

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E  
PRODUTIVIDADE DA SOJA APÓS MANEJOS DE SOLO E  
CULTURAS**

**ISABELLA CAROLINE FRITZ BRANQUINHO**

**DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2024**

**“BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E  
PRODUTIVIDADE DA SOJA APÓS MANEJOS DE SOLO E  
CULTURAS”**

**ISABELLA CAROLINE FRITZ BRANQUINHO**  
Engenheira agrônoma

ORIENTADOR: Dr. Gessi Ceccon

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Agronomia “Produção Vegetal” para a obtenção do título de Mestre.

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2024

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).**

**B817b Branquinho, Isabella Caroline Fritz**

**Bioindicadores de qualidade do solo e produtividade da soja após manejos de solo e culturas  
recurso eletrônico] / Isabella Caroline Fritz Branquinho, Gessí Ceccon.**

**Arquivo em formato**

**Orientador: Gessí Ceccon**

**Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024.**

**Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:**

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

**. carbono da biomassa microbiana. 2. mix de plantas. 3. plantas de cobertura. 4. quociente  
metabólico. I. Ceccon, Gessí. II. Ceccon, Gessí. III. Título.**

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

**"BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE  
DA SOJA APÓS MANEJOS DE SOLO E CULTURAS"**

por

ISABELLA CAROLINE FRITZ BRANQUINHO

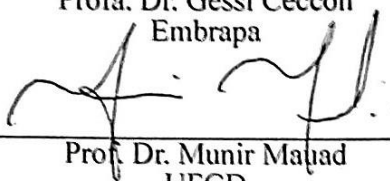
Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia para obtenção do título de MESTRE EM AGRONOMIA

Aprovada em: (06/03/2024).



---

Profª. Dr. Gessi Ceccon  
Embrapa



---

Prof. Dr. Munir Maqad  
UFOP



---

Profª. Dr. Rodrigo Arroyo Garcia  
Embrapa

A Deus por tudo que me é proporcionado. Aos meus pais Izabel Fritz Branquinho e Hudson Corrêa Branquinho, pelo amor e suporte. Ao meu orientador Dr. Gessi Ceccon, pelos conselhos e orientação.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal da Grande Dourados pela oportunidade.

À CAPES pela concessão de bolsa de estudos.

Aos meus pais, Hudson Corrêa Branquinho e Izabel Fritz Branquinho, por lutar incansavelmente para que meus sonhos se tornem realidade.

Ao meu orientador Dr. Gessi Ceccon pela disposição e paciência em ajudar e orientar.

A Embrapa Agropecuária Oeste, por disponibilizar equipamentos e materiais necessários para a execução da pesquisa.

Aos colaboradores da Embrapa Agropecuária Oeste, pelo auxílio em laboratório e nas atividades de campo.

Ao meu companheiro de vida, Paulo Carnavale pelo carinho, amor e paciência, por me motivar a ser melhor e crescer a cada dia.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a execução deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

## SUMÁRIO

## PÁGINAS

Lista de quadros .....	ix
Lista de figuras.....	x
<b>RESUMO.....</b>	<b>xi</b>
<b>1.0 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2.0 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>15</b>
2.1. Manejos de solo.....	15
2.2. Sistema Plantio Direto .....	16
2.3. Plantas de cobertura.....	17
2.4. Bioindicadores de qualidade do solo .....	19
<b>3.0 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
3.1. Local, clima e solo.....	23
3.2. Delineamento experimental .....	24
3.3. Histórico da área.....	24
3.4. Implantação e manejo das plantas de cobertura .....	25
3.5. Implantação da cultura da soja, safra 2022/23 .....	26
3.6. Avaliações.....	26
3.6.1. Atributos Microbiológicos .....	26
3.6.2. Avaliações fitotécnicas .....	28
<b>4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
4.1. Massa seca das plantas de cobertura .....	30
4.2. Características microbiológicas.....	31
4.3. Soja em sucessão aos manejos de solo e culturas .....	36
<b>5.0 CONCLUSÕES .....</b>	<b>41</b>
<b>7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>42</b>

APÊNDICE A. ....	50
APÊNDICE B. ....	51



## LISTA DE QUADROS

### PÁGINAS

- QUADRO 1.** Caracterização dos atributos químicos do solo na área experimental, na profundidade de 0 – 10; 10-20 e 20-30cm e frações granulométricas do solo, Dourados, MS 2020. ....23
- QUADRO 2.** Massa seca (MS) das plantas de cobertura no mês de maio de 2022, Dourados MS. ....30
- QUADRO 3.** Atributos microbiológicos, na profundidade de 0-10 cm, após manejos de solo e de culturas de outono-inverno, na pré semeadura (PS) e no florescimento (R2) da soja, em Dourados, MS, 2023.....32
- QUADRO 4.** Respiração microbiana em função de manejos de solo e de culturas, na camada de 0-10cm em área de pré-semeadura da soja, após manejos de solo e de cultivos no período outono-inverno, em Dourados, MS 2022/2023.....33
- QUADRO 5.** Correlação de Pearson entre os resíduos vegetais das plantas de cobertura e os atributos microbiológicos do solo na pré semeadura e florescimento da soja (R2) com massa de 100 grãos (M100), número de grãos por planta (NGP) e produtividade da soja com , em Dourados, MS. ....35
- QUADRO 6.** Altura de plantas (AP), massa seca haste (MSH), massa seca folhas (MSF), massa total (MT), número de nódulos (NN), massa de nódulos (MN) da soja em sucessão aos cultivos de outono – inverno, safra 2022/2023 em Dourados, MS. ....37
- QUADRO 7.** Vagens por planta (VP); número de grãos por vagem (NGP); distância entre nós (DEN); massa de 100 grãos (P100) e produtividade (PROD) da soja 2022/2023 em sucessão aos cultivos de outono-inverno, e após 36 meses do manejo de solo, em Dourados, MS.....38

## LISTA DE FIGURAS

### PÁGINAS

<b>FIGURA 1.</b> Precipitação pluviométrica, em colunas, temperaturas máximas e mínimas, em linhas, em decêndios registradas durante o cultivo da soja - 2022/23, em Dourados, MS... ..	24
---	----

## BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA APÓS MANEJOS DE SOLO E CULTURAS

**RESUMO:** O Sistema Plantio Direto é um sistema de cultivo que permite a obtenção de duas safras por ano na produção de grãos do Brasil. No entanto, o não atendimento de suas três premissas, este sistema pode resultar em camadas compactadas e gradiente de fertilidade ao longo do tempo, necessitando recomeçar o sistema. Com isso, objetivou-se identificar as formas mais adequadas de intervenção na semeadura direta, associando manejos de solo e de culturas, em área que apresentava gradiente de fósforo no perfil do solo, tendo como avaliação os bioindicadores de qualidade do solo e a produtividade da soja. O experimento foi realizado na área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS, em Latossolo Vermelho eutroférrico. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas. Nas parcelas principais, foram alocados os manejos de solo: 1) arado de discos; 2) arado de aivecas; 3) escarificador e 4) plantio direto, e nas subparcelas foram cultivadas as espécies vegetais: 1) milho solteiro; 2) *B. ruziziensis* + milho; 3) *B. ruziziensis* + *C. ochroleuca*; 4) Mix: milho + *B. ruziziensis* + *C. ochroleuca* + Nabo forrageiro. Durante a pré semeadura e, no florescimento da soja realizou-se a coleta de solo na camada 0-10cm para análise dos componentes microbiológicos do solo. Na soja, foram avaliados os componentes de produtividade e a produtividade de grãos. Os dados coletados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de tukey ( $p < 0,05$ ). Verificou-se a correlação entre os resíduos vegetais e atributos microbiológicos com número de grãos por planta, massa de 100 grãos e produtividade da soja. A maior massa seca total de resíduos vegetais foi encontrada no consórcio milho+braquiária, seguida do mix de plantas e braquiária+crotalária. No período da pré semeadura da soja, o  $qCO_2$  (quociente metabólico) apresentou efeito isolado para manejos de solo. Para  $C-CO_2$  (respiração microbiana), houve interação dos tratamentos, no entanto sem diferença entre os cultivos. O arado de discos foi superior ao arado de aivecas no consórcio braquiária+*C. ochroleuca* e também no mix de plantas. No florescimento da soja, o maior valor de C-BMS (carbono da biomassa microbiana) foi verificado no plantio direto, manifestando a interferência dos manejos de solo. Para  $qMIC$  (quociente microbiano) o plantio direto e o manejo com escarificador foram superiores ao arado de aivecas. A soja em sucessão ao consórcio braquiária+*C. ochroleuca* apresentou maior altura de plantas. A massa de 100 grãos e a produtividade tiveram efeito isolado para manejos de solo e de culturas, sendo o arado de aivecas e o cultivo consorciado de milho com braquiária superiores ao arado de discos e ao consórcio de braquiária com *C. ochroleuca*. A produtividade da soja, após o manejo com o arado de aivecas, foi superior ao arado de discos. Houve correlação positiva ( $r=0,30$ ), entre o C-BMS no florescimento com a produtividade da soja, que pode ser devido a menor intensidade de manejo, contribuindo com maiores valores de biomassa microbiana, com matéria orgânica mais ativa. Para os cultivos, a soja em sucessão ao consórcio braquiária+*C. ochroleuca* resultou em maiores produtividades, sendo superior ao consórcio milho+braquiária. A correlação negativa entre a quantidade dos resíduos vegetais e a produtividade da soja ( $r = - 0,30$ ) pode ser devido ao manejo com antecipado das plantas com decomposição dos resíduos e liberação de nutrientes para a maior da produtividade da soja. Com base na dinâmica dos indicadores microbiológicos do solo conclui-se que o arado de aivecas e o subsolador, assim como o cultivo consorciado de gramíneas+leguminosas são manejos de solos e culturas mais indicados para iniciar o Sistema Plantio Direto.

**Palavras-chave:** mix de plantas; carbono da biomassa microbiana; quociente metabólico.

## BIOINDICATORS OF SOIL QUALITY AND SOYBEAN PRODUCTIVITY AFTER SOIL AND CROPPING MANAGEMENT

**ABSTRACT:** The no-tillage System is a cultivation system that allows obtaining two harvests per year in grain production in Brazil. However, not following its three premises can result in compacted layers and a fertility gradient over time, requiring the system to restart. With this, the objective was to identify the most appropriate forms of intervention in no-tillage system, associating soil and crop management, in an area that presented phosphorus gradient in the soil profile, having as evaluation the bioindicators of soil quality and soybean yield. The study was carried out with the aim of identifying the most appropriate form of intervention in no-till farming, evaluating soil and crop management. The experiment was carried out in the experimental area of Embrapa Agropecuária Oeste, in Dourados, MS, in an eutrophic red latosol. The experimental design was randomized blocks with split plots. In the main plots, the following tillage managements were allocated: 1) disc plow; 2) moldboard plow; 3) scarifier and 4) no-tillage system and the following cover crops in the cultivated subplots: 1) single corn; 2) *B. ruziziensis* intercropped with corn; 3) *B. ruziziensis* intercropped with *C. ochroleuca*; 4) Mix of corn + *B. ruziziensis* + *C. ochroleuca* + Forage turnip. In June 2022, plants were collected from all treatments to quantify plant residues. Soybeans were sown in October 2022, with an average final population of 288,888 plants ha<sup>-1</sup>. Pre-sowing and during soybean flowering, soil was collected in the 0-10cm layer to analyze the microbiological components of the soil. In soybean, the yielding components were evaluated and its yield was calculated. The data were subjected to analysis of variance, means were compared using the Tukey test ( $p < 0.05$ ) and a correlation was made between plant residues and microbiological attributes with the number of grains per plant, mass of 100 grains and soybean yield. The highest total dry mass of plant residues was found in the *B. ruziziensis* intercropped with corn, followed by the mix of corn + *B. ruziziensis* + *C. ochroleuca*. Before soybean sowing, qCO<sub>2</sub> (metabolic quotient) presented an isolated effect on soil management. For C-CO<sub>2</sub>, (microbial respiration) there was an interaction between treatments, but no difference between crops. The disc plow was superior to the moldboard plow in the *B. ruziziensis* intercropped with *C. ochroleuca* and also in the plant mix. During soybean flowering, the highest C-BMS (microbial biomass carbon) value was found in no-tillage system, demonstrating the effect of soil management. For qMIC (microbial quotient), no-tillage system and management with a scarifier were superior to moldboard plowing. Soybean in succession to the *B. ruziziensis* intercropped with *C. ochroleuca* showed greater plant height. The mass of 100 grains and yield had an isolated effect on soil and tillage management. The moldboard plow and the *B. ruziziensis* intercropped with corn were superior to the disc plow and the *B. ruziziensis* intercropped with *C. ochroleuca*. Soybean yield, after tillage with the moldboard plow, was higher than the disc plow. There was a positive correlation ( $r=0.30$ ) between C-BMS at flowering and soybean yield, due to lower tillage intensity, contributing to higher values of microbial biomass, with more active organic matter. For crops, soybeans in succession to the *B. ruziziensis* intercropped with *C. ochroleuca* resulted in higher yield, being superior to the *B. ruziziensis* intercropped with corn. Even with a negative correlation between the quantity of residues and yield ( $r=-0.30$ ), early treatment management and the quality of residues deposited under the surface influenced the increase in soybean yield. Based on the dynamics of microbiological indicators, the moldboard plow, scarifier, and the intercropping of grasses + legumes are the soil and crop management most suitable for no-tillage intervention.

**Key-words:** plant mix; microbial biomass carbon; metabolic quotient.

## 1.0 INTRODUÇÃO

O manejo ideal do solo visa fornecer condições para o crescimento e desenvolvimento das plantas, levando em consideração seus atributos químicos, físicos e biológicos. Por meio de práticas conservacionistas torna-se possível reverter o estado de degradação e preservar o solo, possibilitando, melhorias no sistema produtivo. Para é necessário identificar as características de cada região e utilizar os manejos adequadamente.

Nas regiões de Cerrado, a produção de grãos está embasada no cultivo da soja no verão e do milho no outono-inverno através da semeadura direta, sem revolvimento do solo. Na região de realização do presente trabalho, o outono-inverno caracteriza-se por estiagens prolongadas e baixas temperaturas, com ocorrências de geadas. Dessa forma, o cultivo de adubos verdes e plantas para cobertura, solteiras ou consorciadas possui papel importante o sistema produtivo.

Os resíduos vegetais produzidos em grande quantidade por essas plantas, proporcionam a cobertura do solo, reduzindo a erosão, a amplitude térmica, e a germinação de plantas invasoras, com ciclagem de nutrientes e aporte de nitrogênio pelas leguminosas, por meio da fixação biológica de nitrogênio, resultando em maiores produtividades das culturas.

A associação entre diferentes sistemas radiculares no caso do cultivo em consórcio e mix de plantas, por explorar o perfil do solo de maneira distinta, auxilia na formação de agregados, favorece a percolação da água e o aumento da produção de exsudatos pela rizosfera, proporcionando, assim, maior quantidade de substrato para os microrganismos e beneficiando a diversidade da biota do solo.

Além disso, a biomassa radicular após sua decomposição e mineralização, pode melhorar a fertilidade do solo, levando alguns nutrientes em profundidade, em especial aqueles com baixa mobilidade como o fósforo (P), macronutriente que facilmente é fixado pela presença dos óxidos de ferro e alumínio, elementos estes característicos de solos tropicais.

O não revolvimento do solo, com sucessivas adubações químicas pode resultar em gradiente nos teores de elementos, principalmente de fósforo no solo, assim como a deposição dos os resíduos vegetais, sua mineralização e a deposição nos primeiros

10cm. Nesse cenário, a intervenção mecânica aliado ao cultivo de plantas de cobertura pode ser uma opção para melhor distribuição dos nutrientes.

Nesse contexto, a pesquisa foi realizada com o objetivo de identificar a forma mais adequada de intervir em uma área utilizada em semeadura direta que apresentava gradiente de concentração nos teores de fósforo, por meio da análise os indicadores microbiológicos de qualidade do solo e de produtividade da soja, após manejos de solo e cultivos de outono-inverno.

## 2.0 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Manejos de solo

O manejo de solo tem por objetivo proporcionar condições ideais de germinação das sementes e estabelecimento das plantas, podendo ser realizado por meio dos preparos com revolvimento, sendo manejo convencional, reduzido e cultivo mínimo, além das formas conservacionistas como a semeadura direta e sistema plantio direto.

O preparo convencional normalmente é dividido em duas etapas, sendo uma aração, para incorporação de corretivos, fertilizantes, resíduos vegetais e plantas daninhas; e a segunda, uma gradagem, para nivelamento da área (ALVARENGA et al., 2002). No entanto, o intenso revolvimento do solo pode causar alterações nos atributos físicos (STEFANOSKI et al., 2013), químicos e biológicos do solo (MIRANDA et al., 2020). O preparo reduzido diferente do convencional, é caracterizado por uma gradagem pesada ou grade aradora, com incorporação parcial dos resíduos da superfície.

Já o cultivo mínimo, precursor do sistema plantio direto (PASSOS, 2018), com operações reduzidas, utiliza grades leves ou escarificadores e subsoladores, que atuam no processo de descompactação preservando até 30% os resíduos na superfície do solo (CERETTA et al., 2010). A semeadura direta, baseada na sucessão de culturas, cobertura permanente e não revolvimento do solo, é o modelo de produção adotado em algumas regiões do Brasil, havendo o cultivo da soja no verão e do milho no outono-inverno (CECCON et al., 2018).

Mesmo sendo modelos de preparos conservacionistas caracterizados pela preservação da estrutura do solo em determinadas situações a intervenção mecânica se torna uma opção, devido a presença de camadas compactadas (BERTOLLO et al., 2019) e o acúmulo de nutrientes de baixa mobilidade na superfície do solo (PEREIRA, 2009), que limita o desenvolvimento radicular das culturas.

A escolha do implemento na intervenção destes sistemas deve ser realizada de forma adequada, afim de melhorar as condições para o desenvolvimento das raízes (REICHERT et al., 2007), podendo ainda ser associado ao cultivo de plantas de cobertura com melhor crescimento de raízes das plantas de cobertura para melhor distribuição de nutrientes no perfil do solo.

## 2.2. Sistema Plantio Direto

O sistema plantio direto é uma forma conservacionista de cultivo, que se consolidou ao longo dos anos, sendo um divisor de águas para a agricultura brasileira (SÁ et al., 2022). Caracterizado pelo não revolvimento do solo, cobertura vegetal permanente e rotação de espécies, apresentou vantagens ao sistema produtivo, como o aumento da retenção de água devido a formação de macroporos do solo, favorecendo a infiltração (REIS et al., 2016). Com o menor índice de plantas infestantes causado pela supressão na germinação e desenvolvimento destas espécies (ARAÚJO, 2019). Embora seja uma forma de cultivo sustentável, com benefícios à produção agrícola, sua implantação deve ser realizada de forma adequada.

Tanto para a semeadura direta que tem por característica cultivos sucessivos, quanto para o sistema plantio direto com a rotação de culturas, seu estabelecimento deve iniciar primordialmente, pelo conhecimento e planejamento e de forma escalonada na propriedade. Como não há o revolvimento do solo, deve-se eliminar as camadas compactadas e construir terraços com nivelamento da área para que se evite problemas de erodibilidade no decorrer dos anos (PASSOS et al., 2018).

Amostragens de solo devem ser feitas em camadas que representem a área como um todo, a fim de fazer as correções do pH e realizar a gessagem e fosfatagem. Além disso, se faz necessária a correção da fertilidade química do solo, elevando seus níveis de nutrientes entre teores médios a altos, com o auxílio de tabelas que se baseiam nos teores de extração e exportação (PASSOS et al., 2018).

Após consolidado, as adubações de manutenção devem ser realizadas a lanço ou na linha de semeadura. O fósforo, por possuir baixa mobilidade, limita a produção agrícola, uma vez que fica facilmente indisponível para as plantas (NOVAIS et al., 2007). Sua adsorção se dá pela facilidade de ligação com os óxidos de ferro e alumínio, que são encontrados em abundância em solos de Cerrado (PEREIRA, 2009). Devido a estas peculiaridades, a adubação fosfatada deve ser realizada em quantidades suficientes para elevar os níveis no solo e atender a demanda nutricional das plantas.

Sendo a intervenção mecânica uma opção, aliada ao cultivo de plantas de cobertura, podendo auxiliar na distribuição do nutriente no perfil do solo, facilitando o crescimento das raízes em profundidade e melhorando o ambiente de produção.



### 2.3. Plantas de cobertura

A sucessão de culturas na região do Cerrado consiste no cultivo da soja na primeira safra e o milho no outono-inverno. Por ser uma leguminosa, a soja realiza a associação com bactérias fixadoras de nitrogênio (OLIVEIRA et al., 2019), aumentando os teores deste nutriente no solo e o disponibilizando para o milho em sucessão que possui alto potencial de produção biomassa (FERREIRA et al., 2016).

A produtividade do milho após a soja está diretamente relacionada com a data de sua colheita, uma vez que, quanto mais cedo realizada, mais antecipadamente ocorrerá a semeadura do milho, com o intuito de minimizar os efeitos das baixas temperaturas e precipitação que são características desta época de cultivo.

Para implantação do milho de forma rápida, a sucessão soja/milho é realizada através da semeadura direta que, por ser uma época de cultivo com maior umidade do solo, o que torna essencial o correto manejo do solo, visando melhorar e preservar as propriedades físicas, químicas e biológicas (CECCON et al., 2018).

O consórcio milho braquiária, tem sido uma tecnologia utilizada como estratégia, para a proteção e melhorias do solo no outono-inverno (CECCON et al., 2018), e ser economicamente viável (RICHETTI, 2013). Entretanto, em áreas onde seriam destinadas ao pousio pelo risco de perdas na produtividade do milho devido a semeadura tardia, o cultivo de plantas de cobertura, solteiras, consorciadas ou em mix (mais de duas espécies no mesmo local e em um mesmo período de tempo) se torna uma opção para a melhoria do ambiente de produção, possibilitando o aumento do potencial produtivo das culturas sucessoras (PACHECO et al., 2017).

O aporte de fitomassa das raízes promove melhor agregação e aumenta a porcentagem de macroporosidade, contribuindo para melhor percolação da água no perfil do solo, além disso, a biomassa vegetal produzida pela parte aérea das plantas, que recobre a superfície reduz a evaporação da água (DONAGEMMA et al., 2016). O cultivo destas espécies, promove proteção do solo, ciclagem de nutrientes, aumento da matéria orgânica e capacidade de troca de cátions, colaborando positivamente para a fertilidade do solo. Espécies destinadas a produção de palha devem possuir alta relação C/N, a fim de diminuir sua degradação pelos microrganismos do solo (FLOSS, 2022), com valores superiores a 30 para se ter uma decomposição mais lenta (FERREIRA et al., 2014).

Avaliando o efeito de diferentes plantas de cobertura, Santos et al. (2012) verificaram que o pH, e os teores de cálcio, magnésio, potássio, zinco, ferro e alumínio foram influenciados de forma positiva, e constataram que a braquiária possui maior eficiência em reciclar o potássio na camada de 0-10cm de profundidade, e ainda que gramíneas possuem maior capacidade de formação de agregados estáveis, quando comparados com espécies leguminosas (SILVA et al. 2017).

As gramíneas possuem sistema radicular fasciculado, com alta densidade de raízes, o que proporciona absorção contínua de água promovendo a aproximação das partículas do solo. Além disso, a produção homogênea de exsudatos pela rizosfera, favorece a atividade biológica e colabora para a formação e estabilização de agregados do solo (BRANDÃO, 2012).

Já as leguminosas, como as Crotalárias, com raízes do tipo pivotante, exploram o solo em profundidade, possibilitando a absorção de nutrientes que foram lixiviados, como potássio e magnésio, trazendo estes às camadas superiores após a mineralização dos resíduos vegetais, tornando-os disponíveis para a absorção da cultura subsequente (PADOVAN et al., 2011). A capacidade de associação com bactérias para fixação biológica de nitrogênio e sua rápida decomposição, faz com que as leguminosas sejam uma ótima opção para compor cultivos consorciados (TUBIN, 2019) no período outono-inverno.

O cultivo de plantas de cobertura oferece aporte de carbono orgânico para o solo, elemento que está intimamente ligado aos processos fisiológicos dos microrganismos e, os aumentos são verificados principalmente em sistema plantio direto (LEITE et al, 2010). Quanto maior a quantidade e diversidade de resíduos vegetais, maior será a população e diversificação na população dos microrganismos (SILVA, 2017), que são responsáveis pela fragmentação das partículas orgânicas, formação do húmus e mineralização dos componentes orgânicos (BALOTA, 2018). Em estudos de longa duração realizado por Almeida et al. (2016) em sistema plantio direto com espécies de cobertura, os autores verificaram que as leguminosas, seja em consórcio ou em sucessão, proporcionam incremento da biomassa microbiana e favorecem a ciclagem de nitrogênio e carbono.

O cultivo consorciado ou em mix de espécies de cobertura, possibilita o sinergismo dos benefícios de cada espécie (SILVA et al., 2021) como o crescimento radicular e persistência na palha. A associação de gramíneas e leguminosas é uma prática promissora, principalmente para o Cerrado brasileiro, por fornecer cobertura satisfatória do solo e

viabilizar o cultivo da soja em sucessão (MACHADO e GARCIA, 2021). Essa diversificação de resíduos e de sistemas radiculares pode favorecer a manutenção da fertilidade do solo (SOUSA et al., 2020) e auxiliar no processo de distribuição de nutrientes de baixa mobilidade em profundidade após a decomposição das raízes. Por ser uma leguminosa fixadora de nitrogênio atmosférico e por atuar no controle de alguns nematoides no solo, a *Crotalaria ochroleuca* é uma importante opção para o consórcio.

O potencial produtivo da *C. ochroleuca* pode passar de 3.000 kg ha<sup>-1</sup> na entressafra, enquanto que na safra pode ultrapassar 11.000 kg ha<sup>-1</sup>. Mesmo apresentando baixa relação C/N o que influencia na rápida decomposição dos seus resíduos, esse valor é suficiente para que ocorra boa cobertura do solo. Além disso, aos 90 dias após a emergência da cultura, os teores de nitrogênio nos tecidos vegetais proporcionam quantidades de N superiores a 180 kg ha<sup>-1</sup> no cultivo de verão e pode ultrapassar 90 kg ha<sup>-1</sup> no inverno, resultando em contribuição significativa de nitrogênio para o solo (ZANIN et al., 2011).

Desta forma, a presença de resíduos vegetais de gramíneas e leguminosas sobre a superfície do solo com diferentes relações C/N, proporcionam aumento da cobertura e manutenção da umidade e desenvolvimento dos microrganismos que atuam na ciclagem de nutrientes, favorecendo o crescimento e desenvolvimento da soja em sucessão.

#### **2.4. Bioindicadores de qualidade do solo**

Os microrganismos presentes no solo, juntamente com a macro e mesofauna, tem auxiliado no processo de mensuração da sustentabilidade do uso e manejo do solo, uma vez que são responsáveis pela fragmentação e decomposição de partículas, onde os microrganismos realizam a oxidação dos resíduos orgânicos para fornecer energia as suas células (PULROLNIK, 2009; BALOTA, 2018; MENDES et al., 2009). Por serem mais sensíveis ao manejo e uso do solo, quando comparado as características físicas e químicas, os atributos biológicos vêm sendo utilizados como indicadores de qualidade e sustentabilidade do ambiente produtivo.

Mesmo com evidências favoráveis, nem sempre alterações nos atributos químicos, como teores de matéria orgânica no solo, são eficientes em demonstrar adoção de sistemas conservacionistas no sistema, sendo os atributos biológicos os mais adequados (MENDES et al., 2019).

Dentre os indicadores biológicos de qualidade do solo, é possível quantificar: biomassa microbiana, atividade enzimática, respiração (ARAÚJO et al., 2007), fauna do solo (SOBUCKI et al., 2019), quociente metabólico e microbiano (BALOTA, 2018).

A biomassa microbiana do solo é considerada a parte viva da matéria orgânica, constituída de fungos, bactérias, actinomicetos e leveduras. O carbono é componente essencial para a formação de moléculas orgânicas, e grande parte se encontra no solo, como constituinte do húmus, sendo a fase final da decomposição da matéria orgânica, considerado o reservatório de nutrientes, onde está presente de 1 a 5% do carbono orgânico e do nitrogênio total (BRADY, 2002). Isso torna a presença da biomassa vegetal de suma importância para o abastecimento e manutenção dessa fração do solo, por meio do processo de mineralização.

Parte do que é degradado pela biota do solo, é incorporado aos componentes celulares destes microrganismos, sendo assim, eles atuam como fonte e dreno do solo, em que os principais nutrientes imobilizados pela população microbiana são o nitrogênio, fósforo e enxofre (BALOTA, 2018; REIS JUNIOR e MENDES, 2007). Por ser dinâmica no sistema, não basta quantificar o valor absoluto da população microbiana, como também sua dinâmica no ambiente através da mensuração dos processos indiretos, como carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração basal (C- CO<sub>2</sub>), quociente microbiano (qMIC), e o quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) (REIS JUNIOR e MENDES, 2007; SILVA et al., 2007).

O carbono da biomassa microbiana (C-BMS), retrata o quanto de carbono está sendo incorporado aos tecidos da biomassa microbiana do solo (BALOTA, 2018). Em estudo de longa duração, foi verificado que áreas de semeadura direta, valores de C-BMS, tendem a ser superiores ao manejo convencional do solo, devido ao aporte de resíduos orgânicos, formação de agregados estáveis e menor oscilação de temperatura favorecendo o aumento da biomassa microbiana (BALOTA et al., 2014).

Entretanto, por ser um sistema complexo, alguns estudos em áreas onde foi realizada a intervenção do SPD, ao quantificar o C-BMS não houve diferença, sendo atribuído uma estabilização da comunidade microbiana, retratando assim um ambiente complexo que exige mais estudos (LOURENTE et al., 2011) havendo a necessidade da análise conjunta das variáveis.

A respiração basal, soma de todas as funções metabólicas a qual a população microbiana emite como produto final o CO<sub>2</sub> (SILVA et al., 2007) é afetada pela decomposição da matéria orgânica e mineralização do húmus, pela composição dos

resíduos orgânicos e pelo ambiente (DIONÍSIO et al., 2016), ou seja, representa o carbono prontamente mineralizável. Altos valores de C-CO<sub>2</sub> pode indicar um ecossistema com eficiência na degradação e ciclagem de nutrientes bem como um distúrbio, dependendo do ambiente analisado.

Ao mensurar a respiração basal em área de Cerrado desmatada após 15 dias, 3 meses e 1 ano Reis et al. (2007) verificaram que o menor período de tempo do manejo apresentou maiores taxas de respiração, devido a incorporação dos resíduos orgânicos houve aumento da entrada de carbono orgânico prontamente mineralizável, resultando em maior disponibilidade de nutrientes a curto prazo, indicando, assim, uma situação estressante para a comunidade microbiana.

Enquanto que Lourente et al. (2011) constataram maiores valores de respiração basal em área de mata nativa no estado de Mato Grosso do Sul, comparado a diferentes manejos de solo, atribuindo a variedade e acúmulo gradual de resíduos orgânicos. Portanto, altos valores de respiração pode caracterizar estresse, bem como a eficiência de um ambiente, sendo preciso avaliar juntamente com os valores de quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) e microbiano (qMIC).

O quociente microbiano (qMIC) refere-se à relação do carbono da biomassa microbiana com o carbono orgânico total e expressa a qualidade da matéria orgânica. O aumento dessa variável, indica o acréscimo de matéria orgânica de boa qualidade, bem como o decréscimo é indicativo de situação estressante (alteração no pH, umidade, presença de substâncias tóxicas) (BALOTA, 2018; REIS JUNIOR e MENDES, 2007).

A atividade metabólica dos microrganismos é quantificada através do quociente metabólico, sendo a relação da respiração basal pelo carbono da biomassa microbiana, ou seja, é o quanto de CO<sub>2</sub> que é o produto final da atividade biológica está retornando a atmosfera por unidade de biomassa microbiana.

Em um ambiente estável, a atividade biológica é eficiente, isto significa que há valores menores de qCO<sub>2</sub> onde boa parte do carbono está sendo incorporada aos componentes celulares, reduzindo a emissão de CO<sub>2</sub> (BALOTA, 2018; REIS JUNIOR e MENDES, 2007). Tais informações, se confirmam em estudos realizados por Araújo et al. (2019), avaliando os atributos biológicos em solo cultivado com milho associado a diferentes espécies de leguminosas de cobertura, sendo verificado que o cultivo em consórcio influenciou positivamente o quociente microbiano e a biomassa microbiana, onde milho+Crotalaria *juncea* atingiram valores semelhantes a mata nativa

principalmente nos primeiros 10 cm de profundidade. Já o cultivo de milho solteiro apresentou valores elevados de quociente metabólico, indicando situação de estresse.

Tais resultados indicam que a maior variedade de espécies vegetais irá explorar com maior eficiência o perfil do solo, bem como produzir maior quantidade de exsudatos, e a maior variedade de resíduos orgânicos preserva a umidade e temperatura do solo e ciclagem de nutrientes, auxiliando no aumento da atividade biológica.

### 3.0 MATERIAL E MÉTODOS

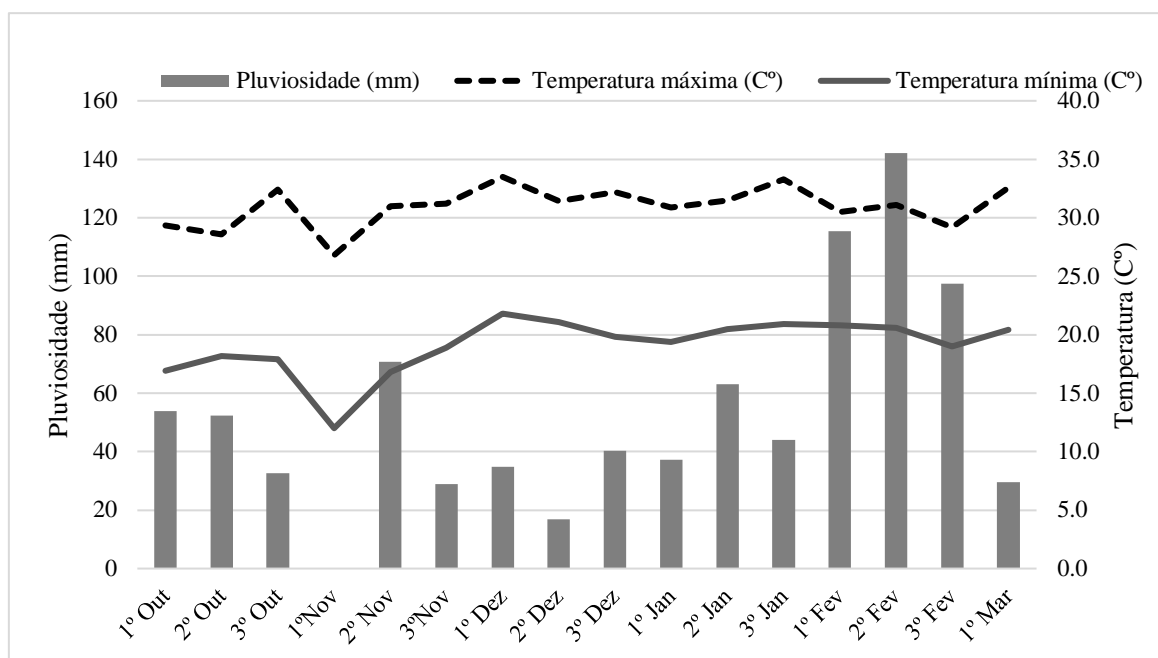
#### 3.1. Local, clima e solo

O experimento foi realizado na área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste, no município de Dourados, Mato Grosso do Sul, localizada nas coordenadas 22°13' S e 54°48' O a 408m de altitude. De acordo com Koppen, o clima da região é classificado como Cwa, com verões quentes e invernos secos (FIETZ et al., 2017). O solo é classificado como, Latossolo Vermelho eutrófico, de textura muito argilosa. Para a caracterização da área, foi feita análise química e granulométrica do solo antes dos manejos de solo, na profundidade de 0-10; 10-20 e 20-30cm, tendo apresentado os seguintes resultados (Quadro 1).

**Quadro 1.** Caracterização dos atributos químicos do solo na área experimental na profundidade de 0 – 10; 10-20 e 20-30cm e frações granulométricas do solo, Dourados, MS 2020.

Profundidade (cm)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	K	Ca	Mg	P (Mehlich <sup>-1</sup> )	Cu	Fe	Mn	Zn
0-10	5,35	0,47	4,92	1,62	52,65	10,00	28,24	62,28	4,98
10-20	4,69	0,29	2,47	0,91	9,58	10,51	33,65	30,58	0,71
20-30	4,71	0,20	2,20	0,85	4,48	9,94	37,31	26,64	0,36
	Ct	V(%)	CTC	CTC efetiva	Areia	Silte	Argila		
	(%)	mmol dm <sup>-3</sup>			----- g kg <sup>-1</sup> -----				
0-10	1,94	57,79	12,13	7,21	140	364	496		
10-20	1,93	36,51	10,05	4,15	114	222	663		
20-30	1,26	35,95	9,04	3,67	113	234	652		

Os dados de precipitação e temperatura, no período de condução do experimento de outubro de 2022 a março de 2023, foram coletados da estação meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste (Figura 1).



**Figura 1.** Precipitação pluviométrica, em colunas, temperaturas máximas e mínimas, em linhas, em decêndios, registradas durante o cultivo da soja safra 2022/23.

### 3.2. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas em três repetições, cada parcela medindo 27 m de comprimento e 12m de largura. Nas parcelas principais foram alocados os manejos de solo: 1) Arado de discos; 2) Arado de aivecas; 3) Escarificador e 4) Plantio direto. Nas subparcelas foram alocados os quatro cultivos de outono-inverno: 1) Milho solteiro; 2) Consórcio de milho com *Brachiaria ruziziensis*; 3) Consórcio de *B. ruziziensis* com *Crotalária ochroleuca* e 4) Mix de plantas (Milho safrinha + *B. ruziziensis* + *Crotalária ochroleuca* + Nabo Forrageiro).

### 3.3. Histórico da área

A área estava em semeadura direta desde 2010, com cultivos sucessivos de soja no verão e milho no outono-inverno. Em março de 2020, foi observado um gradiente de concentração nos teores de fósforo no solo, o qual motivou a intervenção mecânica.

No dia 05 de março de 2020, foram aplicadas quatro toneladas (t) de calcário dolomítico seco  $\text{ha}^{-1}$  na área experimental, para a elevação da saturação em base a 70%



na camada 0-20cm, mais três t ha<sup>-1</sup> de gesso e incorporados com os três manejos de solo, desse trabalho. O arado de aivecas, com duas aivecas, trabalhou à profundidade de 25 cm; o arado de discos com três discos, trabalhou à profundidade de 17 cm; e o escarificador, com sete hastes, trabalhou à profundidade de 27 cm. Todos esses implementos foram tracionados com um trator New Holland TM 7010, com 141CV.

No outono-inverno de 2020 e de 2021 foi cultivado consórcio milho-braquiária e a soja semeada na safra 2020/2021 e 2021/2022. Em março de 2022, após 24 meses dos preparos de solo, foram semeadas as culturas de cobertura e a soja semeada na safra 2022/2023, objeto deste estudo.

### **3.4. Implantação e manejo das plantas de cobertura**

O híbrido de milho K7500 foi semeado no dia 23 de fevereiro de 2022, com população final de 60 mil plantas por hectare nos três tratamentos, sem adubação de base e cobertura. A emergência das plantas ocorreu no dia 04 de março. Para controle de insetos pragas foi realizado duas aplicações de Acefato aos 15 dias após a emergência do milho, na dose de 800 ml ha<sup>-1</sup>.

No consórcio de milho com *B. ruziziensis*, as sementes de braquiária foram distribuídas utilizando a terceira caixa da semeadora e ajustada para 10 plantas de braquiária por metro quadrado. No consórcio de Crotalária + *B. ruziziensis*, as sementes foram homogeneizadas na terceira caixa e, no mix de plantas, o milho foi semeado no compartimento próprio e foram adicionadas as sementes de nabo forrageiro, na terceira caixa. Todas as espécies foram semeadas na mesma operação de semeadura do milho, utilizando 4 kg ha<sup>-1</sup>, de braquiária, 2 kg ha<sup>-1</sup>, de sementes de crotalária e 2 kg de nabo (*Raphanus sativus* L.).

O espaçamento entre linhas para todos os tratamentos foi de 45cm. A profundidade de semeadura do milho foi de 5cm e as demais espécies foram distribuídas a frente do disco de corte e parcialmente incorporadas com a passagem do mecanismo de semeadura da plantadeira.

Nos tratamentos com milho solteiro e consórcio com braquiária realizou-se a aplicação do herbicida Atrazina na dose de 1,5 L ha<sup>-1</sup> de i.a no estágio V5 do milho para controle de plantas invasoras.

No mês de junho de 2022, procedeu-se a coleta de plantas em um metro quadrado para a determinação da massa seca de cada tratamento. As plantas foram separadas e identificadas, secas em estufa a 60°C até peso constante e pesadas para a obtenção da massa seca. Após a coleta, o mix de plantas e o consórcio da crotalária com braquiária foram roçados.

### **3.5. Implantação da cultura da soja, safra 2022/23**

A área de trabalho foi dessecada com glifosate na dose de 1,44 kg ha<sup>-1</sup> de equivalente ácido em 04 de outubro de 2022 e a soja cultivar BRS 1061IPRO semeada no dia 24 de outubro, utilizando semeadora SHM 15/17 marca Semeato, com população de 288.888 plantas ha<sup>-1</sup>. A cultivar apresenta exigência à fertilidade alta, tolerância ao herbicida glifosato, moderada resistência ao nematoide *Meloidogyne javanica* e pertence ao grupo de maturação 6.1. As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na dose de 120 mL do produto comercial por 50 kg de sementes de soja. A adubação da semeadora foi de 300kg ha<sup>-1</sup> do formulado NPK 00-20-20.

Para controle de insetos pragas, foram feitas duas aplicações de inseticidas, a primeira com Lambda-Cialotrina, na dose de 0,35 L ha<sup>-1</sup> com 0,25% de óleo natural e a segunda com Imidacloprido e Bifentrina na dose 0,4 L ha<sup>-1</sup>, para o controle de doenças utilizou-se o Fluxapiraxade e Piraclostrobina na dose de 0,35 L ha<sup>-1</sup> com 0,25% de óleo vegetal.

### **3.6. Avaliações**

#### **3.6.1. Atributos Microbiológicos**

As coletas de solo foram realizadas para avaliação dos atributos microbiológicos na pré semeadura e no florescimento da soja (estádio R2), com auxílio de trado tipo “holandês” na profundidade de 0 - 10 cm. Foram coletadas subamostras em quatro pontos por parcela, alternando-se a coleta nas duas entrelinhas centrais de semeadura. Em cada ponto foram retiradas cinco porções de solo equidistantes em 10 cm, sendo um furo no centro e 2 furos de cada lado até o centro da entrelinha, perpendiculares à linha de semeadura. As quatro subamostras foram homogeneizadas, formando uma única amostra composta por parcela. No laboratório, as amostras foram peneiradas em

malha de 2 mm e armazenadas em câmara fria a  $\pm 7^{\circ}\text{C}$  e analisadas no dia seguinte no laboratório de microbiologia do solo da Embrapa Agropecuária Oeste.

A análise do carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) foi desenvolvida pelo método da fumigação-extração proposto por Vance et al. (1987) e Tate et al. (1988). Para avaliação foram adicionados 20 g de solo em seis vidros do tipo Snap Cap, por amostra de solo. Metade das amostras foram fumigadas (F) por 48 horas em um dessecador contendo um frasco com 20 mL de clorofórmio puro ( $\text{CHCl}_3$ ), enquanto as amostras não fumigadas (NF) foram mantidas em temperatura ambiente. Após a fumigação, extraiu-se o carbono das amostras fumigadas e não fumigadas, adicionando 50 mL de sulfato de potássio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) a  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  nas amostras, que foram posteriormente submetidas à agitação horizontal (250 rpm) por 30 minutos. Em seguida, as amostras ficaram em repouso por 30 minutos e o sobrenadante foi transferido para um erlenmeyer com papel filtro Whatman n° 2.

Após a filtragem, retirou-se uma alíquota de 2 mL de cada amostra e transferida para um tubo de ensaio, onde foram adicionados 3 mL de água deionizada, 2,5 mL da solução de trabalho e 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado. As amostras foram agitadas manualmente e deixadas em repouso por duas horas, em local isento de luminosidade. Posteriormente, o teor de carbono (C) foi determinado via espectrofotometria (495 nm), e o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) determinou-se utilizando a fórmula:

$$C - BMS = \frac{\text{mgC de solo fumigado} - \text{mgC de solo não fumigado}}{Kec}$$

O Kec (fator de correção que equivale a 0,33) representa a quantidade de carbono proveniente da biomassa microbiana, que é extraída com  $\text{K}_2\text{SO}_4$  após a fumigação.

Para a determinação da respiração basal do solo ou atividade microbiana (C- $\text{CO}_2$ ), foram adicionados 50 g de solo em frascos de vidro do tipo Snap Cap, inseridos em potes plásticos de 500 mL hermeticamente fechados, contendo em seu interior, frascos com 10 mL de uma solução de hidróxido de sódio a 1 M (NaOH) para capturar o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) emitido. Essas amostras foram mantidas em local isento de luminosidade, com temperatura em torno de 25 a 28  $^{\circ}\text{C}$ , incubados por sete dias. Após o período de incubação, foi adicionado 2 mL de cloreto de bário a 10% ( $\text{BaCl}_2$ ) no frasco contendo NaOH, para a completa precipitação do  $\text{CO}_2$ . Posteriormente, foram

adicionadas 2 gotas de fenolftaleína 1% e titulado com solução de ácido clorídrico (HCl) padronizada a 0,5 M. Como controle, foram utilizados três recipientes de vidro, sem solo, contendo a mesma solução de NaOH 0,5 M. O cálculo do carbono emitido na forma de CO<sub>2</sub>, foi definido pela equação:

$$C - CO_2 = (mg \text{ de } C - CO_2 \text{ kg}^{-1} - \text{solo hora}^{-1}) = ((Vb - Va) \times M \times 6 \times 1000 / Ps) / T$$

Onde C - CO<sub>2</sub> = carbono oriundo da respiração basal do solo; Vb (mL) = volume de ácido clorídrico gasto na titulação da solução controle; Va (mL) = volume gasto na titulação da amostra; M = molaridade exata do HCL; Ps (g) = massa de solo seco e T = tempo de incubação da amostra em horas.

O quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) foi determinado pela razão do fluxo de C-CO<sub>2</sub> do solo pelo conteúdo de C-BMS (ANDERSON e DOMSCH, 1993) e o quociente microbiano (qMIC) representa a razão do C-BMS pelo carbono orgânico total.

### 3.6.2. Avaliações fitotécnicas

As avaliações morfológicas das plantas de soja foram realizadas no estádio R5, fase caracterizada pelo início do enchimento de grãos. Foram retiradas três plantas da área útil da parcela, com o auxílio de uma pá, de forma que foi coletado o sistema radicular em 10 cm de profundidade. Foram mensuradas a altura de plantas, o número de folhas + pecíolo, hastes + vagens, retirados e quantificados o número de nódulos com auxílio de pinças e posteriormente levados a estufa com ar forçado a 60°C para a obtenção da massa seca.

Na maturação da soja, foram colhidas duas linhas de três metros, espaçadas por 0,45m na área útil da parcela, de forma manual, e trilhadas em trilhadeira Wintersteiger. Quantificou-se a massa de 100 grãos e calculou-se a produtividade de grãos, com umidade corrigida para 13%. Os componentes de produtividade foram avaliados em dez plantas por parcela registrando-se o número de grãos por vagem e por planta.

### 3.6.3. Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância ( $p \leq 0,05$ ) e as médias comparadas pelo teste de Tukey, utilizando-se o programa estatístico Sisvar (FERREIRA,

2019). As correlações de Person foram feitas entre as variáveis analisadas, por meio do programa SAEG.

## 4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Massa seca das plantas de cobertura

A maior massa seca foi produzida pelo consórcio de milho com braquiária, sendo superior ao mix de plantas e ao consórcio da braquiária com crotalária, mas sem diferir do milho solteiro (Quadro 2).

**Quadro 2.** Massa seca (MS) das plantas de cobertura no mês de junho de 2022, em Dourados MS.

Cultura	MS	MS	MS	MS	MS total	
	milho	braquiária	crotalária	outros		
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----					
Milho solteiro	10.082	-	-	703,47	10.785	ab
Milho+braquiária	11.361	939,20	-	16,29	12.316	a
Braquiária+crotalária	-	1.059,70	1.140,00	50,20	2.249	c
Mix de plantas	5.342	978,50	64,00	789,22	7.174	b
Média					8.131	
C.V.(%)					43,26	

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

A maior massa seca produzida pelo consórcio de milho + braquiária, é justificada pelas características das gramíneas, sendo elevado potencial de produção de massa seca, e alta relação C/N, o que irá influenciar na lenta decomposição e mineralização de seus resíduos vegetais, possibilitando a maior cobertura e proteção do solo (SILVEIRA et al., 2020), em que, a maior cobertura do solo, preserva a umidade, favorece a formação de agregados estáveis e beneficia o ambiente produtivo (SANTOS et al., 2016).

Tais características são confirmadas no mix de plantas, onde a maior contribuição foi do milho, produzindo 74% da massa seca total. A menor massa de crotalária pode ser decorrente da competição entre espécies, reduzindo assim, seu desenvolvimento. Além disso, o mix e o consórcio da braquiária + crotalária foram roçados no pré-florescimento, não havendo desenvolvimento total das plantas. Entretanto a quantidade de resíduos produzidos de plantas, e especialmente pela braquiária após o manejo das plantas foi o suficiente para boa cobertura do solo, reduzindo incidência de plantas infestantes, como

visto por Silva et al. (2023) e favorecendo a ciclagem de nutrientes, devido à diversidade de resíduos vegetais e ao corte realizado antecipadamente, no mês de maio.

O corte antecipado, realizado a fim de retirar a soja tiguera e plantas infestantes no mix de plantas e no consórcio braquiária+crotalária reduziu a massa produzida pelo consórcio, no entanto a leguminosa, por ser eficiente no processo de fixação biológica de nitrogênio, pode promover a redução de alguns nematoides do solo e possuir valores baixos de relação C/N, resultando assim, em uma melhor opção de cobertura, uma vez que, sua decomposição e mineralização no ambiente se dá de forma rápida (SILVA et al., 2021).

Ao associar o cultivo de crotalária com uma gramínea, mesmo produzindo menor quantidade de massa seca, é possível que apresente benefícios para o sistema produtivo e, após o corte no florescimento, há a deposição de resíduos de qualidade na superfície do solo, podendo favorecer a atividade biológica (ARAUJO et al., 2019), enquanto que a braquiária continua seu crescimento para infiltração de água e cobertura do solo.

#### **4.2. Características microbiológicas**

O carbono da biomassa microbiana (C-BMS) e o quociente microbiano (qMIC) avaliados na pré semeadura da soja não foram afetados significativamente pelos manejos de solo e de culturas. A respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>) apresentou efeito de manejos de solo e de culturas, enquanto que o quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) teve efeito isolado para os manejos de solo, (Quadro 03), sendo o arado de discos superior ao arado de aivecas, sem interação entre os manejos de solo e de culturas.

**Quadro 3.** Atributos microbiológicos, na profundidade de 0-10 cm, após manejos de solo e de culturas de outono-inverno, na pré-semeadura (PS) e no florescimento (R2) da soja, em Dourados, MS, 2023.

Solo	C-BMS ( $\mu\text{g C g}^{-1}$ )		C-CO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g g}^{-1}$ dia <sup>-1</sup> )	qCO <sub>2</sub> ( $\mu\text{CO}_2/\mu\text{g C-}$ mic h <sup>-1</sup> )		qMIC (%)	
	PS	R2	R2	PS	R2	PS	R2
Arado de discos	228,3 a	179,6 b	15,30 b	34,52 a	41,57 a	1,26 a	1,03 ab
Arado de aivecas	219,9 a	187,0 ab	16,30 ab	24,30 b	36,48 a	1,15 a	0,85 b
Escarificador	221,9 a	198,0 ab	19,28 ab	30,54 ab	44,69 a	1,11 a	1,09 a
Plantio direto	249,5 a	224,2 a	22,04 a	27,81 ab	41,87 a	1,19 a	1,04 a
<b>Cultura</b>							
Milho solteiro	223,2 a	190,14 a	20,07 a	32,52 a	48,45 a	1,07 a	0,98 a
Milho+braquiária	260,0 a	193,26 a	17,53 a	27,59 a	37,91 a	1,30 a	1,03 a
Braquiária+crotalária	224,0 a	214,79 a	18,61 a	27,09 a	36,83 a	1,08 a	1,00 a
Mix de plantas	212,5 a	190,78 a	17,53 a	29,98 a	41,42 a	1,26 a	1,00 a
Média	229,9	197,24	18,23	29,29	41,15	1,18	1,00
C.V.(%)	22,7	18,5	31,0	25,8	39,5	21,4	16,4

Médias seguidas da mesma letra, minúscula em cada varável, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). PS= pré – semeadura da soja; R2= florescimento da soja; C-BMS= carbono da biomassa microbiana; C-CO<sub>2</sub>= respiração microbiana; qCO<sub>2</sub>= quociente metabólico e qMIC= quociente microbiano.

O carbono da biomassa microbiana (C-BMS) diferiu entre os manejos de solo e de culturas na pré-semeadura da soja, na profundidade de 0-10 cm, apresentando variações de 212,5 a 260,0  $\mu\text{g C g}^{-1}$ . Valores semelhantes foram encontrados por Lourente et al. (2011) durante a pré-semeadura das culturas de inverno na região do Cerrado, onde a semeadura direta (291,8  $\mu\text{g C g}^{-1}$ ) e o plantio convencional (253,3  $\mu\text{g C g}^{-1}$ ) não apresentaram diferenças em área de plantio direto a 10 anos.

Possivelmente, nesse caso, tenha ocorrido uma estabilidade da comunidade microbiana ao ambiente de manejo, uma vez que o preparo dos solos foi realizado após 10 anos de semeadura direta e o cultivo das plantas de cobertura após cultivos sucessivos de soja no verão e de milho safrinha. Nesse sentido, corroborando com tais resultados Gonçalves et al. (2019) ao avaliar a biomassa microbiana em sistemas de plantio direto e convencional sob sucessões de culturas, também não obtiveram diferença estatística, sugerindo um sistema complexo que exige mais estudos para compreensão do comportamento das comunidades microbianas em sucessões e usos do solo.

No florescimento da soja, após 33 meses dos manejos de solo e sete meses do corte das plantas de cobertura, os resíduos orgânicos que são utilizados de substrato para os microrganismos foram reduzidos e as consequências dos manejos de solo se manifestaram onde o plantio direto foi superior ao arado de discos, porém não diferindo do manejo com arado de aivecas e com escarificador.



Ao avaliar os indicadores microbiológicos em área de cultivo com feijão em diferentes manejos, Nascimento et al. (2010), verificaram que o incremento de carbono na biomassa microbiana foi inversamente proporcional a intensidade do preparo do solo, onde o plantio direto ( $377,20 \mu\text{g C g}^{-1}$ ) foi superior ao cultivo convencional ( $213,23 \mu\text{g C g}^{-1}$ ). Corroborando com tais resultados, Silva et al. (2007) também encontraram maiores valores no plantio direto, quando comparado ao convencional. Tais resultados podem ser atribuídos ao maior acúmulo de resíduos vegetais, a intensificação da entrada de carbono orgânico degradada pelos microrganismos, maior estabilidade dos agregados e preservação da umidade (BALOTA, 2018), favorecendo a atividade biológica como um todo.

Para respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>) houve interação entre manejos de solo e de culturas (Quadro 4), no entanto não houve diferença entre os cultivos. No consórcio braquiária + crotalária, o arado de discos apresentou valores superiores ao arado de aivecas e também ao plantio direto no mix de plantas.

**Quadro 4.** Respiração microbiana em função de manejos de solo e de culturas, na camada de 0-10cm em área de pré-semeadura da soja, após manejos de solo e de cultivos no período outono-inverno, em Dourados, MS 2022/2023.

Manejos de Solo	Culturas							
	MS		M+B		B+C		Mix	
	C-CO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ )							
Arado de discos	12,33	aA	13,16	aA	16,71	aA	19,87	aA
Arado de aivecas	13,06	aA	15,79	aA	7,40	bA	9,54	bA
Escarificador	15,47	aA	16,71	aA	11,96	abA	15,03	abA
Plantio direto	16,73	aA	12,94	aA	13,44	abA	9,87	bA
Média	13,75							
CV (%)	27,55							

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna, e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). C-CO<sub>2</sub>= respiração microbiana ( $\mu\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  de C-CO<sub>2</sub>); MS= milho solteiro; M+B= milho + braquiária; B+C= braquiária+ crotalária; Mix= mix de plantas.

A liberação do C-CO<sub>2</sub> é o produto final da decomposição dos resíduos orgânicos, sendo influenciada diretamente pela quantidade e qualidade dos resíduos vegetais, bem como pela perturbação decorrente do manejo do solo (PULROLNIK, 2009), ou seja, ela pode representar um ecossistema eficiente ou com distúrbio, sendo assim, é necessário critério ao avaliar cada ambiente de produção. O aumento da atividade respiratória pode comprometer processos químicos e físicos, com perda de nutrientes,

(REIS et al., 2007) com maior disponibilidade a curto prazo, mas com um sistema pouco estável.

É possível que o manejo do solo com o arado de discos, caracterizado pela fragmentação e retirada de grande parte dos resíduos vegetais da superfície tenha resultado em maior atividade biológica devido aos menores tamanhos de partículas orgânicas, aumentando a superfície de contato desses resíduos, favorecendo, portanto, a colonização e ataque microbiano (PULROLNIK, 2009). Apesar da menor produção de resíduos (Quadro 2), o manejo antecipado do consórcio braquiária + crotalária e mix de plantas favoreceram o acúmulo de restos vegetais de qualidade na superfície do solo, uma vez que houve associação de gramíneas e leguminosas, havendo diferentes relações de C/N (BALOTA, 2018) aumentando a decomposição e mineralização dos resíduos vegetais.

A respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>), durante o florescimento da soja (R2), em dezembro, no plantio direto (22,04  $\mu\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ) foi superior ao manejo com arado de discos (15,30  $\mu\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ) (Quadro 3). Esses resultados comprovam que a atividade respiratória tende a ser superior onde o solo é menos revolvido como no plantio direto e em vegetação nativa, devido ao aporte gradual de carbono vindo da decomposição dos resíduos, menor amplitude térmica e manutenção da umidade do solo (BICALHO et al., 2015; CARNEIRO et al., 2009 e LISBOA et al., 2012).

O quociente metabólico é responsável por indicar a eficiência de determinada biomassa microbiana ao utilizar o carbono, em que valores menores indicam que maiores quantidades de carbono estão sendo incorporados aos tecidos dos microrganismos, diminuindo, assim, a emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera e indicando um certo equilíbrio do ambiente produtivo (BALOTA, 2018). Foram observados efeitos dos manejos de solo, em relação ao qCO<sub>2</sub>, apenas na pré-semeadura da soja, onde o arado de discos foi superior ao arado de aivecas, não se diferenciando dos demais tratamentos (Tabela 3).

Ao avaliar os atributos microbiológicos em diferentes preparos de solo Ferreira et al. (2017) e Ferreira et al. (2011) constataram valores superiores de quociente metabólico para o sistema de manejo convencional indicando que, quanto maior a perturbação do solo, maior será a instabilidade da população microbiana, diminuindo sua eficiência e resultando na maior liberação de CO<sub>2</sub>.

Ao correlacionar as variáveis fitotécnicas com os atributos microbiológicos de solo verificou-se correlação positiva entre resíduos das plantas de cobertura e o quociente metabólico em R2 (Quadro 5). O aumento na quantidade dos resíduos,

possivelmente gerou uma situação estressante para a comunidade microbiana. Como os tratamentos foram analisados em conjunto e em todos há a presença de pelo menos uma gramínea, (milho e *B. ruziziensis*) que são caracterizadas pela alta relação C/N e maior quantidade de lignina em sua composição (SALIBA et al., 2000), provavelmente a atividade dos microrganismos foi reduzida (CARDOSO et al., 2016), refletindo em menor desenvolvimento da população microbiana e no aumento do quociente metabólico (BALOTA, 2018).

**Quadro 5.** Correlações de Person (r) e significância entre resíduos vegetais de plantas de cobertura, massa de 100 grãos (M100) e produtividade da soja, com atributos microbiológicos do solo na pré semeadura e florescimento da soja (R2) e número de grãos por planta da soja (NGP) em Dourados, MS 2023.

	Resíduos		M100		Produtividade	
	r	Significância	r	Significância	r	Significância
Resíduos	-	-	0,5319	0,0000*	-0,3068	0,0170*
C-BMS (PS)	0,2051	0,081 <sup>ns</sup>	0,2456	0,0462*	-0,1852	0,1038 <sup>ns</sup>
C-BMS (R2)	-0,1759	0,1419 <sup>ns</sup>	0,0954	0,2596 <sup>ns</sup>	0,3098	0,0160*
C-CO2 (PS)	0,895	0,2726 <sup>ns</sup>	0,1291	0,1909 <sup>ns</sup>	0,0014	0,5000 <sup>ns</sup>
C-CO2 (R2)	0,1327	0,1844 <sup>ns</sup>	0,1505	0,1704 <sup>ns</sup>	0,2016	0,0847 <sup>ns</sup>
qCO2 (PS)	-0,0029	0,4923 <sup>ns</sup>	-0,0844	0,2841 <sup>ns</sup>	-0,1035	0,2420 <sup>ns</sup>
qCO2 (R2)	0,2408	0,0496*	0,0986	0,4610 <sup>ns</sup>	-0,611	0,3399 <sup>ns</sup>
NGP	-0,3068	0,2242	-0,2946	0,0210*	0,1719	0,1214 <sup>ns</sup>

Entretanto, o valor da correlação observada é considerado de baixa influência ( $r=24$ ) (DANCEY e REIDY, 2005), sendo assim, o cultivo de gramíneas como planta de cobertura continua sendo uma importante opção para a sustentação da semeadura direta e sistema plantio direto.

O quociente microbiano (qMIC) se refere a relação do carbono da biomassa microbiana com o carbono orgânico total e expressa a qualidade da matéria orgânica. O aumento desta variável indica o acréscimo de matéria orgânica de boa qualidade (REIS JUNIOR e MENDES 2007; BALOTA, 2018), e os valores mais elevados indicam uma matéria orgânica mais ativa (DADALTO et al., 2015).

Não foram observadas diferenças na pré semeadura da soja para a variável quociente microbiano (qMIC), tanto para os manejos de solo quanto para os cultivos (Quadro 3), podendo ser decorrente do curto período de implantação das plantas de cobertura. Entretanto, todos os valores encontrados estão acima de 1%, indicando a

disponibilidade de carbono orgânico para a microbiota do solo, ou seja, uma microbiota ativa.

Ao avaliar os atributos microbiológicos em diferentes manejos e uso do solo no inverno e verão em área de Cerrado, Lourente et al. (2011) não observaram diferença entre o uso e manejo para o quociente microbiano em nenhum dos períodos, atribuindo tal resultado ao período de um ano de implantação dos diferentes manejos, não sendo o suficiente para apresentar diferenças.

O escarificador e plantio direto, manejo de solo caracterizados por serem conservacionistas, devido sua menor perturbação (CERETTA et al., 2010) e preservação dos resíduos vegetais, foram os que apresentaram maiores valores para quociente microbiano quando comparado ao arado de aivecas, o qual não se diferiu do arado de discos e do plantio direto no decurso do florescimento da soja.

Tais resultados podem ser atribuídos ao acúmulo de substrato orgânico proporcionado pelo plantio direto e escarificador, que promove condições de temperatura e umidade ideais para a atividade dos microrganismos e resulta em maior disponibilidade de carbono orgânico. O manejo com arado de discos possivelmente promoveu maior incorporação do carbono orgânico a curto prazo aos tecidos da biomassa microbiana (DADALTO et al., 2015). Já o manejo com arado de aivecas, por apresentar valores menores que 1%, é indicativo de situação limitante (JAKELAITIS et al., 2008). Silva et al. (2010) também encontraram maiores valores de qMIC sob plantio direto (1,2%) quando comparado ao plantio convencional (0,5%), evidenciando a importância do acúmulo de resíduo orgânico na superfície do solo.

#### **4.3. Soja em sucessão aos manejos de solo e culturas**

Ao avaliar as características fitotécnicas na soja após 34 meses dos manejos de solo e em sucessão aos cultivos de outono-inverno, pode-se verificar efeito das culturas para altura de plantas, não havendo diferenças para número e peso de nódulos, massa seca de haste, folhas e massa total (Quadro 6).

**Quadro 6.** Altura de plantas (AP), massa seca haste (MSH), massa seca folhas (MSF), massa total (MT), número de nódulos (NN), peso de nódulos (PN) na soja em sucessão aos cultivos de outono – inverno, safra 2022/2023 em Dourados, MS.

<b>Solo</b>	AP cm	MSH kg ha <sup>-1</sup>	MSF kg ha <sup>-1</sup>	MT kg ha <sup>-1</sup>	NN	PN mg
Arado de discos	98,50 a	3253 a	2864 a	6237 a	70,38 a	385,15 a
Arado de aivecas	98,75 a	3678 a	2983 a	7274 a	80,05 a	452,68 a
Escarificador	99,50 a	3218 a	3076 a	6294 a	60,63 a	387,17 a
Plantio direto	95,91 a	3091 a	3595 a	5955 a	84,02 a	437,84 a
<b>Cultura</b>						
Milho solteiro	97,08 b	3443 a	3106 a	6550 a	68,55 a	412,05 a
Milho+braquiária	96,91 b	2941 a	2784 a	5726 a	78,94 a	430,60 a
Braquiária+crotalária	101,83 a	3299 a	3224 a	6523 a	68,30 a	369,48 a
Mix de plantas	96,83 b	3556 a	3404 a	6961 a	79,30 a	450,72 a
Média	98,16	3310	3130	6440	73,77	415,71
C.V.(%)	4,17	22,99	26,08	23,54	35,60	34,61

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

O cultivo consorciado de braquiária com crotalária, mesmo com a menor produção de resíduos (Quadro 2), apresentou valores superiores para altura de plantas demonstrando a importância da qualidade dos restos vegetais que são depositados sob a superfície do solo. Possivelmente a soja em sucessão se beneficiou de um ambiente de cultivo, com decomposição e liberação mais rápida de nutrientes, além de a crotalária fornecer um aporte de nitrogênio para o solo através da fixação biológica (SOUSA et al., 2020) que é responsável pelo crescimento das plantas (SENGIK, 2003). Associado ao incremento do nitrogênio vindo da fixação biológica, o sistema radicular de leguminosas como a crotalária, pode ter favorecido o aumento nas colônias de bactérias solubilizadoras de fósforo, além de incrementar os teores de potássio e magnésio no solo, nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (SILVA et al., 2022).

A baixa relação C/N da crotalária proporcionou a rápida mineralização e ciclagem dos nutrientes, sendo disponibilizados para a cultura em sucessão (CARDOSO et al., 2016). Além disso, há a formação da palha em maior quantidade devido à presença da gramínea (KLUTHCOUSKI et al., 2000), a qual fica sobre a superfície por mais tempo, devido à sua lenta decomposição. Esse fator auxilia na manutenção da umidade, na supressão de plantas invasoras e no estoque de carbono a longo prazo.

Confirmando tais resultados, Piatí (2022) ao avaliar sistemas de sucessão e rotação de culturas e as características da soja em sucessão observou que, o cultivo

consorciado de milho + crotalária *Ochroleuca*, resultou em maior quantidade de palha na pré semeadura e em maior altura de plantas de soja (105,80 cm), quando se comparado ao cultivo de milho solteiro, milho consorciado com braquiária e área em pousio.

A massa seca de folhas, de hastes e massa total (Quadro 6), número de vagens por planta, grãos por vagem e distância entre nós (Quadro 7) não tiveram influência dos tratamentos, uma vez que estas variáveis estão relacionadas com as características genéticas da cultivar e com o ambiente (TAGLIAPIETRA et al., 2022).

**Quadro 7.** Vagens por planta (VP); número de grãos por vagem (NGP); distância entre nós (DEN); peso de 100 grãos (P100) e produtividade (PROD), da soja em sucessão aos cultivos de outono – inverno, e após 36 meses do manejo de solo, safra 2022/2023 em Dourados, MS.

Solo	VP	NGP	DEN (cm)	M100 (g)	PROD (kg ha <sup>-1</sup> )
Arado de discos	45,90 a	110,80 a	7,59 a	15,52 b	3448 b
Arado de aivecas	46,19 a	114,40 a	7,32 a	16,23 a	3700 a
Escarificador	45,68 a	113,90 a	7,80 a	15,69 ab	3607 ab
Plantio direto	45,08 a	110,50 a	7,50 a	16,00 ab	3602 ab
<b>Cultura</b>					
Milho solteiro	44,28 a	108,2 a	7,95 a	16,30 ab	3531 ab
Milho+braquiária	42,22 a	102,4 a	7,77 a	16,38 a	3490 b
Braquiária+crotalária	49,93 a	124,2 a	6,96 a	15,08 c	3761 a
Mix de plantas	46,42 a	114,7 a	7,50 a	15,63 bc	3574 ab
Média	45,71	112,4	2,51	15,85	3589
C.V.(%)	19,83	19,72	13,9	3,86	6,25

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não difere entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

O número e peso de nódulos não foi afetado pelos os tratamentos (Quadro 6). Fontaneli et al. (2000) encontraram resultados semelhantes comparando culturas antecessoras com a nodulação da soja em sucessão. Os autores também verificaram que também não houve diferença no peso de nódulos, pois os valores encontrados variaram de 291 a 425 mg por planta, próximos aos encontrados no presente trabalho (369 a 450 mg por planta), indicando biomassa elevada, o que sugere uma fixação de nitrogênio eficiente. Ao avaliar a nodulação da soja em sistema de manejo de solo convencional e plantio direto, VOSS e SINDIRAS (1985) constataram que, onde havia cobertura vegetal e do não revolvimento do solo, houve maior quantidade e massa de nódulos, possivelmente devido a preservação de temperaturas mais baixas, sendo assim, favorável para o seu desenvolvimento.

Nos tratamentos para a massa de 100 grãos bem como para a produtividade da soja foram observados efeitos isolados. O manejo de solo com arado de aivecas e o

cultivo consorciado de milho com braquiária foram superiores ao arado de discos e ao consórcio de braquiária com crotalária respectivamente (Quadro 7). Por ser um implemento caracterizado pela inversão parcial do solo, proporciona maior estabilidade de agregados (FALLEIRO et al., 2003) e preserva a umidade do solo, comparado ao arado de discos. Provavelmente o arado de aivecas possibilitou melhor desenvolvimento radicular, uma vez que tal variável é fortemente influenciada pela disponibilidade hídrica (TAGLIAPIETRA et al., 2022).

Resultados divergentes foram encontrados por Teixeira (2014), ao avaliar a influência de semeadura direta, preparo mínimo e convencional e sua influência na soja cultivada posteriormente, não havendo influência dos tratamentos para massa de 100 grãos.

Para cultivo de plantas, o consórcio milho + *B. ruziziensis* foi responsável pela maior massa de 100 grãos, sendo superior ao consórcio *B. ruziziensis* + Crotalária, não diferindo do milho solteiro e do mix de plantas, respectivamente (Quadro 7). Tais resultados podem ser explicados pelas correlações encontradas (Quadro 5). Havendo influência positiva entre a quantidade de resíduos ( $r = 0,53$ ), C-BMS em pré semeadura ( $r = 0,24$ ) e negativa para NGP para a massa de 100 grãos.

A elevada quantidade de resíduos produzida pelo milho + braquiária (Quadro 2), aumentou a cobertura do solo, formando uma barreira física para o crescimento de plantas daninhas, como visto por Araújo et al. (2019), reduzindo a matocompetição e melhorando o uso da água pela preservação da umidade do solo. Além disso, o sistema radicular do tipo fasciculado de ambas as espécies favoreceu a formação de agregados estáveis e a produção de exsudatos (BALOTA, 2018). Esse fato proporcionou condições para o desenvolvimento dos microrganismos e influenciou o aumento do C-BMS, proporcionando às plantas de soja melhor aproveitamento do ambiente produtivo, refletindo no aumento da M100.

A correlação negativa entre o número de grãos por planta e a massa de cem grãos ( $r = -0,29$ ) (Quadro 6), pode ser explicada pela maior demanda por fotoassimilados. Plantas com maior massa de M100, possui menor quantidade de grãos por planta, sendo possível destinar maiores quantidades de matéria seca e nutrientes para o enchimento destes (TAGLIAPIETRA, 2022).

Houve efeito dos tratamentos para a produtividade da soja em sucessão. O arado de aiveca foi superior ao arado de discos, enquanto para os cultivos, o consórcio de

milho + *B. ruziziensis* foi inferior a *B. ruziziensis* + Crotalária, não havendo diferença para os demais tratamentos (Quadro 7).

Enquanto o arado de aivecas corta com pequena inversão de camadas, o arado de discos causa fragmentação dos agregados e inversão de parcela de solo, resultando em alta perturbação e reflete altos valores de quociente metabólico (Quadro 3). Com o aumento do  $qCO_2$ , houve diminuição da eficiência da comunidade microbiana na utilização do carbono (BALOTA, 2018), resultando em menores valores de C-BMS no florescimento da soja (Quadro 3).

Tal informação é reforçada pela correlação positiva ( $r=0,30$ ), do C-BMS com a produtividade da soja (Quadro 7), em que durante o florescimento, quanto maior a população microbiana, mais o ambiente é eficiente na degradação e mineralização dos componentes orgânicos. Assim, produz-se uma maior disponibilidade de nutrientes para as plantas favorecendo o ambiente de produção e aumentando a produtividade.

Fundamentando tais resultados, Stone et al. (2013) ao avaliarem a correlação da produtividade do feijoeiro com os atributos biológicos do solo encontraram alta correlação positiva com C-BMS ( $r = 0,44$ ). Assim confirma-se que altos valores de biomassa microbiana resultam em matéria orgânica mais ativa, havendo ciclagem de nutrientes e benefícios para a cultura em sucessão.

Possivelmente, a menor população microbiana (Quadro 3) no período de alta demanda nutricional pela cultura (TAGLIAPIETRA, 2022) tenha influenciado de forma negativa a disponibilidade de nutrientes, reduzindo a produtividade. Já o arado de aivecas, diferentemente do arado de discos, apenas cortou a superfície do solo, levando parte dos resíduos orgânicos para camadas mais profundas e não foi tão prejudicial aos microrganismos.

Já para os cultivos, ao associar uma gramínea com leguminosa, há um aumento na qualidade dos resíduos que serão depositados na superfície do solo após o manejo de corte. Embora tenha sido o tratamento com menor biomassa produzida (Quadro 2), havendo correlação negativa com a produtividade ( $r = -0,30$ ), o corte antecipado, realizado na época de florescimento da crotalária, possibilitou boa cobertura do solo pela braquiária e mineralização dos resíduos da leguminosa devido a sua baixa relação C/N, que proporcionou um ambiente rico em nutrientes, melhorando as condições de desenvolvimento para a cultura da soja e resultando em maiores produtividades.



## 5.0 CONCLUSÕES

1. Após 33 meses dos manejos no solo houve redução na eficiência da atividade biológica no manejo com arado de discos, indicando estresse no ambiente.
2. O manejo do solo com arado de aivecas e o escarificador apresenta menor interferência nos atributos biológicos do solo.
3. A diversificação de espécies na safrinha melhora a qualidade do solo e aumenta a produtividade da soja em sucessão.

## 7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, D. O.; BAYER, C.; ALMEIDA, H. C. Fauna e atributos microbiológicos de um Argissolo sob sistemas de cobertura no Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n.9, v.51, p.1140-1147, 2016.

ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C.; NOVOTNY, E. H. **Cultivo do milho: preparo convencional do solo**. Comunicado técnico, 40. Sete Lagoas: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. 2002, 4p.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient of CO<sub>2</sub> ( $qCO_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdã, n.3, v. 25, p. 393-395, 1993.

ARAÚJO, A. S.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.23, n.3. 2007.

ARAUJO, T. S.; GALLO, A. S.; ARAUJO, F. S.; SANTOS, L. C.; GUIMARÃES, N. F.; SILVA, R. Biomassa e atividade microbiana em solo cultivado com milho consorciado com leguminosas de cobertura. **Revista de Ciências Agrárias**, v.42, n.2, p.347-357, 2019.

ARAÚJO, T.S.; GALLO, A. S.; ARAUJO, F.S.; SANTOS, L.C.; GUIMARÃES, N. F.; SILVA, R.F. Biomassa e atividade microbiana em solo cultivado com milho consorciado e leguminosas de cobertura. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, n.2, v.42, p. 347-357, 2019.

BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; HAMID, K. I.; YADA, I.F.U.; NAKATANI, A. S.; BARBOSA, G. M. C.; COYNE, M.S. Soil microbial Properties after long-term swine slurry and no-tillage systems in Brazil. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.490, p.397-404, 2014.

BALOTA, E.L. **Manejo e Qualidade Biológica do Solo**. Ed revisada, Londrina, 2018. 279p.

BERTOLLO, A.S.; LEVIEN, R. Compactação do solo em Sistema de Plantio Direto na palha. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.25, n.3, p.208-218, 2019.

BICALHO, I. M.; COSTA, A. F.; CRUVINEL, A. M.; JÚNIOR, R. O. Alterações nos indicadores bioquímicos de solo submetido a diferentes sistemas de manejo no município de Uberlândia. **e-RAC**, Uberlândia, n.1, v.5. 2015.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. The nature and Properties of soils. New Jersey: Prentice Hall. 960p. 2002.

BRANDÃO, E. D.; SILVA, I. F. Formação e estabilização de agregados pelo sistema radícula de braquiária em um Nitossolo Vermelho. **Ciência Rural**, v.42, n.7, p.1193-1199, 2012.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. Microbiologia do solo. 2 ed. Piracicaba: ESALQ, 2016. 221p.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.P.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo do Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Lavras, v.33, p. 147-157, 2009.

CECCON, G.; SILVA, J. F.; MAKINO, P. A.; NETO NETO, A. L. Consórcio milho-braquiária com densidades populacionais da forrageira no Centro-Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.17, n.1, p. 157-167, 2018.

CERETTA, C.A.; AITA, C. Manejo e Conservação do Solo, 89p, 2010.

DADALTO, J.P.; FERNANDES, H.C.; TEIXEIRA, M.M.; CECON, P.R.; MATOS, A.T. Sistema de preparo de solo e sua influência na atividade microbiana. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.3, p. 506-513, 2015.

DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L.; BALIEIRO, F. C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M.; FILHO, J. C. A.; SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE, M. R.; MACEDO, M. C. M.; TEIXEIRA, P. C.; AMARAL, A. J.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.15, n.9, p.1003-102, 2016.

DIONÍSIO, J. A.; PIMENTEL, I. C.; SIGNOR, D. Respiração microbiana. **Guia prático de biologia do solo**. Cap.12, p. 72-77.

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.27, p.1097-1104, 2003.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v.37, n.4, p.529-535, 2019.

FERREIRA, E. P. B.; STONE, L. F.; MARTIN-DIDONET, C. C. G. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agrônômica**, v.48, n.1, p.22-31, 2017.

FERREIRA, E. P. B.; WENDLAND, A.; DIDONET, A. D. Biomassa microbiana e atividade enzimática de um Cerrado Latossolo sob sistema de produção agroecológico. **Bragantia**, v.4, p.899-907, 2011.

FERREIRA, W. S.; BRAZ, A. J. B. P.; ASSIS, R. L.; COSTA, K. A. P.; SILVA, A. G.; TORRES, J. L. R. Cultivo do milho e da soja em sucessão as culturas de safrinha em Rio Verde – GO. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.31, n.3, p.291-297, 2016.

FIETZ, C. R.; FISCH, G. F.; COMUNELLO, E.; FLUMIGNAN, D. L. O clima da Região de Dourados, MS. 3. Ed. Ver. e atual. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2017. 31p. (Documentos 138 – Embrapa Agropecuária Oeste).

FLOSS, E. L. Maximizando o rendimento da soja “Ecofisiologia, nutrição e manejo”. 2.ed, Passo Fundo: Aldeia Sul, 2022. 416p.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; VOSS, M.; AMBROS, I. Rendimento e nodulação de soja em diferentes rotações de espécies anuais de inverno sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p. 349-355, 2000.

GONÇALVES, V. A.; MELO, C. A.; ASSIS, I. R.; FERREIRA, L. R.; SARAIVA, D. T. Biomassa e atividade microbiana do solo sob diferentes sistemas de plantio e sucessões de culturas. **Revista Ciências Agrárias**, Viçosa, v.62, 2019.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A.; SANTOS, J.B. & VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.38, n.2, p.118-127, 2008.

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H.; YOKOYAMA, L. P.; OLIVEIRA, I. P. de; COSTA, J. L. da S.; SILVA, J. G. da; VILELA, L.; BARCELLOS, A. de O.; MAGNABOSCO, C. de U. **Sistema Santa Fé - tecnologia Embrapa: integração lavoura pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas plantio direto e convencional**. Circular técnica, 38. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 28p.

LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F. Ecologia microbiana do solo. Teresina: Embrapa Meio – Norte, 2007, 24p.

LEITE, L. F.C.; GALVÃO, S.R.S.; NETO, M. R. H.; ARAÚJO, F.S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.12, p. 1273 – 1210, 2010.

LIMA, E. V.; CRUSCIOL, C. A. C.; LIMA, P. S. L. L.; CORRÊA, J. C. Espécies para a cobertura e qualidade dos resíduos vegetais na implantação do sistema de plantio direto em região de inverno seco. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.2, p.194-194, 2005.

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

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos sob diferentes sistemas de manejo e condições do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.1, p.20 – 28, 2011.

MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; JUNIOR, F. B. R.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; MERCANTE, F. M.; ZILLI, J. E. **Bioindicadores para avaliação da qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade?**. Embrapa Cerrados, 2009, 31p.

MENDES, S. M.; WAQUIL, J. M.; OLIVEIRA, I. R.; VIANA, P. A. Manejo de pragas no milho de segunda safra: Com ou sem a utilização de milho Bt. **Revista Plantio Direto**. Disponível em: < <https://www.plantiodireto.com.br/artigos/119> > 2019. Acesso em: 15 de abril de 2023.

MIRANDA, J. C. C. Cerrado: micorriza arbuscular: ocorrência e manejo. Embrapa. Brasília, p. 15-17, 2012.

MIRANDA, P. H. C.; MARQUES, J. D.; REIS, E. G.; SANTOS, G. A. M.; SILVA, M. L. J.; MELO, V. S. Atributos biológicos em diferentes sistemas de manejo do solo no município de Paragominas, Pará. **Brazilian Journal of Developmet**, v.6, n.9, p.72858-72870, 2020.

NASCIMENTO, J. B.; CARVALHO, G. D.; CUNHA, E. Q.; FERREIA, E. P. B.; LEANDRO, W.M.; DIDONWT, A. Determinação da Biomassa e Atividade Microbina

do Solo sob Cultivo Orânico do Feijoeiro-comum em Sistema de Plantio Direto e Convencional após Cultivo de Diferentes Espécies de Adubos Verdes. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.4, n.2, p.4240-4243, 2009.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo, Sociedade Brasileira de Ciência do solo**, 2007. 1017p.

OLIVEIRA, L. B. G.; TEIXEIRA, M. C. M. F.; GALINDO, F.S.; NOGUERIA, T. A.R.; BARCO, M. N.; BUZETTI, S. Formas e tipos de coinoculação na cultura da soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v.42, n.4, p.924-932, 2019.

PACHECO, L. P.; MIGUEL, A. S. D. C. S.; SILVA, R. G.; SOUZA, E. D.; PETTER, F.A.; KAPPES, C. Biomass yield in production systems of soybean sown in succession to annual crops and cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.52, n.8, p. 582 – 591, 2017.

PADOVAN, M. P.; CARNEIRO, L. F.; MOITINHO, M. R.; FERNANDES, S. S. L. Acúmulo de fitomassa e nutrientes e estágio mais adequado de manejo de feijão – de – porco para fins de adubação verde. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Planaltina, v.6, n.3, p. 182-190, 2011.

PASSOS, A.M.A.; ALVARENGA, R.C.; SANTOS, F.C. Sistema plantio direto. Agricultura de baixo carbono: Tecnologias e Estratégias de Implantação. 1ed. Embrapa, Brasília, 2018. Capítulo 03.

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

PULROLNIK, K. Transformações do carbono no solo. Embrapa Cerrados. 2009,36p.

REIS JUNIOR; F. B.; MENDES, I de C. Biomassa microbiana do solo. Embrapa Cerrados. Planaltina, 2007. 40p.

REIS, D.A.; LIMA, C.L.R.; BAMBERG, A.L. Qualidade física e frações da matéria orgânica de um Planossolo sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.9, p. 1623 – 1632, 2016.

REIS, F. B. J.; MENDES, I. C. **Biomassa Microbiana**. Embrapa Cerrados, 2007. Documento 205.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.** v.5, p.49-134, 2007.

RICHETTI, A. Viabilidade econômica da sucessão consórcio milho – braquiária/soja/milho safrinha. Consórcio milho – braquiária, p.165- 174, 2013.

SÁ, J. C. M.; BRIEDIS, C.; FERREIRA, A. O. Manejo do carbono como componente chave do Sistema Plantio Direto. Sistema Plantio Direto no Brasil. p. 13 – 22. Passo Fundo, 2022.

SALIBA, E.O.S., RODRIGUEZ, N.M., PILÓ-VELOSO, D. Estudos de caracterização química das ligninas dos resíduos agrícolas de milho e de soja. In: REUNIÃO ANUAL DA SBZ. Viçosa. n.37, 2000.

SANTOS, A. L. F.; MECCHI, I. A.; RIBEIRO, L. M.; FACHINELLI, R.; LEITE, E. M.; CECCON, G. Produtividade do milho safrinha em função dos anos consecutivos de consórcio milho – braquiária. In: XXXI CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 2016, Bento Gonçalves. p.1134-1136.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F.A.; BECQUER, T. Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em Latossolo do cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.11, p.1171-1178, 2012.

SENGIK, E, S. Os Macronutrientes e os Micronutrientes das plantas. 2003. Disponível em: < <http://www.nupel.uem.br/nutrientes-2003.pdf> > Acesso em: 30/08/2023.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo ( $qCO_2$ ). Seropédica: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2007. Comunicado técnico, 99.

SILVA, M. A.; NASCENTE, A. S.; FRASCA, L. L. M.; LANNA, A. C.; LACERDA, M. C.; SILVA, C. B. Biomass, nutriente accumulation, end weed suppression by mix crops. **Revista Caatinga**, v.36, n.4, p.757-764, 2023.

SILVA, H. D.M.; FERREIRA, O. E.; COSTA, G. H. G.; GUARDIANO, B. C. R. Quantificação de bactérias solubilizadoras de fósforo em solo de reforma de canalial no

bioma Cerrado com plantio de leguminosas. **Brazilian Journal of Development**, v.8, n.2, p.11810-11820, 2022.

SILVA, M. A.; NASCENTE, A. S.; FRASCA, L. L. M.; REZENDE, C. C.; FERREIRA, E. A. S.; FILIPPI, M. C. C.; LANNA, A. C.; FERREIRA, E. P. B.; LACERDA, M. C. Plantas de cobertura isoladas e em mix para a melhoria da qualidade do solo e das culturas comerciais no Cerrado. **Research Society and Development**, v.10, n.12, 2021.

SILVA, N. M. R. M. **Diversidade microbiana e microbiota solubilizadora de fosfato em solos de cafezais orgânicos em sistemas agroflorestais e a pleno sol**. 2017. 80f. Dissertação (Pós-graduação em Agroecologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SILVEIRA, D. C.; FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R.S.; REBESQUINI, R.; DALL'AGNOL, E.; PANISSON, F.T.; BOMBONATTO, M. C. P.; CEOLIN, M. E. T. Plantas de cobertura de solo em Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária. **Revista Plantio Direto e Tecnologia Agrícola**, v.29, n.173, p.18-23, 2020.

SOUSA, H. M.; CORREA, A. R.; SILVA, B. M.; OLIVEIRA, S. S.; CAMPOS, D. T. S.; WRUCK, F. J. Dynamics of soil microbiological attributes in integrated crop-livestock systems in the cerrado-amazonônia ecotone. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 1, p. 9-20, 2020.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L.P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.12, p.1301-1309, 2013.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F.A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.12, p.1301-1309, 2013.

STONE, L. F.; FERREIRA, E. P.; DIDONET, A.D.; HEINEMAN, A. B.; OLIVEIRA, J. P. Correlação entre a produtividade do feijoeiro no sistema de produção orgânica e atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.1, p. 19-25, 2013.

TAGLIAPIETRA, E. L. *Ecofisiologia da soja: visando altas produtividades*. 2. ed. Santa Maria - RS. Field Crops. 2022. 432 p.

TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 20, n. 3, p. 329-335, 1988.



TEIXEIRA, R. B. **Influência de diferentes sistemas de preparo e plantas de cobertura nos atributos físicos-químicos do solo e na produtividade de grãos da cultura da soja.** 2014. 68f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, MS.

TUBIN, J. **Leguminosas em consórcio com gramíneas hibernais na produção vegetal e uso de nitrogênio em um sistema de integração lavoura pecuária.** 2019. 52f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, PR.

VAN RAIJ, B. Melhorando o ambiente radicular em subsuperfície. **Informações Agrônomicas**, n.153, p.08-18, Piracicaba, 2011.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p.703-707, 1987.

VOSS, M.; SINDIRAS, N. Nodulação da soja em plantio direto em comparação com o plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.7, p. 775-782, 1985.

ZANIN, C. M. N.; GUERRA, J. G.M.; RIBEIRO, R. L. D.; URQUIAGA, S. S. C.; PADOVAN, M. P. Performace de adubos verdes cultivados em duas épocas do ano no Cerrado do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.6, n.2, p.159-169, 2011.

**APÊNDICE A.** Resumo do quadrado médio do resíduo para carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>), quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) e quociente microbiano (qMIC), avaliados após 36 meses dos manejos de solo e na sucessão de plantas de cobertura.

Fonte de variação	Quadrado Médio do Resíduo								
	Semeadura								
	G.L	C-BMS		C-CO <sub>2</sub>		qCO <sub>2</sub>		qMIC	
Solo	3	2197	ns	39,02	ns	224,25	*	0,052	ns
Cultura	3	5156	ns	12,57	ns	74,69	ns	0,174	*
Solo x Cultura	3	1960	ns	33,6	*	80,68	ns	0,096	ns
Resíduo	30	2743		14,35		27,41		0,063	
Média		229,9		13,75		29,29		1,181	
CV (%)		22,78		27,55		25,86		21,40	

Fonte de variação	Quadrado Médio do Resíduo								
	Florescimento (R2)								
	G.L	C-BMS		CO <sub>2</sub>		qCO <sub>2</sub>		qMIC	
Solo	3	4573	ns	111,91	*	139,86	ns	0,129	*
Cultura	3	1664	ns	25,18	ns	330,1	ns	0,004	ns
Solo x Cultura	3	1055	ns	50,78	ns	251,15	ns	0,036	ns
Resíduo	30	1341		32,1		264,8		0,027	
Média		197,2		31,07		41,15		16,49	
CV (%)		18,57		18,23		39,54		16,49	

ns, \* = não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$ , respectivamente pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

**APÊNDICE B.** Resumo do quadrado médio do resíduo para altura de plantas (AP), massa seca de hastes (MSH), massa seca de folhas (MSF), massa seca total (MT), número de nódulos (NN), peso de nódulos (PN), vagens por planta (VP), número de grãos por planta (NGP), distância entre nós (DEN), massa de cem grãos (M100) e produtividade (PROD) da soja cultivada após manejos de solo, em sucessão a plantas de cobertura.

Fonte de variação	G.L	AP		MSH		MSF		MT	
Solo	3	29,16	ns	783093,18	ns	1246772,72	ns	3974949,23	ns
Cultura	3	71,83	*	859159,52	ns	816185,46	ns	3202419,84	ns
Solo x Cultura	3	7,07	ns	969220,02	ns	499387,7	ns	2680323,7	ns
Resíduo	30	16,77		579280,64		666551,82		2297824,99	
Média		98,16		3310,31		3130,16		6440,54	
CV (%)		4,17		22,99		26,08		23,54	

Fonte de variação	GL	NN		PN		VP		NGP	
Solo	3	1314,24	ns	14420,17	ns	2,52	ns	50,02	ns
Cultura	3	457,87	ns	14392,97	ns	125,96	ns	1053,35	ns
Solo x Cultura	3	345,47	ns	12403,43	ns	132,89	ns	696,17	ns
Resíduo	30	689,74		20697,43		81,88		491,28	
Média		73,77		415,71		45,72		112,41	
CV (%)		35,6		34,61		19,79		19,72	

Fonte de variação	G.L	DEN		M100		PROD	
Solo	3	0,05	ns	1,16	ns	131050	
Cultura	3	0,25	ns	4,46	ns	172238	
Solo x Cultura	3	0,12	ns	0,27	ns	64752	
Resíduo	30	0,12		0,37		50337	
Média		2,51		15,85		3589	
CV (%)		13,9		3,86		6,25	

ns, \* = não significativo, significativo a  $p \leq 0,05$ , respectivamente pelo teste F. CV: coeficiente de variação.

