a ST8) e sucessão (ST2 e ST3), exceção para o pousio, mostram que essa similaridade de valores pode ser uma prova do início da estabilização do sistema devido ao tempo de adoção do sistema de plantio direto na área. Pereira Neto et al. (2007) relatam que a consolidação dos efeitos do plantio direto sobre as características do solo pode ocorrer a partir do 9º ano após a implantação.

Quadro 7- Valores médios de Estoque de carbono (EstC), nas camadas de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm e Total (0-60 cm), avaliados no ano de 2019. Dourados-MS.

Sistemas	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	Total (0-60 cm)
	Mg ha ⁻¹				
ST1	23,13 b	18,45 ^{ns}	26,04 ^{ns}	19,31 ^{ns}	86,95 b
ST2	30,83 a	18,86	25,20	19,38	94,28 ab
ST3	32,65 a	17,55	24,10	19,68	93,99 ab
ST4	31,17 a	18,96	26,22	19,66	96,02 a
ST5	28,65 a	19,51	26,01	21,98	96,17 a
ST6	31,37 a	17,75	27,17	23,29	99,59 a
ST7	31,99 a	16,59	26,56	21,98	97,14 a
ST8	30,05 a	16,74	25,61	20,73	93,140ab
CV (%)	7,13	12,39	9,96	12,49	3,33
Média	29,98	18,05	25,86	20,75	94,66
DMS	5,07	5,30	6,11	6,15	7,46

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de significância. CV: Coeficiente de variação. DMS: diferença mínima significativa. *ST1:soja verão e pousio no inverno; ST2:soja no verão e milho solteiro no inverno; ST3:soja no verão e consórcio de milho + *Braquiaria ruziziensis* no inverno; ST4:soja no verão e Aveia preta + milho + trigo mourisco + ervilhaca no outono/inverno; ST5:soja no verão e niger no outono/inverno; ST6: soja no verão e ervilhaca no outono/inverno; ST7: soja no verão e *Crotalaria spectabilis* no outono/inverno; ST8: soja no verão e aveia preta + milho + trigo mourisco + *Braquiaria ruziziensis* no outono/inverno

Quanto ao ST1 (pousio) o menor EstC pode ser atribuído principalmente a ausência de adição de plantas de cobertura (parte aérea e raiz) no período de outono/inverno. A falta de cobertura do solo traz um agravante, além de limitar a entrada de C no sistema, expõe o solo a ação do clima por longo período (março a setembro). Durante períodos de estiagem, a água do solo evapora por capilaridade de forma

ascendente, ocasionando perdas das formas mais lábeis e voláteis de CO₂ para a atmosfera.¹

Com relação ao EstC no perfil (0-60 cm) (Quadro 7) foi observado diferenças estatísticas obedecendo um comportamento um pouco diferente quando comparada a camada superficial (0-10 cm). Percebe-se assim, que o maior acúmulo de C na superfície, e a ausência de diferença em camadas isoladas mais profundas, pode não representar fielmente o acúmulo em todo o perfil avaliado. Os maiores EstC no perfil (0-60 cm) foram encontrados nos sistemas de rotação ST4, ST5, ST6 e ST7 com 96,020; 96,162; 99,597 e 97,147 Mg ha⁻¹, enquanto, o menor estoque foi obtido no ST1 (pousio) com 86,955 Mg ha⁻¹ (Quadro 7). De maneira geral, observou-se que as diferenças entre os sistemas ocorreram somente na camada superficial e na camada total acumulada (0-60 cm), com similaridade de valores nas camadas isoladas e mais profundas.

O uso e o manejo inadequados do solo podem contribuir para a emissão de gases do efeito estufa, prejudicando o ambiente, além de trazer problemas relacionados à sustentabilidade por causa da degradação da MOS, afetando negativamente os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. No entanto, práticas adequadas de manejo, que visam à manutenção ou mesmo ao acúmulo de C orgânico no sistema solo-planta podem atenuar os efeitos do aquecimento global (CARVALHO et al., 2010). Dessa forma, torna-se importante enfatizar a importância da avaliação de sistemas produtivos como os apresentados por esta pesquisa, uma vez que, esses baseiam-se nas premissas básicas para obtenção de uma agricultura sustentável.

4.2 Atividade enzimática do solo

Houve diferenças significativas entre os tratamentos para os atributos enzimáticos e carbono orgânico total (Quadro 8), mostrando que a presença e qualidade do material orgânico ofertado pelos diferentes sistemas de manejo influenciaram na ação das enzimas. A atividade da enzima arilsulfatase mostrou-se responsiva às mudanças proporcionadas pelos diferentes sistemas, sinalizando valor inferior no sistema de pousio de inverno (ST1) (34,5 µg), comparada ao ST3 onde foi obtido a maior atividade (84,25 µg), diferença de 240 % entre dois sistemas. O ST5 (rotação) foi o sistema que teve valor mais próximo ao ST1 50,25 µg, 145% superior quando comparado ao sistema de pousio. Entre os demais sistemas, observa-se uma similaridade nos resultados, podendo inferir que os

¹ João Carlos Sá, IX ENCONTRO NACIONAL DA SOJA, 2022

diferentes sistemas de manejo de sucessão e rotação foram capazes de manter coberturas no solo no período outono/inverno, mantendo a atividade da arilsulfatase no solo. Esse resultado corrobora os obtidos por Lisboa et al. (2012) que comparou PC e PD em sistema de produção de grãos.

Quadro 8. Efeito dos sistemas de manejo sobre a atividade das enzimas Arilsulfatase, β -glicosidase e carbono orgânico total (COT), na camada de 0-10 cm.

Tratamentos	Arilsulfatase ----- μ g p-nitrofenol grama de solo h ⁻¹ -----	β -glicosidase	COT g dm ⁻³
ST1	34,50 c	163,75 b	17,16 c
ST2	59,75 abc	174,50 b	20,02 b
ST3	84,25 ab	218,50 a	19,36 b
ST4	71,75 ab	225,50 a	19,62 b
ST5	50,25 bc	191,50 b	18,58 b
ST6	57,25 abc	200,75 a	19,16 b
ST7	58,25 abc	216,50 a	19,36 b
ST8	63,50 abc	223,50 a	22,23 a
CV%	20,87	13,50	6,23
Média	59,94	201,78	19,40
Dms	29,68	64,07	2,87

COT= Carbono orgânico total; médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de significância. CV: Coeficiente de variação. Dms: diferença mínima significativa. *ST1:soja verão e pousio no inverno; ST2:soja no verão e milho solteiro no inverno; ST3:soja no verão e consórcio de milho + *Braquiaria ruziziensis* no inverno; ST4:soja no verão e Aveia preta + milho + trigo mourisco + ervilhaca no outono/inverno; ST5:soja no verão e niger no outono/inverno; ST6: soja no verão e ervilhaca no outono/inverno; ST7: soja no verão e *Crotalaria spectabilis* no outono/inverno; ST8: soja no verão e aveia preta + milho + trigo mourisco + *Braquiaria ruziziensis* no outono/inverno.

Segundo Tabatabai (1994), a enzima arilsulfatase atua na hidrólise de ésteres de sulfatos do solo, tendo grande importância na mineralização do S orgânico e, dentre os principais fatores que afetam a sua atividade, destaca-se a quantidade de matéria orgânica, que é rica em ésteres de sulfato, substrato dessa enzima (NOGUEIRA e MELLO, 2003), por isso, os tratamentos que propiciaram maior aporte de COT apresentaram maior atividade da arilsulfatase (Quadro 8).

Nogueira e Melo (2003) relataram a ligação entre o decréscimo na atividade de arilsulfatase e a diminuição no teor de MOS, conforme observado no presente trabalho. Os autores atribuíram a redução na atividade desta enzima ao fato de a MOS constituir a principal reserva de ésteres de sulfato, que é substrato para arilsulfatase. Assim, pode-se concluir que o aporte de MO durante o ano, constituído por material vegetal senescente na parte tanto aérea quanto radicular, além da exsudação ininterrupta de compostos

orgânicos pelas diferentes espécies vegetais, que contribuíram para a maior atividade da arilsulfatase.

A enzima β -glicosidase apresentou padrão semelhante à arilsulfatase, com diferenças significativas entre os sistemas ST1, ST2 e ST5 em relação aos demais sistemas ST3, ST4, ST6, ST7 e ST8 (Quadro 8), mostrando a eficiência na sensibilidade destas duas enzimas para manifestar alterações decorrentes de manejo.

As menores atividades da β -glicosidase foram encontradas no ST1 -pousio (163,5 μg) seguido do ST2- sucessão milho/soja (174,5 μg) e ST5-rotação (191,5 μg), enquanto os maiores valores foram predominantes em sistemas de rotação ST4 (225,5), ST8 (223,5 μg), ST7(216,5 μg) e ST6 (200,75 μg) além do ST3(218,5 μg) (soja e consórcio milho + braquiária). Quando se compara os três primeiros sistemas é possível verificar que a β -glicosidase no ST3 apresentou valor significativamente superior (25%) ao ST2, e 34% superior ao ST1, o que leva a crer que a presença da braquiária consorciada com o milho no ST3 contribuiu, consideravelmente, para o aumento dos níveis das duas enzimas no solo. Os demais sistemas de rotação (exceção para o ST5) mostraram valores intermediários, não diferindo significativamente do ST3. Fica evidente nos resultados desse trabalho, que sistemas de rotação e ou sucessão onde há um incremento de matéria orgânica no solo favorecem o aumento dos teores das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase (Quadro 8).

Dentre os principais fatores que afetam a atividade da β -glicosidase, destacam-se a quantidade e qualidade dos resíduos vegetais (MENDES e REIS JR., 2004) e também o pH do solo (EKENLER e TABATABAI, 2003). Assim, o ST1 por ser um sistema menos conservacionista, com menor acúmulo de biomassa pela ausência de cobertura no outono/inverno e menor teor de COT (Quadro 8), propiciou uma menor atividade das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase.

O aumento da atividade enzimática no solo reflete também um aumento na atividade biológica, que, ao longo do tempo, pode ser um indicativo de que o sistema está favorecendo o acúmulo de MOS (MENDES et al. 2021). Rodrigues et al. (2022) avaliando o efeito de enzimas na ausência e presença de braquiárias na cultura do café, constatou que a atividade da β -glicosidase e da arilsulfatase foram, respectivamente, 33% e 46% maiores nos tratamentos com presença de braquiária em relação aos tratamentos sem essas plantas de cobertura nas entrelinhas da cultura do cafeeiro. Resultado semelhante também foi encontrado por Mendes et al. (2020), que avaliando um ensaio de longa duração com rotações e sucessões de culturas no cerrado brasileiro, constataram

um aumento de quatro vezes para β -glicosidase e oito vezes para arilsulfatase quando compararam dois sistemas de sucessão: soja/pousio e soja/*Urochloa ruziziensis*. Esses dados reforçam os resultados desse estudo e demonstram a capacidade das braquiárias em manter um solo biologicamente mais ativo.

A β -glicosidase atua no processo final de decomposição da celulose, sendo responsável pela hidrólise de resíduos de rápida decomposição no solo, gerando um açúcar de cadeia simples, fonte energética para desenvolvimento de microrganismos do solo (ADETUNJI et al, 2017). Assim, sua presença em níveis mais elevados tem boa relação com a maior presença de teores de carbono prontamente mineralizáveis associados a porção viva do solo. A β -glicosidase tem participação essencial na ciclagem de carbono no solo e, sendo assim, a redução da atividade dessa enzima no ST1 (pousio) pode ser atribuída a diferenças no acúmulo de fitomassa no solo. Os atributos microbiológicos, β -glicosidase e arilsulfatase, mostraram-se mais sensíveis para diferenciar qualidade nos manejos, sob diferentes coberturas vegetais, quando comparados ao COT.

Embora alguns sistemas de rotação avaliados nesse trabalho não tenham mostrado diferenças significativas da enzima β -glicosidase, fica evidente, assim como no caso da arilsulfatase, que o ST1 (pousio) se mostrou bem inferior aos demais quanto aos valores destas enzimas no solo (Quadro 8). A atividade da β -glicosidase pode ser extremamente útil para o monitoramento da qualidade do solo, pois é fundamental na ciclagem de matéria orgânica do solo, que é definida como um parâmetro importante para avaliar a qualidade de um solo (SHERENE, 2017). Sua capacidade de se estabilizar e decompor a matéria orgânica pode ser facilmente aplicada a estudos relacionados ao impacto de manejo de solo (DAS e VARMA, 2010).

Ainda que os resultados da avaliação das enzimas tenham mostrado diferenças estatísticas (Quadro 8), é interessante não fazer somente uma interpretação com base em valores absolutos. Mendes et al. (2018) visando auxiliar na interpretação individual dos bioindicadores, elaboraram uma estratégia para interpretação utilizando os princípios dos ensaios de calibração de nutrientes. A proposta foi desenvolvida a partir de três experimentos de campo de longa duração e fundamentou-se nas correlações positivas entre atributos microbiológicos, rendimento acumulado de grãos de soja e milho e os teores de matéria orgânica do solo. Assim, por meio de análises de regressão, foram delimitados níveis de suficiência para os bioindicadores, gerando classes de interpretação

que compõe parte dos parâmetros da Tecnologia Embrapa de Bioanálise de Solo “BioAs” (Quadro 9) e (Figura 4).

MÓDULO DE INTERPRETAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO												REDE EMBRAPA BioAS		LEGENDA	
Código do Pedido												v1400.5s		BIOANÁLISES DE SOLO	
AMOSTRA	ARIL	BETA	MOS	ARGILA	IQS FERTBIO	IQS Biológico	IQS Químico	CICLAGEM Nutrientes	ARMAZ. Nutrientes	SUPRIMENTO Nutrientes	LINK VALIDAÇÃO	MODELO	OBS	alto	0,81 a 1
2022 Luiz UFGD By Trat_01															
11	34	164	30	62	0,74	0,63	0,80	0,63	0,69	0,91	https://bioas	FertBIO	Efetuada com sucesso	alto	0,61 a 0,80
21	60	175	35	62	0,81	0,72	0,86	0,72	0,81	0,91	https://bioas	FertBIO	Efetuada com sucesso	médio	0,41 a 0,60
31	84	219	33	62	0,84	0,83	0,85	0,83	0,78	0,91	https://bioas	FertBIO	Efetuada com sucesso	baixo	0,21 a 0,40
81	72	226	34	62	0,87	0,79	0,91	0,79	0,83	0,99	https://bioas	FertBIO	Efetuada com sucesso	muito baixo	0 a 0,20
101	50	192	32	62	0,82	0,71	0,88	0,71	0,77	0,99	https://bioas	FertBIO	Efetuada com sucesso		
111	57	201	33	62	0,81	0,73	0,85	0,73	0,79	0,91	https://bioas	FertBIO	Efetuada com sucesso		
121	58	217	33	62	0,83	0,75	0,87	0,75	0,83	0,91	https://bioas	FertBIO	Efetuada com sucesso		
161	63	223	38	62	0,86	0,77	0,91	0,77	0,92	0,91	https://bioas	FertBIO	Efetuada com sucesso		

Figura 4. Modelo de laudo BioAS, Dourados-MS, 2022

Assim, utilizando a classe de interpretação de biod indicadores proposta por Mendes et al. (2018), no ST1, ST2, ST5, ST6, ST7 e ST8 a atividade da enzima arilsulfatase foi classificada como moderada e para os demais tratamentos (ST3 e ST4) a atividade desta enzima foi classificada como adequada (Quadro 9). Para a β -glicosidase embora tenha havido diferenças estatísticas, todos os sistemas se enquadram na faixa adequada ($> 116 \mu\text{g}$).

Com base na classificação (Quadro 9) fica claro que os valores da enzima arilsulfatase (Quadro 8) nitidamente distinguem-se entre os diferentes ambientes de produção. É evidente que o manejo do solo ST1 (pousio), desfavorece o acúmulo de MO no solo, conforme observado no teor de COT ($17,16 \text{ g kg}^{-1}$), assim influenciando de maneira negativa a atividade enzimática.

Esse modelo de uso do solo impacta negativamente o desempenho econômico das culturas e alerta sobre a necessidade de mudança de postura com relação ao manejo do solo, evidenciando a necessidade de inserir boas práticas de manejo, como plantio direto e rotação de culturas para a obtenção de solo biologicamente mais ativo. Os demais sistemas enquadraram-se em posições que os classificam como adequados, o que segundo Mendes et al. (2018) tem forte relação com rendimentos relativos acumulados acima de 80% para culturas de interesse econômico como soja e milho por exemplo.

Com relação ao carbono orgânico total (COT), o maior valor ($p < 0,05$) foi observado no ST8 ($22,23 \text{ mg dm}^{-3}$) e o menor no ST1 ($17,16 \text{ mg dm}^{-3}$). Os teores foram,

em média, 22% maiores no ST8 em relação ao ST1. Os sistemas (ST2 a ST7) proporcionaram pouca variação nos valores do COT, de 18,58 a 20,02 g dm⁻³, contudo, foram todos maiores que o sistema de pousio no inverno (ST1). Esses resultados de COT foram determinados com as amostras de solo para determinação da atividade enzimática e BioAS, portanto são coletas de solo realizadas nos mesmos sistemas porém em épocas diferentes.

Quadro 9. Classes de interpretação de bioindicadores para Latossolos Vermelhos argilosos de cerrado, sob cultivos anuais, na camada de 0 cm a 10 cm, utilizando o conceito Fertbio: específica para amostras de solo coletadas na fase de pós-colheita e secas ao ar.

Bioindicador ¹	Classe de interpretação		
	Baixo	Moderado	Adequado
Arilsulfatase	≤ 30	31-70	> 71
β-Glicosidase	≤ 66	67-115	> 116

¹Valores de atividade de β-glicosidase, e arilsulfatase expressos em mg de p-nitrofenol/kg de solo/h⁻¹. Fonte: Adaptado de Mendes et al. (2018).

É possível observar que na Figura 5 (A, B, C e D) que os níveis de atividade de β-glicosidase e arilsulfatase aumentaram à medida em que houve incrementos nos teores de EstC no solo. Em experimentos de campo de longa duração as relações entre indicadores microbianos e os teores de Carbono orgânico no solo (COS) estão bem estabelecidas (Balota et al., 2004; Acosta Martinez et al., 2010; Lopes et al., 2013, 2018, Mendes et al., 2019b; Cui et al., 2021) e refletem um estado de equilíbrio, construído ao longo de vários anos, de uma área sob as mesmas práticas de uso ou manejo do solo. Entretanto, os resultados do presente estudo evidenciam que a semelhança do que ocorre com os teores de COS, em áreas submetidas por vários anos a um mesmo sistema de manejo, os níveis de atividade enzimática também possuem uma correlação direta com os estoques de C. A intensidade da relação entre os níveis de atividade enzimática e o estoque de C diminuiu a medida em que aumentou a profundidade de amostragem, evidenciando que a redução significativa nos níveis de atividade enzimática, não é acompanhada na mesma intensidade pela redução nos estoques de C.

Essa é a primeira vez que esse tipo de resultado é relatado em solos tropicais e reforça a habilidade das enzimas para avaliar tendências de perda e ganho de Carbono no solo, conforme proposto por Chaer et al., (2023).

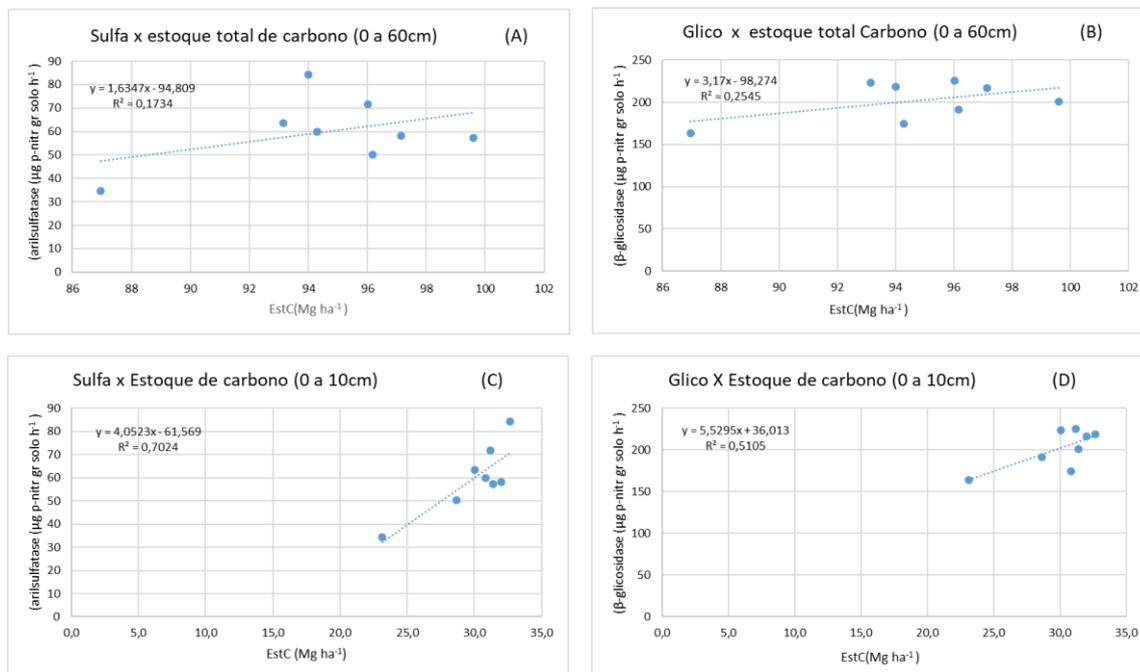


Figura 5- Relação entre os níveis de atividade de arilsulfatase (sulfa) e β-glicosidase (Glico) com os estoques de carbono (EstC) nas camadas de 0 a 60cm e 0 a 10cm, em sistemas sob pousio, rotação e sucessão. Dourados_MS

Embora os cientistas tenham desenvolvido protocolos que medem com precisão os estoques de carbono do solo (IPCC, 2006 e 2019), essas medições, a nível de fazenda são trabalhosas e caras, principalmente quando realizadas com o rigor científico necessário. Portanto, por serem medições mais simples, o conhecimento e a avaliação das mudanças (positivas ou negativas) nos níveis de atividade enzimática, em escala de campo, ao longo do tempo, podem beneficiar muito os estudos de crédito de carbono, além de subsidiar tomadas de decisões de manejo do solo no nível da fazenda.

As plantas de cobertura são as principais responsáveis pela adição ao solo de compostos orgânicos primários sintetizados no processo de fotossíntese, que, dependendo da quantidade de resíduos depositados no solo, podem resultar em aumento no teor de COT do solo (FARIA et al., 2008), bem como de carboidratos e proteínas totais, que são constituintes da MOS, oriundos da decomposição dos resíduos orgânicos e do metabolismo microbiano (GUERRA et al., 2008). D'Andréa et al. (2002) não observaram diferenças para o COT em superfície na comparação de sistemas de manejo como semeadura direta de milho, feijão e arroz. Steiner et al. (2011), avaliando sistema de produção com e sem rotação com culturas de cobertura (aveia + ervilhaca + nabo/milho/trigo/mucuna + braquiária + crotalária/milho/soja), também não verificaram

influências significativas nos teores de COT do solo, atribuindo tal efeito à rápida mineralização da matéria orgânica dos resíduos vegetais em função das altas temperaturas e umidade.

Culturas com sistema radicular abundante e agressivo, que alocam uma fração maior do C fotossintetizado para as raízes, podem ser mais eficientes em aumentar o EstC no solo e, conseqüentemente, no C residual (CARNEIRO et al., 2009), permitindo o aumento da sustentabilidade de sistemas produtivos.

Os sistemas de manejo alteraram significativamente os índices de qualidade do solo (Quadro 11), evidenciando a sensibilidade dos bioindicadores para detectar mudanças nos sistemas de manejo. Os menores padrões foram observados no sistema ST1 com valores de 0,73; 0,79 e 0,60 para os índices IQSf, IQSq e IQSb, respectivamente. Já os maiores índices enquadram-se dentro de sistemas tidos como de maior sustentabilidade tendo como exemplo o ST8, que teve os maiores valores tanto para o IQSf como para IQSq cujos valores foram de 0,86 e 0,91 respectivamente.

Padrões semelhantes, embora com algumas diferenças entre si, foram observados dentro dos sistemas que possuem pelos menos duas culturas anuais implantadas (ST2 a ST8), mostrando que por menor que seja a diversidade de culturas, mesmo se enquadrando dentro de um sistema de sucessão, por exemplo ST2, podem entregar melhorias bioquímicas no solo capazes de distinguir sistemas de manejo.

Quadro 10. Escala de qualidade cromática usada para classificar os índices de BioAnálise de Solo.

classe	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
faixa	0-0,20	0,21-0,40	0,41-0,60	0,61-0,80	0,81-1,0

Fonte: Adaptado de Mendes et al. (2021)

De acordo com a escala de qualidade cromática usada para classificar os índices de Bio Análise de Solo (Quadro 10) é possível ver que há uma predominância do verde escuro nos sistemas ST2 a ST8, indicando padrões estáveis, o que mostra que esses sistemas possuem condições adequadas de manejo (Quadro 11). Esse tipo de estabilidade, normalmente, ocorre quando o uso e o manejo adequado do solo são praticados por um longo período, favorecendo o aumento da atividade biológica e os teores de MOS (MENDES et al., 2021).

Quadro 11. Efeito dos sistemas de manejo sobre os índices de qualidade solo (IQS) e escores (ciclagem, armazenamento e suprimento) na profundidade de 0-10cm.

Tratamentos	IQSf	IQSq	IQSb	Cicl.	Armaz.	Suprim.
ST1	0,73 a	0,79 c	0,60 c	0,60 c	0,69 c	0,9
ST2	0,8 ab	0,85 abc	0,71 ab	0,71 ab	0,81 ab	0,9
ST3	0,83 ab	0,84 bc	0,80 a	0,80 a	0,78 bc	0,9
ST4	0,84 ab	0,86 ab	0,80 ab	0,80 ab	0,81 ab	0,92
ST5	0,79 ab	0,84 bc	0,70 bc	0,70 bc	0,76 bc	0,91
ST6	0,8 ab	0,84 bc	0,73 ab	0,73 ab	0,78 bc	0,9
ST7	0,82 ab	0,86 ab	0,75 ab	0,75 ab	0,82 ab	0,91
ST8	0,86 a	0,91 a	0,76 ab	0,76 ab	0,91 a	0,91
Média	0,81	0,85	0,73	0,73	0,79	0,91
CV	3,18	3,2	6,17	6,17	6,46	1,45
DMS	0,06	0,06	0,1	0,1	0,12	0,03

IQSf= índice de qualidade fertbio do solo; IQSq= índice de qualidade química do solo; IQSb= Índice de qualidade biológica do solo; Cicl=ciclagem; Arm=armazenamento; Supr= suprimento. Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de significância. CV: Coeficiente de variação. dms= diferença mínima significativa. *ST1:soja verão e pousio no inverno; ST2:soja no verão e milho solteiro no inverno; ST3:soja no verão e consórcio de milho + *Braquiária ruziziensis* no inverno; ST4:soja no verão e Aveia preta + milho + trigo mourisco + ervilhaca no outono/inverno; ST5:soja no verão e niger no outono/inverno; ST6: soja no verão e ervilhaca no outono/inverno; ST7: soja no verão e *Crotalaria spectabilis* no outono/inverno; ST8: soja no verão e aveia preta + milho + trigo mourisco + *Braquiária ruziziensis* no outono/inverno.

Segundo Mendes et al. (2021), o padrão estável ocorre quando se observa cores de tonalidades próximas ou similares para os escores ciclagem e armazenamento (Quadro 11). Assim, podemos afirmar que na maioria dos sistemas estudados nesse trabalho estão sendo adotados manejos que permitem a manutenção de um solo de alta qualidade e biologicamente ativo. Exceção acontece no ST1, cujos valores para IQSb e ciclagem estão na faixa amarela, que o classificaria nesse caso como um solo de média qualidade, em condição de estabilidade. Indica-se nesse caso, uma reavaliação das práticas de manejo ou do sistema de condução em andamento, para que essa condição não migre para índices que o classifiquem como solo de baixa qualidade. Como esses índices tem relação direta com teores de MOS, fica evidente que os teores mais baixos de carbono obtidos no ST1 (Quadro 7) influenciaram grandemente os valores para esses níveis e escore obtidos nesse trabalho. A ciclagem tem relação direta com os níveis de atividade enzimática (arilsulfatase e β -glicosidase) e objetiva estimar o desempenho da atividade biológica nos processos como a ciclagem de nutrientes, formação e decomposição da MOS.

Interessante destacar que, o atributo armazenamento (Quadro 11) encontra-se em patamares adequados (indicado pelas cores verde-clara e verde-escura), pois as alterações na MO ocorrem de maneira mais lenta e gradual que nas enzimas. Entretanto, é necessária uma avaliação criteriosa das práticas de manejo que vêm sendo adotadas, principalmente

nos tratamentos destacados pelo verde-claro, para evitar perdas nos teores de MOS em médio ou em longo prazos. O armazenamento objetiva quantificar a reserva de nutrientes do solo, o qual está principalmente relacionado à textura, qualidade das argilas e ao conteúdo e qualidade da MO.

O escore suprimento (Quadro 11), além de não apresentar diferenças significativas entre os tratamentos, mantém padrões de cor verde escura para todos os sistemas. Essa avaliação não é considerada como indicativo de perda de qualidade biológica do solo, uma vez que, está diretamente relacionada com o manejo da adubação e calagem, e o torna independente dos padrões de ciclagem e armazenamento. Isso significa que, adubar ou corrigir um solo de baixa fertilidade não o tornaria saudável, ou ainda, um solo ácido e com baixa disponibilidade de nutrientes não seria necessariamente um solo “doente”, como normalmente ocorre em solos sob vegetação nativa (MENDES et al., 2021).

Os resultados obtidos mostram que o uso da BioAs foi eficaz para o monitoramento da qualidade do solo nos sistemas de manejo estudados e que o cálculo do IQS permitiu diferenciar os sistemas de manejo com relação a seus efeitos na qualidade do solo (Quadro 11). Valores elevados de atividade enzimática (Quadro 9) foram encontrados nos sistemas de sucessão e/ou rotação, o que indica práticas de manejo do solo adequadas e sustentáveis, segundo Mendes et al. (2021).

Assim, conforme ressaltado por Mendes et al., (2021) a adoção de sistemas de manejo e de práticas agrícolas que favoreçam a saúde do solo são o caminho para a obtenção de solos biologicamente ativos e produtivos.

4.3. Teores foliares de macro e micronutrientes

Não houve diferença significativa entre os tratamentos para os teores foliares de N, K, Ca, Mg, Fe e Mn na safra 2019/2020, obtendo teores médios de: 42,97; 24,07; 13,18 e 3,32 g kg⁻¹ e 98,30 e 44,11 mg kg⁻¹, respectivamente. Na safra 2020/2021 não houve diferença nos teores de N, Ca, Mg, Cu e Mn, com médias de 46,30; 13,68; 4,76 g kg⁻¹ e 9,06 e 48,52 mg kg⁻¹, respectivamente (Quadro 12). É importante ressaltar que os teores foliares estavam dentro da faixa de suficiência nutricional adequada relatada por Oliveira Júnior et al. (2020), com exceção dos teores foliares de Ca que estiveram acima da faixa de suficiência, nas duas safras avaliadas.

Na safra 2019/2020 os teores foliares de P, Cu e Zn diferiram entre os tratamentos (Quadro 12). Para o P, no ST1 o teor desse nutriente foi estatisticamente menor em relação aos outros tratamentos. Apesar dos teores de P no solo estarem altos até a camada de 20

cm (Quadros 2 e 3), o ST1 (pousio) pode ter favorecido a transformação do P no solo, via adsorção e precipitação dos íons fosfato no solo, diminuindo a sua disponibilidade para

Quadro 12. Influência dos sistemas de sucessão e rotações de cultura sobre os resultados de análise de tecido foliar da cultura da soja nas safras 2019/2020 e 2020/2021. Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). Dourados, MS

Safr 2019/2020									
Sistemas*	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----g/kg ⁻¹ -----					-----mg/kg ⁻¹ -----			
ST1	38,70	2,86 b	23,50	14,12	3,56	9,30 d	109,51	48,93	28,65 b
ST2	41,65	3,40 a	24,89	12,00	2,96	9,65 d	88,43	38,38	32,70 ab
ST3	42,17	3,60 a	25,91	13,34	3,29	11,12 cd	87,57	37,90	35,68 a
ST4	42,00	3,69 a	25,40	12,81	3,16	13,21 bc	93,08	42,49	37,05 a
ST5	43,77	3,66 a	24,33	13,33	3,57	13,53 b	89,29	39,00	36,18 a
ST6	43,80	3,83 a	24,67	13,66	3,58	15,57 ab	99,84	47,60	38,55 a
ST7	46,02	3,87 a	23,42	13,50	3,54	16,00 a	106,43	47,08	36,23 a
ST8	45,67	3,66 a	23,45	12,72	2,99	14,95 ab	102,29	51,46	31,83 ab
CV (%)	8,59	7,29	12,49	8,90	8,04	7,74	18,30	25,63	11,25
Média	42,97	3,57	24,07	13,18	3,32	12,92	98,30	44,11	34,61
DMS	8,75	0,61	6,56	2,98	0,63	2,37	42,67	26,71	8,41
Safr 2020/2021									
Sistemas*	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----g/kg ⁻¹ -----					-----mg/kg ⁻¹ -----			
ST1	42,85	3,06 ab	23,96 d	13,41	5,01	8,31	187,07 ab	54,42	29,61 b
ST2	49,15	3,45 a	25,18 cd	13,64	4,81	9,06	176,77 abc	52,35	34,64 ab
ST3	50,17	3,25 ab	24,78 cd	13,13	5,05	9,86	214,60 a	58,76	39,26 a
ST4	44,22	3,06 ab	29,54 bc	12,85	5,14	8,55	124,73 bc	55,41	33,76 ab
ST5	47,50	3,18 ab	30,34 ab	14,04	4,70	8,90	114,17 c	50,56	34,30 ab
ST6	47,77	2,89 b	34,74 a	14,20	4,44	7,84	109,65 c	36,67	32,05 ab
ST7	43,40	2,84 b	33,43 ab	14,74	4,24	7,81	116,08 c	40,91	31,55 ab
ST8	45,32	3,20 ab	30,81 ab	13,42	4,74	9,66	125,60 bc	37,10	32,30 ab
CV (%)	10,11	11,46	6,96	8,91	8,90	10,31	20,27	24,94	11,41
Média	46,30	3,13	29,10	13,68	4,76	9,06	146,09	49,52	33,43
DMS	11,1	0,82	4,80	2,88	0,89	2,04	70,27	29,30	9,05

*ST1:soja verão e pousio no inverno; ST2:soja no verão e milho solteiro no inverno; ST3:soja no verão e consórcio de milho + *Braquiaria ruziziensis* no inverno; ST4:soja no verão e Aveia preta + milho + trigo mourisco + ervilhaca no outono/inverno; ST5:soja no verão e niger no outono/inverno; ST6: soja no verão e ervilhaca no outono/inverno; ST7: soja no verão e *Crotalaria spectabilis* no outono/inverno; ST8: soja no verão e aveia preta + milho + trigo mourisco + *Braquiaria ruziziensis* no outono/inverno. Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; CV: coeficiente de variação. DMS: diferença mínima significativa.

as plantas, visto que, era um sistema que não possuía plantas na área no período do

outono-inverno para absorver o P disponível (P lábil). Segundo Raij (1981) o fósforo lábil tende a passar para a forma não lábil com o tempo. Essa transformação de P no solo pode ter resultado em menor disponibilidade de P para as plantas (Quadro 12). Também, o cultivo de plantas na entressafra, independente do sistema de plantio, é um importante fator de multiplicação e preservação da micorrizas arbusculares e de seus efeitos sobre a cultura subsequente (MIRANDA e MIRANDA, 2007).

Os fungos micorrizicos arbusculares são componentes naturais dos sistemas de produção e, por meio da micorriza, podem aumentar a absorção de nutrientes do solo, principalmente o fósforo cobre e zinco, nutrientes esses de baixa difusão no solo (MIRANDA et.al., 2005) e (BRESSAN et al. 2001). Segundo Jaychandran et al., (1992) as micorrizas podem também, mobilizar P do solo através da mineralização do P orgânico, aumentando a disponibilidade desse elemento.

Apesar das diferenças entre os tratamentos, a faixa de suficiência nutricional desse nutriente estava adequada para o ST1 e alta para os demais tratamentos (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2020).

Para o teor foliar de Cu, o tratamento ST7 foi estatisticamente superior aos tratamentos (ST1 a ST5), com faixa de suficiência adequada para os tratamentos (ST1 e ST2) e alta para os tratamentos (ST3 a ST8). Para o Zn, no ST1 o teor foi estatisticamente menor em relação aos tratamentos (ST3 a ST7), com faixa de suficiência baixa para ST1 e adequada para os demais tratamentos (OLIVEIRA JUNIOR et.al, 2020).

Na safra 2020/2021 o teor de P no ST2 foi superior estatisticamente aos tratamentos ST6 e ST7, não diferindo dos demais tratamentos. Para K, o ST1 diferiu dos tratamentos ST4 a ST8, não diferindo dos ST2 e ST3. Para Fe, o ST3 diferiu dos tratamentos ST4 a ST8, não diferindo dos tratamentos ST1 e ST2. Já para o Zn, o maior teor foi encontrado no ST3 que diferiu do ST1 (Quadro 12).

Verifica-se no quadro 12, que a maioria dos teores de K nas folhas de soja estão próximos ou acima do limite superior da faixa considerada suficiente (17,0 a 25,0 g kg⁻¹), segundo Embrapa (2010). De acordo com Meurer (2006) as plantas têm a capacidade de absorver quantidade de K superior à sua necessidade, o que comumente é denominado consumo de luxo de K. Esse resultado a princípio leva a crer que os maiores níveis foliares desse elemento se devem aos maiores teores de K no solo, (sistemas 4, 5, 6, 7 e 8) (Quadro 3) influenciadas pelas diferentes plantas de coberturas. O elemento ferro apresentou valores bastante diferentes, variando de teores adequados (ST5, ST6 e ST7) a excedente (ST1, ST2, ST3, ST4 e ST8). Considerando que os teores na safra 2019/20 para esse

elemento estão dentro de uma faixa adequada a alta, pode-se inferir que as variações nos teores na safra 2020/21 podem ser devido a contaminação das folhas por poeira que acabaram superestimando os teores na análise em laboratório.

Apesar das diferenças entre os tratamentos, a faixa de suficiência nutricional desses nutrientes, relatada por Oliveira Júnior et al. (2020) foi de: para o teor foliar de P, a faixa de suficiência encontrava-se adequada para todos os tratamentos; para o K foliar os tratamentos ST1, ST2 e ST3 estavam adequadas e os tratamentos ST4 ao ST8 se enquadraram em alto teor. Para o Zn foliar somente o ST1 se encontrava na faixa baixa e os demais tratamentos encontravam na faixa adequada.

De modo geral, quase todos os sistemas permitiram concentrações foliares adequadas dos nutrientes, do ponto de vista agrônomo, com destaque para os teores foliares de Zn, inferiores para o ST1.

4.4. Componentes biométricos e produtividade da soja

Na safra 2019/2020 não houve diferença entre os tratamentos para número de ramos (NR) e número de vagens (NV), obtendo como média 2,9 ramos pl^{-1} e 68 vagens pl^{-1} , respectivamente (Quadro 13). Resultados esses inferiores a safra 2020/2021 que apresentou média de 6,41 ramos pl^{-1} e 80,35 vagens pl^{-1} , respectivamente pra NR e NV. O fato determinante para o maior ou menor número de ramos por planta é a competição intraespecífica das plantas pelos fatores do ambiente, especialmente luz, ou seja, quanto maior a densidade de plantas, menor disponibilidade de foto assimilados para o crescimento vegetativo de ramos (MARTINS et al.,1999).

As plantas direcionam a maior parte desses fotoassimilados para o crescimento do ramo principal aumentando a altura da planta, e diminuindo a emissão de ramificações laterais (MAUAD et al., 2010). Fato esse observado neste experimento, com plantas em média mais altas (safra 2019/2020) em relação as plantas da safra 2020/2021, apresentaram menores número de ramificações (Quadro 13). Porém, na safra 2020/2021, as plantas mais baixas, presentes no ST1, apresentaram também os menores números de ramos e vagens e esse resultado afetou a produtividade de grãos (Quadro 13)

Segundo Martinez et al. (1999) há uma relação entre os teores foliares de nutrientes nas folhas com o crescimento e/ou produtividade das culturas, o que pode ser comprovado nos Quadros 12 e 13 onde as menores alturas das plantas e menores produtividades foram encontradas no ST1 (Quadro 13), que coincidiram com os menores

teores foliares de P e Zn, principalmente na safra 2019/2020. Também, de acordo com Santos et al. (2006) a cobertura de solo através de resíduos vegetais oriundos de rotação de culturas, nos sistemas conservacionistas mantém a água disponível, mesmo em período de estiagem, desde que tenha chovido anteriormente permitindo que as plantas cresçam mais do que nos sistemas convencionais de manejo. Além disso, pode haver acúmulo de nutrientes e de matéria orgânica na camada superficial do solo (SANTOS et al. 2006)

Quadro 13. Altura de plantas (ALT), número de ramos (NR), número de vagens (NV), massa de 1000 grãos (M1000), produtividade de grãos (PROD) de soja em sistemas de sucessões e rotações de culturas, safras 2019/2020 e 2020/2021. Dourados, MS.

Tratamentos	Safr 2019/2020				
	ALT (cm)	NR (ramo. pl ⁻¹)	NV (vag. pl ⁻¹)	M1000 (gramas)	PROD (kg ha ⁻¹)
ST1	100,19 c	3,18	62,50	113,04 c	3970,38 d
ST2	108,52 bc	3,03	66,65	113,99 c	4239,29 c
ST3	112,00 b	3,17	65,30	120,61 b	4281,08 c
ST4	116,50 ab	3,10	73,90	128,88 a	4671,21 b
ST5	112,33 b	2,75	68,40	133,06 a	4612,64 b
ST6	119,75 a	2,65	64,75	128,51 a	4923,25 a
ST7	119,75 a	2,57	71,75	130,51 a	4613,75 b
ST8	116,94 ab	2,75	70,75	128,06 a	4609,50 b
CV (%)	4,06	11,13	13,06	5,08	2,68
Média	113,23	2,90	68,00	124,70	4490,14
DMS	10,81	0,76	21,06	15,14	179,29

Tratamentos	Safr 2020/2021				
	ALT (cm)	NR (ramo. pl ⁻¹)	NV (vag. pl ⁻¹)	M1000 (gramas)	PROD (kg ha ⁻¹)
ST1	93,12 c	4,25 b	65,00 c	116,53	3469,00 e
ST2	104,16 b	6,50 a	77,70 b	116,45	3782,50 d
ST3	106,55 ab	6,75 a	79,10 ab	115,27	3940,00 cd
ST4	109,09 a	6,25 a	82,20 a	116,93	4035,75 bc
ST5	111,34 a	7,00 a	84,70 a	116,12	4039,00 bc
ST6	113,09 a	7,25 a	88,14 a	117,60	4362,50 a
ST7	109,78 a	6,75 a	82,01 a	116,53	4212,50 ab
ST8	111,10 a	6,50 a	84,00 a	117,37	4147,50 b
CV (%)	4,76	10,31	4,44	2,40	2,27
Média	107,28	6,41	80,35	116,60	3998,59
DMS	7,01	1,56	5,23	6,64	215,32

*ST1:soja verão e pousio no inverno; ST2:soja no verão e milho solteiro no inverno; ST3:soja no verão e consórcio de milho + *Braquiária ruziziensis* no inverno; ST4:soja no verão e Aveia preta + milheto + trigo mourisco + ervilhaca no outono/inverno; ST5:soja no verão e niger no outono/inverno; ST6: soja no verão e ervilhaca no outono/inverno; ST7: soja no verão e *Crotalária espectralis* no outono/inverno; ST8: soja no verão e aveia preta + milheto + trigo mourisco + *Braquiária ruziziensis* no outono/inverno.

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; CV: coeficiente de variação. DMS: diferença mínima significativa.

A altura de plantas é essencial para determinar a introdução da cultivar em determinada região, e essa variável pode ser influenciada pela época de semeadura,

espaçamento de plantas entre e dentro das fileiras, suprimento de umidade, temperatura, fertilidade do solo e outras condições gerais do meio ambiente (HAMAWAKI et al., 2005). Os tratamentos ST6 e ST7 apresentaram plantas estatisticamente superiores comparada aos tratamentos ST1 e ST2, na safra 2019/2020, e o tratamento ST1 apresentou planta estatisticamente mais baixa em relação as plantas dos outros tratamentos, na safra 2020/2021. Trabalhos mais antigos revelaram que, quando a monocultura de quaisquer espécies era praticada durante anos seguidos, evidenciava-se a liberação de alguns compostos durante a decomposição dos resíduos vegetais, que se acumulavam no solo até atingirem concentrações inibidoras do crescimento da própria planta (SANTOS et al.; 2006) e, observaram igualmente que a soja cultivada sob rotação de culturas apresentou peso de 1.000 grãos mais elevado do que sob monocultura.

Segundo Monsoy (2016) a altura média das plantas para a cultivar M6410 IPRO é de 86 cm, inferior ao observado no presente estudo (média de 110 cm). De acordo com Rezende et al. (2007) a altura de planta adequada para a colheita mecanizada está entre 60 e 120 cm, neste sentido, nenhum tratamento apresentou plantas que ultrapassaram os 120 cm, em ambas as safras agrícolas (Quadro 13).

Ao tratar dos componentes de produção analisados, observa-se um cenário semelhante ao encontrado para as variáveis de altura, NR e NV, onde os tratamentos de sucessão e/ou rotação apresentaram os maiores valores para essas variáveis em relação ao pousio (Quadro 13). Segundo Silva et al. (2015), o número de vagens por planta pode ser influenciado pela densidade de plantas por metro quadrado. Como neste experimento foi utilizada a mesma densidade de plantas para todos os tratamentos, pode se inferir que os tratamentos ST2 ao ST8 sobressaíram em relação ao ST1, sendo esse aumento de 26%. A diferença no número de vagens por planta está diretamente ligada à altura das plantas, ou seja, plantas maiores apresentam a formação de mais nós produtivos, possibilitando a formação de um maior número de vagens (FELETTE, 2016). Fato esse, observado na safra 2020/2021 (Quadro 13).

A produtividade da soja é uma característica complexa controlada por vários genes e influência ambiental, cujo rendimento depende de vários fatores, dentre os quais estão incluídos o número de vagens por planta, massa de grãos, grãos por vagem (DALCHIAVON e CARVALHO, 2012; PEIXOTO et al., 2000) e saúde do solo (MENDES et al. 2021). O resultado da variável NV (safra 2020/2021) apontou os tratamentos ST2 ao ST8 com os maiores números de vagens, sobressaindo-se estatisticamente do tratamento ST1 (pousio) (Quadro 13). Todavia, para a massa de 1000

grãos, não houve diferença na safra de 2020/2021, já na safra 2019/2020 os tratamentos ST3 ao ST8 apresentaram maiores massas de 1000 grãos em relação aos tratamentos ST1 e ST2, influenciando no rendimento de grãos de soja (Quadro 13).

Avaliando a cultivar Monsoy 6410 IPRO, Tessele et al. (2017) encontraram massa em 1000 grãos de 130,90 g, valor semelhante ao encontrado na safra 2019/2020 e superior ao encontrado na safra 2020/2021 (Quadro 13).

Os valores mais baixos de peso de grãos na safra 20/21 devem-se provavelmente a uma restrição hídrica aliada a elevadas temperaturas por cerca de 15 dias no período pré colheita (Figura 3). Outro fator pode ser devido a maior quantidade de grãos por planta, já que o número de vagens foi maior na referida safra (Quadro 13). O mesmo comportamento foi constatado por Perini et al., (2012), o qual estudando os componentes de produção de soja de cultivares de hábito de crescimento determinado e indeterminado, observaram que o aumento no número de grãos por planta diminui a massa individual dos mesmos. Isso pode estar relacionado com o maior número de drenos na planta para a mesma quantidade de carboidratos e fotoassimilados produzidos na fase de enchimento de grãos, causando a redução do peso dos grãos.

Tessele et al. (2017) avaliaram a cultivar Monsoy 6410 IPRO, no município de Marechal Cândido Rondon (PR), e encontraram uma produtividade 4.397 kg ha^{-1} , valores similares ao encontrados neste experimento na safra 2019/2020 e maiores aos encontrados na safra 2020/2021 para essa cultivar (Quadro 13). De acordo com a Conab (2020), a produtividade média estadual da soja na safra 2019/2020, foi de 3530 kg ha^{-1} , enquanto a média nacional foi de 3370 kg ha^{-1} . A produtividade da soja 2019/2020 ficou acima da média estadual e nacional. Para a safra 2020/2021 somente o tratamento ST1 (pousio) (3469 kg ha^{-1}) ficou abaixo da média estadual (3513 kg ha^{-1}) e nacional (3526 kg ha^{-1}) (CONAB, 2022). Para os demais tratamentos a produtividade superou a média estadual e nacional. O ST6 (soja verão e ervilhaca outono/inverno) destacou-se com maior média de produtividade nas duas safras avaliadas.

De modo geral, os teores dos nutrientes no solo foram classificados como médio a adequado para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Quadro 3), entretanto, as produtividades da soja foram distintas (Quadro 13), evidenciando que existem outras variáveis relevantes que estão influenciando os níveis de produção. Portanto, embora os tratamentos apresentassem características químicas semelhantes (Quadros 3 e 4), os resultados de atividade enzimática mostram, que o componente biológico foi distinto (Quadros 8 e 11). O solo biologicamente mais ativo, decorrente dos tratamentos de

sucessão e rotação de culturas, contribuiu para o aumento da produtividade mostrando-se mais resiliente, quando comparado ao solo com o monocultivo ST1 (pousio).

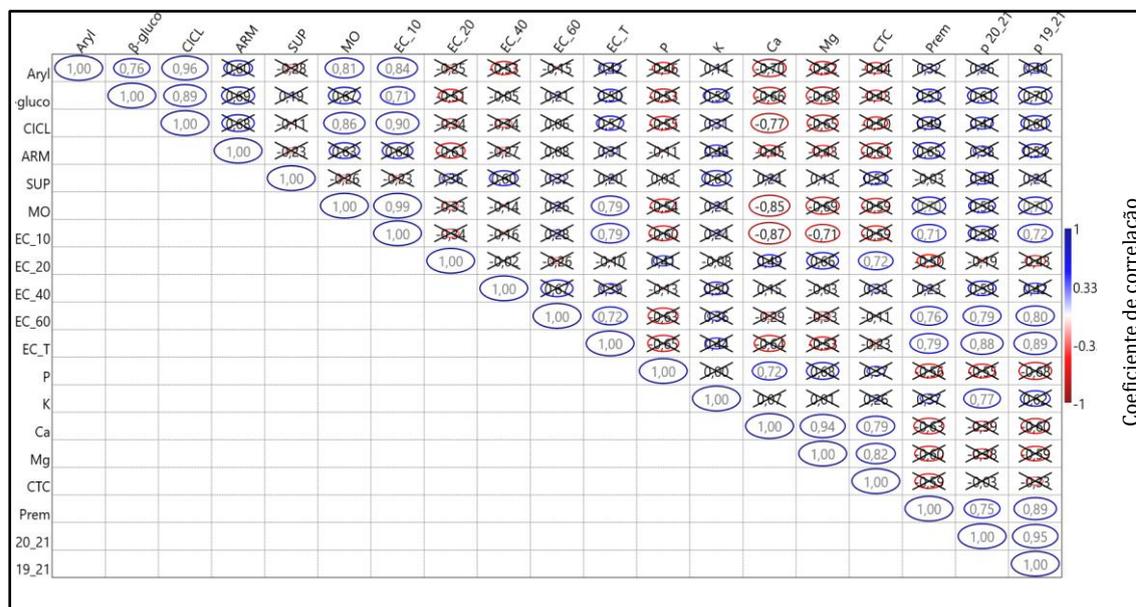
Considerando que a área do presente estudo já era cultivada desde 2009 e, a bioanálise do solo realizada em 2021 evidenciou a sensibilidade dos bioindicadores arilsulfatase e β -glicosidase (Quadro 8) para detectar mudanças nos sistemas de manejo, com diferenças bem mais acentuadas que as observadas nos teores de MO (Quadro 3). Esses resultados demonstram claramente a capacidade da atividade enzimática de acessar a “memória” do solo, evidenciando aspectos do solo que passavam despercebidos nas análises de química de rotina (MENDES et al., 2021).

4.5 Análise de Correlação (Pearson)

A enzima arilsulfatase correlacionou positivamente com a enzima B-glucosidase, ciclagem de nutrientes, MO e EstC_010cm (Quadro 14). Esses resultados sugerem que o manejo do solo que proporcione aumento do teor de MO favorecerá o aumento da atividade dessa enzima e com isso produzirá maiores quantidades de substrato para o crescimento microbiano, produção de enzimas e ciclagem de nutrientes. Segundo Balota et al. (2011), o incremento de carbono orgânico a partir de resíduos vegetais constitui o principal reservatório de ésteres de sulfato, que são os substratos para este grupo de enzimas.

A enzima β -glucosidase correlacionou positivamente com a ciclagem de nutrientes, EstC-010cm e com a arilsulfatase no solo. Segundo Bandick e Dick (1999), a maior atividade da β -glucosidase está associada não só ao acúmulo, mas também à qualidade dos restos culturais acumulados na superfície do solo nas áreas sob plantio direto. Sua atividade é favorecida positivamente por sistemas com baixo revolvimento do solo e elevado aporte de resíduos vegetais (LOPES et al., 2015). Esses resíduos funcionariam para as enzimas como estímulo para sua produção (indução pela presença do substrato). Isso ocorre porque a celulose é componente básico dos resíduos vegetais, assim quanto maior o aporte de resíduo vegetal maior será a quantidade de glicose produzida a partir da quebra dos fragmentos de celobiose, e com isso mais substrato será fornecido para a comunidade microbiana do solo resultando em maior produção da enzima β -glicosidase.

Quadro 14. Correlação de Pearson entre as enzimas (arilsulfatase e β -glicosidase), ciclagem, armazenagem, suprimento, matéria orgânica (MO), estoque de carbono (EC) nas camadas de solo (0-10, 10-20, 20-40, 40-60cm e total), macronutrientes do solo (P, K, Ca e Mg), capacidade de troca catiônica (CTC), fósforo remanescente (P_{rem}) e produtividade da soja em sistemas de pousio, sucessões e rotações de culturas, safras 2019/2020 e 2020/2021. Dourados, MS.



*Arlsufa: enzima arilsulfatase; β -glico: enzima β -Glucosidase; Ccl: ciclagem de nutrientes; Arm: armazenamento de nutrientes; Sup: suprimento de nutrientes; MO: matéria orgânica; EC=EstC_10=: estoque carbono 0-10cm . ; EC=EstC_20: estoque carbono 10-20cm; EC=EstC_40: estoque carbono 20-40cm; EC=EstC_60: estoque carbono 40-60cm; EC=EstC_T: estoque carbono total (0-60cm); P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; CTC: capacidade de troca catiônica; P_{rem} : fósforo remanescente; prod 19_20: produtividade soja safra 2019/2020; Prod 20/21: produtividade soja safra 2020/2021. Elipse em coloração vermelha correlação negativa; elipse em coloração azul correlação positiva.

○ Significativo a 5% de probabilidade; \otimes ns

Neste sentido, as enzimas arilsulfatase e β -glicosidase que estão relacionadas com a ciclagem de nutrientes, tem papel fundamental nas transformações destes para formas que são facilmente absorvidas pelas plantas. A participação dessas enzimas se dá na mineralização do material orgânico depositado, principalmente, pelas plantas, fazendo com que estas sejam fundamentais para o estabelecimento de qualquer ecossistema sustentável.

Para as funções ciclagem, armazenamento e suprimento, somente a ciclagem correlacionou-se com positivamente com a MO e o EscC 0-10cm (Quadro 14). Isso se deve ao fato dessa função estar associada diretamente ao desempenho da atividade enzimática no solo para a formação e decomposição da MO. A maior vantagem dos bioindicadores é que eles são mais sensíveis que indicadores químicos e físicos, detectando com maior antecedência alterações que ocorrem no solo, em função do seu

uso e manejo (MATSUOKA et al., 2003; MENDES et al., 2003; BALOTA et al., 2004; HUNGRIA et al., 2009; PEIXOTO et al., 2010; LISBOA et al. 2012).

Os estoques de carbono (EstC) tiveram uma correlação positiva com P_{rem} e as produtividades de soja. A MO não mostrou correlação significativa com as produtividades e o EstC 0-10cm teve relação somente para a produtividade do ano de 2019/2020. O EstC 40-60 cm e o EstC total, correlacionaram-se com a produtividade de soja das duas safras (Quadro 14) mostrando a importância da avaliação do estoque de carbono ao longo do perfil do solo e não somente na camada superficial (Quadro 7).

Dentre os atributos químicos do solo (P, K, Ca, Mg e CTC), somente o K teve correlação positiva com a produtividade da safra 20/21. Tendo em vista a adequada condição de fertilidade do solo (SOUSA e LOBATO, 2004) para os tratamentos avaliados, fica evidente a menor dependência química do solo para a obtenção de produtividades mais elevadas.

4.6 Agrupamento hierárquico e análise de componentes principais

Diante da possibilidade de utilização das variáveis selecionadas para distinção dos tratamentos, fez-se uso da análise de agrupamento hierárquico objetivando avaliar a similaridade dos sistemas de manejo do solo por meio de um dendrograma de ordenação. Cada vez que se obtém variação expressiva nos valores de distância euclidiana para o conjunto de variáveis consideradas, é possível fazer uma divisão de grupos. (Figura 6).

Nesta análise, os sistemas de pousio, sucessão e rotação foram agrupados com base no seu grau de semelhança, com o objetivo de classificá-las em grupos mais ou menos homogêneos. Foi possível verificar a formação de três grupos interpretáveis a partir dos dados dos atributos dos solos (químicos e biológicos) e produtividades. Observa-se que o G2, formado pelos sistemas ST4, ST5, ST7 e ST8 (rotações) se agruparam com similaridades próximas a 99%. O ST6 (rotação) enquadrou-se nesse mesmo grupo com semelhança superior a 97% para com os demais sistemas de rotação. Os sistemas, ST2 (sucessão) e ST3 (consórcio) se agruparam com 98,5% de similaridade entre si (G3), mas com semelhança inferior a 96% do G2 (rotações). O ST1 (pousio) ficou isolado dos demais tratamentos (G1) e sua similaridade em relação aos demais grupos foi inferior a 93%. Este padrão de separação reflete o quanto os sistemas de manejo do solo podem influenciar as diferentes características químicas e biológicas do solo, o que poderá refletir na disponibilidade de nutrientes e produtividade.

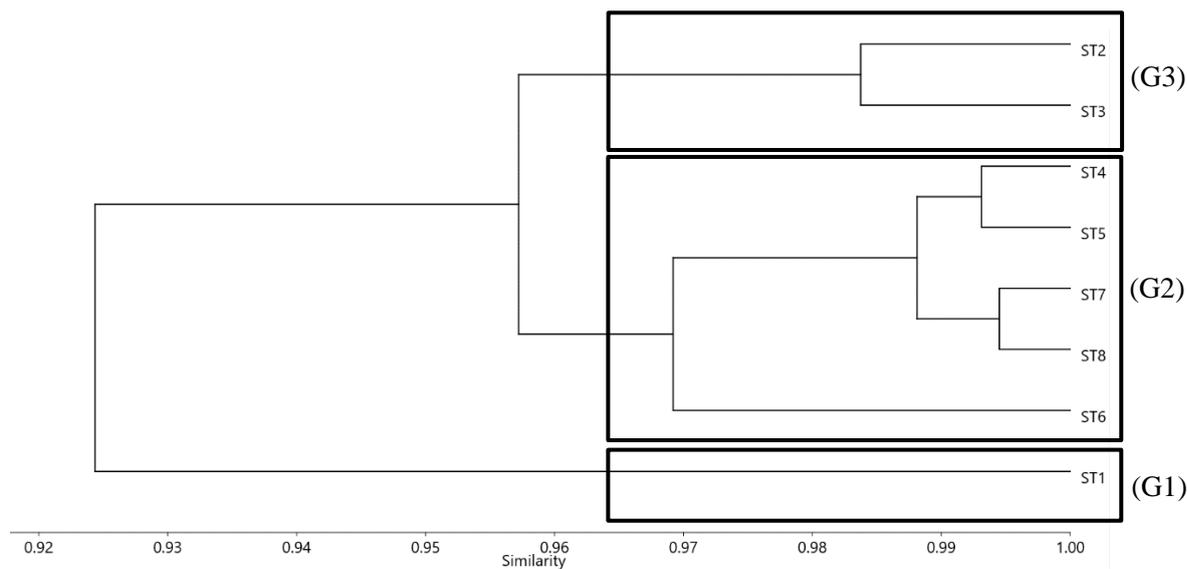


Figura 6. Dendrograma de distância euclidiana com base na discriminação dos oito sistemas de sucessão e rotações de cultura. (ST1: soja verão e pousio no inverno; ST2: soja no verão e milho solteiro no inverno; ST3: soja no verão e consórcio de milho + *Braquiaria ruziziensis* no inverno; ST4: soja no verão e Aveia preta + milho + trigo mourisco + ervilhaca no outono/inverno; ST5: soja no verão e Níger no outono/inverno; ST6: soja no verão e ervilhaca no outono/inverno; ST7: soja no verão e *Crotalaria spectabilis* no outono/inverno; ST8: soja no verão e aveia preta + milho + trigo mourisco + *Braquiaria ruziziensis* no outono/inverno). Atributos considerados na avaliação: enzima arilsulfatase, enzima β -Glucosidase; ciclagem de nutrientes; armazenamento de nutrientes; suprimento de nutrientes; MO: matéria orgânica; EstC_10=: estoque carbono 0-10cm. ; EstC_20: estoque carbono 10-20cm; EstC_40: estoque carbono 20-40cm; EstC_60: estoque carbono 40-60cm; EstC_T: estoque carbono total (0-60cm); P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; CTC: capacidade de troca catiônica; P_{rem} : fósforo remanescente; produtividade soja safra 2019/2020; produtividade soja safra 2020/2021. G1: grupo 1; G2: grupo 2; G3: grupo 3.

A análise de componentes principais (CP) (quadro 15) mostra uma associação de variáveis com comportamentos semelhantes. As análises mostraram que os dois primeiros componentes principais permitiram explicar 77,63% da variância total. O componente principal 1 (CP1) e o componente principal 2 (CP2) contribuíram com 59,97% e 17,66%, respectivamente. Quanto maior for a carga em cima de um fator, mais a variável tem importância para o fator avaliado, de acordo com Vicini (2005). Variáveis com mesmo sinal atuam de forma direta, ou seja, quando o valor de uma aumenta, o valor da outra aumenta, ou vice-versa, e aquelas com sinais contrários, atuam de forma inversa.

Na Figura 7 pode-se observar que as correlações positivas são responsáveis pela discriminação dos tratamentos localizados à direita (quadrantes 1 e 4) da CP1 (ST3, ST4, ST6, ST7 e ST8) e a correlação negativa pela discriminação dos tratamentos à esquerda (quadrantes 2 e 3) da CP1 (ST1, ST2 e ST5). As variáveis que mais contribuem com os índices de qualidade do solo estão voltadas para a direita em CP1, apresentando maior relação com os sistemas ST4, ST8, ST7, ST6 e ST3. Assim, fica evidente que um modelo

de uso do solo onde se garante a quantidade e qualidade da matéria orgânica depositadas de forma variada e contínua sobre o solo, podem favorecer a atividade dos microrganismos pela diversidade, estabilidade e integridade do sistema.

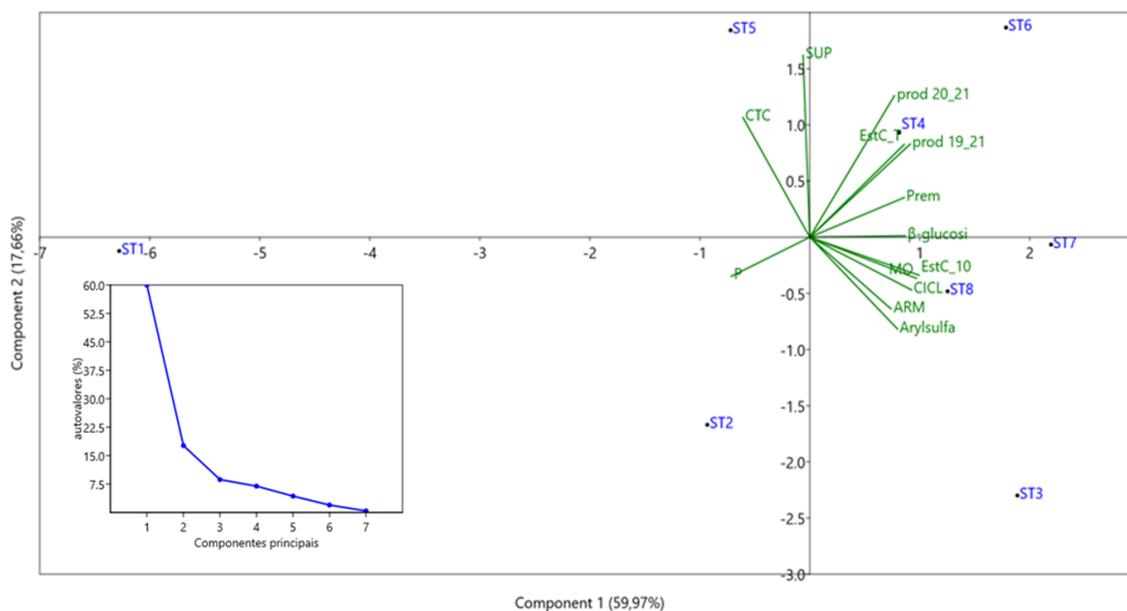


Figura 7. Biplot mostrando a projeção de parte das variáveis nos dois primeiros componentes principais com a discriminação dos oito sistemas de sucessão e rotações de cultura. ST1: soja verão e pousio no inverno; ST2: soja no verão e milho solteiro no inverno; ST3: soja no verão e consórcio de milho + *Braquiaria ruziziensis* no inverno; ST4: soja no verão e Aveia preta + milho + trigo mourisco + ervilhaca no outono/inverno; ST5: soja no verão e Níger no outono/inverno; ST6: soja no verão e ervilhaca no outono/inverno; ST7: soja no verão e *Crotalaria spectabilis* no outono/inverno; ST8: soja no verão e aveia preta + milho + trigo mourisco + *Braquiaria ruziziensis* no outono/inverno. Atributos químicos do solo: MO (matéria orgânica do solo), EstC 0-10 (estoque de carbono 0-10cm), EstC total (estoque de carbono total 0-60cm), fósforo (P), fósforo remanescente P_{rem} , capacidade de troca de cátions (CTC), enzimas (arilsulfatase e B-glucosidase), funções do solo (ciclagem, armazenamento e suprimento) e produtividade da soja das safras 2019/20 e 2020/21.

A associação entre os grupos de variáveis (Figura 7) demonstra que o tratamento ST4 e ST6, contribuíram com maior magnitude para as variáveis P_{rem} , produtividades e EstC_T. O ST7 e ST8 mostraram-se mais propensos a valores maiores de atividade enzimática, ciclagem, armazenamento e EstC_10. O ST2 e ST5 tiveram maior tendência de elevada qualidade química do solo e menor qualidade biológica, quando comparado aos sistemas ST4, ST6, ST7 e ST8. A dissimilaridade entre o ST5 e os sistemas demais sistemas de rotação devem-se provavelmente aos menores níveis de matéria orgânica e enzimas encontrados no ST5 (Quadro 3 e Quadro 8).

Observando a figura 7 e o quadro 15, fica claro que o ST1 se mostrou antagônico aos tratamentos a direita de CPI o que significa dizer que possui uma relação contrária a

qualidade biológica do solo e as produtividades, porém é favorecida por teores químicos adequados (CTC e P do solo).

Quadro 15. Cargas, scores fatoriais e variabilidade explicada pelos eixos na análise de componentes principais (CP) de atributos químicos do solo (MO, EstC, P, CTC, P_{rem}) funções do solo (ciclagem, armazenamento e suprimento) e produtividade da soja das safras 2019/20 e 2020/21.

Componentes principais (CP)	CP1	CP2
Contribuição dos CP (%)	59,97	17,66
Contribuição acumulativa (%)	77,63	
	Cargas fatoriais	
Arylsufatase	0,27	-0,28
B-glucosidase	0,29	0,04
Ciclagem	0,31	-0,16
Armazenagem	0,25	-0,19
Suprimento	-0,02	0,55
MO (Matéria orgânica)	0,33	-0,12
EstC(0-10cm)- estoque carbono camada 0-10cm	0,34	-0,11
EstC(total) – estoque carbono total (0-60cm)	0,29	0,28
P (fosforo no solo)	-0,24	-0,12
CTC (capacidade de troca de cátions)	-0,20	0,36
P _{rem} (fósforo remanescente 0-10cm)	0,29	0,12
Produtividade safra 2019/20 (Prod 19/20)	0,26	0,43
Produtividade safra 2020/21 (Prod 20/21)	0,31	0,28
	Scores fatoriais	
ST1	-6,27	-0,12
ST2	-0,93	-1,66
ST3	1,88	-2,29
ST4	0,81	0,93
ST5	-0,72	1,84
ST6	1,78	1,86
ST7	2,19	-0,06
ST8	1,25	-0,48

ST1:soja verão e pousio no inverno; ST2:soja no verão e milho solteiro no inverno; ST3:soja no verão e consórcio de milho + *Braquiária ruziziensis* no inverno; ST4:soja no verão e Aveia preta + milho + trigo mourisco + ervilhaca no outono/inverno; ST5:soja no verão e niger no outono/inverno; ST6: soja no verão e ervilhaca no outono/inverno; ST7: soja no verão e *Crotalaria spectabilis* no outono/inverno; ST8: soja no verão e aveia preta + milho + trigo mourisco + *Braquiária ruziziensis* no outono/inverno.

Os sistemas de rotações de culturas no outono-inverno e também o consórcio de milho-braquiária constituem alternativas promissoras para a promoção de benefícios ambientais, uma vez que apresentam manutenção do aporte de matéria orgânica do solo. Resultados semelhantes a esse trabalho, também foram encontrados por (MARTINS et al., 2019) que relataram o subsídio do perfil do solo por substratos em diferentes graus de decomposição, oportunizando níveis adequados de atributos biológicos.

De acordo com Mendes et al. (2018), ao longo dos últimos 15 anos, um grande número de dados de pesquisa e de relatos de produtores demonstravam que nem sempre as alterações nos atributos químicos do solo, em particular os teores de MO, eram capazes de identificar as modificações que ocorriam no solo em função da adoção de manejos conservacionistas.

A definição das melhores plantas para a rotação nos sistemas estudados é complexa, visto que os sistemas estão relacionados a diversos fatores, como: composição dos restos culturais, tempo de permanência dos resíduos na superfície do solo, tempo necessário para decomposição dos resíduos, entre outros. Desse modo, a ordenação correta das espécies dentro dos sistemas de rotação de culturas e o entendimento da decomposição dos resíduos das culturas, bem como do efeito destes na temperatura do solo, na disponibilidade de água e na composição da matéria orgânica, são essenciais para o delineamento de estratégias visando à sustentabilidade dos agro ecossistemas (FRANCHINI et al., 2002, 2003, 2007). Contudo, os resultados aqui obtidos indicam que os sistemas com rotações, principalmente aqueles com a presença de leguminosas como por exemplo a ervilhaca, foram as melhores estratégias de manejo para garantir maiores rendimentos.

Outro fator que deve ser levado em conta para obtenção de sistema produtivo sustentável é o equilíbrio entre as plantas, solos, nutrientes, luminosidade e demais organismos coexistentes. Tais condições de equilíbrio, são dependentes de um ambiente rico em biodiversidade associado ao agro ecossistema, e a utilização das plantas de cobertura cultivadas em rotação em um sistema de produção exercem fundamental importância nesse quesito (ANGELETTI et al., 2018). A ciclagem de nutrientes proporcionada pela rotação de culturas é considerada uma importante forma de gestão da fertilidade do solo no sistema de plantio direto, pois agrega na disponibilidade de nutrientes demandados pela cultura de interesse econômico. A dinâmica da ciclagem de nutrientes no SPD é altamente dependente das espécies vegetais utilizadas em rotação e das condições ambientais as quais estão inseridas, o que influencia a taxa de decomposição de seus resíduos (MARTINS et al, 2017).

O grande desafio em relação à qualidade do solo não está mais na identificação de um indicador ou na sua avaliação e interpretação, e sim no planejamento do sistema produtivo que preconiza o cultivo diversificado de plantas e um manejo integrado, pois só assim o sistema solo terá qualidade ao longo do tempo para promover ambiente altamente produtivo com sustentabilidade.

5 CONCLUSÕES

Os sistemas agrícolas envolvendo rotações de culturas, sucessão soja/milho e soja/milho+braquiária mostraram igual eficiência no aporte de matéria orgânica e no Estoque de carbono do solo na camada de 0-10 cm de profundidade.

O estoque de carbono total (camada 0-60 cm) foi maior nos sistemas ST4 (soja no verão e Aveia preta + milho + trigo mourisco + ervilhaca no outono/inverno); ST5 (soja no verão e Níger no outono/inverno); ST6 (soja no verão e ervilhaca no outono/inverno) e ST7 (soja no verão e *Crotalaria spectabilis* no outono/inverno) quando comparado aos demais sistemas de rotação e sucessão.

Os indicadores químicos (matéria orgânica e fósforo remanescente) e biológicos (arilsulfatase e β -glicosidase) e estoque de carbono, assim como os índices de qualidade do solo físico e Índice de qualidade solo biológico, apresentam potencial para detectar alterações nos sistemas de manejo.

Os níveis de atividade enzimática aumentam à medida que houve aumento do estoque de carbono, porém a intensidade dessa relação é reduzida à medida que se aumenta a profundidade de amostragem.

Os Sistemas de manejo alteraram os teores foliares de P, K, Cu, Fe e Zn na cultura da soja.

As maiores produtividades de soja são obtidas nos sistemas que envolvem rotações de culturas com destaque para o sistema com soja no verão e ervilhaca no outono/inverno.

Os sistemas ST4 (soja no verão e Aveia preta + milho + trigo mourisco + ervilhaca no outono/inverno) e ST6 (soja no verão e ervilhaca no outono/inverno); se destacaram entre os sistemas de rotações, com maiores correlações com os índices de qualidade biológica do solo e produtividades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA-MARTÍNEZ, V., BELL, C.W., MORRIS, B., ZAK, J., ALLEN, V.G. Long-term soil microbial community and enzyme activity responses to an integrated croppinglivestock system in a semi-arid region. **Agric. Ecosyst. Environ.** 137, 231–240, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.02.008>.
- ADETUNJI, A. T.; LEWU, F.; MULIDZI, R. A. NCUBE, B. The biological activities of β -glucosidase, phosphatase, and urease as soil quality indicators: a review. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 17, n. 3, p. 794-807, 2017.
- ALVES, V. B.; PADILHA, N. S.; GARCIA, R. A.; CECCON, G. Milho consorciado com *Urochloa ruziziensis* e produtividade da soja em sucessão, **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 13, p. 280-292, 2013. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v12n3.p280-292>
- 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, p.1945-1962, 2004.
- ANGELETTI, M. P.; SOUZA, J. L.; COSTA, H.; FAVARATO, L. F.; MUZZI, E. M.; MUNIZ, E. S.; LAURETT, L.; ZANUNCIO JUNIORM J. S.; GUARÇONIM A. **Espécies vegetais para cobertura do solo: guia ilustrado**. Vitória: Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, 2018. 78 p.
- ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. Cor do solo, formas do fósforo e adsorção de fosfato em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.**, Campinas, v.27, p.985-1002, 2003.
- ALVARENGA, M. I. N.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, MG, v. 23, n.3, p. 617-625, 1999.
- ALMEIDA, B. G.; VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Org.). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Brasília: Embrapa Solos, 2017. p. 361-367. cap. 7.
- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises desolos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.p.25-32.
- AMARAL, A. S. D., SPADER, V., ANGHINONI, I., & MEURER, E. J. Resíduos vegetais na superfície do solo afetam a acidez do solo e a eficiência do herbicida flumetsulam. **Ciência Rural**, 30, 789-794, 2000.

ANGHINONI, G. ; ANGHINONI, F. ; TORMENA, C. A. ; BRACCINI, A. L.; MENDES, I. C. ; ZANCANARO, L. ; LAL, R. . Conservation agriculture strengthen sustainability of Brazilian grain production and food security. **Land Use Policy** , v. 108, p. 105591, 2021.

ARAÚJO, E. A. de.; LANI, J. L; AMARAL, E. F.; GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo Distrófico na Amazônia ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.28, p.307-315, 2004.

BALIGAR, V. C.; WRIGHT, R. J.; SMEDLEY, M. D. Enzyme activities in hill land soils of the Appalachian region. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 367-384, 1988.

BALOTA, E. L.; KANASHIRO, M.; FILHO, A.C.; ANDRADE, D.S; DICK, R.P. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 35, p. 300-306, 2004.

BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; TRUBER, P. V. Soil enzyme activities under pig slurry addition and different tillage systems. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 4, p. 729-737, 2011.

BANDICK, A. K.; DICK, R. P. Field management effects on soil enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry**, 31:1471-1479, 1999.

BARRADAS, C. A. de A. **Adubação verde**. Programa Rio Rural. [S. l.: s. n.], 2010. p. 10. (Manual técnico, 25) Disponível em: <<http://www.pesagro.rj.gov.br/downloads/riorural/manual25.pdf>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2022.

BEEGLE, D. Assessing soil phosphorus for crop production by soil testing. In: SIMS, J. T.; SHARPLEY, A. N. (Ed.). **Phosphorus: Agriculture and the Environment**. Madison: ASA-CSSA-SSSA, 2005. p.123-143.

BERTOLLO, A. M.; LEVIEN, R. Compactação do solo em Sistema de Plantio Direto na palha. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 25, n. 3, p. 208-218, 2019. <https://doi.org/10.36812/pag.2019253208-218>

BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CONCEIÇÃO, P. C.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; SANTOS, H. P.; DENARDIN, J. E.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, v. 16, p. 784-795, 2010.

BORGGAARD, O.K.; RABEN-LANGE, B.; GIMSING, A.L.; STROBEL, B.W. Influence of humic substances on phosphate adsorption by aluminium and iron oxides. **Geoderma**, vol.127 p.270- 279,2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 395p.

BRESSAN, W., SIQUEIRA, J. O., VASCONCELLOS, C. A., & PURCINO, A. A. C. Fungos micorrízicos e fósforo, no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção do sorgo e soja consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36, 315-323, 2001.

BRIEDIS, C.; SÁ, J. C. M.; LAL, R.; TIVET, F.; FRANCHINI, J. C.; FERREIRA, A. O. HARTMAN, D. C.; SCHIMIGUEL, R.; BRESSAN, P. T.; INAGASHI, T. M.; ROMANIW, J.; GONÇALVES, D. R. P. How does no-till deliver carbon stabilization and saturation in highly weathered soils? **Catena**, v. 163, p. 13-23, 2018. DOI: 10.1016/j.catena.2017.12.003.

BURNS, R. G.; DEFOREST, J. L.; MARXSEN, J.; SINSABAUGH, R. L.; STROMBERGER, M. E.; WALLENSTEIN, M. D.; WEINTRAUB, M. N.; ZOPPINI, A. Enzimas do solo em um ambiente em mudança: conhecimento atual e direções futuras. – **Biologia e Bioquímica do Solo**, v. 58, p. 216 -234, 2013.

BURGER, J. A.; KELTING, D.L. Using soil quality indicators to assess forest stand management. **Forest Ecology and Management**, v. 122, p. 155-166, 1999.

CALEGARI, A.; TIECHER, T.; HARGROVE, W. L.; RALISCH, R.; TESSIER, D.; TOURDONNET, S.; GUIMARÃES, M. F.; SANTOS, D. R. Long-term effect of different soil management systems and winter crops on soil acidity and vertical distribution of nutrients in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 133, n. Supplement C, p. 32-39, 2013.

CALONEGO, J. C., GIL, F. C.; ROCCO, V. F.; SANTOS, E. A. Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe. **Bioscience Journal**, v.28, n.5, p.770- 781, 2012.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M.; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. M.; NOGUEIRA, M. A. 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.

CARNEIRO, C. E. A.; MÉLEM JÚNIOR, N. J.; AZEVEDO, M. C. B.; ANDRADE, E. A.; OGUISHI, M. C.; DIEHL, R. C.; RICCE, W; PASSARIN, A. L.; VAZ, R. H. M.; STELMACHUK, T. L. L.; GUIMARÃES, M. F.; RALISCH, R. Efeitos dos sistemas de manejo sobre o carbono orgânico total e carbono residual de um Latossolo Vermelho eutroférico. **Semina**, v. 30, n. 1, p. 5-10, 2009.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira Ciência do Solo, Viçosa**, v. 34, n. 2, p. 277-290, 2010.

CHAER, G. M., MENDES, I. C., DANTAS, O. D., MALAQUIAS, J. V., F. BUENO DOS REIS JUNIOR B , M. I. L. OLIVIERA. Evaluating C trends in clayey Cerrado Oxisols using a four-quadrant model based on specific arilsulfatase and β -glucosidase activities. **Applied Soil Ecology** 183, 104742. 2023
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104742>

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 9, safra 2021/22, n. 12 décimo segundo levantamento, setembro 2022. Disponível em: [file:///C:/Users/55679/Downloads/E-book_Boletim-de-Safras-12o-levantamento%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/55679/Downloads/E-book_Boletim-de-Safras-12o-levantamento%20(2).pdf) . Acesso em: 08 de dezembro de 2022.

CONTE, O.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Manejo do solo. In: SEIXAS, C.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. C. (eds). **Sistemas de produção**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. cap. 3, p. 55-81.

CRUZ, D. L. S.; VALE JÚNIOR, J. F.; CRUZ, P. L. S.; CRUZ, A. B. S.; NASCIMENTO, P. P. R. R. Atributos físico-hídricos de um argissolo amarelo sob florestas savana naturais convertidas para pastagem em Roraima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 307-314, 2014

CUI, J., SONG, D., DAI, X., XU, X., HE, P., WANG, X., LIANG, G., ZHOU, W., ZHU, P. Effects of long-term cropping regimes on SOC stability, soil microbial community and enzyme activities in the mollisol region of Northeast China. **Appl. Soil Ecol.** 164, 103941, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103941>.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. 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, p. 913-923, 2002.

DAS, S. K.; VARMA, A. Role of enzymes in maintaining soil health. In: **Soil enzymology**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. p. 25-42.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO M. P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 541-552, 2012.

DE OLIVEIRA FERREIRA, A.; AMADO, T. L. J. C.; RICE, C. W. GONÇALVES, D. R. P.; DIAZ, D. A. R. Comparing on-farm and long-term research experiments on soil carbon recovery by conservation agriculture in Southern Brazil. *Land Degradation & Development*, v. 32, n. 11, 2021. DOI: 10.1002/ldr.4015.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. Comparação entre diferentes métodos de preparo do solo. In: DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. (Ed.) **Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Schborn: GTZ/Londrina: IAPAR, 1991. p.71-116.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P.; KÖGEL-KNABNER, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. **Plant and Soil**, v. 268, p.319-328, 2005.

DODD, R. J.; SHARPLEY, A. N. Recognizing the role of soil organic phosphorus in soil fertility and water quality. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 105, p. 282–293, 2015. DOI: 10.1016/j.resconrec.2015.10.001.

DONI, S.; MACCI, C.; CHEN, H.; MASCIANDARO, G.; CECCANTI, B. Isoelectric focusing of β -glucosidase humic-bound activity in semi-arid Mediterranean soils under management practices. **Biology and Fertility of Soils**, v. 48, p. 183-190, 2012.

DRINKWATER, L. E.; SNAPP, S. S. Nutrients in agroecosystems: re-thinking the management paradigm. **Advances in Agronomy**, v. 92, p. 163-186, 2007. DOI: 10.1016/S0065-2113(04)92003-2.

EMBRAPA SOJA, EMBRAPA CERRADOS & EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE (2010) Tecnologias de produção de soja – região Central do Brasil 2011. Londrina. 255p. (Sistemas de produção, 14).

EKENLER, M.; TABATABAI, M. A. Tillage and residue management effects on β glucosaminidase activity in soils. **Soil Biology & Biochemistry**., 35, p. 871–874, 2003.

FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico total e frações da matéria orgânica do solo em diferentes distâncias do tronco de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 265-277, 2008.

FEBRAPDP – Federação Brasileira do Sistema Plantio Direto. (2022). **Evolução da área sob plantio direto no Brasil**. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/download/14588evolucao-pd-no-bbasil-2021-jpg.jpg> . Acesso em 08 de dezembro de 2022.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames, Iowa State University. 12p. 1977.

FELETTE, A. R. **Variabilidade de distribuição de plantas na linha de semeadura de soja e seu efeito no desempenho agrônômico da cultura**. 2016. 35 f. Dissertação (Mestrado Profissional - Ciência e Tecnologia de Sementes) - Universidade Federal de Pelotas.

FERNANDES, F. S. **Indicadores de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo**. 2019. 37 f. - Dissertação (Mestrado em Planejamento e Uso de Recursos

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2009. 4 p. (**Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 69**). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAP-2009-09/56775/1/COT69>. Acesso em: 27 novembro de 2022

FERREIRA, D. F. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS. REVISTA BRASILEIRA DE BIOMETRIA, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019. ISSN 1983-0823. Available at: <http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>. Acesso: 10 junho 2022.

FERREIRA, E. P. B.; STONE, L. F.; MARTIN-DIDONET, C. C. G. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciências Agronomicas**, v.48, p.22-31, 2017.

FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. **O clima da região de Dourados, MS**. 2. ed. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 32 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 92).

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; SALTON, J. C.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F. Fósforo remanescente e correlação com as substâncias húmicas em um Latossolo Vermelho sob diferentes sucessões de cultura em plantio direto. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.14, p.1-6, 2008.

FRANCHINI, J. C.; CRISPINO, C. C.; SOUZA, R. A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 92, n. 1- 2, p.18-29, 2007.

FRANCHINI, J. C.; GONZALEZ-VILA, F. J.; RODRIGUEZ, J. Decomposition of plant residues used in no-tillage systems as revealed by flash pyrolysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 62, p. 35-43, 2002.

FRANCHINI, J. C.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Organic composition of green manures during growth and its effect on cation mobilization in an acid oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Annalysis**, v. 34, p. 2045-2058, 2003.

FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; CURI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. **Revista Ciência Agrônômica**, v.43, n.3, p.417-428, 2012.

FRIGHETTO, R. T.S .; VALARINI, P.J., Coords. Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo: manual técnico. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 198p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 21). <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/13251>

FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R.; RESENDE, A. V.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252p.

GAUME, A.; MÄCHLER, F.; FROSSARD, E. Aluminium resistance in two cultivars of *Zea mays* L.: root exudation of organic acids and influence of phosphorus nutrition. **Plant and Soil**, v.234, p.73-81, 2001.

GEORGE, T. S.; TURNER, B. L.; GREGORY, P. J.; CADE-MENUN, B.; RICHARDSON, AL. E. Depletion of organic phosphorus from Oxisols in relation to phosphatase activities in the rhizosphere. **European Journal of Soil Science**, v. 57, p.47-57, 2006.

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

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 909-920, 2012.

GUERRA, J. G. M.; SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.19-25.

HAMAWAKI, O.T.; JULIATT, F. C.; POLIZEL, A. C.; AMORIM, F. A.; SHIGIHARA, D.; SANTOS, M. A. dos; HAMAWAKI, C. L. **Novas Cultivares UFUS Impacta: nova cultivar de soja para o Estado de Minas Gerais**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 40, n.5, p.523-524, 2005.

HAMMER, Ø; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001.

HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: A review. **Plant and soil**, v. 237, n. 2, p. 173-195, 2001.

HORST, W. J.; KAMH, M.; JIBRIN, J. M.; CHUDE, V. O. Agronomic measures for increasing P availability to crops. **Plant and Soil**, v. 237, n. 2, p. 211-223, 2001.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BRANDÃO-JUNIOR, O.; KASCHUK, G.; SOUZA, R. A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**, v. 42, p. 288-296, 2009.

IPCC, 2006 - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Emissions from livestock and manure management. In: 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. IPCC: Japão.

IPCC, 2019: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press.

JAYCHANDRAN, K.; SCHWAB, A. P.; HETRICK, B. A. D. Mineralization of organic phosphorus by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 2244, n. 9, p. 897-903, 1992.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society America Journal**, v.61, n.1, p.4-10, 1997.

KLOSE, S.; TABATABAI, M. A. Response of phosphomono esterases in soils to chloroform fumigation. **Journal Plant Nutrition and Soil Science**, v.165. p.429-434, 2002.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE. L., F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 570 p.

LAL, R.; SMITH, P.; JUNGKUNST, H.F; MITSCH, W. J.; LEHMANN, J.; NAIR, P. K. R.; MCBRATNEY, A. B.; DE MORAES SÁ, J. C.; SCHNEIDER, J.; ZINN, Y. L.; SKORUPA, A. L. A.; ZHANG, H. L.; MINASNY, B.; SRINIVASRAO, C.; RAVINDRANATH, N. H. The carbon sequestration potential of terrestrial ecosystems. **Journal of Soil and Water Conservation, Soil and Water Conservation Society**, v. 73, n. 6, p. 145 152, 2018. DOI 10.2489/jswc.73.6.145A.

LIANG, C.; BALSER, T. C. Microbial production of recalcitrant organic matter in global soils: implications at productivity and climate policy. **Nature Reviews Microbiology**, v. 9, p. 75, 2011.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O. da; MARTINS, A. F. SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 36, p. 33-44, 2012.

LOPES, A. A. C. **Interpretação de indicadores microbiológicos em Função da matéria orgânica do solo e dos rendimentos de soja e milho**. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, DF 96 p. 2012.

LOPES, A.A.C., SOUSA, D.M.G., CHAER, G.M., REIS JUNIOR, F.B., GOEDERT, W.J., MENDES, I.C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 77, 461–472, 2013. <https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0191>

LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS, F. B. dos; FIGUEIREDO, C. C. de; MALAQUIAS, J. V.; SOUZA, L. M. de; MENDES, I. de C. Temporal variation and critical limits of microbial indicators in oxisols in the Cerrado, Brazil. **Geoderma regional**, v. 12, p. 72-82, 2018

LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C. Air-drying and long term storage effects on β -glucosidase, acid phosphatase and arilsulfatase activities in a tropical Savannah Oxisol. **Applied Soil Ecology**, Amsterdã, v. 93, n. 9, p. 68-77, 2015.

LOPES, A. S.; GUIMARÃES, G. L. R. A career perspective on soil management in the cerrado region of Brazil. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Advances in agronomy**. London: Academic Press, 2016. v. 137, p. 1-72.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; MARCHETTI, M. E.; SOUZA, L. C. F. de; SOUZA, C. A. de; GONÇALCES, M. C.; SILVA, M. A. G. Rotação de culturas e relações com atributos químicos e microbiológicos do solo e produtividade do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 829-842, 2010.

MAHARJAN, M.; SANAULLAH, M.; RAZAVI, B. S.; KUZYAKOV, Y. Effect of land use and management practices on microbial biomass and enzyme activities in subtropical top- and sub-soils. **Applied Soil Ecology**, v. 113, n. 5, p. 22-28, 2017.

MAKOI, J. H. J. R.; NDAKIDEMI, P. A. Selected soil enzymes: examples of theirs potential roles in the ecosystem. **African Journal of Biotechnology**, v.7, n.3, p.181-191, 2008.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira de Potassa e do Fósforo, 1997. 319 p.

MANISHA, S. K. Y. Technological advances and applications of hydrolytic enzymes for valorization of lignocellulosic biomass. **Bioresour Technol**, v. 245, Parte B., p. 1727-1739, 2017. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.05.066.

MARSCHNER P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3rd.ed. New York: Academic Press; 2012.

MARTINAZZO, R. Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob plantio direto consolidado. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS 82 p. 2006.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G. de; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa; 1999. p.143-168.

MARTINS, M. F. L. **Velocidade de decomposição da fitomassa do crambe em latossolo argiloso sob sistemas de manejo**. 2016. 52 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.

MARTINS, A. P.; DE OLIVEIRA DENARDIN, L. G.; BORIN, J. B. M.; CARLOS, F. S.; BARROS, T.; OZÓRIO, D. V. B.; DE FACCIO CARVALHO, P. C. Shortterm impacts on soil-quality assessment in alternative land uses of traditional paddy fields in southern Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 28, p. 534–542, 2017. DOI: 10.1002/ldr.2640.

MATEUS, G. P.; ARAÚJO, H. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; BORGES, W. L. B. Decomposição e teor de macronutrientes da palhada em função do manejo do solo e rotação de culturas em áreas de reforma de canal. **Nucleus**, Edição Especial, p. 93-102, 2017.

MARTINS, M. C.; CÂMARA, G. M. S.; PEIXOTO, C. P.; MARCHIORI, L. F. S.; LEONARDO, V.; MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura, densidades de plantas e desempenho vegetativo de cultivares de soja. **ScientiaAgricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 851-858, 1999.

MARTINS, E. M.; SILVA, E. R.; CAMPELLO, E. F. C.; LIMA, S. S.; NOBRE, C. P.; CORREIA, M. E. F.; RESENDE, A. S. Uso de sistemas agroflorestais diversificados na restauração florestal na mata atlântica. Santa Maria, RS. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 632-648, 2019.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.2, p.425-433, 2003.

MAUAD, M.; SILVA, T. L. B.; ALMEIDA NETO, A. I.; ABREU, V. G. Influência da densidade de semeadura sobre características agronômicas na cultura da soja. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 3, n. 9, p. 175-181, 2010.

MERLIN A.; ROSOLEM, C. A.; HE, Z. L. Non-labile phosphorus acquisition by *Brachiaria*. **Journal of Plant Nutrition**, v. 39, n. 9, p. 1319-1327, 2015.

MERLIN, A.; ROSOLEM, C. A.; BÜLL, J. C. L. Soil phosphorus forms after brachiaria. In: INTERNATIONAL PLANT NUTRITION COLLOQUIUM, 16., 2009, Davis. **Proceedings...** Davis: Department of Plant Sciences, 2009.

MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B. **Uso de parâmetros microbiológicos como indicadores para avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas**. Planaltina –DF. Embrapa Cerrados - (Documentos / Embrapa cerrados) p.34, 2004.

MENDES, I. C.; ONO, F. B.; OLIVEIRA, M. I.; SILVA, R. G.; KAPPES, C.; REIS JUNIOR, F. B.; ZANCANARO, L. Rotação de culturas, bioindicadores e saúde do solo. In: SILVA, P. A.; OLIVEIRA, L. C. (org.). **Rotação de Culturas, bioindicadores e saúde do solo**. 19. ed. Rondonópolis: Fundação MT, 2020. v. 19, p. 102-110.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; DANTAS, O. D.; LOPES, A. A. de C.; REIS JUNIOR, F. B.; OLIVEIRA, M. I. L.; CHAER, G. M. Soil quality and grain yield: a win-win combination in clayey tropical Oxisols. **Geoderma**, v. 388, n. 114880, 2021.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; ALVES, C. L. A.; SOUZA, L. M.; CHAER, G. M. Bioanálise de solo: aspectos teóricos e práticos. **Tópicos de Ciência do Solo**, v. 10, n. 1, p. 399-462, 2019b.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; LOPES, A. A. C. Indicadores de qualidade biológica para manejo sustentável de solos arenosos. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, p. 20-25, 2018.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. M.; SOUSA, D. M. G.; LOPES, A. A. C.; REIS JUNIOR, F. B.; LACERDA, M. P. C.; MALAQUIAS, J. V. Critical limits for microbial indicators in tropical Oxisols at post-harvest: The FERTBIO soil sample concept. **Applied Soil Ecology**, v. 139, p. 85-93, 2019a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.025>.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v. 32, p. 191-209, 2015.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; KAPPES, C.; ONO, F. B.; SEMLER, T. D.; ZANCANARO, L.; LOPES, A. A. C. Qualidade biológica do solo: Por que e como avaliar. **Boletim de Pesquisa da Fundação MT**. 1.ed. Rondonópolis: Fundação MT, v. 1, p. 98-105, 2017.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Biological properties of aggregates from a Cerrado Oxisol under conventional and no-till management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 435-443, 2003.

MERLIN, A.; HE, Z. L.; ROSOLEM, C. A. Congo grass grown in rotation with soybean affects phosphorus bound to soil carbon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, p. 888-895, 2014.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.281-298.

MIRANDA, J. C.C.; MIRANDA, L. N. **Contribuição da Micorriza arbuscular para a produtividade e sustentabilidade nos sistemas de produção com plantio direto e convencional no cerrado**.2007. Embrapa cerrados, comunicado tecnico, 134.

MIRANDA, J. C. C.; VILELA, L.; MIRANDA, L. N. Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 40, p.1005-1014, 2005

MONSOY. **Variedades M6410 IPRO**. Disponível em < http://www.monsoy.com.br/variedades_monsoy/m6410-ipro > . Acesso em 25 de setembro de 2022.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1196-1206, 2013.DOI: 10.1590/S0100-06832013000500009.

MURPHY, C.A.; FOSTER, B.L.; RAMSPOTT, M.E.; PRICE, K.P. Effects of cultivation history and current grassland management on soil quality in northeastern Kansas. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.61, p.75-89, 2006.

NASCENTE, A. S.; LI, Y. C.; CRUSCIOL, C. A. C. Cover crops and no-till effects on physical fractions of soil organic matter. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 130, p. 52-57, 2013.

NASCENTE, A. S.; SILVEIRA, P. M.; LOBO JUNIOR, M.; SANTOS, G. G.; CUNHA, P. S. R. da. Atributos químicos de latossolo sob plantio direto afetados pelo manejo do solo e rotação de culturas. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 4, p. 153 – 163, 2014.

NAHAS, E. Microorganismos do solo produtores de fosfatases em diferentes sistemas agrícolas. **Bragantia**, v. 61, n.3, p.267-275, 2002.

NIEWIADOMSKA, A.; SULEWSKA, H.; WOLNA-MARUWKA, A.; WARACZEWSKA, Z.; BUDKA, A.; RATAJCZAK, K. An assessment of the influence of selected herbicides on the microbial parameters of soil in maize (*Zea mays*) cultivation. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 16, n. 4, p. 4735-4752, 2018.

NICOLODI, M.; GIANELLO, C.; ANGHINONI, I.; MARRÉ, J.; MIELNICZUK, J. Insuficiência do conceito mineralista para expressar a fertilidade do solo percebida pelas plantas cultivadas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 32, p. 2735-41, 2008. DOI: 10.1590/S0100- 06832008000700017.

NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade da arilsulfase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 655- 663, 2003.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399p.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; KLEPKER, D. Fertilidade do solo e avaliação do estado nutricional da soja. In: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYANOWSKI, F. C.; LEITE, R. V. B. C. (Eds.). **Tecnologias de Produção de Soja**, Cap. 7, P. 133-184, 2020. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/223209/1/SP-17-2020-online-1.pdf>> . Acesso em: 17 de novembro de 2022.

OLIVEIRA-SILVA, M.; VELOSO, C.L.; NASCIMENTO, D.L.; OLIVEIRA, J.; PEREIRA, D.F.; COSTA, K.D.S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020. DOI:10.34117/bjdv6n7- 431.

PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. de A.; ASSIS, R. L. de; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n.9, p.1228-1236, 2013. DOI: 10.1590/S0100-204X2013000900006.

PANDEY, D.; AGRAWAL, M.; BOHRA, J.S. Effects of conventional tillage and no tillage permutations on extracellular soil enzyme activities and microbial biomass under rice cultivation. **Soil and Tillage Research**, v. 136, p. 51-60 2014.

PANKHURST, C. E.; HAWKE, B. G.; MCDONALD, H. J.; KIRKBY, C. A.; BUCKERFIELD, J. C.; MICHELSON, P.; O'BRIEN, K. A.; GUPTA, V. S. R.; DOUBE, B. M. Evaluation of soil biological properties as 33 potential bioindicators of soil health. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 35, p. 1015-1028, 1995.

PASSOS, A.; MARTINS, A.; ALVARENGA, R. C.; SANTOS, F. C. Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação. In: **Sistema de plantio direto**. Cap.3, 2018.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v.32, n. 3, p. 911-920, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-0683200800030000>

PEIXOTO, C. P.; CÂMARA, G. M. D. S.; MARTINS, M. C.; MARCHIORI, L. F. S.; GUERZONI, R. A.; MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimento de grãos. **Scientia Agricola**, v.57, n.1, p.89- 96, 2000.

PEIXOTO, R. S.; CHAER, G. M.; FRANCO, N.; REIS JUNIOR, F. B. dos; MENDES, I. C.; ROSADO, A. S. A decade of land use contributes to changes in the chemistry, biochemistry and bacterial community structures of soils in the Cerrado. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 98, n. 3, p. 403-413, 2010.

PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 508-514, 2010.

PEREIRA NETO, O. C.; GUIMARÃES, M. F.; RALISCH, R.; FONSECA, I. C. B. Análise do tempo de consolidação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 489-496, 2007.

PÉREZ, A.; MACHADO, W.; GUTIERREZ, D.; STOKES, D.; SANDERS, L.; SMOAK, J. M.; SANTOS, I.; SANDERS, C. J. Changes in organic carbon accumulation driven by mangrove expansion and deforestation in a New Zealand estuary. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 92, p. 108-116, 2017.

PERINI, L. J.; FONSECA JÚNIOR, N. S.; DESTRO, D.; PRETE, C. E. C. Componentes da produção em cultivares de soja com crescimento determinado e indeterminado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, suplemento 1, p. 2531-2544, 2012. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33Supl1p2531>

PIATI, G. L. **Atributos físicos do solo e características agronômicas da soja em sistemas de sucessão e rotação de culturas**. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS:UFGD, 2022.

RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico, 285p. 2001.

RESENDE, A. V.; FONTOURA, S. M. V.; BORGHI, E.; SANTOS, F. C.; KAPPES, C.; MOREIRA, S. G.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; BORIN, A. L. D. C. Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, v. 156, p. 1-17, 2016.

REZENDE, P. M. de; CARVALHO, E. de A. Avaliação de cultivares de soja [*Glycinemax* (L.) MERRILL] para o sul de minas gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1616-1623, 2007.

RODRIGUES, R. N.; REIS JUNIOR, F. B.; LOPES, A. A. C.; ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; VEIGA, A. D.; MENDES, I. C. Soil enzymatic under coffe cultivation with different water regimes associated to liming and intercropped brachiaria. **Ciência Rural**, v. 52:3, e20200532, 2022.

ROUSSEAU, L.; FONTE, S. J.; TÉLLEZ, O.; HOEK, R. van der.; LAVELLE, P. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 27, p. 71-82, 2013.

SÁ, J. C. M. **Manejo de fertilidade do solo em semeadura direta**. Carambeí: Fundação ABC, 1993. 96 p.

SÁ, J. C. M. Rotação de culturas: Produção de biomassa e benefícios à fertilidade do solo; pg. 5 – 13. In: **CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA**. 1995. Castro/PR, 344 p.

SÁ, J. C. de M.; SÉGUY, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKI, P. R.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B.; HARTMAN, D. C.; BERTOLONI, C. G.; ROSA, J.; FRIEDRICH, T. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. **Land Degradation Development**, v. 26, p. 531–543, 2013. DOI: 10.1002/ldr.2218

SÁ, J. C. M.; SÉGUY, E.; GOZÉ, S.; BOUZINA, C. O.; HUSSON, S.; BOULAKI, F.; TIVET, F.; FOREST, J.; BURKNER, S. Carbon sequestration rates in no-tillage soils under intensive cropping systems in tropical agroecozones. **Edafologia**, v. 13, n. 3, p. 139-150, 2006.

SÁ, J. C. M.; TIVET, F.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. C.; ZUFFO, J. dos S.; SANTOS, J. B. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 136, p. 38-50, 2014.

SÁ, J. C. M.; SÉGUY, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKI, P. R.; ... & FRIEDRICH, T. (2015). Depleção de carbono por aração e sua restauração por sistemas de plantio direto em Latossolos de agro-ecorregiões tropicais e subtropicais no Brasil. **Land Degradation & Development**, 26 (6), 531-543, 2015.

SÁ, J. C. M.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; FERREIRA, A. O.; TIVET, F.; INAGAKI, T. M.; GONÇALVES, D. R. P.; CANALLI, L. B.; SANTOS, J. B.; ROMANIW, J. Can C-budget of natural capital de restored though conservation agriculture in a tropical and subtropical environment. *Environmental Pollution*, 298:118817. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.118817.

SANTOS, H.; JACOMINE, P.; ANJOS, L.; OLIVEIRA, V.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**, 5nd ed., Brasília: Embrapa, 356 p. 2018.

SANTOS, H. P.; LHAMBY, J. C. B.; SPERA, S. T. Rendimento de grãos de soja em função de diferentes sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Ciência Rural**, v. 38, n. 1, 2006. DOI: 10.1590/S0103-84782006000100004

SANTOS, H. P.; TOMM, G.O. Fertilidade do solo em rotação de culturas com trititcale. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p.415-421, 1996.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina, Paraná: Mecenasa, v. 1, 314p., 2009.

SHERENE, T. Role of soil enzymes in nutrient transformation: A review. **Bio Bulletin**, v. 3, n. 1, p. 109-131, 2017.

SINSABAUGH, R. L.; LAUBER, C. L.; WEINTRAUB, M. N.; AHMED, B.; ALLISON, S. D.; CRENSHAW, C.; CONTOSTA, A. R.; CUSACK, D.; FREY, S.; GALLO, M. E. Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale. **Ecology Letters**, v. 11, p. 1252-1264, 2010.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.113-117, 1997a.

SILVA, I. F.; MIELNICZUCK, J. Sistemas de cultivo e características do afetando a estabilidade dos agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, p.311-317, 1997b.

SILVA, A.; SANTOS, F. L. S.; SILVA, A. A.; KLUTHCOUSKI, J.; BARRETTO, V. C. M.; SILVA NETO, S. P.; PEREIRA, A. F. Desempenho agrônômico de cultivares de soja sob diferentes densidades de plantio. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA. Mercosoja. **Anais...** 2015.

SILVEIRA, P. D.; SILVEIRA NETO, A. D.; STONE, L.; OLIVEIRA, L. D. Efeito do preparo e de rotação de cultura em alguns atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 3, p. 85-91. 2005

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SOUZA, R.F.; FAQUIM, V.; TORRES, P.R.F.; BALIZA, D.P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.**, Campinas, v.30, p.975-983, 2006.

SPEIR, T. W. Urease, phosphatase, and sulphatase activities of Cook Island and Tongan soils. **New Zealand Journal of Science**, v. 27, p. 73-79, 1984.

STEINER, F.; PIVETTA, L. A.; CASTOLDI, G.; COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M. Carbono orgânico e carbono residual do solo em sistema de plantio direto, submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, p. 401-408, 2011.

STEVENSON, F.J. **Humus Chemistry: genesis, Composition, Reactions**. New York, NY :John Wiley and Sons, 1982.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A. **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 775-833.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Arilsulfatase activity of soils. **Soil Science Society of America, Proceedings**, v. 34, p. 225-229, 1970.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. pt. 1, cap. 4, p. 34-46.

TELES, A. P. B.; RODRIGUES, M.; BEJARANO HERRERA, W. F.; SOLTANGHEISI, A.; SARTOR, L. R.; WITHERS, P. J. A. Do cover crops change the lability of phosphorus in a clayey subtropical soil under different phosphate fertilizers? **Soil Use and Management**, v. 33, n. 1, p. 34-44, 2017.

TESSELE, A.; KREINCHINSKI, F. H.; ALBRECHT, L. P.; ALBRECHT, A. J. P.; LORENZETTI, J. B. Desempenho de cultivares de soja intacta em Marechal Cândido Rondon, oeste paranaense. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 2, p. 200-205, 2017.

TOMÉ JÚNIOR, B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1609-1618, 2008.

UTOBO, E. B.; TEWARI, L. Soil Enzymes as Bioindicators of Soil Ecosystem Status. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 13, n.1, p.147-169, 2015.

VANCE, G. F.; STEVENSON, F. J.; SIKORA, F. J. Environmental chemistry of aluminum-organic complexes. In: SPOSITO, G. (Ed.). **The environmental chemistry of aluminum**. 2.ed. Flórida: Lewis Publishers, 1996. p.169-220.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.743-755, 2009.

VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. 2005. 215f. Monografia (Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa) - Universidade Federal de Santa Maria.

WHALEN, J.K.; CHANG, C. Phosphorus sorption capacities of calcareous soils receiving cattle manure applications for 25 years. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.33, p. 1011-1026, 2002.