

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**IMPACTO DE SISTEMAS DE CULTURAS EM ATRIBUTOS DO  
SOLO E PRODUÇÃO DE SOJA EM PLANTIO DIRETO**

JUCIMAR FERREIRA NEVES

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2021

**IMPACTO DE SISTEMAS DE CULTURAS EM ATRIBUTOS DO  
SOLO E PRODUÇÃO DE SOJA EM PLANTIO DIRETO**

JUCIMAR FERREIRA NEVES  
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Dr. LUIZ CARLOS FERREIRA DE SOUZA

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

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

N513i Neves, Jucimar Ferreira

Impacto de sistemas de culturas em atributos do solo e produção de soja em plantio direto  
[recurso eletrônico] / Jucimar Ferreira Neves. -- 2021.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Luiz Carlos Ferreira de Souza.

Coorientador: Júlio Cesar Salton.

Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2021.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

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

1. rotação de culturas. 2. sistema plantio direto. 3. microbiologia do solo. 4. Glycine max.. I.  
Souza, Luiz Carlos Ferreira De. II. Salton, Júlio Cesar. III. Título.

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

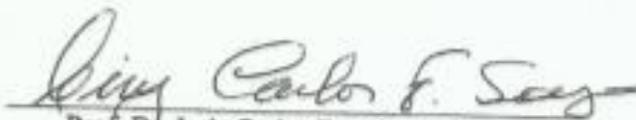
©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

"Impacto de sistemas de culturas em atributos do solo e produção de soja em plantio  
direto"

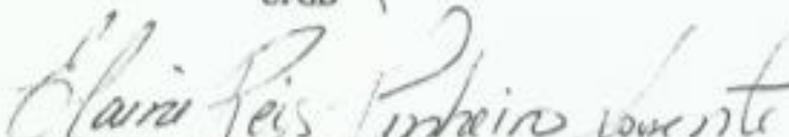
por

JUCIMAR FERREIRA NEVES

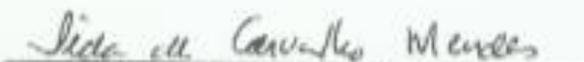
Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de  
DOUTOR EM AGRONOMIA

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

  
Prof. Dr. Munir Mauad  
UFGD

  
Profa. Dra. Elaine Reis Pinheiro Lourente  
UFGD

  
Prof. Dr. João Carlos de Moraes Sá  
UEPG

  
Profa. Dr. Ieda de Carvalho Mendes  
Embrapa Cerrados

*Aos meus pais, Juracy Ferreira dos Santos e Marlene Neves da Silva*

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida, saúde, sabedoria e força para superar os obstáculos e alcançar os objetivos traçados.

Aos meus pais, que mesmo a distância, sempre se fizeram presentes.

À Universidade Federal da Grande Dourados e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, pela oportunidade ímpar de crescimento profissional e intelectual.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza, que não mediu esforços para me apoiar e orientar nesta jornada.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia, pelos ensinamentos e auxílio.

À CAPES pela bolsa de estudos.

Aos familiares pelo apoio incondicional, em especial meu tio Evaldo Ferreira

Aos colegas que conheci no doutorado que auxiliaram nos trabalhos de campo, laboratório e pela parceria diária, em especial, Wander Valin, Gabriel Piati, Filipe Jacques, Natanael Soares e Izaias Rodrigues.

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

À minha noiva, Thainá Stephanie Martins de Freitas pelo apoio e companheirismo a cada dia.

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

Meus sinceros agradecimentos...

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>x</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>3</b>
2.1 Sistema plantio direto e rotação de culturas.....	3
2.2 Espécies para rotação de culturas.....	4
2.3 Ciclagem de nutrientes.....	7
2.4 Efeito das plantas de cobertura nos atributos do solo .....	9
2.4.1 Microbiologia do solo.....	9
2.4.2 Física do solo.....	11
2.4.3 Química do solo.....	12
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>15</b>
3.1 Local do experimento.....	15
3.2 Histórico da área .....	15
3.3 Dados climáticos .....	16
3.4 Delineamento experimental e tratamentos .....	18
3.5 Instalação e condução .....	18
3.5.1 Culturas de cobertura e sucessão .....	18
3.5.2 Soja.....	19
3.6 Amostragens e avaliações .....	19
3.6.1 Culturas de cobertura, sucessão e palha em pré-semeadura .....	19
3.6.2 Componentes de produção da soja.....	20
3.7 Análises dos atributos do solo.....	21
3.7.1 Físicos .....	21
3.7.2 Químicos .....	21
3.7.3 Microbiológicos .....	22
3.8 Análise estatística.....	23
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>24</b>
4.1 Biomassa da parte aérea de plantas de cobertura e relação C/N.....	24
4.1.1 Palha em pré-semeadura da soja .....	26

4.2 Teor de nutrientes da fitomassa seca das plantas de cobertura e sucessão no florescimento.....	28
4.3 Atributos do solo.....	31
4.3.1 Atributos físicos.....	31
4.3.2 Atributos químicos.....	35
4.4 Biomassa microbiana do solo e atividade microbiana.....	38
4.4.1 Inverno e verão de 2018.....	38
4.4.2 Inverno e verão de 2019.....	43
4.4.3 Média geral entre invernos e verões de 2018 e 2019.....	47
4.5 Componentes de produção da soja.....	50
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>56</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>72</b>

## LISTAS DE TABELAS

Tabela 1. Resumo da análise de variância para fitomassa seca e relação carbono/nitrogênio no pleno florescimento das culturas de rotação e sucessão e palha sobre o solo em pré-semeadura da soja nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20. ....	24
Tabela 2. Valores médios da fitomassa seca da parte aérea de plantas de cobertura e sucessão de culturas coletadas no pleno florescimento nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20. ....	24
Tabela 3. Palha sobre o solo coletada na pré-semeadura da soja em sistemas de sucessão e rotação de culturas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20. ....	26
Tabela 4. Resumo da análise de variância para teores médios de nutrientes na fitomassa seca das culturas de rotação e sucessão analisadas no pleno florescimento. ....	28
Tabela 5. Teores médios de macronutrientes e micronutrientes da biofitomassa seca da parte aérea de plantas de cobertura e sucessão de culturas. ....	29
Tabela 6. Resumo da análise de variância para macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade e resistência à penetração de sistemas de rotação e sucessão de culturas nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm. ....	32
Tabela 7. Microporsosidade e densidade do solo em sistemas de sucessões e rotações de culturas nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade avaliadas em 2018. ....	32
Tabela 8. Macroporosidade, porosidade total e resistência à penetração de sucessões e rotações de culturas nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade no ano de 2018. ....	34
Tabela 9. Análise dos atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm para rotações e sucessões de culturas no ano de 2017. ....	36
Tabela 10. Análise dos atributos químicos do solo na camada de 10-20 cm para rotações e sucessões de culturas no ano de 2017. ....	37
Tabela 11. Resumo da análise de variância para médias de carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração microbiana (C-CO <sub>2</sub> ), quociente metabólico (qC-CO <sub>2</sub> ), matéria orgânica do solo (M.O) e relação entre carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico do solo (qMIC) do solo em sistemas de rotação e sucessão de culturas avaliados no inverno e verão de 2018. ....	38
Tabela 12. Médias para respiração microbiana (C-CO <sub>2</sub> ), quociente metabólico (qC-CO <sub>2</sub> ), relação entre carbono microbiano e carbono orgânico (qMIC) de sistemas de rotação e sucessão de culturas no inverno e verão de 2018. ....	39
Tabela 13. Resumo da análise de variância para médias de carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração microbiana (C-CO <sub>2</sub> ), quociente metabólico (qC-CO <sub>2</sub> ), matéria orgânica do solo (M.O) e relação entre carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico	

do solo (qMIC) do solo em sistemas de rotação e sucessão de culturas avaliados no inverno e verão de 2019.....	43
Tabela 14. Teor de matéria orgânica do solo cultivado com sucessão, rotação de cultura e vegetação nativa em 2019.....	43
Tabela 15. Médias para carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração microbiana (C-CO <sub>2</sub> ), quociente metabólico (qC-CO <sub>2</sub> ), relação entre carbono microbiano e carbono orgânico (qMIC) de sistemas de rotação e sucessão de culturas no inverno e verão de 2019. ....	45
Tabela 16. Resumo da análise de variância para média geral das épocas e anos para carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração microbiana (C-CO <sub>2</sub> ), quociente metabólico (qC-CO <sub>2</sub> ), matéria orgânica do solo (M.O) e relação entre carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico do solo (qMIC) do solo em sistemas de rotação e sucessão de culturas avaliados no inverno e verão de 2018 e 2019. ....	47
Tabela 17. Média geral para carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração microbiana (C-CO <sub>2</sub> ), quociente metabólico (qC-CO <sub>2</sub> ), relação entre carbono microbiano e carbono orgânico (qMIC) e matéria orgânica do solo de sistemas de rotação e sucessão de culturas, considerando inverno e verão de 2018 e 2019. ....	48
Tabela 18. Coeficientes de correlação de Pearson entre atributos químicos e microbiológicos do solo submetido a diferentes sistemas de rotação, sucessão de culturas e vegetação nativa em 2019.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Tabela 19. Resumo da análise de variância para componentes de produção da soja (número de vagens, grãos por vagem, massa de 1000 grãos e produtividade) em sistemas de sucessão e rotação de culturas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 em Dourados-MS. ....	50
Tabela 20. Médias para número de vagens por planta na safra 2017/18, 2018/19 e 2019/20. ....	51
Tabela 21. Médias para número de grãos por planta (GP) na safra 2017/18, 2018/19 e 2019/20. ....	52
Tabela 22. Médias para número de grãos por vagem (GV) massa de 1000 grãos (MG) de soja em sistemas de sucessão e rotação de culturas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20. ....	52
Tabela 23. Médias para produtividade de grãos em sistemas de sucessão e rotação de culturas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20.....	54

**LISTAS DE FIGURAS**

- Figura 1. Imagem aérea da área experimental, localizada na fazenda experimental de ciências agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados.....15
- Figura 2. Médias para temperatura máxima e mínima (°C) e precipitação (mm) para o período de 90 dias após a semeadura das plantas de cobertura nos anos de 2017, 2018 e 2019. .... 16
- Figura 3. Médias para temperatura máxima e mínima (°C) e precipitação (mm) para o período de 120 dias após a semeadura da soja 2017/18, 2018/19 e 2019/20..... 17
- Figura 4. Carbono da biomassa microbiana de amostras de solo sob rotação e sucessão de culturas no ano de 2018. Barras da mesma cor seguidas das mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ....40
- Figura 5. Resultado da análise de agrupamento dos tratamentos com base nas características microbiológicas médias do solo (T1 = Milho; T2 = Milho + Braquiária; T3 = Milheto; T4 = Aveia branca; T5 = Níger; T6 = Crotalaria spectabilis; T7 = vegetação nativa).....50

NEVES, Jucimar Ferreira. **Impacto de sistemas de culturas em atributos do solo e produção de soja em plantio direto**. 86 f. Tese (doutorado em agronomia, produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS, 2021.

## RESUMO

A busca pelo entendimento do efeito dos sistemas agrícolas na qualidade do agroecossistema é fundamental para a definição de sistemas produtivos eficientes do ponto de vista social, econômico e ambiental. A rotação de culturas caracteriza-se como estratégia na melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, tornando os sistemas agrícolas mais sustentáveis. O objetivo deste trabalho foi avaliar a biomassa seca e a composição química da palha de culturas na segunda safra, os atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo e os componentes produtivos da soja em sistemas de rotação e sucessão de culturas em experimento de longa duração. O experimento foi implantado na Fazenda Experimental de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), no município de Dourados, MS. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com seis tratamentos compostos por duas sucessões (soja/milho e soja/milho+braquiária) e quatro rotações de culturas (milheto, aveia branca, níger e crotalária) no inverno, associado à soja e o milho alternados no verão. Avaliou-se a massa seca das plantas no outono/inverno e os teores de nutrientes no pleno florescimento, a palha sobre o solo na pré-semeadura da soja, as características químicas (teor de nutrientes) e físicas do solo (macroporosidade, microporosidade, densidade e resistência à penetração) nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. Avaliou-se também a biomassa e atividade microbiana na camada de 0-10 cm. O consórcio entre milho + braquiária e o milheto são ótimas opções para produção de massa seca, a crotalária absorve os maiores teores de nutrientes. Os tratamentos de sucessão promoveram menor teor de potássio na camada de 0-10 cm e o milho cultivado solteiro menor teor de fósforo na camada de 10-20 cm. O cultivo de milho solteiro acarretou em menor macroporosidade do solo e o milho consorciado com braquiária maiores valores de resistência à penetração. Maior biomassa microbiana e eficiência no uso do carbono foram observadas nos tratamentos contendo rotação de culturas em relação à sucessão, sobretudo contendo crotalária. Os tratamentos envolvidos na rotação de culturas proporcionaram maior produtividade de soja, com destaque para a sequência envolvendo aveia branca.

**Palavras-chave:** rotação de culturas, sistema plantio direto, microbiologia do solo, *Glycine max*.

NEVES, Jucimar Ferreira. **Impact of culture systems on soil attributes and soybean production in no-tillage**. 86 f. Thesis (PhD in Agronomy- Plant production). Faculty of Agricultural Sciences (FCA), Federal University of Grande Dourados, Dourados-MS, 2021.

## **ABSTRACT**

The search for understanding the effect of agricultural systems on the quality of the agroecosystem is fundamental for the definition of efficient production systems from a social, economic and environmental point of view. Crop rotation is characterized as a strategy to improve the physical, chemical and biological attributes of the soil, making agricultural systems more sustainable. The objective of this work was to evaluate the dry biomass and the chemical composition of the straw of crops in the second harvest, the chemical, physical and microbiological attributes of the soil and the productive components of soybean in crop rotation and succession systems in a long-term experiment. The experiment was implemented at the Agrarian Sciences Experimental Farm of the Federal University of Grande Dourados (UFGD), in the municipality of Dourados, MS. The experimental design used was randomized block, with six treatments composed of two successions (soybean / corn and soybean / corn + brachiaria) and four crop rotations (millet, white oat, niger and sunnhemp) in winter, associated with soybean and the corn alternated in the summer. We evaluated the dry mass of the plants in the autumn / winter and the nutrient content in full flowering, the straw on the soil in the pre-sowing of soybean, the chemical (nutrient content) and physical soil characteristics (macroporosity, microporosity, density and penetration resistance) in the 0-10 and 10-20 cm layers. Biomass and microbial activity were also evaluated in the 0-10 cm layer. The consortium between corn + brachiaria and millet are great options for dry mass production, the sunnhemp absorbs the highest nutrient contents. The succession treatments promoted lower potassium content in the 0-10 cm layer and the single cultivated corn lower phosphorus content in the 10-20 cm layer. The cultivation of single corn led to lower soil macroporosity and corn intercropped with brachiaria higher penetration resistance values. Higher microbial biomass and efficiency in the use of carbon were observed in treatments containing crop rotation in relation to succession, especially containing sunnhemp. The treatments involved in crop rotation provided higher soybean productivity, with the sequence involving white oat standing out.

**Keywords:** crop rotation, no-till, soil microbiology, *Glycine max*.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um grande produtor de alimentos e está entre os maiores produtores de grãos no mundo. Na safra de 2019/2020 alcançou 257,0 milhões de toneladas de grãos, deste montante destacam-se as culturas de soja e milho, responsáveis por 49% e 39% do total produzido respectivamente, muito em função do cultivo de ambas as culturas na mesma safra em sucessão. Mato Grosso do Sul é atualmente o quinto maior produtor de grãos entre os estados brasileiros, com produção estimada em 20,5 milhões de toneladas, tendo soja e milho como culturas principais (CONAB, 2020).

Do ponto de vista econômico, a sucessão de culturas (soja/milho) presente em maior parte das áreas agrícolas é uma modalidade importante para a viabilização da agricultura brasileira, o mercado favorável à cultura da soja e do milho tem levado os produtores a adotarem a monocultura ou mesmo a simples sucessão por vários anos consecutivos, principalmente na região de Cerrado. No entanto, a prática da sucessão de culturas, extremamente praticada no Brasil tende a provocar a degradação física, química e biológica do solo e cria condições favoráveis para o desenvolvimento de doenças e pragas, por se tratar de um número reduzido de espécies, muitas vezes, hospedeiras de diversos agentes causais em comum (SEDIYAMA, 2009).

A busca pelo entendimento do efeito dos sistemas agrícolas na qualidade dos ambientes produtivos é de suma importância para a definição de manejos adequados, que impedem a degradação do solo e ambiental, pois, há dificuldades em quantificar e classificar as melhores práticas de manejo agrícola, devido à complexidade das interações solo/planta/atmosfera e à falta de conhecimento de suas inúmeras inter-relações. Neste cenário, o entendimento dos sistemas conservacionistas de cultivo destaca-se como uma das estratégias eficazes para aumentar a sustentabilidade da agricultura nas regiões tropicais e subtropicais do mundo.

No cerrado brasileiro, o sistema plantio direto (SPD) mostra-se uma ótima opção para garantir a sustentabilidade agrícola (SÁ et al., 2014). Sua adoção promove o acúmulo dos resíduos vegetais na superfície do solo, causando o contínuo aporte de matéria orgânica na camada superficial e melhorias nos seus atributos físicos e químicos (GUARESCHI et al., 2012; ZOTARELLI et al., 2012; GHIMIRE et al., 2018). O aumento do teor de carbono na camada superficial, associado às raízes das plantas de cobertura e das culturas comerciais após serem manejadas ou colhidas, proporciona a recuperação e a estruturação do solo

(LIMA et al., 2013), aumenta a ciclagem e disponibilidade de nutrientes na solução do solo (CALEGARI et al., 2013), melhora a atividade biológica, reduz as flutuações da temperatura do solo e a densidade de plantas daninhas (NASCENTE et al., 2012 OLIVEIRA et al., 2011).

Todavia, a obtenção de resíduos vegetais para a cobertura do solo em áreas sob SPD tem se mostrado um desafio, principalmente devido à baixa produção de fitomassa na entressafra e à decomposição acelerada dos resíduos, contudo é preciso pensar não só na quantidade, mas também na qualidade da biomassa das espécies de cobertura do solo e seus efeitos na cultura em sucessão, na maioria dos casos, a soja (ENSINAS et al., 2016; BRESSAN et al., 2013).

A rotação de culturas com plantas de cobertura é importante para restaurar a qualidade do solo em áreas degradadas pelo preparo intensivo, a utilização das diferentes coberturas causa alterações positivas nos atributos do solo, principalmente da camada superficial (TORRES et al. 2015a). A produção de palha deve ser suficiente para manter o solo coberto durante todo o ano, evitando que as áreas fiquem em pousio durante o inverno (ANDREOTTI et al., 2008). Na agricultura mundial, a perda de nutrientes por escoamento superficial e lixiviação são preocupações ambientais significativas, especialmente em sistemas de pousio (YEO et al., 2014).

Na escolha de culturas a serem inseridas no sistema de rotação, principalmente no cultivo de outono/inverno, é preciso considerar a sua adaptação à região e às condições a que serão expostas, levar em consideração a produtividade de fitomassa, disponibilidade de sementes, adequação às condições do solo, regime hídrico, a possibilidade de utilização comercial, melhorias no solo e o potencial dessas plantas serem hospedeiras de pragas e doenças prejudiciais à cultura principal (ALVARENGA et al., 2001; BORGES et al., 2015).

Testes regionais de longo prazo podem servir como ferramentas importantes para avaliar o impacto de várias práticas de manejo na produtividade das culturas, na qualidade do solo e na sustentabilidade ambiental e econômica (VAN EERD et al., 2014).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos dos sistemas de rotação e sucessão de culturas na biomassa seca e composição química da palha, nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, bem como, nas respostas produtivas da soja subsequente em experimento de longa duração.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Sistema plantio direto e rotação de culturas

Historicamente o sistema plantio direto (SPD) tem sido reconhecido como uma importante prática para a sustentabilidade de sistemas intensivos de produção agrícola, devido aos benefícios, tais como, aumento da infiltração e disponibilidade de água para as plantas, menor taxa perda de solo e nutrientes por erosão, estruturação física do solo, maior biodiversidade microbiologia e menor consumo de combustível e insumos, em comparação ao plantio convencional (SOANE et al., 2012).

Os efeitos combinados dos três princípios do SPD sobre o rendimento de grãos das culturas subsequentes são reduzidos quando se utiliza qualquer princípio isolado ou dois apenas, indicando que os resultados positivos desse sistema de manejo são dependentes do sinergismo entre os três componentes, cobertura permanente, ausência de revolvimento do solo e rotação de culturas (KODZWA et al., 2020). Munkholm et al. (2013) chegaram à mesma conclusão correlacionando qualidade do solo à produtividade grãos, no qual o plantio direto sem rotação de culturas foi menos eficiente.

A rotação de culturas é o princípio mais negligenciado nas lavouras do país, apesar de seus benefícios. É uma prática que promove a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, auxilia no controle e na redução de plantas daninhas, pragas e doenças, contribui com a reposição da matéria orgânica, proteção do solo contra a ação de agentes climáticos, aumenta a estabilidade da produção e potencializa os efeitos da semeadura direta, entretanto, a escolha das espécies adequadas para cada região e a ausência de lucro imediato são fatores que pesam contra essa prática (DA SILVA et al., 2017).

O planejamento de rotações de culturas depende das particularidades de cada região, entretanto, o cultivo contínuo de espécies comerciais ou a utilização de uma única espécie de cobertura, como ocorre na região dos cerrados com o milheto, ou mesmo uma sucessão específica por vários anos pode provocar problemas semelhantes à monocultura, assim, é fundamental a diversificação de espécies produtoras de palhada visando dentre outros, mobilizar os nutrientes na camada superficial e subsuperficial, retendo-os em sua fitomassa e devolvendo-os ao solo durante a decomposição (CALEGARI et al., 2006).

As plantas de cobertura são de grande importância para a agricultura, são opções viáveis e de baixo custo para rotação em ocasiões de risco econômico com as espécies normalmente cultivadas, promovendo a cobertura permanente do solo durante a entressafra

(BORGES et al., 2014). De acordo com Amado et al. (2010), o cultivo de soja sob sistema de plantio direto com rotação de culturas e o uso de culturas de cobertura são essenciais para se alcançar elevado rendimento de grãos.

## 2.2 Espécies para rotação de culturas

Espécies de plantas para cobertura do solo devem exercer multifunções no ambiente de cultivo, com destaque para produção de grandes quantidades de biomassa, fixar nitrogênio, reciclar nutrientes, ter baixa exigência nutricional e não ser hospedeira de pragas ou doenças das culturas principais (SALTON et al., 1998), porém, na impossibilidade de reunir todas essas características em uma única espécie é indicado escolher aquelas que reúnam o maior número de benefícios para cada situação e priorizar a principal função a ser executada pelas mesmas (XAVIER et al., 2017).

As principais espécies utilizadas em rotação de culturas pertencem às famílias *Fabaceae* e *Poaceae*, uma vez que, as plantas da família das *Fabaceae* fixam nitrogênio e favorecem maior densidade relativa de microrganismos do solo, e as gramíneas promovem maior cobertura do solo e aproveitamento dos nutrientes (SANTOS et al., 2008).

De modo geral, há falta de opção de culturas para o cerrado, com predominância do cultivo de soja no verão e do milho em sucessão em locais onde há precipitação pluvial suficiente. O milho é a principal escolha dos agricultores, por ser uma cultura que apresenta ampla adaptação, estando presente em todas as regiões do país, em grandes ou pequenas escalas, com alto potencial de produção de grãos e palha. Todavia, é importante salientar que o milho, apesar de ser uma boa opção para a produção de palha, muitas vezes é cultivado em condições ambientais desfavoráveis para alcançar produtividades economicamente rentáveis (RICHETTI et al., 2013).

A consorciação de espécies é uma estratégia crescente para aumentar a produção de palha no cerrado, adotada com sucesso no consórcio entre milho e forrageiras e em alguns casos entre gramíneas e leguminosas, que traz como vantagens, a maior produção de biomassa, aumento e diversificação na reciclagem de nutrientes e nas taxas de mineralização, além de proporcionar cobertura aliada a fixação biológica de nitrogênio, portanto, a palha dessas plantas é mais interessante para a composição de um sistema de rotação de culturas ou como contribuição para a nutrição das culturas subsequentes (GIACOMINI et al., 2004).

Avaliando uma mistura entre centeio, aveia, rabanete, nabo e trevo após três anos, Chu et al. (2017) observaram que houve aumento no teor de água disponível e nitrogênio

inorgânico no solo, associado ao aumento no rendimento da soja em sucessão, quando comparado às mesmas culturas solteiras.

O cultivo simultâneo de milho com gramíneas é uma escolha viável para produção de grãos e palha no sistema plantio direto. Destaca-se pelo potencial na produção de fitomassa, redução da incidência de doenças, pragas e plantas daninhas quando comparado ao milho solteiro. A quantidade de biomassa seca depositada sobre o solo nesse sistema pode chegar a 16 ton ha<sup>-1</sup> (SALTON et al., 2012).

No trabalho realizado por Teixeira et al. (2009), o consórcio de milho com forrageiras de gênero *Brachiaria* produziu 12.450 kg ha<sup>-1</sup> de matéria seca, contra 6.900 kg ha<sup>-1</sup> do milho solteiro, proporcionando maior cobertura do solo. A cobertura do solo por palhada no estudo de Ceccon et al., (2013) foi maior no consórcio milho + braquiária (82%) e braquiária solteira (94%) quando comparado ao milho solteiro (30%).

Vários trabalhos avaliando o consórcio de milho + braquiária em sistemas de integração lavoura pecuária tem demonstrado melhorias nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, resultando na intensificação do uso do solo e ganhos produtivos (MENDONÇA et al., 2015). Kichel et al. (2014), observaram ganho produtivo de 720 kg ha<sup>-1</sup> de grãos de soja no sistema com capins em relação à soja cultivada sobre palha do milho em monocultivo.

Apesar das vantagens potenciais, em sistemas multiespécies é difícil entender os efeitos dos diferentes fatores que interagem dentro desses sistemas, devido à ausência de modelos eficientes para entender as inter-relações que ocorrem nos microbiomas, abaixo e acima do solo (MALÉZIEUX et al., 2009).

Em diversas regiões do Brasil, a adoção do sistema plantio direto é crescente, havendo uma busca constante por plantas de cobertura que possam produzir quantidade de biomassa suficiente para o sistema e, conseqüentemente manter ou elevar a fertilidade do solo e a produtividade das culturas de interesse (SILVA et al., 2014a). Para a produção suficiente de fitomassa é desejável plantas que possuem crescimento inicial rápido, alta produção de palha e equilíbrio na reação C/N. (LIMA FILHO et al., 2014).

Além do milho e o consórcio entre milho e forrageiras, há outras espécies com potencial para rotação de culturas na segunda safra, como milheto (*Pennisetum glaucum*) aveia branca (*Avena sativa*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus*), crotalária (*Crotalaria spectabilis*), níger (*Guizotia abyssinica*) e ervilhaca peluda (*Vicia villosa*), que

proporcionam benefícios ao sistema produtivo quando são inseridas na rotação com culturas como soja e milho (CORTEZ et al., 2008).

No Cerrado central, o milheto é uma gramínea muito cultivada, mesmo em condições de baixa umidade e fertilidade, é uma planta de ciclo curto, com alto potencial para produção de biomassa seca, normalmente com valores entre 5 e 10 ton ha<sup>-1</sup> (LIMA, 2009). Seu sistema radicular profundo permite ciclagem de nutrientes em quantidades consideráveis, deixando-os disponíveis às culturas subsequentes (MARCANTE et al., 2011). Devido à sua alta relação C/N, fornece palha duradoura na superfície do solo, ressalva-se que, quando manejado na fase de floração, se o período entre o manejo da palha e a semeadura da cultura subsequente for muito prolongado, ocorrerá redução da cobertura do solo no momento da implantação da cultura principal (CARPIM et al., 2008).

Dentre as características mais desejadas nas espécies com potencial para cobertura do solo, cita-se a redução na infestação de plantas daninhas, nesse contexto, a aveia branca surge como uma das principais opções, devido a seu efeito alelopático em relação às plantas daninhas, além do que, é uma espécie com alta adaptabilidade climática dentre os vários cereais de inverno existentes (CASTRO et al., 2012).

Na região Centro-Sul, a cultura da aveia desempenha grande papel nos sistemas de produção, além da produção de grãos e palha, caracteriza-se como uma das alternativas para a utilização na nutrição animal (LOPES et al., 2009). No Cerrado, o objetivo principal do cultivo da aveia é como alternativa para formação de palhada e produção de grãos, é uma das principais opções para cultivo na estação mais fria, ou no final da janela do milho segunda safra (FLOSS et al., 2007). O cultivo da aveia, em sistema de semeadura direta é bastante difundido, devido ao alto rendimento de palhada, facilidade de aquisição de sementes e de implantação, rusticidade, rapidez de formação de cobertura, decomposição lenta e ciclo adequado (SILVA et al., 2006).

As espécies da família *Fabaceae* também são de suma importância nos sistemas agrícolas, a *Crotalaria spectabilis* por exemplo é uma leguminosa e destaca-se pelo ótimo potencial para fixação de nitrogênio atmosférico e caracteriza-se como má hospedeira de nematoides formadores de galhas, cistos e lesões radiculares, é a espécie mais utilizada no consórcio com milho de segunda safra, com o objetivo de reduzir a população de nematoides e fixar nitrogênio. As plantas normalmente crescem até 1,5 metros de altura, produz de 20 a 30 ton ha<sup>-1</sup> de matéria verde e 4 a 6 de matéria seca, com capacidade para fixar acima de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N no solo (WUTKE et al., 2007).

Segundo Cunha et al. (2011), leguminosas ocasionam efeito positivo nos estoques de matéria orgânica do solo, normalmente elas geram aumento da produtividade das culturas comerciais em sucessão, favorecem a biomassa microbiana e a ciclagem de nutrientes.

Mais recentemente, com o Programa Nacional de Biodiesel, diversas culturas como canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*), cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), níger (*Guizothia abyssinica*), crambe (*Crambe abyssinica* Hoechst) e girassol (*Helianthus annuus*) passaram a ser opção de cultivo comercial, principalmente de inverno, proporcionando alternativas de rotação e diversificação de culturas e renda, com ótima viabilidade econômica (AMBROSANO, 2012).

Apesar de não surtir o impacto esperado, tal iniciativa permitiu ampliar as opções de espécies a serem cultivadas no país, a exemplo do níger, uma Asteraceae anual que chega a produzir 600 kg ha<sup>-1</sup> de grãos quando bem manejada (GETINET; SHARMA, 1996). Suas sementes contêm 30% de teor de óleo, rico ácido linoleico, benéfico à saúde humana (SARIN et al., 2009). Segundo Carneiro et al. (2008), o níger deve ser considerado uma espécie promissora para a produção de fitomassa quando utilizada como cobertura do solo, possui ciclo curto e está associada ao aumento da atividade de fungos micorrízicos no solo.

Mediante à grande diversidade de espécies disponíveis, solos e condições climáticas no país, são necessárias avaliações de cunho local para identificar as melhores opções de culturas a serem utilizadas nos sistemas de rotação (VAN EERD et al., 2014).

### **2.3 Ciclagem de nutrientes**

A ciclagem de nutrientes é considerada um dos maiores benefícios proporcionados pela rotação de culturas, compreender o padrão de decomposição e ciclagem de nutrientes em cada espécie, também é fundamental na seleção de culturas de cobertura, pois permite a sincronização entre a demanda de nutrientes de uma cultura de interesse econômico e a liberação de nutrientes dos resíduos. Como a persistência da palha é um fator que depende, além da espécie vegetal, das condições climáticas e de manejo, torna-se difícil uma recomendação generalizada da cultura a ser utilizada (CALONEGO et al., 2012).

O acúmulo de nutrientes sofre forte influência do rendimento de fitomassa seca da parte aérea do que pela composição química dos tecidos vegetais, sendo assim, é importante escolher espécies com elevado potencial de produção de palha, principalmente em regiões tropicais, onde a decomposição é mais acelerada (PISSINATI et al., 2016).

Pereira et al. (2017) avaliando gramíneas e leguminosas de cobertura, observaram que quando cultivadas no verão, as plantas podem absorver e ciclar elevados valores de nutrientes, próximo a 800 kg ha de nitrogênio (crotalária), 75 kg ha de fósforo (crotalária), 537 kg ha de potássio (feijão de porco), 674 kg ha de cálcio (feijão de porco) 92 kg ha de magnésio (crotalária) 39 kg ha de enxofre (crotalária), além de 295 kg há de cobre, 908 kg há de zinco, 3531 kg há de manganês e 794 kg de boro, todos os quatro últimos na crotalária respectivamente. No trabalho dos autores a crotalária atingiu valores acima de 22 toneladas de matéria seca, o que destaca a importância da quantidade de massa seca na ciclagem de nutrientes.

Crusciol et al. (2008) destacam que a persistência do resíduo, a capacidade de mobilização de nutrientes e o sincronismo entre a liberação e a necessidade da cultura subsequente estão entre as principais características requeridas em plantas de cobertura, tanto solteiras, quanto consorciadas.

Os adubos verdes são de grande importância para a agricultura, pois promovem uma ciclagem mais rápida de nutrientes, promovendo seu uso na safra seguinte, particularmente daqueles elementos com potencial de lixiviação, como nitrogênio e cátions trocáveis, ou aqueles que podem ser relativamente fáceis de reter em solos intemperizados, como fósforo (RODRIGUES et al., 2012). Reis et al. (2017) observaram que as leguminosas aumentaram eficientemente os níveis de N e P em plantas de arroz, e a produtividade de grãos de arroz em relação ao nabo e o pousio, fato que evidencia a importância da escolha das espécies na dinâmica de fornecer nutrientes para a cultura subsequente.

Com o uso de gramíneas, que possui uma relação C/N mais alta, a taxa de decomposição é mais lenta do que as leguminosas, o que permite a maior persistência de palha na superfície do solo por maior espaço de tempo. Por outro lado, o aporte de nutrientes e a taxa de mineralização mais rápida das leguminosas tornam a palhada dessas plantas mais atrativas para a composição de um sistema de rotação de culturas, porém é importante considerar que em condições tropicais é necessário manter ou aumentar os níveis de matéria orgânica do solo. Sendo assim, parece viável que a associação gramínea/leguminosa possa favorecer esses objetivos (RODRIGUES et al., 2012).

A cobertura de aveia preta aumentou as concentrações de P, Ca e Mg nas folhas de milho, de N e P nas folhas de soja e a manutenção do resíduo de aveia preta sobre a superfície do solo no sistema plantio direto ocasionou acréscimo da ordem de 5 % no rendimento de milho no trabalho realizado por Caires et al. (2006).

O processo de decomposição é influenciado pela quantidade e a qualidade do substrato orgânico, que está relacionada aos constituintes orgânicos (carbono, nitrogênio, celulose, hemicelulose, polifenóis e lignina), conteúdo de nutrientes, condições climáticas e a comunidade microbiana envolvida no consumo do material depositado (XAVIER et al., 2017).

No caso das leguminosas por exemplo, Aita et al. (2004) afirmam que devido a rápida decomposição dos resíduos culturais, para aumentar a eficiência no aproveitamento do nitrogênio, a semeadura da cultura subsequente deva ser feita o mais próximo possível do manejo da leguminosa, pois, grande parte do N contido no tecido vegetal das leguminosas é liberado no primeiro mês após o manejo dessas espécies

A compreensão do padrão de decomposição e liberação de nutrientes é fundamental na seleção de culturas de cobertura, pois isso permite um planejamento adequado e um uso mais eficiente dos benefícios da tecnologia, como a sincronização entre a demanda de nutrientes de uma cultura de interesse econômico e a liberação de nutrientes dos resíduos. Há muita variação no potencial preditivo desses índices na literatura, sugerindo que o uso deles como parâmetros para entender melhor a dinâmica da decomposição e liberação de nutrientes é limitado e depende do tipo de material vegetal, solo, local e condições climáticas (XAVIER et al., 2017).

## **2.4 Efeito das plantas de cobertura nos atributos do solo**

### **2.4.1 Microbiologia do solo**

A biomassa microbiana do solo e seus componentes são positivamente correlacionados com as mudanças na saúde do solo, cerca de 75% das pesquisas apontam essa correlação segundo Mendes (2016), pois desempenha papel fundamental na produtividade e na manutenção dos ecossistemas, atua como um catalisador das importantes transformações químicas no solo e constitui um reservatório de nutrientes disponíveis às plantas, por pertencer ao componente lábil da matéria orgânica do solo e possuir atividade influenciada pelas condições bióticas e abióticas. Sistemas de manejo que condicionam aumentos em atributos biológicos associados à biomassa microbiana proporcionam incremento na ciclagem de nutrientes e energia no sistema solo (CUNHA et al., 2011).

Além da necessidade de monitoramento e avaliação constantes dos processos físico-químicos e biológicos para alcançar uma melhor saúde do solo e produtividade, é imprescindível ter em mente que os microrganismos do solo são os principais agentes da

ciclagem de nutrientes e também possuem uma interação complexa com as plantas. Qualquer estratégia de uso da terra que contribua para um melhor equilíbrio dos microrganismos do solo é capaz de resultar em maior produtividade das culturas, reduzir custo de produção e minimizar o uso de fertilizantes minerais ou pesticidas e garantir a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (CARDOSO et al., 2013).

Além do efeito sobre os microrganismos do solo, há efeito significativo das plantas de cobertura sobre os grupos taxonômicos e densidade relativa da macrofauna e microfauna edáfica. As plantas de cobertura da família leguminosa favorecem maior densidade relativa de invertebrados do solo, e as gramíneas favorecem os grupos da serapilheira (SANTOS et al., 2008; BALOTA, 2017).

A respiração e a biomassa microbiana são métodos simples para descrever a condição geral dos solos. A espécie de planta presente na área, assim como a qualidade do substrato nas camadas superficiais do solo afetam diretamente a dinâmica microbiana (JÓZEFOWSKA et al., 2017). Conforme Mendes et al. (2019), valores adequados para biomassa microbiana situam-se acima de 416 mg C kg<sup>-1</sup>.

Frasier et al. (2016) afirmam que a melhoria da saúde biológica é crucial para a recuperação de solos degradados, uma vez que o componente vivo do solo é essencial para as funções e serviços do ecossistema, conforme os mesmos, é possível criar sistemas agrícolas com maior diversidade microbiana do solo, melhor ciclagem de nutrientes e mais sequestro de C e N, aumentando a diversidade acima do solo (consórcios), mantendo uma rizosfera ativa ao longo do ano e incluindo uma fonte biológica de nitrogênio em substituição aos fertilizantes sintéticos, no caso, leguminosas. Lourente et al. (2011) demonstraram que há correlação positiva entre os teores de nitrogênio orgânico, carbono orgânico, fósforo orgânico e carbono da biomassa microbiana com os atributos químicos de fertilidade do solo, demonstrando a interdependência entre a química e a biologia dos agroecossistemas.

As abordagens de diversidade de espécies nos sistemas de produção melhoram a saúde do solo, a diversidade e a competição entre plantas aumentam efetivamente a extensão das raízes, o que leva ao uso mais eficiente dos recursos no tempo e no espaço. As interações entre os processos físico, biológico e químico da rizosfera afetam a maneira pela qual os nutrientes são ciclados nos cultivos diversos em comparação com as culturas individuais (BALOTA et al., 2014; EHRMAM; HITZ, 2014).

A rotação das culturas promove equilíbrio no microbioma e desfavorece os patógenos, assim, além da ausência do hospedeiro preferencial, o rodízio de espécies aumenta

a microbiota do solo e com isso, a competição por recursos, o que ocasiona em muitos casos, a supressividade a patógenos e doenças (REIS et al., 2011). Conforme Eisenhauer (2012), as culturas, quando cultivadas em combinação ou alternância com outras espécies sofrem menos redução de produtividade e danos devido à incidência de pragas e doenças do que quando cultivadas isoladas. O autor destaca que comunidades de plantas pobres em espécies experimentam maior pressão patogênica do que as ricas em espécies.

#### **2.4.2 Física do solo**

A utilização de plantas de cobertura de solo, como fonte de resíduos vegetais e material orgânico tem sido correlacionado à qualidade física do solo, influenciando principalmente na estabilidade de agregados (VASCONCELOS et al., 2010).

O aumento da quantidade de resíduos culturais sobre o solo pode contribuir para diminuição das restrições físicas do solo às plantas, em razão do incremento nos teores de água no solo e manutenção dos seus valores dentro dos limites do intervalo hídrico ótimo para a crescimento das plantas (BLAINSKI et al., 2012).

Realizando a avaliação visual da estrutura do solo, Munkholm et al. (2013) concluíram que há efeito positivo da rotação diversificada na qualidade do solo, especialmente sob plantio direto. Concluíram também que era necessária uma rotação diversa das culturas para um desempenho ideal do sistema plantio direto, ou seja, a sustentabilidade é promovida quando o plantio direto é combinado com rotação de culturas, culturas de cobertura e manejo de resíduos, que conseqüentemente resultou na correlação positiva entre o rendimento das culturas e os escores visuais da estrutura do solo. O aumento da qualidade estrutural do solo possibilita o melhor desenvolvimento do sistema radicular das plantas, da fauna do solo e do fluxo de ar e água e conseqüente aumento na absorção de nutrientes (SALTON et al., 2008).

Após 18 meses de plantio direto, avaliando a diferença entre descompactação mecânica e utilização de plantas de cobertura, Da Silveira Junior et al. (2012) observaram praticamente a mesma qualidade física, para densidade do solo, porosidade, permeabilidade ao ar e continuidade de poros, constataram limitada persistência do efeito da escarificação como tentativa de melhorar a qualidade física de um Latossolo de textura argilosa quando o grau de compactação inicial não era restritivo ao crescimento de plantas. Por fim, concluíram que os sistemas de culturas estudados são eficientes na produção de palha, e capazes de preservar os atributos físicos do solo, eliminando a necessidade de intervenção mecânica.

As raízes de *Crotalaria juncea*, por exemplo, podem crescer em camadas de solo compactado e desenvolver maior número e raízes laterais finas nesta camada, contribuindo assim para a formação de bioporos e melhorando as condições físicas do solo (FOLONI et al., 2006).

Analisando a infiltração de água no solo por dois anos com escarificação mecânica e rotação de culturas, Prando et al. (2010) observaram que o manejo do solo com escarificação proporciona maior infiltração de água no solo apenas no primeiro ano de trabalho, posteriormente, a atividade do sistema radicular das espécies nas parcelas sem escarificação aumentou a velocidade de infiltração da água no solo, independente da cultura.

### 2.4.3 Química do solo

O aumento do sistema de semeadura direta tem desencadeado uma série de mudanças nas propriedades químicas e físicas do solo, especialmente quanto à disponibilidade e dinâmica de nutrientes. As mudanças no estilo de agricultura praticada têm levado à acumulação de nutrientes, especialmente de Ca, Mg, K e P nas camadas superficiais do solo, visto que, com a adubação a lanço e o não revolvimento do solo verifica-se o acúmulo de nutrientes no tecido das plantas cultivadas, com posterior liberação desses nutrientes nas camadas superficiais (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

Os atributos químicos do solo são variáveis, sofrendo influência de fatores como; espécie utilizada, manejo dado à biomassa, época de plantio e corte das plantas, tempo de permanência dos resíduos no solo, condições locais, microbiota do solo e interação entre esses fatores (PAVINATO; ROSOLEM, 2008; BORGES et al., 2014).

Dentre os mecanismos responsáveis pela melhoria das características químicas do solo com a aplicação de resíduos vegetais, destacam-se a sorção de hidrogênio e alumínio na superfície do material vegetal, a complexação do alumínio por compostos orgânicos, a troca de ligantes entre os grupos funcionais hidroxilas dos oxihidróxidos de ferro e alumínio e os ânions orgânicos, e o aumento do potencial de oxidação biológica de ânions orgânicos (FRANCHINI et al., 2003).

Sistemas com alto aporte de resíduos orgânicos reduzem as perdas de potássio por lixiviação, o contrário ocorre em sistemas com baixo aporte de resíduos orgânicos, por ficar mais livre em solução pela menor força de adsorção nos sítios de troca do solo (DUIKER; BEEGLE, 2006).

Os resíduos de plantas contêm ácidos orgânicos em concentrações que mudam de acordo com o sistema fotossintético da planta (C3, C4, CAM), com o estado nutricional e com a idade. Os ânions orgânicos são mais abundantes nas plantas na época de pleno crescimento vegetativo, ou início do florescimento, reduzindo-se com a idade fisiológica da planta e conseqüentemente sua capacidade em neutralizar alumínio no solo (FRANCHINI et al., 2001).

Corroborando, Andrioli e Melo Prado (2012) também observaram aumento significativo no teor de matéria orgânica, de 17 para 23 g dm<sup>3</sup> na camada superficial de solos cultivados em sistema convencional comparados a solos sob semeadura direta com cultivo de braquiária brizantha, milho, crotalária (juncea), feijão lab lab, conseqüentemente houve aumento do pH, redução nos teores de alumínio na ordem de até 290% e aumento significativa nos teores de cátions (Ca, Mg, K). Com relação às quatro espécies citadas, os autores identificaram maiores quantidades de cálcio e magnésio nos solos cultivados com crotalária e maior quantidade de potássio sob cultivo de milho.

As gramíneas tendem propiciarem maiores valores dos atributos químicos do solo, destacando-se o milho, quanto aos teores de potássio, fósforo (nas camadas mais profundas) e ferro, o capim mombaça, quanto aos teores de magnésio e o milho consorciado com braquiária, quanto aos teores de cobre e zinco. Entre as leguminosas, a crotalária destaca-se, quanto aos teores de cálcio. De maneira geral, os solos cultivados sob gramíneas apresentaram melhora na fertilidade, quando comparado ao cultivo com leguminosas, fato associado ao maior volume de raízes, conseqüentemente, maior ciclagem de nutrientes (TORRES; PEREIRA, 2008).

Todavia, contrapondo os autores acima, Da Silva et al. (2017) observaram maiores teores de potássio cultivado sob feijão guandu, que é uma leguminosa, apesar disso, o milho foi a segunda cultura que mais proporcionou aumento de potássio disponível no solo. Esses autores também destacam o bom desempenho do consórcio entre milho e mucuna na ciclagem de fósforo e cálcio na camada arável. Contudo, tais efeitos foram observados apenas nos primeiros 5 cm de profundidade, assim como descrito por Pavinato e Rosolem (2008).

Nem sempre são observados efeitos das culturas de cobertura de solo em rotação sobre as características químicas do solo, principalmente a curto prazo (BORGES et al., 2014). No trabalho de Cunha et al. (2011), os tratamentos compostos por crotalária, guandu, mucuna-preta, sorgo vassoura e pousio (vegetação espontânea) não influenciaram nos

atributos químicos do solo. Favarato et al. (2015) também não identificaram interferência de culturas de cobertura nas características químicas do solo em experimentos de dois anos.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local do experimento

O experimento foi implantado na Fazenda Experimental de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (Figura 1), no município de Dourados-MS, com coordenadas geográficas de latitude de 22° 14' S, longitude de 54° 59' W e altitude de 455 metros. O clima predominante, segundo a classificação de Köppen e Geiger, é Cwa (clima mesotérmico úmido, verões quentes e invernos secos), com precipitação média anual de 1.428 mm, a temperatura média anual é de 22,2 °C, a média mínima é de 17,2 °C e a média máxima anual é de 29,0 °C (FIETZ; FISCH, 2008). O solo predominante na área experimental é o Latossolo Vermelho Distroférico (SANTOS et al., 2013) de textura muito argilosa, contendo 615 g kg<sup>-1</sup> de argila, 244 g kg<sup>-1</sup> de areia e 141 g kg<sup>-1</sup> de silte (PAIM, 2016).



Fonte: portal.ufgd.edu.br

**Figura 2.** Imagem aérea da área experimental, localizada na fazenda experimental de ciências agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados.

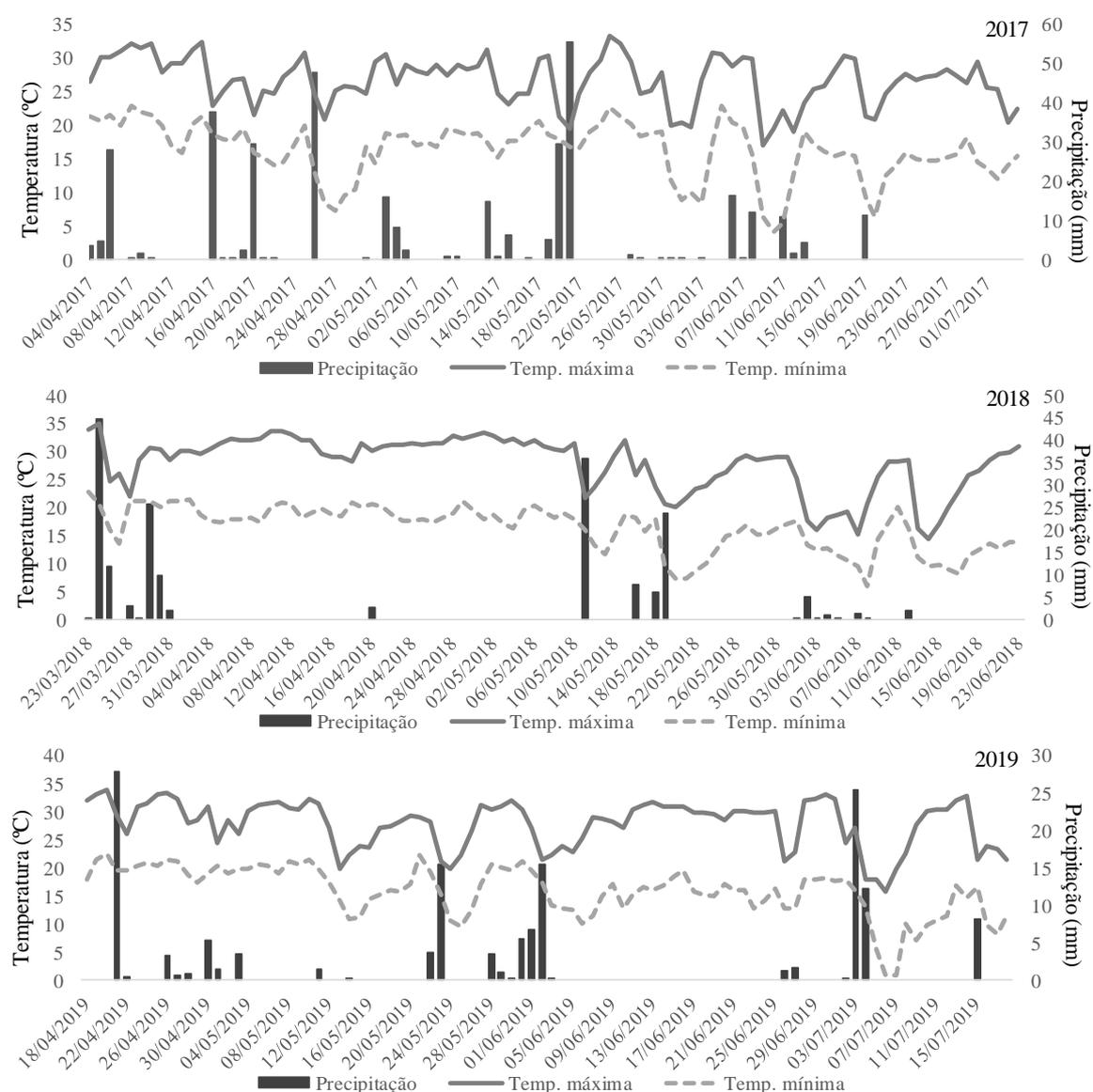
#### 3.2 Histórico da área

O experimento foi iniciado na área em 2009, após correção e preparo do solo. Desde então, os tratamentos de sucessão de culturas, caracterizado pelo cultivo de soja na primeira safra e milho solteiro ou milho + braquiária na segunda safra foram implantados todos os anos no mesmo local. No caso das parcelas com rotação de culturas, a soja e o milho alternaram-se nas mesmas parcelas ao longo dos anos. Os tratamentos utilizados na segunda

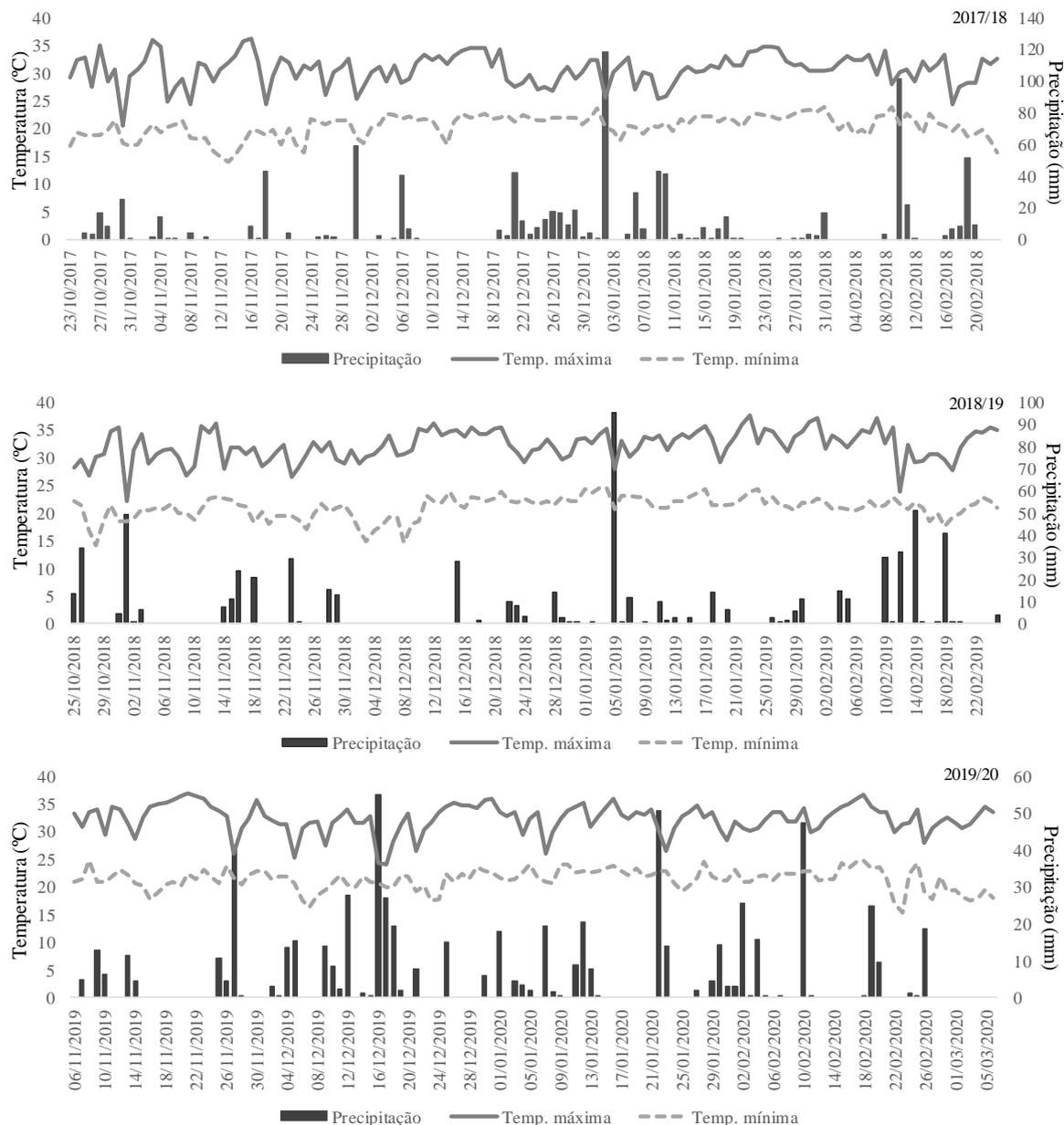
safrá (outono/inverno) também se revezavam, ou seja, a soja, o milho e as plantas utilizadas na segunda safrá só voltavam no mesmo local após dois anos. Em 2017, a área recebeu uma calagem, com intuito de aumentar os teores de magnésio do solo. Cada parcela recebeu a dose definida a partir da interpretação da análise de solo.

### 3.3 Dados climáticos

Os dados climáticos referentes aos valores médios de precipitação pluviométrica e de temperaturas máxima e mínima foram obtidas na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no município de Dourados, MS, durante os períodos de avaliação do experimento (Figuras 2 e 3).



**Figura 3.** Médias para temperatura máxima e mínima (°C) e precipitação (mm) para o período de 90 dias após a semeadura das plantas de cobertura nos anos de 2017, 2018 e 2019.



**Figura 4.** Médias para temperatura máxima e mínima (°C) e precipitação (mm) para o período de 120 dias após a semeadura da soja 2017/18, 2018/19 e 2019/20.

Na Figura 2 estão os dados referentes aos cultivos de segunda safra, na Figura 3 os dados do cultivo da soja, nos anos agrícolas de 2017/18 e 2018/19 e 2019/20. Os dados coletados contemplam 90 dias para as culturas de cobertura e sucessão, iniciando no dia da semeadura e para a soja, os dados climáticos foram acompanhados por um período de 120 dias. A coleta das informações em relação ao cultivo de outono/inverno iniciaram dia 04/04, 24/03 e 18/04 de 2017, 2018 e 2019 respectivamente. No cultivo da soja os dados foram coletados a partir dos dias 23/10, 25/10 e 05/11 dos anos 2017, 2018 e 2019.

### 3.4 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram de dois sistemas de sucessão de culturas, sendo; (1) soja (*Glycine max* (L.) Merrill) na primeira safra e milho (*Zea mays* L.) segunda, (2) soja (*Glycine max* (L.) Merrill) na primeira e milho + braquiária (*Zea mays* L. + *Urochloa ruziziensis*) na segunda e 4 rotações de culturas antecedendo a soja, (3) milho (*Pennisetum glaucum* L.), (4) aveia branca (*Avena sativa*), (5) níger (*Guizothia abyssinica*), e (6) crotalária (*Crotalaria spectabilis*).

Os tratamentos de sucessão 1 e 2 foram sempre cultivados com as sucessões acima descritas, os tratamentos 3 a 6 foram cultivados sempre na segunda safra em um sistema de rotação no qual as parcelas são duplicadas, do modo que, elas possam alternar com outras espécies de cobertura de solo e a soja e o milho possam se alternar na primeira safra, desta forma, tanto a soja, quanto as culturas de cobertura retornam na mesma área apenas após 2 anos. Milho alternou com canola nas safras de inverno 2016 e 2017 e com trigo mourisco em 2018 e 2019. Aveia alternou com níger nas últimas quatro safras, e vice-versa, *Crot. spectabilis* alternou com ervilhaca + aveia nas últimas quatro safras (Anexo 1).

### 3.5 Instalação e condução

#### 3.5.1 Culturas de cobertura e sucessão

As unidades experimentais contêm 15 m de largura por 35 m de comprimento, totalizando 525 m<sup>2</sup>. A semeadura das culturas de cobertura nos tratamentos de rotação ocorreu nos dias 04/04/2017, 20/03/2018 e 18/04/2019. A quantidade média de sementes utilizada foi de 4 kg ha para níger 15 kg ha<sup>-1</sup> para crotalária, 10 kg ha<sup>-1</sup> para milho e 40 kg ha<sup>-1</sup> para aveia branca. Utilizou-se semeadora-adubadora com oito linhas, espaçadas entre si em 0,4 m.

O milho (híbrido simples DKB 177 VT PRO) foi semeado no último decêndio de março para os três anos, no espaçamento de 0,9 m, com 60.000 sementes ha<sup>-1</sup>, buscando estabelecer cerca de 5,4 plantas m<sup>-1</sup>, totalizando e uma população de plantas final próxima a 57.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

No tratamento milho + braquiária semeou-se o mesmo híbrido de milho utilizado no cultivo solteiro, juntamente com *Urochloa ruziziensis*. Primeiro foi semeada a forrageira e logo em seguida o milho, no caso da forrageira para o estabelecimento de 7 a 10 plantas m<sup>2</sup> utilizou-se aproximadamente 4 kg ha<sup>-1</sup>.

O milho e o milho + braquiária receberam adubação de manutenção, com base na exportação dos grãos, enquanto as plantas utilizadas apenas para a cobertura do solo e rotação não receberam adubação.

### 3.5.2 Soja

A soja (cultivar Monsoy 6410 IPRO) foi semeada no mês de outubro de 2017, 2018 nos dias 23 e 25 respectivamente e 05 de novembro de 2019 com densidade média de 12 sementes ha<sup>-1</sup> no espaçamento de 0,45 m entre linhas.

A adubação de semeadura foi de 400 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 05-25-06 + 0,15% de B + 0,5% de Zn + 9% de S-elementar + 140 kg por hectare de cloreto de potássio (60% K<sub>2</sub>O) em cobertura.

As sementes de soja foram co-inoculadas com 50 ml de inoculante contendo *Bradyrhizobium* e 50 ml contendo *Azospirillum brasiliense*, além de 250 ml de regulador de crescimento a base de cinetina, ácido giberélico e ácido indol-butírico para cada 50 kg de sementes.

O controle de plantas daninhas aconteceu na pré-semeadura da soja com a aplicação de glifosato cerca de 30 dias antes, na dosagem de 3 L ha<sup>-1</sup>. Na semana que antecedeu a semeadura da soja aplicou-se 2 L ha<sup>-1</sup> de paraquate, associado a 2 L ha<sup>-1</sup> de dual gold e 200 ml ha<sup>-1</sup> de espalhante adesivo. Em pós-emergência foram realizadas duas aplicações de glifosato aos 15 e 35 dias após a emergência.

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

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

## 3.6 Amostragens e avaliações

### 3.6.1 Culturas de cobertura, sucessão e palha em pré-semeadura

A avaliação da biomassa das culturas de cobertura foi realizada com o corte das plantas entre o período de floração e desenvolvimento dos órgãos reprodutivos, com três repetições de 1,0 m<sup>2</sup> em cada parcela cortando as plantas rente ao solo. No caso dos tratamentos de sucessão contendo milho, as espigas foram desprezadas para tal análise. Foram definidas amostras conhecidas para secagem em estufa e determinação da massa seca, posteriormente foram realizadas análises para determinar o teor de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) e micronutrientes (Cu, Mn, Zn, Fe) da biomassa das espécies conforme metodologia proposta por Silva (2009).

A palha sobre o solo em pré-semeadura da soja foi mensurada na semana que antecedeu a semeadura da cultura principal, utilizando-se armação de metal de 1,0 m<sup>2</sup> em três pontos por parcela, coletando a palha do local e separando um volume conhecido para determinação da massa seca por hectare.

### **3.6.2 Componentes de produção da soja**

A colheita da soja foi realizada nos dias 26 de fevereiro de 2018, 24 de fevereiro de 2019 e 04 de março de 2020. As mensurações a campo e a colheita da soja para determinar os componentes de produção ocorreu após a maturação fisiológica coletando duas linhas de cinco metros, em três pontos na parcela, perfazendo um total de 30 m de área útil.

Para componentes de produção avaliou-se 10 plantas, exceto produtividade, no qual utilizou-se todas as plantas da área útil supracitada. As variáveis avaliadas foram:

- Altura de planta: Foi determinada com auxílio de uma trena adaptada, medindo-se a distância entre o nível do solo até o ápice da planta, em dez plantas ao acaso dentro de cada parcela próximo à colheita.
- Número de ramos reprodutivos por planta: Foi realizada a contagem dos ramos reprodutivos nas 10 plantas coletadas por parcela e contabilizado o número de ramificações com presença de vagens.
- Altura de inserção da primeira vagem: Determinou-se também através da trena adaptada, graduada em centímetros, tomando-se a distância entre o nível do solo e o início da primeira inserção da vagem.
- Número de vagens por planta: Foram contabilizadas as vagens das 10 plantas, com os valores representando a média de vagens por planta.
- Massa de mil grãos: Após determinada a produtividade foi efetuada a contagem de oito sub-amostras de 100 grãos por repetição de cada tratamento. As amostras foram

pesadas em balança de precisão e corrigidas para umidade de 13%, conforme as Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009).

- Produtividade: Foi determinada através da trilha das plantas contidas na área útil já citada, dentro de cada parcela e repetição. Após os grãos limpos, os mesmos foram pesados em balança digital, corrigindo-se o grau de umidade para 13%, com os valores expressos em kg ha<sup>-1</sup>.

### **3.7 Análises dos atributos do solo**

#### **3.7.1 Físicos**

Em setembro de 2018, antes da semeadura da soja, amostras de solo foram coletadas com estrutura preservada, em cilindros metálicos de 98 cm<sup>-3</sup>, raio de 2,5 cm e 5,0 cm de altura, nas entrelinhas das culturas de cobertura já manejadas, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, ou seja, centralizados nas camadas de 5 cm e 15 cm, foram coletadas 4 amostras em cada tratamento. As amostras foram envolvidas em papel filme e armazenadas a 4° C. Determinou-se a densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo, segundo metodologia proposta por Donagema et al. (2011).

Determinou-se também a resistência à penetração (RP) com a utilização de penetrômetro de bancada com velocidade constante de penetração de 1 cm min<sup>-1</sup>, com diâmetro de base de 4 mm e semiângulo de 30°, com a haste sendo introduzida no centro da amostra. As leituras obtidas nos 5 mm superiores e inferiores da amostra foram descartadas, visando eliminar o efeito da periferia.

A matéria orgânica dessas amostras foi determinada pela metodologia descrita por Silva (2009).

#### **3.7.2 Químicos**

Em 2018 foram coletadas amostras nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm e em 2019 na camada de 0-10 cm, junto às amostras para análises microbiológicas.

As amostras foram coletadas com auxílio de um enxadão e um trado do tipo calador. Em cada parcela foram coletadas cinco amostras simples para a composição de uma composta. Os atributos analisados foram: pH em CaCl<sub>2</sub>, potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), alumínio (Al), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), boro (B) e matéria orgânica, de acordo com metodologia descrita por Silva (2009).

### 3.7.3 Microbiológicos

Para as análises microbiológicas foram coletadas amostras em dois períodos nos anos agrícolas 2018/19 e 2019/20, primeiro com coletas no pleno florescimento das culturas de cobertura e sucessões e a segunda no florescimento pleno da soja. Coletou-se amostras deformadas com auxílio de uma pá reta, retirando uma camada de 10 cm de profundidade nas entrelinhas, cerca de 10 cm da linha. Coletou-se também uma amostra de vegetação nativa proveniente de um fragmento de Mata Atlântica próximo ao local de realização do estudo.

As amostras foram acondicionadas em câmara fria por 3 dias para então realizar as análises de carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração basal (C-CO<sub>2</sub>), quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) e a relação entre o carbono microbiano e o carbono orgânico (qMIC).

As análises microbiológicas foram realizadas no laboratório de microbiologia do solo da Universidade Federal da Grande Dourados, localizado em Dourados (MS). O solo foi peneirado em peneira com abertura de 2 mm (cerca de 200 g por amostra) e umedecido com água destilada para chegar a 40-60% da capacidade de campo.

A análise do carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) foi realizada pelo método da fumigação-extração, adotando-se o fator de correção para eficiência de extração ( $k_{ec}$ ) igual a 0,33 (VANCE et al. 1987).

Pesou-se 20 g de solo em snaps de vidro, as amostras foram tampadas e armazenadas na geladeira por 24 horas. No dia seguinte adicionou-se 50 ml da solução extratora com sulfato de potássio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) na concentração de 87,135 g L<sup>-1</sup>, agitando por 30 minutos. Após decantar a solução foi filtrada em papel filtro, e coletadas alíquotas de 2 ml em tubos de ensaio com duplicata, posteriormente adicionou-se 3 ml de água destilada, 2,5 ml da solução de trabalho (300 mL de pirofosfato de sódio (Na<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) 0,1M, 46 mL de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 0,5 M, 20 mL de permanganato de potássio (KMnO<sub>4</sub>) 0,1 M, 80 mL de sulfato de manganês mono-hidratado (MnSO<sub>4</sub>H<sub>2</sub>O) 0,1 M) e por fim 2,5 mL de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrado. Em seguida, as amostras foram agitadas e mantidas em repouso por 2 horas, sendo então submetidas à leitura, num espectrofotômetro, com comprimento de onda de 495nm. As amostras fumigadas foram armazenadas em dessecador com vácuo e 20 ml de clorofórmio por 24 horas, e posterior realização do mesmo processo descrito acima.

A respiração basal (C-CO<sub>2</sub>) foi obtida pelo método da respirometria, através da incubação das amostras com captura de CO<sub>2</sub> em NaOH (40 g L<sup>-1</sup>). Após incubar 50 g de solo em snaps de vidros dentro de potes hermeticamente fechados por 7 dias, realizou-se a titulação com pipeta automática digital. A titulação foi realizada com 2 mL de solução de BaCl<sub>2</sub> 10%, para a precipitação do Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, utilizou-se duas gotas da fenolftaleína 1% (pipeta de plástico) como indicador.

A titulação foi realizada com o frasco contendo o NaOH 1N. Acrescenta-se 2 mL de solução de BaCl<sub>2</sub> 10% (com a pipeta automática calibrada), para a precipitação do Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, adicionado duas gotas da fenolftaleína 1% (pipeta de plástico) como indicador. Utilizou-se a pipeta automática digital (do frasco âmbar) com a solução de HCl 0,5N e o agitador magnético até o ponto de viragem.

O quociente microbiano (*q*MIC), expresso em percentagem, foi calculado pela fórmula (C-BMS/Corg) x 100 e o quociente metabólico (*q*CO<sub>2</sub>) foi obtido pela divisão dos valores da respiração basal pelo do carbono microbiano (μ CO<sub>2</sub>/μg C-BMS h<sup>-1</sup>).

### 3.8 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o aplicativo computacional Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2011). Realizou-se também com base nos dados de microbiologia do solo a análise multivariada de agrupamentos (cluster) mediante o software livre RBio (BHERING, 2017).

A análise multivariada de agrupamento hierárquico foi feita a partir da matriz de dissimilaridade, pelo método UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean). O método de Mojena (1977), foi utilizado para indicação do ponto de corte, com  $k = 1,25$  e a validação dos grupos foi feita pelo coeficiente de correlação cofenética.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Biomassa da parte aérea de plantas de cobertura e relação C/N

Quando avaliados os efeitos dos tratamentos, anos e interação entre eles, observou-se que há diferença entre os tratamentos, entre os anos e interação significativa ( $p < 0,01$ ) entre as características fitomassa seca e palha em pré-semeadura, indicando que o ano de cultivo interferiu sobre o comportamento das espécies quanto a produção de fitomassa seca e, conseqüentemente, na palha presente no solo no momento da semeadura da soja. A relação C/N foi influenciada apenas pelos tratamentos, não houve diferença entre os anos ou interação entre ano e tratamento (Tabela 1)

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância para fitomassa seca e relação carbono/nitrogênio no pleno florescimento das culturas de rotação e sucessão e palha sobre o solo em pré-semeadura da soja nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20.

Variáveis	Fonte de variação			
	Blocos	Tratamento (T)	Ano (A)	TxA
	Valor-F			
Fitomassa seca	0,33 <sup>ns</sup>	97,31**	15,29**	21,27**
Palha	5,15**	96,09**	28,42**	40,13**
Relação C/N	5,76**	329,29**	0,11 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>

ns = não significativo; \* = significativo a  $p < 0,05$  pelo teste F; \*\* = significativo a  $p < 0,01$  pelo teste F

O consórcio entre milho + braquiária produziu a maior quantidade de fitomassa seca nos três anos de cultivo, não diferindo do milho no segundo ano, enquanto para o níger observou-se as menores produções de fitomassa seca, não diferindo de aveia, no ano de 2018 (Tabela 2).

**Tabela 2.** Valores médios da fitomassa seca da parte aérea de plantas de cobertura e sucessão de culturas coletadas no pleno florescimento nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20.

Tratamentos	Biomassa seca (ton ha <sup>-1</sup> )			C/N
	2017	2018	2019	
Milho	6,31 bA	5,49 abB	5,86 bAB	33,05 b
Milho+Braquiaria	7,28 aA	6,24 aB	6,82 aAB	29,83 c
Milheto	5,50 cA	4,82 bcB	4,52 cB	29,00 c
Aveia	5,23 cA	3,44 deB	3,07 dB	35,03 a
Níger	2,57 eB	2,91 eA	2,22 eB	18,85 d
Crot. Spectabilis	3,19 dA	4,12 cdA	3,56 dA	16,15 e
CV		7,53		4,58

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O consórcio entre o milho e as forrageiras acumula maior biomassa seca devido ao milho ser uma planta de metabolismo C4 de alta eficiência fotossintética, de porte alto, com grande capacidade produtiva de massa seca e grãos, a braquiária, conseqüentemente cresce junto ao milho nas entrelinhas, aproveitando-se dos recursos disponíveis no solo, quando somadas, as duas espécies agregam de maneira positiva aumentando a massa seca por volume de área.

O níger é uma planta tenra, com alta proporção de água em relação à matéria seca no estágio de pleno florescimento (entre 10 e 15% de MS), porte médio e caules finos, produzindo assim, baixo volume de massa seca na parte aérea.

A variação na fitomassa seca foi de 2,57 a 7,28 ton ha<sup>-1</sup> em 2017, 2,91 a 6,24 ton ha<sup>-1</sup> em 2018 e 2,22 a 6,82 em 2019 (Tabela 2). A massa seca produzida está diretamente relacionada à espécie utilizada, local, manejo e principalmente a data de semeadura. Semeaduras tardias (a partir de março) tendem a reduzir tal características, visto que, a limitação ocorre por parte da precipitação reduzida, associada à queda na temperatura nas regiões mais ao Sul, principalmente para espécies como milho, níger, milheto e crotalária, que são espécies que se desenvolvem melhor em condições de temperaturas mais elevadas e alta precipitação.

Entre os anos, as médias entre os tratamentos ficaram próximas, sendo 5,01; 4,56 e 4,34 ton ha<sup>-1</sup> para 2017, 2018 e 2019 respectivamente. Em 2017 a precipitação foi maior em relação aos anos anteriores, 181 e 300 mm para os primeiros 30 e 60 dias respectivamente (Figura 1) com chuvas bem distribuídas. No ano de 2018 a semeadura de todas as espécies ocorreu mais cedo, entre o dia 23/03 a 25/03, 10 dias antes em relação a 2017 e 24 dias em relação a 2019, o que resultou em bom volume pluviométrico no ciclo, acumulando 100 e 174 mm nos primeiros 30 e 60 dias respectivamente, comparado a 45 e 97 mm em 2019 para o mesmo período. No entanto, em 2018 o volume de chuvas foi mal distribuído, concentrando-se nos 8 primeiros dias e com apenas uma precipitação de 3 mm nos 40 dias seguintes, ocasionando perdas na produção de biomassa das plantas.

A influência da data de semeadura nos resultados de fitomassa seca pode ser confirmada quando comparamos ao trabalho realizado por Franchini (2014), avaliando culturas de cobertura entre os anos de 2010 a 2012 em Ponta Porã-MS, em uma área com a mesma classificação de solo, para as duas sucessões soja/milho e soja/milho+braquiária a quantidade de fitomassa seca produzida no trabalho do autor foi superior em cerca de 30% para milho solteiro e o dobro em relação ao milho consorciado. O autor semeou os

tratamentos de sucessão no início de março, promovendo melhores condições climáticas ao milho e a forrageira, enquanto as culturas de cobertura, foram semeadas no início de abril.

Apenas milho + braquiária produziu quantidades mínimas de palha suficientes para qualidade do sistema plantio direto e para a cobertura do solo nos três anos de cultivo, acima de 6 ton ha<sup>-1</sup> (ALVARENGA et al., 2001), contudo, é importante levar em consideração os efeitos positivos das espécies em rotação para o sistema plantio direto, com diferentes relações C/N, sistemas radiculares e capacidade de ciclar nutrientes. Neste sistema é importante levar em consideração não só apenas a quantidade, mas também a qualidade dos resíduos produzidos pelas espécies cultivadas nas melhorias ao agroecossistema (CAIRES et al., 2006; BALOTA, 2017).

#### 4.1.1 Palha em pré-semeadura da soja

Os dados da palha coletada sobre o solo na pré-semeadura da soja apresentaram comportamento semelhante aos da fitomassa seca das culturas. Não houve variação entre os anos para a sucessão soja/milho, os tratamentos consórcio milho + braquiária, milheto e aveia deixaram maior quantidade de palha sobre o solo em 2017, idem ao comportamento da massa seca das culturas (Tabela 1). No caso do níger e crotalária, a maior quantidade de palha foi observada em 2018, em relação aos demais anos (Tabela 3).

**Tabela 3.** Palha sobre o solo coletada na pré-semeadura da soja em sistemas de sucessão e rotação de culturas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20.

Tratamentos	Palha em pré-semeadura (ton ha <sup>-1</sup> )		
	2017/18	2018/19	2019/20
Milho	5,17 cA	5,25 bA	4,79 bA
Milho+Braquiaria	6,49 bA	5,54 bB	5,44 aB
Milheto	7,26 aA	6,30 aB	4,10 cC
Aveia	6,30 bA	4,15 cB	4,15 cB
Níger	3,51 dB	4,60 cA	3,06 dB
Crot. Spectabilis	5,18 cA	5,65 bA	4,24 bcB
CV		5,51	

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

É esperado que o milho e o consórcio milho + braquiária estejam entre os tratamentos com maior quantidade de palha em pré-semeadura da soja, semelhante ao observado para produção de fitomassa seca. Se destaca o consorcio milho + braquiária, isso porque, a forrageira permanece vegetando na entressafra após a colheita do milho, todavia, são sistemas de sucessão, no qual no verão há cultivo de soja, que deixa pouca palha sobre o

solo e tem decomposição acelerada, quando comparado ao milho verão que antecedeu as espécies da rotação, nesse caso somam-se a palha dos dois cultivos deixando um saldo positivo de cobertura do solo.

No entanto, vale ressaltar que maior produção de biomassa nem sempre é sinônimo de altos valores de palha sobre o solo, pois, a quantidade de palha sobre o solo é regulada por alguns fatores, dentre eles, relação C/N, quantidade de material vegetal produzido, temperatura, umidade e o manejo adotado. A relação C/N é inerente à espécie e reflete a velocidade com que a decomposição do material pode se processar, normalmente leguminosas tem decomposição rápida e gramíneas, lenta, as demais apresentam comportamento intermediário.

O milheto proporcionou na média, a maior quantidade de palha na pré-semeadura da soja, está entre as culturas que mais produziram palha e foi cultivado sobre os restos culturais do milho verão da safra anterior, neste caso, a palhada das duas gramíneas em sequência sobre o solo apresenta maior persistência, pois ambas são culturas com alta relação C/N (próximo a 30), o que retardou a decomposição (Tabelas 2 e 3).

Em 2019, o milho consorciado com braquiária proporcionou maior quantidade de palha na pré-semeadura da soja, segundo Ceccon et al. (2013), o sistema destaca-se na produção de massa seca e cobertura do solo quando comparado ao milho solteiro, pois a forrageira cultivada simultânea continua acumulando biomassa seca durante a entressafra quando as condições climáticas favorecem.

No tratamento contendo níger, as menores médias para a palha sobre o solo está associado à característica morfofisiológica da cultura, que tem ciclo curto (cerca de 50 dias até o pleno florescimento) é uma planta tenra, que acumula menor quantidade de matéria seca em relação às demais e apresenta baixa relação C/N (18) (Tabelas 2 e 3), fatores que favorecem a menor proporção de palha. Cabe ressaltar também, que o manejo desta espécie foi realizado no florescimento, com a palha ficando um logo período no campo, até semeadura da soja, cerca de 130 dias.

Com ênfase na dinâmica do N e na manutenção da palha no SPD, o ideal seria uma palha com relação C/N do resíduo vegetal intermediária, próxima de 24 (17,5 a 30) para ocorrer um equilíbrio entre a manutenção da cobertura do solo (dada pela persistência dos restos vegetais) e a disponibilização de N para as lavouras subsequentes (GIACOMINI et al., 2004). Tal resultado pode ser alcançado com a diversificação e/ou consorciação de espécies e adoção de estratégias assertivas de manejo da cobertura.

Para as condições da região dos Cerrados, mesmo quando a palha é basicamente de gramíneas, há uma decomposição acelerada, de tal forma que manter uma camada de cobertura de solo conforme preconizado na literatura, nessas condições, torna-se uma atividade complexa. Em razão dessa dinâmica, o manejo das plantas de cobertura deve ser retardado, visando adiar decomposição.

Avaliando os consórcios entre aveia preta + ervilhaca peluda + nabo forrageiro e, da aveia preta + crotalária, Da silva et al. (2011) observaram, como alternativa, que tais tratamentos onde houve o consórcio de culturas, possibilitou maior cobertura e permanência da palha sobre o solo em relação ao girassol, crotalária e ervilhaca solteiros. Os autores atribuíram o resultado à maior produção de biomassa nos consórcios e a presença da aveia, que elevou a relação C/N e influenciou positivamente com a quantidade de palha presente sobre o solo no período de entressafra.

Avaliando *Brachiária brizantha* e guandu, Pacheco et al. (2011) obtiveram elevado acúmulo de fitomassa no final da entressafra e apontam que tal comportamento pode favorecer a cultura subsequente. É recomendado que se faça rotações de culturas com espécies consorciadas, perenes ou de ciclo mais longo, para melhorar a eficiência do uso de nutrientes e reduzir a perda deles nos campos agrícolas nos períodos ociosos.

#### 4.2 Teor de nutrientes da fitomassa seca das plantas de cobertura e sucessão no florescimento

Houve efeito significativo dos tratamentos para os teores de todos os macro e micronutrientes avaliados na fitomassa seca das plantas de cobertura, analisadas em pleno florescimento (Tabela 4).

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância para teores médios de nutrientes na fitomassa seca das culturas de rotação e sucessão analisadas no pleno florescimento.

Variáveis	Quadrado Médio				Teste F
	Blocos	Tratamento	Resíduo	CV	
Nitrogênio	4,82	752,05	8,75	9,05	85,89**
Fósforo	0,18	2,78	0,17	13,52	16,28**
Potássio	2,98	34,63	4,58	11,06	7,56**
Cálcio	1,31	148,68	0,56	10,13	264,58**
Magnésio	0,04	2,09	0,27	16,90	7,76**
Cobre	6,38	81,55	4,58	15,72	17,81**
Manganês	174,43	7470,59	317,60	14,50	23,52**
Ferro	3918,03	67781,02	5987,70	16,13	11,32**
Zinco	18,04	561,10	21,76	14,42	25,78**

ns = não significativo; \* = significativo a  $p < 0,05$  pelo teste F; \*\* = significativo a  $p < 0,01$  pelo teste F

Identificou-se os maiores teores de nitrogênio na massa seca da crotalária, a espécie contém o dobro do teor do nutriente em relação aos demais tratamentos e quase o triplo em relação ao milho, fato atribuído à espécie ser uma leguminosa com alto potencial de fixação biológica de nitrogênio atmosférico. A cultura destacou-se também para o teor de fósforo e cálcio. Marcelo et al. (2012) observaram que gramíneas normalmente acumulam em seus tecidos, altos teores de K e Mg, e as leguminosas N e P, com valores próximos aos observados no trabalho em questão. O milho absorveu os menores teores de fosforo, assim como nitrogênio em relação à quantidade de palha produzida (Tabela 5).

**Tabela 5.** Teores médios de macronutrientes e micronutrientes da biofitomassa seca da parte aérea de plantas de cobertura e sucessão de culturas.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg
	(g kg <sup>-1</sup> )				
Milho	21,00 d	2,06 c	17,87 b	3,76 c	3,43 a
Milho+Braquiaria	30,33 bc	2,79 bc	20,73 ab	3,69 c	3,65 a
Milheto	31,85 b	3,59 ab	17,12 b	3,33 c	3,28 a
Aveia	24,15 cd	2,24 c	17,37 b	3,97 c	3,15 a
Niger	29,28 bc	3,47 ab	24,75 a	11,70 b	3,38 a
Crot. Spectabilis	59,38 a	4,19 a	18,30 b	18,00 a	3,04 a
CV	9,06	13,56	11,06	10,13	16,90
Tratamentos	Cu	Mn	Fe	Zn	
	(mg kg <sup>-1</sup> )				
Milho	10,77 bc	109,96 bc	572,44 a	20,64 c	
Milho+Braquiaria	11,04 bc	200,41 a	621,07 a	31,69 b	
Milheto	13,82 bc	120,94 b	321,22 b	34,31 b	
Aveia	9,17 c	133,50 b	333,54 b	17,15 c	
Niger	15,23 b	72,87 c	574,89 a	45,05 a	
Crot. Spectabilis	21,67 a	99,59 bc	455,25 ab	45,29 a	
CV	15,72	14,50	16,13	14,42	

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Nos teores de cálcio, crotalária e níger destacaram-se com teores maiores que os demais tratamentos (Tabela 5). Os valores observados no trabalho em questão assemelham-se aos observados por Pereira et al. (2017) para crotalária. Segundo Da Silva et al. (2011), o sistema radicular ramificado e profundo das leguminosas proporciona aumento na eficiência de utilização dos nutrientes, uma vez que trazem às camadas superficiais do solo nutrientes das camadas mais profundas ou perdidos por lixiviação, principalmente potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

O níger, apesar de produzir as menores quantidades de massa seca, contém altos teores de nitrogênio e está entre as espécies com os maiores teores de fósforo, potássio e

cálcio (Tabelas 2 e 5), com valores próximos aos observados por Mauad et al. (2015). Os autores relatam que as oleaginosas, sobretudo espécies da família Asteráceae normalmente apresentam grande demanda de nutrientes, sobretudo cálcio para formação e constituição dos capítulos e aquênios.

O potássio esteve presente em maiores teores na biomassa do níger, não diferindo do milho + braquiária, que por sua vez, não diferiu dos demais tratamentos, variando de 17,12 a 24,75 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 5), valor que pode ser considerado elevado para culturas de cobertura. Conforme Mauad et al. (2015), trata-se de uma asteraceae, e tem por característica, alta demanda por potássio.

Quanto ao magnésio, não houve diferença nos teores entre os tratamentos e os valores podem ser considerados altos. Elevados teores do nutriente na massa seca são desejáveis, pois indica maior ciclagem e menor perda no solo, tais resultados podem estar relacionados à alta disponibilidade do nutriente no solo, especialmente no experimento em questão, conduzido há 10 anos em sistema plantio direto, no qual realizou-se uma calagem no ano de 2017 visando elevar os teores do nutriente no solo. No caso do milho e milho + braquiária os valores situam-se próximos aos do cálcio, o que é importante segundo Coelho e França (1995), pois a quantidade nos grãos dos dois nutrientes é igual ou muito próxima.

Em relação aos micronutrientes, maiores teores de cobre foram identificados na crotalária, manganês no milho + braquiária, zinco no níger e crotalária, em contraste, o cobre esteve em menores teores na biomassa seca da aveia, não diferindo das demais gramíneas, o manganês no níger, não diferindo do milho e da crotalária e o zinco na aveia e no milho. No caso do ferro, houve diferença entre milho, milho + braquiária e níger, com maiores teores em relação ao milheto e a aveia, crotalária apresentou valores intermediários (Tabela 3). No geral, os teores observados são próximos. A comparação entre as culturas para teores de micronutrientes é complexa, visto que são valores muito baixos e próximos entre espécies diferentes.

Avaliando teores de nutrientes em milheto, Marcante et al. (2011) obtiveram 9,31 g kg<sup>-1</sup> para nitrogênio no florescimento. No trabalho em questão, os valores variaram de 21 a 31,85 g kg<sup>-1</sup> para os tratamentos, exceto crotalária com valores muito superiores, indicando que havia ótima disponibilidade desse nutriente no solo, fato comum em sistemas de rotação, no qual a fertilidade construída e os altos teores de matéria orgânica aumenta a CTC do solo e a disponibilidade dos nutrientes ao longo dos anos (CALEGARI et al., 2013).

Altos teores de nitrogênio na biomassa de gramíneas é desejável, pois são espécies com decomposição mais lenta, devido a sua alta relação C/N, o que leva à imobilização temporária e conseqüente redução da lixiviação desse nutriente (PITTELKOW et al., 2012).

Maiores acúmulos de nutrientes podem refletir na absorção e na produtividade de culturas subsequentes, principalmente no caso do nitrogênio cuja necessidade é alta para as plantas. A exemplo, Reis et al. (2017), observaram que o uso plantas de cobertura, sobretudo leguminosas, aumentou eficientemente os níveis de nitrogênio e fósforo nas plantas de arroz cultivado em sequência, ocasionando maior produtividade de grãos de arroz em relação ao cultivo sobre nabo e o pousio, fato associado à melhor nutrição proporcionada pelos resíduos dessas espécies ricos em N. Silva et al. (2006) complementam que escolher espécies com alta capacidade de produzir massa seca e ciclar nutrientes é importante, pois influencia no teor nas culturas subsequentes. Pacheco et al. (2011) observaram que tratamentos com maior produção de palha são aqueles com maior cobertura do solo e conseqüentemente maior acúmulo e ciclagem de nutrientes.

É necessário escolher espécies com alto potencial na absorção de nutrientes e realizar a semeadura e o manejo de maneira estratégica para aproveitar o potencial de cada cultura na ciclagem dos nutrientes e disponibilização para as culturas subsequentes, sendo assim, conhecer a quantidade acumulada é indispensável para o manejo desses nutrientes dentro dos ciclos de cultivo e recomendação de adubação.

### **4.3 Atributos do solo**

#### **4.3.1 Atributos físicos**

Quando avaliadas as características físicas do solo, observou-se que houve interação entre os tratamentos e a camadas de avaliação para as características macroporosidade e resistência à penetração, indicando que o tratamento influencia de diferentes maneiras nessas características. Os tratamentos avaliados nos sistemas de rotação e sucessão de culturas não influenciaram na microporosidade e na densidade do solo, tanto na camada de 0-10 cm, quanto de 10-20 cm, para porosidade total não houve interação entre os fatores tratamentos e camadas avaliadas, apenas diferença entre os tratamentos para cada fator isolado, enquanto para macroporosidade e resistência à penetração houve efeito da interação (Tabela 6).

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância para macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade e resistência à penetração de sistemas de rotação e sucessão de culturas nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm.

Variáveis	Fonte de variação			
	Blocos	Tratamento (T)	Camada (c)	TxC
	Valor-F			
Macro	1,97 <sup>ns</sup>	8,71 <sup>**</sup>	13,32 <sup>**</sup>	5,99 <sup>**</sup>
Micro	4,45 <sup>**</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	1,01 <sup>ns</sup>
Total	4,67 <sup>**</sup>	3,22 <sup>*</sup>	5,05 <sup>*</sup>	1,58 <sup>ns</sup>
Densidade	3,59 <sup>*</sup>	1,32 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	1,10 <sup>ns</sup>
Resist/Penetr	5,08 <sup>**</sup>	23,81 <sup>**</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	2,54 <sup>*</sup>

ns = não significativo; \* = significativo a  $p < 0,05$  pelo teste F; \*\* = significativo a  $p < 0,01$  pelo teste F

Os valores de microporosidade encontram-se acima de  $0,400 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  (Tabela 7), considerados adequados conforme Azevedo e Dalmolin (2006) que definem valores acima de  $0,330 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  como apropriados para o desenvolvimento das plantas e suprimento adequado de água.

**Tabela 7.** Microporosidade e densidade do solo em sistemas de sucessões e rotações de culturas nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade avaliadas em 2018.

Tratamentos	Microporosidade	Porosidade total	Densidade
	( $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ )		( $\text{g cm}^{-3}$ )
Milho	0,403 a	0,488 b	1,34 a
Milho + Braquiaria	0,409 a	0,505 ab	1,40 a
Milheto	0,414 a	0,516 ab	1,34 a
Aveia	0,417 a	0,528 a	1,40 a
Niger	0,404 a	0,503 ab	1,41 a
Crot. Spectabilis	0,399 a	0,501 ab	1,34 a
0-10	0,409 a	0,514 a	1,37 a
10-20	0,406 a	0,500 b	1,38 a
CV	5,00	4,25	6,66

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A porosidade total foi maior na camada de 0-10 cm em relação à camada de 10-20 cm, com médias próximas. Dentre os tratamentos, no solo com cultivo de aveia observou-se as maiores médias comparadas ao solo cultivado com a sucessão soja/milho, que por sua vez, não diferiu dos demais tratamentos (Tabela 7). Tendo em vista que microporosidade acima de  $0,33 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  são adequados e acima de  $0,1 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  para macroporosidade, os valores acima de 0,480 (Tabela 7) para todos os tratamentos indicam que o volume de poros totais é apropriado em todos os tratamentos.

Alto volume de poros é desejável em sistemas agrícolas, para aeração do solo e armazenamento de água. Segundo Andrade et al. (2009), no SPD as plantas e a biota

produzem poros biológicos de alta funcionalidade na aeração e infiltração de água no solo, a bioporosidade criada pela atividade radicular e mesofauna do solo que penetram nas camadas mais compactadas e têm sido o motivo de se considerar a rotação de culturas fundamental em plantio direto quando comparado à sucessão de culturas ou sistema convencional de cultivo.

Quanto à densidade, Silva (2003) afirmam que para solos classificados como argilosos,  $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$  ou menos estão dentro dos valores desejáveis, o que indica que os dados do presente estudo estão dentro ou muito próximo da margem ótima indicada pelos autores (Tabela 7), tal constatação é positiva e pode estar associada à ausência de revolvimento no solo, tanto na sucessão, quanto na rotação por vários anos com presença de raízes e aporte de matéria orgânica, o que segundo Calonego e Rosolem (2010) são os mecanismos pelos quais as plantas atuam na escarificação biológica, mesmo em solos com densidades elevadas não suficientes para restringir água e ar no solo, melhorando os atributos físicos do solo ao longo do tempo, sobretudo em experimento de longa duração.

Neste contexto, avaliando o cultivo de crotalária juncea, guandu-anão, mucuna cinza e feijão de porco em Argissolo de textura média/argilosa, Reinert et al. (2008) identificaram que o crescimento normal das plantas de cobertura ocorre até o limite de densidade de  $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$  e que acima de  $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$  as restrições passaram a ser significativas. Para milho, guandu, gergelim e quinoa Jimenez et al. (2008) observaram que densidades até  $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$  em Latossolo de textura muito argilosa não foram impeditivas à densidade de comprimento radicular das espécies citadas, os autores ainda indicam o milho como alternativa na descompactação de solo. Tais resultados reforçam a ausência de adensamento prejudicial no presente estudo, condicionado, principalmente, pelo manejo em sistema plantio direto, a vários anos, sem revolvimento do solo, rotação de culturas e a manutenção dos elevados teores de matéria orgânica.

Quanto à macroporosidade, menores médias foram constatadas para o solo cultivado com soja/milho no outono/inverno na camada de 0-10 cm, quando comparado aos demais tratamentos, que não diferiram entre si. Na camada de 10-20 cm constatou-se menor macroporosidade nos tratamentos de sucessão, milho e consórcio milho + braquiária comparado a aveia, os demais tratamentos não diferiram dos solos com maiores e menores volumes de macroporos. Diferenças entre as camadas foram observadas apenas para os solos cultivados com milho + braquiária, aveia e níger, com menores volumes de macroporos na camada de 10-20 cm (Tabela 8).

**Tabela 8.** Macroporosidade, porosidade total e resistência à penetração de sucessões e rotações de culturas nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade no ano de 2018.

Tratamentos	Macroporosidade		Resistência à penetração	
	(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )		(MPa)	
	0-10	10-20	0-10	10-20
Milho	0,085 bA	0,085 bA	1,74 bcA	2,05 bA
Milho + Braquiaria	0,107 aA	0,084 bB	2,89 aA	2,72 aA
Milheto	0,107 aA	0,097 abA	1,74 bcA	1,85 bA
Aveia	0,116 aA	0,106 aB	1,86 bcA	1,79 bA
Niger	0,105 aA	0,092 abB	1,65 cA	1,81 bA
Crot. Spectabilis	0,106 aA	0,097 abA	2,18 bA	1,77 bB
CV	6,66		11,57	

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Apesar da menor macroporosidade observada no solo cultivado com as sucessões em relação às rotações, as médias encontram-se acima ou muito próximas dos limites mínimos considerados ideais para o desenvolvimento das plantas, onde, valores de porosidade de aeração abaixo de 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> são, em geral, considerados restritivos para o crescimento e produtividade da maioria das culturas, prejudicando a taxa de fluxo de oxigênio às raízes e ocasionando prejuízos aos processos metabólicos das mesmas, todavia, há dependência da espécie de planta, da atividade biológica do solo e do regime de umidade nas respostas das plantas (WATANABE et al., 2002; ANDRADE; STONE, 2009).

Segundo Reichert et al. (2009), em solos argilosos ou muito argilosos, as partículas da fração argila se encaixam naturalmente, reduzindo a macroporosidade e aumentando a microporosidade do solo. Os autores ainda relatam que em lavouras sob semeadura direta é comum observar menores valores para macroporosidade, fato confirmado no trabalho de Tormena et al. (2002) avaliando sistemas de cultivo, no entanto, a produtividade muitas vezes não é prejudicada devido a maior continuidade dos poros produzidos pelas raízes e o aumento no teor de matéria orgânica.

Milho consorciado com braquiária, crotalária e guandu estão entre espécies que propiciam maiores valores de macroporosidade e menores de densidade do solo (ANDRADE et al., 2009). Após experimento de 22 anos em Londrina-PR, Silva et al. (2014b) afirma que a rotação de culturas contribui para a conservação da estrutura do solo em relação à sucessão, com menor número de raízes deformadas, maior porosidade aparente e conseqüente aumento no carbono e no nitrogênio da biomassa microbiana. Espécies com sistema radicular “agressivo”, produzem canais que proporcionarão o aumento do movimento de água e a difusão de gases no solo (MÜLLER et al., 2001).

A resistência à penetração entre as camadas diferiu apenas para *Crotalaria spectabilis*, com valores maiores na camada mais superficial. Na comparação entre os tratamentos, na camada de 0-10 cm os menores valores para RP foram observados no solo cultivado com níger, diferindo da crotalária, que por sua vez diferiu do consórcio entre milho + braquiária, com os maiores valores, chegando a 2,89 MPa. Na camada de 10-20 cm, no milho + braquiária constatou-se os maiores valores novamente, diferindo de todos os demais tratamentos, que não diferiram entre si (Tabela 8).

Normalmente, adotam-se valores entre 2,0 e 2,5 MPa como valores impeditivos de RP (BETIOLI JÚNIOR et al., 2012), o que poderia levar a menores produtividades das culturas. Todavia, Moraes et al. (2014) afirmam que valores acima de 2,0 MPa seriam impeditivos para sistema convencional, no sistema plantio direto em Latossolo Vermelho distroférico, apenas valores acima de 3,0 MPa seriam limitantes ao desenvolvimento de culturas agrícolas. Segundo Torres et al. (2015b), em SPD, as plantas de cobertura auxiliam na melhoria na qualidade física das camadas superficiais do solo, favorecendo o desenvolvimento da cultura subsequente, contudo, tais benefícios podem ser alcançados apenas a longo prazo em solos na qual o impedimento mecânico é limitante

Quando o solo permanece coberto e culturas de cobertura são inseridas no sistema, as restrições físicas não se desenvolvem. O crescimento radicular da soja aumenta em profundidade quando cultivado em rotação, como consequência da presença de bioporos e diminuição da resistência à penetração, há colonização radicular mais profunda no perfil do solo e a operação mecânica pode ser substituída por rotações de culturas envolvendo espécies com sistemas radiculares agressivos (CALONEGO; ROSOLEM, 2010).

#### **4.3.2 Atributos químicos**

Com relação aos teores de macro e micronutrientes no solo, observou-se diferença significativa apenas para potássio e zinco na camada de 0-10 cm e para fósforo na camada de 10-20 cm de profundidade, no solo coletado em setembro de 2018 (Anexo 2).

Na camada de 0-10 cm, no solo cultivado com as sucessões de culturas observou-se os menores teores de potássio em relação à rotação contendo níger e aveia, curiosamente espécies que alternam como plantas de cobertura no outono/inverno do sistema de rotação proposto no presente estudo (Tabela 9). Os valores para todos os nutrientes e pH encontram-se adequados ou altos conforme Sousa e Lobato (2004), exceto boro, que se encontra em baixos níveis no solo na camada de 0-10 cm.

**Tabela 9.** Análise dos atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm para rotações e sucessões de culturas no ano de 2018, coletado junto à amostra para microbiologia.

Tratamentos	pH	P (mg m <sup>3</sup> )	K	Ca	Mg	S (mg dm <sup>3</sup> )
	CaC <sub>2</sub>					
Milho	5,67 a	25,09 a	0,56 b	8,26 a	2,48 a	16,67 a
Milho+Braquiaria	5,69 a	27,68 a	0,54 b	7,77 a	2,33 a	15,55 a
Milheto	5,98 a	26,38 a	0,62 ab	9,39 a	2,70 a	15,30 a
Aveia	5,70 a	29,97 a	0,67 a	8,72 a	2,53 a	17,22 a
Niger	5,78 a	22,17 a	0,69 a	8,75 a	2,49 a	17,52 a
Crot. Spectabilis	5,87 a	27,48 a	0,63 ab	8,76 a	2,53 a	17,75 a
CV	3,28	19,41	7,42	11,32	10,17	11,76

Tratamentos	Cu	Fe	Mn (mg dm <sup>3</sup> )	Zn	B	M.O (g dm <sup>3</sup> )
Milho+Braquiaria	10,22 a	60,05 a	93,67 a	4,87 ab	0,19 a	35,70 a
Milheto	10,52 a	62,15 a	88,65 a	3,95 b	0,18 a	35,08 a
Aveia	10,42 a	64,27 a	81,65 a	6,20 a	0,20 a	37,24 a
Niger	10,57 a	61,75 a	88,00 a	6,27 a	0,21 a	34,59 a
Crot. Spectabilis	10,90 a	62,40 a	81,20 a	3,57 b	0,16 a	35,97 a
CV	10,15	4,28	8,29	15,26	13,69	4,48

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Maiores teores de nutrientes nos solos cultivados com alternância de espécies é esperado, deve-se ao desenvolvimento em diferentes profundidades das raízes de cada espécie na rotação de culturas, contribuindo para aumentar a ciclagem e a disponibilidade de nutrientes na solução do solo (CALEGARI et al., 2013). Todavia é necessário considerar que a reposição através da adubação pode equilibrar as perdas por lixiviação ou exportação nos grãos, eliminando as diferenças entre os tratamentos em experimentos de longa duração.

Na camada de 10-20 cm observou-se menores teores de nutrientes em relação à camada superficial (Tabelas 9 e 10). É comum observar maiores teores de nutrientes nas camadas superficiais em sistemas de semeadura direta, a palha se acumula na superfície do solo e após decompôr libera os nutrientes na superfície do solo (CALONEGO et al., 2012). Resultados semelhantes foram observados por Ensinas et al. (2016), para sistemas de rotação e sucessão de culturas, independentemente das espécies utilizadas. É importante destacar também que na semeadura o adubo é depositado entre 6 e 8 cm de profundidade, favorecendo esta concentração superficial.

**Tabela 10.** Análise dos atributos químicos do solo na camada de 10-20 cm para rotações e sucessões de culturas no ano de 2018.

Tratamentos	pH CaC <sub>2</sub>	P (mg dm <sup>3</sup> )	K		Ca		Mg	S (mg/dm <sup>3</sup> )
			(cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )		(cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )			
Milho	4,86 a	6,36 b	0,16 a	4,88 a	1,09 a	12,17 a		
Milho+Braquiaria	4,95 a	6,94 ab	0,16 a	4,72 a	1,13 a	12,57 a		
Milheto	4,78 a	6,82 ab	0,16 a	4,44 a	1,06 a	12,22 a		
Aveia	4,71 a	7,98 a	0,14 a	3,77 a	1,05 a	12,37 a		
Niger	4,60 a	7,78 ab	0,19 a	3,88 a	0,91 a	15,05 a		
Crot. Spectabilis	4,65 a	7,57 ab	0,15 a	3,80 a	0,93 a	15,82 a		
CV	5,17	9,11	16,11	11,51	18,79	15,14		

Tratamentos	Cu	Fe	Mn		Zn	Bo	M.O (g dm <sup>3</sup> )
			(mg dm <sup>3</sup> )				
Milho	9,95 a	68,00 a	30,04 a	0 a	0,11 a	24,64 a	
Milho+Braquiaria	10,32 a	68,29 a	32,03 a	0 a	0,11 a	23,97 a	
Milheto	10,69 a	63,41 a	24,80 a	0 a	0,12 a	25,64 a	
Aveia	10,42 a	65,25 a	23,41 a	0 a	0,11 a	27,54 a	
Niger	11,07 a	76,05 a	25,41 a	0 a	0,11 a	27,51 a	
Crot. Spectabilis	10,27 a	69,88 a	20,89 a	0 a	0,10 a	25,33 a	
CV	7,92	11,13	18,80	15,26	13,37	6,48	

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O teor de matéria orgânica observado para a camada de 10-20 cm foi em média 10 g dm<sup>3</sup> menor que na camada de 0-10 cm, cerca de 30% de diferença (Tabela 10), comportamento já esperado, visto que, em sistemas de cultivo sem revolvimento do solo a longo prazo, a matéria orgânica tende a acumular na camada mais superficial do solo, contudo, teores próximo a 25 g dm<sup>3</sup> abaixo da camada de 10cm são considerados valores extremamente desejáveis para solos agricultáveis, pois interferem diretamente na qualidade do solo. Andrioli e Melo Prado (2012) observaram que os teores de matéria orgânica estão diretamente ligados à química do solo, redução do alumínio tóxico e aumento da CTC e cátions disponíveis.

Observou-se maiores teores de fósforo no solo cultivado com aveia em relação à sucessão soja/milho e ambos não diferiram dos demais. Os resultados podem ser explicados pela menor diversidade e qualidade dos resíduos produzidos pela sucessão em relação ao sistema de rotação mais diverso contendo aveia e níger, além do da soja e o milho. No estudo de Nascente et al. (2014), resultados semelhantes foram observados, no qual as rotações de cultura afetaram positivamente os atributos químicos do solo após seis anos agrícolas sob PD. Todavia, é importante ressaltar que os teores observados no presente estudo para todos os tratamentos encontram-se altos.

A ausência de diferença observada para a maioria das características químicas no solo entre os tratamentos e os sistemas de cultivo deve-se ao fato de que há presença de plantas na primeira e na segunda safra para todos os manejos estudados sem revolvimento do solo por longo período de tempo, desde a implantação do experimento em 2009.

O acúmulo de resíduos sucessivos de safras e entressafras promove o retorno ao solo de uma considerável quantidade de nutrientes, dificultando desta forma, a obtenção de resultados precisos dos prováveis benefícios do emprego de cada espécie de cobertura em sistemas de rotação, ou mesmo de sucessão em um ambiente tão dinâmico como o solo (PITTELKOW et al., 2012). Em experimento de longa duração, como é o caso, os manejos ao longo dos anos, com intuito de manter o equilíbrio nutricional reduz a interferência isolada de cada espécie e destaca os efeitos dos sistemas.

#### 4.4 Biomassa microbiana do solo e atividade microbiana

##### 4.4.1 Inverno e verão de 2018

No ano de 2018, houve interação significativa entre os tratamentos e a época de coleta do solo (inverno, verão) para respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>), quociente metabólico (*q*CO<sub>2</sub>), matéria orgânica do solo (M.O) e relação entre carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico do solo (*q*MIC). Para carbono da biomassa microbiana (C-BMS) não se observou interação entre os fatores, apenas entre os tratamentos para cada fator isolado (Tabela 11).

**Tabela 11.** Resumo da análise de variância para médias de carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>), quociente metabólico (*q*CO<sub>2</sub>), matéria orgânica do solo (M.O) e relação entre carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico do solo (*q*MIC) do solo em sistemas de rotação e sucessão de culturas avaliados no inverno e verão de 2018.

Variáveis	Fonte de variação			
	Blocos	Tratamento (T)	Época de coleta (E)	TxE
	Valor- <i>F</i>			
C-BMS	2,45*	181,15**	7,54**	2,13 <sup>ns</sup>
C-CO <sub>2</sub>	0,89 <sup>ns</sup>	50,96**	514,89**	3,60**
<i>q</i> CO <sub>2</sub>	0,75 <sup>ns</sup>	9,37**	208,06**	9,26**
M.O	0,82 <sup>ns</sup>	674,00**	1,23 <sup>ns</sup>	16,62**
<i>q</i> MIC	1,94 <sup>ns</sup>	16,33**	4,85*	2,31*

ns = não significativo; \* = significativo a  $p < 0,05$  pelo teste F; \*\* = significativo a  $p < 0,01$  pelo teste F

A matéria orgânica do solo foi observada em maiores teores na vegetação nativa em relação aos cultivos, cerca de 43% superior. Dentre os as rotações e sucessões os valores variaram de 35,23 a 37,00 g kg<sup>-1</sup> no inverno e 33,98 a 38,66 g kg<sup>-1</sup> no verão, com diferença significativa entre as épocas de coleta apenas para o consórcio milho + braquiária e vegetação nativa, ambas com maiores médias no verão. Dentre os tratamentos de rotação e sucessão de culturas não houve diferença significativa no inverno, no verão, as maiores médias foram constatadas no solo com consórcio entre milho e braquiária quando comparado ao milho e os solos com rotação incluindo níger e crotalaria (Tabela 12).

**Tabela 12.** Médias para matéria orgânica do solo, carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>), quociente metabólico (*q*CO<sub>2</sub>), relação entre carbono microbiano e carbono orgânico (*q*MIC) de sistemas de rotação e sucessão de culturas no inverno e verão de 2018.

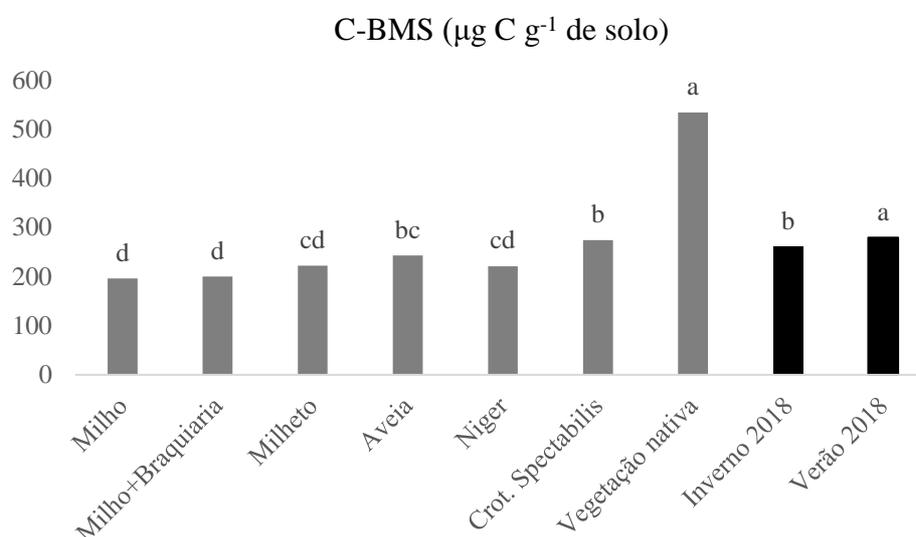
Tratamentos	M.O (g dm <sup>3</sup> )		C-CO <sub>2</sub> (µg g <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> de C-CO <sub>2</sub> no solo)	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão
Milho	35,23 bA	33,98 dA	7,59 bB	19,90 bA
Milho+Braquiaria	35,28 bB	38,66 bA	7,61 bB	23,50 bA
Milheto	36,50 bA	35,12 cdA	8,66 bB	21,61 bA
Aveia	36,73 bA	37,48 bcA	8,06 bB	23,69 bA
Niger	35,05 bA	35,17 cdA	10,12 bB	23,89 bA
Crot. Spectabilis	37,00 bA	35,79 cdA	12,18 bB	20,06 bA
Vegetação nativa	60,70 aB	66,63 aA	21,92 aB	38,71 aA
CV	2,97		17,94	
Tratamentos	<i>q</i> CO <sub>2</sub> (µg CO <sub>2</sub> /µgCmic h-1)		<i>q</i> MIC (%)	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão
Milho	19,77 aB	44,73 abA	1,01 bA	0,94 cA
Milho+Braquiaria	16,38 aB	47,92 aA	0,94 bA	0,94 cA
Milheto	18,63 aB	25,76 cA	1,07 bA	1,08 bcA
Aveia	16,88 aB	27,55 cA	1,05 bA	1,21 abA
Niger	19,15 aB	38,63 bA	1,10 bA	1,12 bcA
Crot. Spectabilis	18,54 aB	28,15 cA	1,11 bB	1,43 aA
Vegetação nativa	17,81 aB	29,05 cA	1,46 aA	1,45 aA
CV	22,80		15,72	

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O consórcio entre milho e braquiária caracteriza-se como uma modalidade de cultivo com elevada quantidade de massa seca aportada ao sistema (Tabela 2), influenciando positivamente na matéria orgânica, todavia, os valores obtidos para todos os tratamentos são considerados altos e resultam do sistema adotado de sucessão e rotação de culturas sem

revolvimento e com aporte diversificado de palha ao longo dos anos desde a instalação do experimento em 2009.

A matéria orgânica do solo está diretamente ligada aos indicadores biológicos do solo, sobretudo à biomassa microbiana, um de seus constituintes (MERCANTE et al., 2008). O carbono da biomassa microbiana (C-BMS) foi maior no verão, comparado ao inverno no ano de 2018. Dentre os tratamentos, a vegetação nativa, utilizada como referência apresentou o dobro de biomassa quando comparado aos cultivos, semelhante ao observado na matéria orgânica (Tabela 12), dentre eles, crotalária proporcionou as maiores médias, não diferindo da aveia. Milho e milho + braquiária foram os tratamentos com menores médias para biomassa, não diferindo do níger e do milho (Figura 4).



**Figura 4.** Carbono da biomassa microbiana de amostras de solo sob rotação e sucessão de culturas no ano de 2018. Barras da mesma cor seguidas das mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Em seu levantamento, Balota (2017) constatou que a variação para C-BMS para plantio direto no Brasil está entre 209 e 1090  $\text{mg kg}^{-1}$  (equivalente a  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), com variação atribuída às condições de clima, tipo de solo e manejo, condições de coleta das amostras, camada amostrada, armazenamento e metodologias utilizadas nas análises.

Alves et al. (2011), estudando sistemas de integração lavoura e pecuária constataram que o C-BMS é influenciado diretamente pelo período de coleta, local e época do ano. Os autores complementam que é comum a biomassa estar presente em maiores quantidades nos períodos mais chuvosos, no caso do verão, onde é esperado encontrar valores relativamente maiores quando comparados a solos cultivados, já que essa microbiota é favorecida pela cobertura vegetal abundante e diversificada, que propicia maior acúmulo de

material orgânico, fornecendo maior fonte de nutrientes para o desenvolvimento da comunidade microbiana.

Para a respiração microbiana ou basal, a quantidade de CO<sub>2</sub> liberada foi superior no verão, comparado ao inverno. Semelhante ao ocorrido no carbono da biomassa microbiana, tanto no inverno quanto no verão, o solo sob vegetação nativa favoreceu uma maior liberação de CO<sub>2</sub> em relação aos demais sistemas de manejo, praticamente o dobro. Este resultado, provavelmente está relacionado com a maior biomassa microbiana desse ambiente, promovendo maior liberação de CO<sub>2</sub>, tanto no inverno, quanto no verão (Tabela 12).

Considerando a mesma constituição da comunidade microbiana, uma BMS “eficiente” e seria a que emitisse menor taxa de CO<sub>2</sub>, todavia, Roscoe et al. (2006) afirmam que uma alta taxa de respiração pode ser interpretada como característica desejável quando se considera que a decomposição dos resíduos orgânicos irá disponibilizar nutrientes para a planta, neste caso a soja.

O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) foi maior no verão comparado ao inverno para todos os tratamentos, assim como observado para C-BMS e respiração. No inverno não houve diferença entre os tratamentos, enquanto no verão milho e milho + braquiária antecedendo a soja foram os tratamentos com maiores valores, sendo que, o primeiro não diferiu do níger, enquanto o solo cultivado com crotalaria, vegetação nativa, milheto e aveia apresentaram os menores valores.

Balota (2017) explica que o quociente metabólico está relacionado com a estabilidade do agroecossistema, ambientes mais estáveis ou maduros tendem a apresentar menores valores em relação aos menos estáveis. Segundo o autor, não só o revolvimento do solo gera aumento dessa característica, como também a espécie de planta cultivada e o conteúdo de biomassa produzido pela mesma, sendo que, maior variedade de espécies e maior volume de fitomassa, principalmente em SPD tendem a manter o ambiente mais equilibrado e estão associados à redução nos valores de  $qCO_2$ .

Cientes de que o  $qCO_2$  representa a eficiência dos microrganismos na utilização do carbono, pode-se inferir que no inverno, os sistemas de sucessão e rotação de culturas propiciaram condições semelhantes aos da vegetação nativa quanto à eficiência na utilização e a liberação de CO<sub>2</sub> por unidade de biomassa microbiana. No verão, o comportamento se repetiu para os tratamentos cultivados com milheto, aveia e crotalaria, indicando menor perda de carbono e maior incorporação de C lábil ao carbono orgânico total do solo.

A taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana ( $q\text{CO}_2$ ), apresenta-se como variável de determinação mais adequada para o entendimento da qualidade do manejo do solo. Altos valores de  $q\text{CO}_2$  significam que a população microbiana está oxidando carbono de suas próprias células (respiração de manutenção dos microrganismos vivos) para a sua manutenção e adaptação ao solo, portanto, a população microbiana se encontra em condições adversas ou estressantes (ALVES et al., 2011), ocorrendo maior gasto de energia para a manutenção da comunidade microbiana, ou seja, devido à condição de estresse, os microrganismos têm que consumir mais substrato para sua sobrevivência (CARNEIRO et al., 2008).

Os valores observados no presente estudo podem são adequados para o sistema de cultivo em questão, e estão próximos aos observados por Balota et al. (2014) que observaram valores entre 12 e 34  $\mu\text{g CO}_2/\mu\text{gC}_{\text{mic}} \text{ h}^{-1}$  em experimento de longa duração com rotação de culturas em sistema plantio direto em Londrina-PR. Em Dourados-MS, Lourente et al. (2011) observaram 9 e 14  $\mu\text{g CO}_2/\mu\text{gC}_{\text{mic}} \text{ h}^{-1}$  para semeadura direta, com coletas no inverno e no verão respectivamente. Lourente et al. (2016) avaliando o coeficiente de respiração em uma área de cultivo de soja e milho em Maracaju –MS no período de outono-inverno observam valores de 36,51  $\mu\text{g CO}_2/\mu\text{gC}_{\text{mic}} \text{ h}^{-1}$ , o que demonstra a variação de comportamentos para esta variável em função do ambiente e manejo.

A diferença entre inverno e verão observado para C-BMS, C- $\text{CO}_2$  e  $q\text{CO}_2$  pode estar associada às diferenças climáticas entre as duas épocas de coleta. Chen et al. (2006) relatam que o aumento na temperatura favorece o aumento da atividade microbiana, devido à maior atividade fisiológica das plantas, altas temperaturas e umidade no solo. Na semana que antecedeu a coleta, a média de temperatura foi de 19,86 °C e 0 mm de precipitação no inverno e 26,37 °C com 107 mm de precipitação no verão.

A relação entre o carbono microbiano/carbono orgânico ( $q\text{MIC}$ ) foi semelhante entre os tratamentos no inverno e no verão, exceto para crotalária, com  $q\text{MIC}$  maior no verão. Dentre os tratamentos, apenas a vegetação nativa diferenciou-se dos demais no inverno, enquanto no verão, as amostras da vegetação nativa e crotalária diferiram das demais, não diferindo da aveia. Os tratamentos compostos por sucessão de culturas proporcionaram os menores valores, não diferindo do milheto (Tabela 12). Valores mais altos para essa característica é indicativo de material orgânico mais diversos e de melhor qualidade para a proliferação da microbiota do solo, representando sua maior contribuição no constituinte orgânico do solo.

Para condições tropicais, a participação da biomassa normalmente varia entre 0,1 a 5% do carbono orgânico total do solo (KASCHUK et al., 2010). Compilando 14 trabalhos desenvolvidos no Brasil, Balota (2017) observou que o aumento do carbono orgânico do solo influencia positivamente no  $qMIC$ , com variação de 0,3 a 3,0%, com maiores valores nas amostras de mata e SPD.

No estudo em questão, a maior média para  $qMIC$  foi de 1,46% na vegetação nativa e 1,43% na crotalária dentre os cultivos. A baixa relação carbono microbiano/carbono orgânico pode ser atribuída ao alto teor de carbono orgânico no solo, representado pela matéria orgânica e valores relativamente baixos de biomassa microbiana (Tabela 12 e Figura 4), visto que, no compilado produzido por Balota (2017) sobre 13 trabalhos no Brasil em plantio direto, a média foi de  $443 \mu\text{g C g}^{-1}$ .

#### 4.4.2 Inverno e verão de 2019

Em 2019 houve interação significativa entre os tratamentos e épocas de coleta, indicando que o comportamento dos tratamentos varia em função da coleta no inverno ou no verão (Tabela 13).

**Tabela 13.** Resumo da análise de variância para médias de carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>), quociente metabólico ( $qCO_2$ ), matéria orgânica do solo (M.O) e relação entre carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico do solo ( $qMIC$ ) do solo em sistemas de rotação e sucessão de culturas avaliados no inverno e verão de 2019.

Variáveis	Fonte de variação			
	Blocos	Tratamento (T)	Época de coleta (E)	TxE
	Valor-F			
C-BMS	1,06NS	69,54**	6,28*	5,25**
C-CO <sub>2</sub>	3,60**	53,19**	31,78**	15,88**
$qCO_2$	0,96NS	5,61**	15,71**	5,36**
M.O	2,88**	831,36**	181,50**	7,15**
$qMIC$	0,59NS	6,39**	23,41**	3,74**

NS = não significativo; \* = significativo a  $p < 0,05$  pelo teste F; \*\* = significativo a  $p < 0,01$  pelo teste F

A matéria orgânica do solo foi maior no solo com vegetação nativa, idem ao ocorrido em 2018, dentre os cultivos, no inverno houve diferença entre o solo cultivado com milho, níger e crotalária, que apresentaram as maiores médias em relação ao solo com milho. No verão, houve diferença entre o solo de mata nativa e os tratamentos de cultivo, que não diferiram entre si (Tabela 14). Contudo, ressalta-se novamente que todos os valores são considerados altos.

**Tabela 14.** Teor de matéria orgânica do solo cultivado com sucessão, rotação de cultura e vegetação nativa em 2019.

Tratamentos	M.O (g dm <sup>3</sup> )	
	Inverno	Verão
Milho	35,04 c	36,26 b
Milho+Braquiaria	36,26 bc	38,14 b
Milheto	37,21 b	36,46 b
Aveia	35,90 bc	37,80 b
Niger	37,49 b	37,36 b
Crot. Spectabilis	37,47 b	37,70 b
Vegetação nativa	61,03 a	60,20 a
CV	2,30	

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na rotação de culturas o teor de matéria orgânica no solo aumenta em relação à sucessão, pois, em geral, aumenta a quantidade e a qualidade de resíduos culturais no solo (BAYER; BERTOL, 1999) sobretudo em sistema plantio direto (BERTOL et al., 2004). No presente estudo, podemos observar que os tratamentos caracterizados pela rotação de culturas mantem maiores teores de matéria orgânica, assim como, maior eficiência na fixação do carbono no solo pela microbiota. Monteiro et al. (2019) também observaram aumento da matéria orgânica do solo na rotação de culturas em relação à sucessão em plantio direto.

No ano de 2019, o padrão observado em 2018 não se repetiu para C-BMS, apenas para a vegetação nativa as maiores médias foram observadas no verão, com médias superiores às do ano anterior. Nos tratamentos milho + braquiária, milheto e aveia não houve diferença entre as épocas de coleta e, para milho, níger e crotalaria as maiores médias foram identificadas no inverno. Dentre os tratamentos, tanto no inverno, quanto no verão, apenas vegetação nativa diferiu dos demais, com as maiores médias (Tabela 15).

Os valores observados neste ano são superiores aos observados no ano anterior, com média de 358  $\mu\text{g C g}^{-1}$  de solo no inverno e 328 no verão, enquanto em 2018 observou-se média de 260 e 279  $\mu\text{g C g}^{-1}$  de solo respectivamente (Figura 4, Tabela 15). Os valores nos dois anos encontram-se dentro dos limites estabelecidos por Balota e Chaves (2011). No inverno, estão próximos aos observados por Lourente et al. (2011) também em Dourados em SPD (291  $\mu\text{g C g}^{-1}$  de solo), todavia, os autores obtiveram no verão valores superiores (505  $\mu\text{g C g}^{-1}$  de solo).

**Tabela 15.** Médias para carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>), quociente metabólico ( $qCO_2$ ), relação entre carbono microbiano e carbono orgânico ( $qMIC$ ) de sistemas de rotação e sucessão de culturas no inverno e verão de 2019.

Tratamentos	C-BMS ( $\mu\text{g C g}^{-1}$ de solo)		C-CO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g g}^{-1}\text{dia}^{-1}$ de C-CO <sub>2</sub> no solo)	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão
Milho	317,53 bA	223,75 bB	8,92 cdB	13,67 bcA
Milho+Braquiaria	314,65 bA	274,97 bA	12,78 bcA	9,37 dB
Milheto	313,12 bA	288,05 bA	14,06 bA	9,73 cdB
Aveia	322,69 bA	306,68 bA	10,67 bcdB	14,46 bA
Niger	300,67 bA	236,27 bB	7,33 dB	12,80 bcdA
Crot. Spectabilis	368,16 bA	286,23 bB	11,44 bcA	13,99 bA
Vegetação nativa	572,39 aB	689,25 aA	18,73 aB	29,93 aA
CV	17,90		20,01	

Tratamentos	$qCO_2$ ( $\mu\text{g CO}_2/\mu\text{gCmic h}^{-1}$ )		$qMIC$ (%)	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão
Milho	15,77 bB	23,83 aA	1,55 aA	1,01 bB
Milho+Braquiaria	21,12 aA	18,15 bcA	1,52 aA	1,17 bB
Milheto	21,35 aA	19,46 abcA	1,41 aA	1,27 bA
Aveia	17,15 abB	21,84 abA	1,58 aA	1,33 bA
Niger	15,02 bA	15,77 cA	1,38 aA	1,03 bB
Crot. Spectabilis	14,03 bB	19,37 abcA	1,70 aA	1,20 bB
Vegetação nativa	13,73 bB	18,24 bcA	1,62 aA	1,88 aA
CV	19,37		3,00	

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A maior biomassa microbiana em 2019 pode estar associada aos maiores teores de matéria orgânica observados em 2019 em relação a 2018, com aumento de 2 e 6% respectivamente (Tabelas 12 e 14). Na comparação entre o inverno e o verão de 2019, a ausência de diferença entre a maioria dos tratamentos pode ser explicada pela ausência de temperaturas muito baixas na semana que antecedeu a coleta no inverno, com média de 22,6 °C quando comparado a 25,6 do verão e precipitação de apenas 30,6 mm no mesmo período no verão (Tabela 15, Figuras 2 e 3). Espíndola et al. (2001) observaram resultados semelhantes e acrescentaram que os picos de C microbiano e os baixos valores de quociente metabólico nesse período sugerem que a biomassa microbiana funciona como um compartimento de reserva de nutrientes nesses períodos, evitando perdas através de processos como a lixiviação na entressafra.

A respiração não diferiu entre o inverno e o verão para crotalária, foi maior no inverno para milho + braquiária e milheto e maior no verão para os demais tratamentos. No solo da vegetação nativa foram observados os maiores valores dentre os tratamentos, como

esperado (Tabela 15). Os valores observados no estudo em questão estão próximos aos observados por Lourente et al. (2011), tanto no SPD, quanto vegetação nativa, para inverno e verão com médias de 10,5 e 31,5  $\mu\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$  de C-CO<sub>2</sub>. Na média a respiração foi maior no verão para os dois anos avaliadas, o que segundo Espíndola et al. (2001) está relacionada à relação existente entre respiração, C-BMS e umidade do solo. Chen et al. (2006) acrescentam ainda, que o aumento na temperatura constatada no verão favorece o aumento da atividade microbiana, devido à maior atividade fisiológica das plantas. Resultado semelhante foi observado por Silva et al. (2012), que também observaram maior C-BMS na época mais seca comparado à época úmida, todavia a atividade microbiana foi maior no cultivo de verão, no qual as temperaturas e a precipitação foram mais elevadas.

O quociente metabólico foi maior no verão para os tratamentos milho, aveia, crotalária e vegetação nativa, nos demais tratamentos não diferiu. Entre os tratamentos, no solo com cultivo de milho e milho + braquiária foram obtidas as maiores médias, não diferindo do solo com aveia no inverno. No verão, as maiores médias foram observadas no milho, comparado a milho + braquiária, níger e vegetação nativa (Tabela 15). Este comportamento, associado à maior respiração pode indicar maior atividade dos microrganismos no verão, como mencionado acima.

Quanto ao comportamento mais ativo e estressado dos microrganismos nos tratamentos de sucessão, sobretudo no verão, pode estar associado a um ambiente menos diverso, quando comparado à rotação, corroborando à afirmação de Balota (2017), de que maior variedade de espécies, principalmente em SPD tendem a manter o ambiente mais equilibrado. Soma-se a isso a menor macroporosidade observada para estes tratamentos (Tabela 6), fato que reduz a disponibilidade de oxigênio no solo e conseqüentemente causa maior estresse e menor eficiência energética da biomassa microbiana.

O  $q_{MIC}$  foi maior no inverno, para milho, milho + braquiária, níger e crotalária, para os demais tratamentos não houve diferença para inverno e verão. Com relação aos cultivos, não houve diferença no verão e no inverno, a vegetação nativa proporcionou maiores médias comparados aos demais tratamentos, que, por sua vez, não diferiram entre si (Tabela 15). A diferença entre verão e inverno está relacionada a maior biomassa microbiana presente no inverno, conseqüentemente, maior participação no carbono orgânico total do solo, fato também observado quando se compara os anos.

A proximidade constatada entre as médias nos componentes biológicos para os anos e as épocas de coleta é atribuída à ausência de perturbação severa no ambiente entre um

ano e outro. Segundo Roscoe et al. (2006), apesar de sensível às alterações no solo e edafoclimáticas, os componentes da microbiota do solo tendem a ser mais responsivos às alterações na matéria orgânica do solo, ocasionada principalmente pelo revolvimento, o que não foi o caso no trabalho em questão.

#### 4.4.3 Média geral entre invernos e verões de 2018 e 2019

Avaliando o comportamento geral dos componentes microbiológicos na média, sem considerar ano e época de coleta, observa-se que há diferença significativa entre os tratamentos para todas as características avaliadas (Tabela 16).

**Tabela 16.** Resumo da análise de variância para média geral das épocas e anos para carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>), quociente metabólico (*q*CO<sub>2</sub>), matéria orgânica do solo (M.O) e relação entre carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico do solo (*q*MIC) do solo em sistemas de rotação e sucessão de culturas avaliados no inverno e verão de 2018 e 2019.

Variáveis	Quadrado Médio				
	Blocos	Tratamento	Resíduo	CV	Teste F
C-BMS	1274,71	122100,79	429,77	6,75	248,11**
C-CO <sub>2</sub>	2,43	218,65	1,28	7,29	170,26**
<i>q</i> CO <sub>2</sub>	1,50	55,74	3,73	8,67	14,93**
M.O	1,00	753,14	0,41	1,56	1852,50**
<i>q</i> MIC	0,02	0,24	0,01	7,70	25,53**

NS = não significativo; \* = significativo a  $p < 0,05$  pelo teste F; \*\* = significativo a  $p < 0,01$  pelo teste F

A vegetação nativa diferiu de todos os tratamentos para todas as características avaliadas, com as maiores médias, exceto para o quociente metabólico (Tabela 17). O resultado para biomassa é esperado conforme relatou Balota (2017), no qual avaliando 12 trabalhos com as diversas culturas em locais diferentes do Brasil identificou que a relação entre a biomassa dos cultivos variou de 27 a 76% em relação ao da vegetação nativa, no trabalho em questão observou-se variação de 40, 42%, 45%, 48%, 42% e 52% para milho, milho + braquiária, milho, aveia, níger e crotalária respectivamente, em relação à vegetação nativa.

Dentre os cultivos, a crotalária proporcionou os maiores valores, não diferindo da aveia, os piores resultados para esta característica foram observados no milho e no níger, porém não diferindo de milho + braquiária e milho (Tabela 17).

**Tabela 17.** Média geral para carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>), quociente metabólico ( $qC-CO_2$ ), relação entre carbono microbiano e carbono orgânico ( $qMIC$ ) e matéria orgânica do solo de sistemas de rotação e sucessão de culturas, considerando inverno e verão de 2018 e 2019.

Trat.	C-BMS ( $\mu\text{g C g}^{-1}\text{de}$ solo)	C-CO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g g}^{-1}\text{dia}^{-1}$ de C-CO <sub>2</sub> no solo)	$qCO_2$ ( $\mu\text{g}$ CO <sub>2</sub> / $\mu\text{gCmic}$ h-1)	$qMIC$ (%)	Matéria orgânica ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
Milho	233,43 d	12,52 c	26,02 a	1,13 d	35,56 d
Milho + Braquiaria	247,35 cd	13,31 bc	25,89 a	1,14 d	34,74 bc
Milheto	261,50 cd	13,51 bc	21,30 b	1,19 cd	37,30 c
Aveia	278,75 bc	14,22 bc	20,85 b	1,29 bc	37,42 c
Niger	244,75 d	13,53 bc	22,14 b	1,12 d	37,33 c
Crot. Spectabilis	300,51 b	14,42 b	20,02 b	1,35 b	38,63 b
Vegetação nativa	582,35 a	27,32 a	19,70 b	1,60 a	62,89 a
CB	6,75	7,28	8,67	7,70	1,56

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os dados de biomassa microbiana foram classificados como moderados (entre 246 e 415), exceto para vegetação nativa, classificada com adequada ( $>415$ ) e para milho e níger, classificados com baixo ( $\leq 245$ ) com relação à tabela de interpretação proposta por Lopes et al. (2018). A respiração basal foi  $\leq 40$  para todos os tratamentos e classifica-se com baixa (MENDES et al., 2019) para a camada de 0-10 cm coletadas no florescimento (Tabela 17). Com base nesta interpretação, observa-se que, apesar do C-BMS encontrar-se abaixo do esperado em alguns tratamentos, o baixo índice de respiração basal indica equilíbrio nos ambientes avaliados, sobretudo no sistema de rotação de culturas.

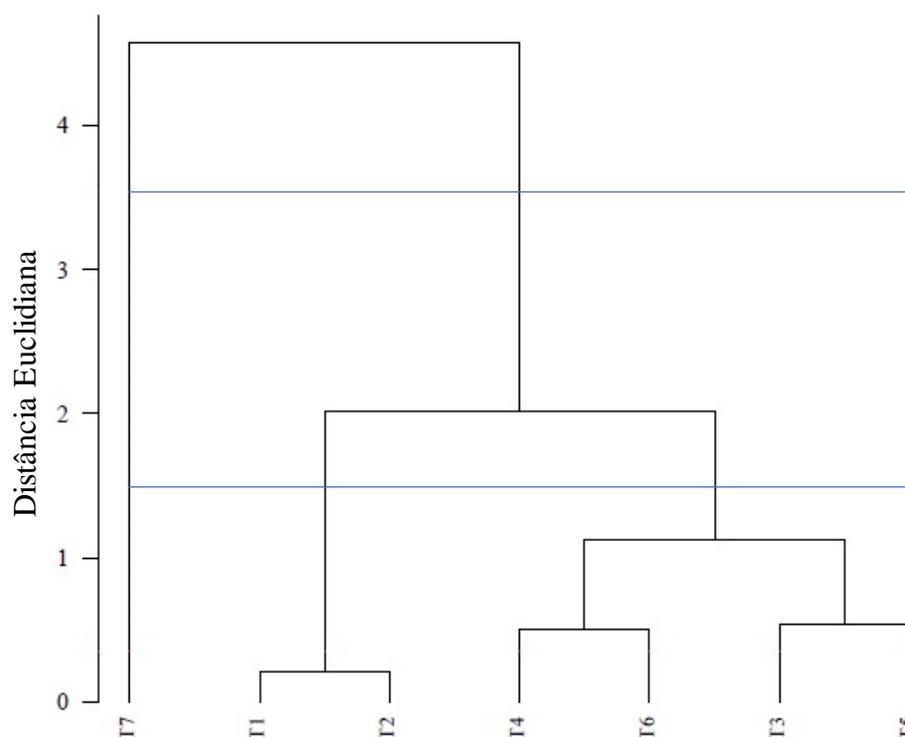
De maneira geral, o comportamento positivo observado no solo com cultivo de crotalaria corrobora à informação de Cunha et al. (2011), segundo os mesmos, a inclusão de leguminosas em sistemas agrícolas é uma estratégia que deve ser avaliada em relação ao seu efeito no incremento de nitrogênio no sistema, nos estoques de matéria orgânica do solo, aumento da produtividade das culturas comerciais em sucessão e aumento da biomassa microbiana, os autores observaram aumento de 270 para 308  $\mu\text{g C g}^{-1}\text{de}$  solo no ambiente cultivado com feijão em relação a milho na semeadura direta. No entanto é preciso ressaltar que a crotalaria foi a única cultura que alternou com consórcio de espécies, sendo cultivada nos locais onde no inverno anterior havia sido cultivado aveia + ervilhaca e o aumento na diversidade de espécies é comprovadamente benéfico à microbiota do solo.

Para a respiração, houve diferença significativa apenas entre crotalária e milho, contudo, ambos não diferiram dos demais, os valores são próximos e considerados baixos e seguiram o comportamento da biomassa microbiana (Tabela 17).

O quociente metabólico foi maior no milho e no milho + braquiária em relação aos demais cultivos e no  $qMIC$ , novamente a crotalária proporcionou os maiores valores, não diferindo da aveia. Assim como observado na biomassa microbiana, as menores médias de  $qMIC$  foram obtidas para milho, milho + braquiária e níger, não diferindo de milheto com médias intermediárias (Tabela 17). Balota et al. (2015) identificaram que tanto em sistema convencional quanto SPD, o aumento da biomassa microbiana, devido à melhoria nas condições do ambiente tende a reduzir o quociente microbiano, como observado no trabalho em questão.

No Brasil, Balota (2017) observou que os valores médios de  $qMIC$  estariam entre 1,40 a 4,23%, com média de 2,33. Complementa ainda que em média, os valores observados para as áreas com cultivos equivalem a 60% das áreas de vegetação nativa. Em sistemas diversos ou com rotação de culturas, a maior distinção entre a quantidade e qualidade de resíduos adicionados ao solo favorecem microrganismos que possuem metabolismo fisiológico mais econômicos, com capacidade de utilizar menos carbono no metabolismo energético para fixar maior quantidade de carbono na célula microbiana. O aumento do  $qMIC$  em uma mesma área significa aumento na atividade da matéria orgânica, ou seja, resíduos de melhor qualidade, como pode ser observado de maneira geral neste trabalho para o solo contendo crotalária.

Através da análise de agrupamento, técnica cujo objetivo é agrupar sistemas de manejo com base em características comuns foi possível inferir a formação de dois grupos, com o corte a uma distância euclidiana de 3,5, separando a vegetação nativa em um grupo e os cultivos em outro. No segundo corte proposto, a uma distância de 1,5, observa-se a formação de 3 grupos, sendo, grupo 1 formado pela vegetação nativa, grupo 2 pelos tratamentos de sucessão de culturas (milho, milho + braquiária) e o grupo 3 com os tratamentos de rotação de culturas (milheto, aveia, níger e crotalária) (Figura 6), destacando a diferença entre os sistemas. O coeficiente de correlação cofenética para a formação dos grupos foi de 0,96.



**Figura 5.** Resultado da análise de agrupamento dos tratamentos com base nas características microbiológicas médias do solo (T1 = Milho; T2 = Milho + Braquiária; T3 = Milheto; T4 = Aveia branca; T5 = Níger; T6 = Crotalária spectabilis; T7 = vegetação nativa)

#### 4.5 Componentes de produção da soja

Analisando os componentes produtivos da soja nas safras de 2017/18, 2018/19 e 2019/20, observou-se que há interação significativa entre tratamentos e ano de cultivo para as características número de vagens, número de grãos por planta e produtividade de grãos. Para a característica massa de mil grãos não houve interação entre os fatores, apenas diferenças entre as médias de cada fator isolado (Tabela 18).

**Tabela 18.** Resumo da análise de variância para componentes de produção da soja (número de vagens, grãos por vagem, massa de 1000 grãos e produtividade) em sistemas de sucessão e rotação de culturas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 em Dourados-MS.

Variáveis	Fonte de variação			
	Blocos	Tratamento (T)	Safra (A)	TxS
	Valor-F			
Número de vagens	0,57 <sup>ns</sup>	3,13*	373,97**	12,21**
Grãos por planta	0,41 <sup>ns</sup>	2,26 <sup>ns</sup>	380,80**	7,58**
Massa 1000 grãos	3,67*	3,10*	296,16**	1,17 <sup>ns</sup>
Produtividade	4,80**	13,70**	179,98**	5,28**

NS = não significativo; \* = significativo a  $p < 0,05$  pelo teste F; \*\* = significativo a  $p < 0,01$  pelo teste F

Observou-se maiores médias para o número de vagens por planta na safra 2018/19 em relação às demais para a maioria dos tratamentos e as menores médias na safra

2017/18, na safra 2019/20 foram observadas médias intermediárias para a característica. Dentre os tratamentos, em 2017/18 o maior número de vagens foi observado nas plantas cultivadas sobre aveia e níger, comparado ao cultivo da soja sobre a palha de milho e crotalária, em 2018/19 a soja cultivada em sucessão ao milho apresentou menores médias em relação aos tratamentos compostos por cultivo sobre milho + braquiária, milho e crotalária, não diferindo das plantas sobre aveia e níger, em 2019/20 não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 19).

**Tabela 19.** Médias para número de vagens por planta na safra 2017/18, 2018/19 e 2019/20.

Tratamentos	Número de vagens por planta		
	2017/18	2018/19	2019/20
Milho	58,10 abB	75,80 bA	70,60 aA
Milho + Braquiária	57,54 abC	85,40 aA	69,08 aB
Milho	53,42 bC	86,80 aA	66,77 aB
Aveia	62,67 aB	81,60 abA	66,87 aB
Níger	62,75 aB	82,10 abA	64,33 aB
Crotalária	55,15 bC	86,45 aA	69,47 aB
CV		4,45	

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O número de vagens por planta é uma característica intrínseca de cada variedade, que, no entanto, pode ser influenciada pelo estande e distribuição de plantas na área ou por fatores climáticos e/ou nutritivos que podem influenciar no número de flores e legumes. No caso da safra 2018/19, o menor estande de plantas, cerca de 10% e 18% menor em relação a 2017/18 e 2018/19 deve estar associado a plantas mais vigorosas e com maior número de ramos reprodutivos, conseqüentemente maior número de vagens por planta. Souza et al. (2010) observou comportamento semelhante, e sugere que a relação fonte-dreno foi alterada entre plantas quando se modificou a densidade, mas foi mantida por unidade de área, não afetando produtividade.

A média de grãos por planta está positivamente correlacionada com o número de vagens por planta. Dentre os tratamentos, o comportamento foi idêntico entre as duas características para as três safras avaliadas. Dentre as safras também se observou maiores médias para a safra 2018/19, média intermediárias para 2019/20 e em geral as menores médias em 2017/18 (Tabela 20).

**Tabela 20.** Médias para número de grãos por planta (GP) na safra 2017/18, 2018/19 e 2019/20.

Tratamentos	Número de grãos por planta		
	2017/18	2018/19	2019/20
Milho	153,87 abC	203,50 bA	186,46 aB
Milho + Braquiária	156,75 abC	222,50 aA	184,26 aB
Milheto	146,10 bC	229,21 aA	177,69 aB
Aveia	170,39 aB	217,62 abA	177,80 aB
Níger	164,66 aB	217,58 abA	171,16 aB
Crotalária	147,39 bC	231,17 aA	184,39 aB
CV		4,36	

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Para massa de mil grãos, as maiores médias foram observadas na safra 2017/18, valores intermediários na safra 2019/20 e as menores médias em 2018/19. Dentre os tratamentos, as médias foram próximas, com diferença apenas entre as plantas cultivadas sobre a rotação envolvendo aveia em relação a milho e milho + braquiária, assim como na rotação contendo níger em relação ao milho + braquiária em sucessão com soja (Tabela 21).

**Tabela 21.** Médias para número de grãos por vagem (GV) massa de 1000 grãos (MG) de soja em sistemas de sucessão e rotação de culturas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20.

Tratamentos	Massa de mil grãos (g)
Milho	133,37 bc
Milho + Braquiária	131,39 c
Milheto	137,06 abc
Aveia	140,16 a
Níger	139,80 ab
Crotalária	136,37 abc
2017/18	166,92 a
2018/19	111,65 c
2019/20	130,49 b
CV	3,92

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A massa de mil grãos representa a capacidade nutritiva das plantas de translocar e acumular fotoassimilados nos grãos e pode ser influenciada pelo suprimento de nutrientes e água às plantas, assim como pelo número de grãos em cada planta. No presente estudo, observou-se as menores médias nos tratamentos de sucessão de culturas em relação à rotação, indicando que o sistema de rotação de culturas possa estar influenciando positivamente na absorção de água e nutrientes pelas plantas, produzindo conseqüentemente grãos mais pesados.

A massa de grãos reduziu quando a planta apresentou maior número de grãos, devido ao maior número de drenos na disputa por fotoassimilados no enchimento de grãos, observa-se que no ano em que as plantas produziram mais vagens e conseqüentemente mais grãos, eles foram mais leves. À medida que o número de grãos aumenta a massa individual diminui (PERINI et al., 2012).

Soma-se a isso as condições climáticas menos favoráveis ocorridas na safra 2018/19 no período mais crítico da cultura, entre o florescimento e o enchimento de grãos. Em 2017/18, no mês de janeiro, houve uma precipitação de 118 mm do dia 2 e nos dias seguintes do mês 184 mm bem distribuídos, enquanto que, em 2018/19, houve uma alta precipitação no dia 05 (95 mm) e nos próximos 26 dias, apenas 71 mm, 113 mm a menos (Figura 3), gerando uma redução média de 32% no peso de mil grãos, afetando principalmente os tratamentos de sucessão de culturas. Em 2019 o volume total de chuva no ciclo da cultura foi semelhante a 2018/19, 630 mm e 648 mm respectivamente, no entanto observa-se na Figura 2 que, assim como em 2017/18, os volumes de precipitação foram bem distribuídos durante o ciclo da planta, causando perda menor no peso dos grãos.

A quantidade requerida de água pela cultura de soja para completar o ciclo fisiológico é de 650 a 700 mm (Farias et al., 2009), na safra 2017/18 esse volume foi de 916 mm bem distribuídos, o que aliado ao menor número de grãos por planta justifica o alto enchimento dos grãos.

As maiores médias para produtividade de grãos foram observadas na safra 2017/18 quando comparado às demais avaliadas, exceto para milheto, níger e crotalária quando comparado a 2019/20. Em 2017/18 e 2018/19 a soja cultivada sobre aveia proporcionou as maiores médias de produtividade, não diferindo de níger e crotalária em 2018/19. Em 2019/20 observou-se diferença apenas entre milheto e os tratamentos de sucessão de culturas.

De maneira geral, as sucessões de culturas com milho e milho + braquiária proporcionaram as menores médias de produtividade para a soja (Tabela 22), o que evidencia a importância de sistemas de rotação de culturas, tanto em anos com precipitação adequada, quanto naqueles com déficit hídrico. Tal fato pode estar atrelado a diversos fatores característicos dessas duas formas de cultivo, o sistema contendo rotação promoveu menores valores de resistência à penetração, o que pode ter melhorado o crescimento radicular, absorção de água e nutrientes, conseqüentemente, maior exploração do solo, aumentou a

quantidade de poros, exsudatos, atividade microbiana, aporte de nitrogênio e diversidade de fitomassa no sistema, dentre outros benefícios não analisados.

**Tabela 22.** Médias para produtividade de grãos em sistemas de sucessão e rotação de culturas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20.

Tratamentos	Produtividade de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )		
	2017/18	2018/19	2019/20
Milho	4775,05 bA	3438,95 bcC	4243,09 bB
Milho + Braquiária	4747,33 bA	3382,88 cC	4278, 84 bB
Milheto	4801,35 bA	3523,28 bcB	4725,35 aA
Aveia	5325,94 aA	4205,17 aC	4637,66 abB
Níger	4454,81 bA	3835,07 abB	4616,56 abA
Crotalária	4577,96 bA	3994,88 aB	4600,77 abA
CV		4,59	

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Comparado ao ano de 2017/18 observou-se redução na produtividade de 22% e 6% em relação aos anos seguintes respectivamente, acompanhando os resultados observados na massa de grãos. Ressalta-se que a produtividade da soja foi superior à média do estado de Mato Grosso do Sul, de 2.980 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2019) e acima da média do município de Dourados-MS, de 2.700,1 kg ha<sup>-1</sup> (FAMASUL, 2019), mesmo para os tratamentos com as menores médias (Tabela 22).

Dentre os mecanismos associados ao aumento de produtividade de soja nos sistema de rotação de culturas podemos citar, a maior infiltração de água no solo e conservação da umidade (ACHARYA et al., 2019), melhores características estruturais do solo (MUNKHOLM et al., 2013), aumento no teores de nitrogênio no solo (OLIVEIRA et al., 2013) com as mais variadas espécies, principalmente gramíneas e leguminosas (OLIVEIRA et al., 2013; PACHECO et al., 2017), sobretudo quando houve alternância da soja com outras culturas (milho, sorgo) no verão por pelo menos um ano (SANTOS et al., 2014). Podemos ainda observar, que o comportamento da produtividade dos tratamentos nas três safras se assemelha ao dos dados microbiológicos (Figura 5), com maiores médias para os dois fatores no grupo das parcelas com rotação em relação à sucessão.

Van den Putte et al. (2010), concluíram que o plantio direto sem rotação de culturas pode ser mais ineficiente que o sistema convencional, a diversidade de culturas ao longo do tempo influencia o processamento de resíduos adicionados recentemente, dinâmica microbiana e ciclagem de nutrientes, tem o potencial de melhorar as funções do ecossistema

do solo e é fundamental para manutenção de serviços de solo em sistemas agrícolas, sobretudo em estudos de longa duração, a exemplo do experimento em questão.

## 5. CONCLUSÕES

O consórcio entre milho + braquiária e o milheto são ótimas opções para produção de massa seca, a crotalária absorve os maiores teores de nutrientes.

Os tratamentos de sucessão promoveram menor teor de potássio na camada de 0-10 cm e o milho cultivado solteiro menor teor de fósforo na camada de 10-20 cm

O cultivo de milho solteiro acarretou em menor macroporosidade do solo e o milho consorciado com braquiária maiores valores de resistência à penetração

Maior biomassa microbiana e eficiência no uso do carbono foram observadas nos tratamentos contendo rotação de culturas em relação à sucessão, sobretudo contendo crotalária.

Os tratamentos envolvidos na rotação de culturas proporcionaram maior produtividade de soja, com destaque para a sequência envolvendo aveia branca.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHARYA, B. S.; DODLA, S.; GASTON, L. A.; DARAPUNENI, M.; WANG, J. J.; SEPAT, S. E.; BOHARA, H. Winter cover crops effect on soil moisture and soybean growth and yield under different tillage systems. **Soil and Tillage Research**, v. 195, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104430>.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; HÜBNER, A. P.; CHIAPINOTTO, I. C.; FRIES, M. R. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. I-dinâmica do nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 739-749, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000400014>.

ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, n. 22, n. 208, p. 25-36, 2001. <file:///C:/Users/Usuario%201/Downloads/Plantascobertura.pdf>

ALVES, T. D. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, 341-347, 2011. [10.4025/actasciagron.v33i2.4841](https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i2.4841)

AMADO, T. J. C.; SCHLEINDWEIN, J. A.; FIORIN, J. E. Manejo do solo visando à obtenção de elevados rendimentos de soja sob sistema plantio direto. In: THOMAS, A.L.; COSTA, J. A. (Ed.). **Soja: manejo para alta produtividade de grãos**. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p.53-112

AMBROSANO, L. **Avaliação de plantas oleaginosas potenciais para o cultivo de safrinha**. 2012. 82p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000400003>

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; DA SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000400007>

ANDREOTTI, M.; ARALDI, M.; GUIMARÃES, V. F.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZETTI, S. Produtividade do milho safrinha e modificações químicas de um Latossolo em sistema plantio direto em função de espécies de cobertura após calagem superficial. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 109-115, 2008. DOI: [10.4025/actasciagron.v30i1.1158](https://doi.org/10.4025/actasciagron.v30i1.1158)

ANDRIOLI, I.; MELO PRADO, R. Plantas de cobertura em pré-safra e adubação nitrogenada na fertilidade do solo em diferentes camadas, cultivado com milho em sistema de plantio direto e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 3, p. 963-978, 2012.

AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D. Solos e ambiente: Uma introdução. 2.ed. Santa Maria, Pallotti, 2006. 100p.

BALOTA, E. L. Manejo e a Qualidade Microbiana do Solo. In: BALOTA, E. L. **Manejo e Qualidade Biológica do Solo**. Londrina: Mecenias, 2017. p. 89-204.

BALOTA, E. L.; CHAVES, J. C. D. Atividade microbiana em solo cultivado com diferentes leguminosas de verão na cultura do café. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v. 54, n. 1, p. 35-44, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132011000100005>

BALOTA, E. L.; CALEGARI, A.; NAKATANI, A. S.; COYNE, M. S. Benefits of winter cover crops and no-tillage for microbial parameters in a Brazilian Oxisol: A long-term study. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.197, p. 31-40, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.07.010>

BALOTA, E. L.; YADA, I. F. U.; AMARAL, H. F.; NAKATANI, A. S.; HUNGRIA, M.; DICK, R. P.; COYNE, M. S. Soil quality in relation to forest conversion to perennial or annual cropping in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1003-1014, 2015.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 687-694, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000300023>.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000100015>

BETIOLI JÚNIOR, E.; MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; FERREIRA, C. J. B.; SILVA, A. P.; GIAROLA, N. F. B. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um Latossolo Vermelho após 30 anos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 971-982, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000300027>

BHERING, L. L. Rbio: Uma ferramenta para análise biométrica e estatística usando a plataforma R. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, 187-190, 2017.

BLAINSKE E.; TORMENA, C. A.; GUIMARÃES, R. M. L.; NANNI, M. R. Qualidade Física de um Latossolo Sob Plantio Direto Influenciada pela Cobertura do Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p.79-87, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100009>

BORGES, W. L. B.; FREITAS, R. S. D.; MATEUS, G. P.; SÁ, M. E. D.; ALVES, M. C. Absorção de nutrientes e alterações químicas em latossolos cultivados com plantas de cobertura em rotação com soja e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 252–261, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000100025>.

BORGES, W. L. B.; FREITAS, R. S. D.; MATEUS, G. P.; SÁ, M. E. D.; ALVES, M. C. Plantas de cobertura para o noroeste do estado de São Paulo. **Ciência Rural**, v. 45, n. 5, p. 799-805, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20131018>

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 398p.

BRESSAN, S. B.; NÓBREGA, J. C.; NÓBREGA, R. S.; BARBOSA, R. S.; SOUSA, L. B. Plantas de cobertura e qualidade química de Latossolo Amarelo sob plantio direto no cerrado maranhense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.4, p.371–378, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000400003>.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 87-98, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000100010>

CALEGARI, A.; CASTRO FILHO, C.; TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M.F. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, no. 2, p.147-158, p. 2006. DOI: 10.5433/1679-0359.2006v27n2p14

CALEGARI, A.; TIECHER, T.; HARGROVE, W. L.; RALISCH, R.; TESSIER, D.; TOURDONNET, S.; GUIMARÃES, M. F.; SANTOS, D. R. Long-term effect of different soil management systems and winter crops on soil acidity and vertical distribution of nutrients in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 133, p. 32-39, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.05.009>

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. **European Journal of Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 242-249, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.06.002>

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

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M.; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health?. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 4., p. 274-289, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000400009>

CARNEIRO, M. A. C.; CORDEIRO, M. A. S.; ASSIS, P. C. R.; MORAES, E. S.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 455-462, 2008. <http://www.scielo.br/pdf/brag/v67n2/a21v67n2.pdf>

CARPIM, L. K.; ASSIS, R. L.; BRAZ, A. J. B. P.; SILVA, G. P.; PIRES, F. R.; PEREIRA, V. C.; GOMES, G. V.; SILVA, A. G. Liberação de nutrientes pela palhada de milho em diferentes estádios fenológicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2813-2819, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000700027>

CASTRO, G. S. A.; DA COSTA, C. H. M.; FERRARI NETO, J. Ecofisiologia da aveia branca. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 11, n. 3, p. 1-15, 2012. <http://dx.doi.org/10.18188/sap.v11i3.4808>

CECCON, G.; STAUT, L. A.; SAGRILO, E.; MACHADO, L. A. Z.; NUNES, D. P.; ALVES, V. B. Legumes and forage species sole or intercropped with corn in soybean-corn succession in midwestern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 204-212. 2013.

CHEN, Y.; LEE, P.; LEE, G.; MARIKO, S.; OIKAWA, T. Simulating root responses to grazing of a Mongolian grassland ecosystem. **Plant Ecology**, v. 183, p. 265-275, 2006. <https://doi.org/10.1007/s11258-005-9038-7>

CHU, M.; JAGADAMMA, S.; WALDER F. R.; EASH, N. S.; BUSCHERMOHLE, M. J.; DUNCAN, L. A. Effect of Multispecies Cover Crop Mixture on Soil Properties and Crop Yield. **Agricultural & Environmental Letters**, v. 2, n. 1, 2017. doi:10.2134/ael2017.09.0030

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Seja o doutor do seu milho**. ARQUIVO DO AGRÔNOMO - Nº 2 (2ª edição - ampliada e totalmente modificada). Piracicaba-SP, 1995.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Grãos, Safra 2019/2020. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Segundo levantamento, novembro 2019. Disponível em: <file:///C:/Users/Usuario%201/Downloads/GrosZnovembroZcompletoZ2019.pdf>. Acesso em: 18 de março, 2020.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Grãos, Safra 2019/2020. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Sexto levantamento, março 2020. Disponível

em: <file:///C:/Users/Usuario%201/Downloads/GrosZmaroZcompleto.pdf> Acesso em: 18 de março, 2020.

CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; GROTTA, D. C. C. **Produção de massa por culturas implantadas em rotação no SPD de soja e milho**. 2008. Disponível em <[http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont\\_int&id=879](http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=879)> Acesso em 25 abril 2016.

CRUSCIOL, C. A. C.; MORO, E.; LIMA, E. V. ANDREOTTI, M. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 481-489, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000200024>

CUNHA, E. D. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. D. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho: II - atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 603-611, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200029>

DA SILVA, D. A.; SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C. Aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p.147-156, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000100021>

DA SILVA, M. P.; ARF, O.; DE SÁ, M. E.; ABRANTES, F. L.; BERTI, C. L. F.; DE SOUZA, L. C. D. Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 1, p. 60–67, 2017. DOI:10.5039/agraria.v12i1a5424

DA SILVEIRA JUNIOR, S. D.; DA SILVA, A. P.; FEIGUEIREDO, J. C.; TORMENA, C. A.; GIAROLA, N. F. B. Qualidade física de um latossolo vermelho sob plantio direto submetido à descompactação mecânica e biológica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1854-1867, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000600020>.

DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

DUIKER, S. W.; BEEGLE, D. B. Soil fertility distributions in long-term no-till, chisel/disk and moldboard plow/disk systems. **Soil and Tillage Research**, v. 88, p. 30-41, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.04.004>

EHRMANN, J.; RITZ, K. Plant: Soil interactions in temperate multi-cropping production systems. **Plant and Soil**, v. 376, p. 1–29, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1921-8>

EISENHAUER, N. Aboveground-belowground interactions as a source of complementarity effects in biodiversity experiments. **Plant and Soil**, v. 351, p. 1–22, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-1027-0>

ENSINAS, S. C.; SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; DA SILVA, E. F.; LOURENTE, E. R. P.; DO PRADO, E. A. F.; MATOS, F. A.; ALTOMAR, P. H.; MARTINEZ, M. A.; POTRICH, D. C.; DO AMARAL CONVARD, V.; JESUS, M. V.; EL KADRI, T. C. Cover crops affect the soil chemical properties under no-till system. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n.8, p. 1104-1111, 2016. DOI: 10.21475/ajcs.2016.10.08.p7408

ESPÍNDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M.; SILVA, E. M. R. Flutuação sazonal de biomassa microbiana e teores de nitrato e amônio de solo coberto com *Paspalum notatum* in um agroecossistema. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 104-113, 2001.

FAMASUL - Federação da Agricultura e Pecuária de Mato Grosso do Sul. **Acompanhamento de Safra – Circular 302/2019 Soja 2018/2019**. Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Boletim Rural, 2019. Disponível em <[portal.sistemafamasul.com.br](http://portal.sistemafamasul.com.br)>. Acesso em: 14 de novembro de 2019.

FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Soja. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. p.261-278. cap.15.

FAVARATO, L. F.; DE SOUZA, J. L.; GALVÃO, J. C. C.; DE SOUZA, C. M.; GUARÇONI, R. C. Atributos químicos do solo com diferentes plantas de cobertura em sistema de plantio direto orgânico. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 5, n. 2, p. 19–28, 2015. <http://dx.doi.org/10.21206/rbas.v5i2.312>

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p.1039-1042. 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.

FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. **O Clima da Região de Dourados, MS**. Embrapa (MS). 2. ed. 2008. Dourados, 2008. 32 p. (Documentos 92)

FLOSS, E. L.; PALHANO, A. L.; SOARES FILHO, C. V.; PREMAZZI, L. M. Crescimento, produtividade, caracterização e composição química da aveia Branca. **Acta Scientiarum Animal Science**, v. 29, n. 1, p. 1-7, 2007.

FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L. D.; BÜLL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 49-57, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000100006>

FRANCHINI, J. C.; GONZALEZ-VILA, F. J.; CABRERA, F.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. **Plant and Soil**, v. 231, n. 1, p. 55-63, 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1010338917775>

FRANCHINI, J. C.; HOFMMAN-CAMPO, C. B.; TORRES, E. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Organica Composition of green manure durin growth and its effect on cation mobilization in Acid Oxissol. **Communication in Soil Science and Planta Analysis**. v. 34, p. 2045-2058, 2003. <https://doi.org/10.1081/CSS-1200232>

FRANCHINI, R. G. **Rotação de culturas com oleaginosas e gramíneas na produção de soja e milho**. 2014. 99f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS

FRASIER, I.; NOELLEMEYER, E.; FIGUEROLA, E.; ERIJMAN, L.; PERMINGEAT, H.; QUIROGA, A. High quality residues from cover crops favor changes in microbial community and enhance C and N sequestration. **Global Ecology and Conservation**, v. 6, p. 242–256, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2016.03.009>

GETINET, A.; SHARMA, S. M. **Níger: Guizotia abyssinica (L. f.) Cass.** Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). International Usina Genetic Resources Institute, Roma, 1996.

GHIMIRE, R.; GHIMIRE, B.; MESBAH, A. O.; IDOWU, O. J.; O'NEILL, M. K.; ANGADI, S. V.; SHUKLA, M. K. Current status, opportunities, and challenges of cover cropping for sustainable dryland farming in the Southern Great Plains. **Journal of Crop Improvement**, v. 32, n. 4, p. 579-598, 2018. <https://doi.org/10.1080/15427528.2018.1471432>

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I. C.; HUBNER, A. P.; MARQUES, M. G.; CADORE, F. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. II - Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 751-762, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000400015>.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 36, n. 3, p. 909-920, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300021>

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 116–121, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000200002>

JÓZEFOWSKA, A.; PIETRZYKOWSKI, M.; WÓS, B.; CAJTHAML, T. Relationships between respiration, chemical and microbial properties of afforested mine soils with different soil texture and tree species: Does the time of incubation matter. **European Journal of Soil Biology**, v. 80, p. 102-109, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejsobi.2017.05.004>

KICHEL, A. N.; COSTA, J. A. A.; ALMEIDA, R. G.; PAULINO, V. T. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPP): experiências no Brasil. **Boletim de Indústria Animal**, v. 71, n. 1, p. 94-105, 2014. <https://doi.org/10.17523/bia.v71n1p94>

KODZWA, J. J.; GOTOSA, J.; NYAMANGARA, J. Mulching is the most important of the three conservation agriculture principles in increasing crop yield in the short term, under sub humid tropical conditions in Zimbabwe. **Soil & Tillage Research**, v. 197, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104515>

LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D.; **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. V.1. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 507 p.

LIMA, J. S. D. S.; SILVA, S. D. A.; SILVA, J. M. D. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 16-23, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000100003>

LIMA, M. L. M.; FERNANDES, J. J. R.; CARVALHO, E. R.; SANTOS, S. C.; ROCHA, F. M.; LIMA, D. A. Substituição do milho triturado por casca de soja em dietas para vacas mestiças em lactação. **Ciência Animal Brasileira**, v. 10, n. 4, p. 1037-1043, 2009.

LOPES, M. L. T.; CARVALHO P. C. F.; ANGHINONI, I.; SANTOS D. T.; AGUINAGA, A. A. Q.; FLORES, J. P. C.; MORAES, A. Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 39, n. 5, p. 1499-1506, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000096>

LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; FIGUEIREDO, C. C.; MALAQUIAS, J. V.; SOUZA, L. M.; MENDES, I. C. Temporal variation and critical limits of microbial indicators in oxisols in the Cerrado, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 12, p. 72-82, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.01.003>

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 de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011. <https://doi.org/10.5216/pat.v41i1.8459>

LOURENTE, E. R. P.; SILVA, E. F.; MERCANTE, F. M.; SERRA, A. P.; PEIXOTO, P. P. P.; SEREIA, R. C.; ENSINAS, S. C.; NETO NETO, A. L.; ALOVISI, A. M. T.; MARCHETTI, M. E.; CORTEZ, J. W. Agricultural management systems affect on physical, chemical and microbial soil properties, **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 5, p. 683-692, 2016. DOI: 10.21475/ajcs.2016.10.05.p7410

MALÉZIEUX, E.; CROZAT, Y.; DUPRAZ, C.; LAURANS, M.; MAKOWSKI, D.; OZIER-LAFONTAINE, H.; RAPIDEL, B.; TOURDONNET, S.; VALANTION-MORISON, M. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. **Agronomy Sustainable**, v. 29, p. 43–62, 2009. DOI: 10.1051/agro:2007057

MARCANTE, N. C.; CAMACHO, M. A.; PAREDES, F. P. J. Teores de nutrientes no milho como cobertura de solo. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 2, p. 196-204, 2011.

MAUAD, M.; GARCIA, R. A.; SILVA, R. M. M. F.; SILVA, T. A. F.; SHROEDER, I. M.; KNUDSEN, C. H.; QUARESMA, E. V. W. **Produção de matéria seca e acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas de Niger**. Revista Brasileira de Ciência Solo [online]. v. 39, n. 2, p. 533-540, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140391>.

MARCELO, A.V.; CORÁ, J.E.; FERNANDES, C. Sequências de culturas em sistema de semeadura direta. I - Produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1553-1567, 2012. DOI: 10.1590/ S0100-06832012000500020.

MENDES, I. C. Indicadores biológicos de qualidade de solo em sistemas de plantio direto no Brasil: Estado atual e perspectivas futuras. In: MOREIRA, M. S.; KASUYA M, C, M. **Fertilidade e biologia do solo: integração e tecnologia para todos**. 1ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciencia do solo; 2016. v. 1, p. 297-322

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

MENDONÇA, V. Z.; MELLO, L. M. M.; ANDREOTTI, M.; PARIZ, C. M.; YANO, E. H.; PEREIRA, F.C. B. L. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 183-193, 2015.

MERCANTE, F. M.; SILVA, R. F.; FRANCELINO, C. S. F.; CAVALHEIRO, J. C. T.; OTSUBO, A. A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 34, n. 4, p. 479-485, 2008. DOI: 10.4025/actasciagron.v30i4.5301

MOJENA R. Hierarchical grouping methods and stopping rules: an evaluation. **The Computer Journal**, v. 20, p. 359-363, 1977.

MONTEIRO, P. F. C.; ANDRADE, A. P.; AIRES, R. F.; TOIGO, M. C. Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos e químicos do solo e na produtividade da soja. **Pesquisa agropecuária gaúcha**, v. 25, n. 3, p., 179-194, 2019. <https://doi.org/10.36812/pag.2019253179-194>

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. Critical limits of soil penetration resistance in a rhodic eutradox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 288-298, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100029>

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, p.531-538, 2001.

MUNKHOLM, L. J.; HECK, R. J.; DEEN, B. Long-term rotation and tillage effects on soil structure and crop yield. **Soil and Tillage Research**, v. 127, p. 85-91, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.02.007>

NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C. Cover crops and herbicide timing management on soybean yield under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 2, p. 187-192, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000200006>

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

OLIVEIRA, P.; KLUTHCOUSKI, J.; FAVARIN, J. L.; SANTOS, D. C. Consórcio de milho com braquiária e guandu-anão em sistema de dessecação parcial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1184-1192, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000010>

OLIVEIRA, P.; NASCENTE, A. S.; KLUTHCOUSKI, J. Soybean growth and yield under cover crops. **Revista Ceres**, v. 60, n. 2, p. 249-256, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000200014>

PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. D. A.; ASSIS, R. L. D.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura nas culturas de arroz de terras altas e de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1787-1799, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500033>

PACHECO, L. P.; SÃO MIGUEL, A. S. D. C.; SILVA, R. G.; SOUZA, E. D.; PETTER, F. A.; KAPPES, K. Biomass yield in production systems of soybean sown in succession to annual crops and cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 8, p. 582-591, 2017. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2017000800003>

PAIM, L. R. **Atributos físicos de um latossolo vermelho distroférrico cultivado com soja e milho tratados com estimulante à micorrização**. 2016. 142f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS

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

PEREIRA, A. P.; SCHOFFEL, A.; KOEFENDER, J.; CAMERA, J. N.; GOLLE, D. P.; HORN, R. C. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 4, p. 799-807, 2017. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA17065>

PERINI, L. J.; FONSECA JÚNIOR, N. S.; DESTRO, D.; PRETE, C. E. C. Componentes da produção em cultivares de soja com crescimento determinado e indeterminado. **Semina**:

Ciências Agrárias, v. 33, suplemento 1, p. 2531-2544, 2012. DOI: 10.5433/1679-0359.2012v33Sup1p2531

PISSINATI, A.; MOREIRA, A.; SANTORO, P. H. Biomass Yield and Nutrients Concentration in Shoot Dry Weight of Winter Cover Crops for No-Tillage Systems, **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 20, p. 2292-2305, 2016. <https://doi.org/10.1080/001T03624.2016.1243711>

PITTELKOW, F. K.; SCARAMUZZA, J. F.; WEBER, O. L. S.; MARASCHIN, L.; VALADÃO, F. C. A.; OLIVEIRA, E. S. Produção de biomassa e acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Revisita Agrarian**, v. 5, n. 17, p. 212-222, 2012.

PRANDO, M. B.; OLIBONE, D.; OLIBONE, A. P. E.; ROSOLEM, C. A. Infiltração de água no solo sob escarificação e rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 693-700, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300010>

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research**, v. 102, p. 242-254, 2009. doi:10.1016/j.still.2008.07.002

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000500002>.

REIS, A. F. B.; ALMEIDA, R. E. M. CHAGAS, JÚNIOR, A. F.; NASCENTE, A. S. Effect of cover crops on soil attributes, plant nutrition, and irrigated tropical rice yield. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 4, p. 837-846, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252017v30n403rc>

REIS, E. M.; CASA, R. T.; BIANCHIN, V. Plant disease control by crop rotation. **Summa Phytopathology**, v. 37, n. 3, p. 85-91, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-54052011000300001>.

RICHETTI, A. **Viabilidade Econômica da Sucessão Consórcio Milho-Braquiária/Soja/Milho Safrinha**. In: CECCON G. (Ed.). Consórcio Milho-Braquiária. Brasília-DF: Embrapa, 2013, p. 163-175.

RODRIGUES, R. B.; SÁ, M. E.; VALÉRIO FILHO, W. V., BUZETTI, S.; BERTOLIN, D. C.; PINA, T. Matéria e nutrientes da parte aérea de adubos verdes em cultivos exclusivo e consorciado. **Revista Ceres**, v.59, n. 3, p. 380-385, 2012. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=305226841013>

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006.

SÁ, J. C. M., TIYEL, F.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. C.; SANTOS, J. Z.; SANTOS, J. B. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 136, p. 38-50, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.09.010>

SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. **Sistema de plantio direto**. Brasília: Embrapa – SPI; Dourados: Embrapa-CPAO, 1998, 248p.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n. 1, p.11-21, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000100002>

SALTON, J. C.; KICHEL, A. N.; COSTA, A. R. Consórcio de milho com forrageiras na entressafra e atributos físicos e químicos do solo no Cerrado Brasileiro. In: CONGRESO LATINO AMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 19., CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 23. 2012, 2012, **Anais**, Mar del Plata, Argentina, 2012. v. 1. p. 1-6.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BALBINO, L. C. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um latossolo vermelho do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 115-122, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000100015>

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBREERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, v. 3, p. 353, 2013.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; PIRES, J.; LAMPERT, E. A.; VARGAS, A. M.; VERDI, A. C. Rendimento de grãos e características agrônômicas de soja em função de sistemas de rotação de culturas. **Bragantia**, v. 73, n. 3, p. 263-273, 2014. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0136>

SARIN, R.; SHARMA, M.; KHAN, A. A. Studies on *Guizotia abyssinica* L. oil: Biodiesel synthesis and process optimization. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 18, p. 4187-4192, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.03.072>

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

SILVA, V. R. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**. 2003. 192f. Tese (Doutorado em Agronomia – Biodinâmica do solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS

SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; STRIEDER, M. L.; SILVA, A. A.

Estratégias de manejo de coberturas de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 1011-1020, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000300049>

SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 2009.

SILVA, C. F. D.; PEREIRA, M. G.; MIGUEL, D. L.; FEITORA, J. C. F.; LOSS, A.; MENEZES, C. E. G.; SILVA, E. M. R. D. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1680-1689, 2012. [10.1590/S0100-06832012000600002](https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000600002)

SILVA, A. G.; MORAES, L. E.; HORVATHY NETO, A.; TEIXEIRA, I. R.; SIMON, G. A. Consórcio sorgo e braquiária na entrelinha para produção de grãos, forragem e palhada na entressafra. **Revista Ceres**, v. 61, n. 5, p. 697-705, 2014a. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201461050013>

SILVA, A. P.; BABUJIA, L. C.; FRANCHINI, J. C.; RALISCH, R.; HUNGRIA, M.; GUIMARÃES, M. F. Soil structure and its influence on microbial biomass in different soil and crop management systems. **Soil & Tillage Research**, v. 142, p. 42-53, 2014b. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2014.04.006>

SOANE, B. D.; BALL, B. C.; ARVIDSSON, J.; BASCH, G.; MORENO, F.; ROGER-ESTRADE, J. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. **Soil and Tillage Research**, v. 118, p. 66-87, 2012. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.015>

SOUSA, D. M.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: Correção do Solo e Adubação**. 2 ed. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

SOUZA, C. A.; GAVA, F.; CASA, R. T.; BOLZAN, J. M.; KUHNEM JUNIOR, P. R. Relação entre densidade de plantas e genótipos de soja roundup ready. **Planta daninha**, v. 28, n. 4, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000400022>

TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J.; ANDRADE, M. J. B.; SILVA, C. A.; PEREIRA, J. M. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milho e milho + crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 647-653, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1807-86212009000400015>

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1609-1618, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000400025>

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ASSIS, R. L. D.; SOUZA, Z. M. D. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 428-437, 2015a. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140597>

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; RODRIGUES JUNIOR, D. J.; ARCÂNGELO P. Production, decomposition of residues and yield of maize and soybeans grown on cover crops. **Revista Ciência e Agrônômica**, v. 46, n. 3, p. 451-459, 2015b. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20150026>

VAN EERD, L. L.; CONGREVES K, A.; HAYES A.; VERHALLEN, A.; HOOKER, D. C. Long-term tillage and crop rotation effects on soil quality, organic carbon, and total nitrogen. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 94, n. 3, p. 303-315, 2014. <https://doi.org/10.4141/cjss2013-093>

VAN DEN PUTTE A.; GOVERS G.; DIELS J.; GILLIJNS K.; DEMUZERE M. Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. **European Journal of Agronomy**, v. 33, p. 231-241, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.05.008>

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

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J.; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência e Solo**, v. 34, n. 2, p. 309-316, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200004>

WATANABE, S. H.; TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; PINTO, J. C.; COSTA, A. C. S.; MUNIZ, A. S. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico influenciadas por sistemas de preparo do solo utilizados para implantação da cultura da mandioca. **Acta Scientiarum**, v. 24, p. 1255-1264, 2002.

WUTKE, E. B.; AMBROSANO, E. J.; RAZERA, L. F.; MEDINA, P. F.; CARVALHO, L. H, KIKUTI, H. **Aduos verdes**. Brasília. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007. 52 p. Informações Técnicas.

XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, J. I. A.; DA SILVA, M. R. Decomposition and Nutrient Release Dynamics of Shoot Phytomass of Cover Crops in the Recôncavo Baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbc20160103>

YEO, I. Y.; SADEGHI, A. M.; BEESON, P. C.; HIVELEY, W. D.; MCCARTY, G. W.; LANG, M. W. Assessing winter cover crop nutrient uptake efficiency using a water quality simulation model. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 18, p. 5239-5253, 2014. <https://doi.org/10.5194/hess-18-5239-2014>

ZOTARELLI, L.; ZATORRE, N. P.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; FRANCHINI, J. C.; ALVES, B. J. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**, v. 132, p. 185-195, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.013>

## ANEXOS

**Anexo 1.** Sequência de tratamentos no experimento de sucessão e rotação de culturas, entre os anos de 2016 a 2020. Tratamentos 1 e 2 são sucessões, tratamentos 3,4,5 e 6 são rotações em parcelas duplicadas, no qual foram avaliadas as parcelas destacadas em negrito.

Trat.	Inverno 2016	Verão 2016/17	Inverno 2017	Verão 17/18	Inverno 2018	Verão 18/19	Inverno 2019	Verão 19/20
1	<b>Milho</b>	<b>Soja</b>	<b>Milho</b>	<b>Soja</b>	<b>Milho</b>	<b>Soja</b>	<b>Milho</b>	<b>Soja</b>
2	<b>Milho + braquiária</b>	<b>Soja</b>	<b>Milho + braquiária</b>	<b>Soja</b>	<b>Milho + braquiária</b>	<b>Soja</b>	<b>Milho + braquiária</b>	<b>Soja</b>
3a	Trigo mourisco	Milho	<b>Milheto</b>	<b>Soja</b>	Trigo mourisco	Milho	<b>Milheto</b>	<b>Soja</b>
3b	<b>Milheto</b>	<b>Soja</b>	Canola	Milho	<b>Milheto</b>	<b>Soja</b>	Trigo mourisco	Milho
4a	Aveia	Milho	<b>Níger</b>	<b>Soja</b>	Aveia	Milho	<b>Níger</b>	<b>Soja</b>
4b	<b>Níger</b>	<b>Soja</b>	Aveia	Milho	<b>Níger</b>	<b>Soja</b>	Aveia	Milho
5a	Níger	Milho	<b>Aveia</b>	<b>Soja</b>	Níger	Milho	<b>Aveia</b>	<b>Soja</b>
5b	<b>Aveia</b>	<b>Soja</b>	Níger	Milho	<b>Aveia</b>	<b>Soja</b>	Níger	Milho
6a	Ervilhaca + Aveia	Milho	<b>Crotalária</b>	<b>Soja</b>	Ervilhaca + Aveia	Milho	<b>Crotalária</b>	<b>Soja</b>
6b	<b>Crotalária</b>	<b>Soja</b>	Ervilhaca + Aveia	Milho	<b>Crotalária</b>	<b>Soja</b>	Ervilhaca + Aveia	Milho

**Anexo 2.** Resumo da análise de variância para os dados de macro e micronutrientes do solo de sistemas de rotação e sucessão de culturas nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm coletados em 2018 em experimento de longa duração.

Variáveis	Blocos	Quadrado Médio		CV	Teste F
		Tratamentos	Resíduo 0-10		
pH CaCl <sub>2</sub>	0,01	0,07	0,04	3,28	1,98NS
P (mg dm <sup>3</sup> )	0,00	0,00	0,00	10,06	2,11NS
K (cmolc dm <sup>3</sup> )	0,01	0,01	0,00	7,42	6,71**
Ca (cmolc dm <sup>3</sup> )	4,09	1,20	0,91	11,06	1,32NS
Mg (cmolc dm <sup>3</sup> )	0,05	0,05	0,04	8,18	1,32NS
M.O (g kg <sup>-1</sup> )	0,14	0,03	0,29	15,07	0,12NS
Cu (mg dm <sup>3</sup> )	14,18	0,21	1,14	10,15	0,18NS
Mn (mg dm <sup>3</sup> )	2181,40	88,04	51,53	8,29	1,71NS
Fe (mg dm <sup>3</sup> )	73,84	8,81	13,21	5,87	0,67NS
Zn (mg dm <sup>3</sup> )	0,17	6,10	0,63	15,27	9,70**
Bo (mg dm <sup>3</sup> )	0,01	0,01	0,00	13,69	1,84NS
S (mg dm <sup>3</sup> )	0,51	4,27	1,18	6,53	3,61NS
			10-20		
pH CaCl <sub>2</sub>	0,01	0,07	0,06	5,17	1,15NS
P (mg dm <sup>3</sup> )	0,17	1,59	0,43	9,11	3,65*
K (cmolc dm <sup>3</sup> )	0,00	0,00	0,00	16,11	1,86NS
Ca (cmolc dm <sup>3</sup> )	0,19	0,99	0,24	11,51	4,12NS
Mg (cmolc dm <sup>3</sup> )	0,08	0,03	0,04	18,79	0,83NS
M.O (g kg <sup>-1</sup> )	0,85	8,72	2,79	6,48	3,13NS
Cu (mg dm <sup>3</sup> )	6,04	0,59	0,69	7,92	0,87NS
Mn (mg dm <sup>3</sup> )	92,56	69,80	24,10	18,81	2,90NS
Fe (mg dm <sup>3</sup> )	301,62	82,74	58,70	11,17	1,41NS
Zn (mg dm <sup>3</sup> )	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00NS
Bo (mg dm <sup>3</sup> )	0,00	0,00	0,00	13,37	0,71NS
S (mg dm <sup>3</sup> )	1,79	30,65	3,49	15,14	8,79**

**Anexo 3.** Análise dos atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm para rotações e sucessões de culturas no ano de 2019, coletados junto à amostra para análise microbiológica

Tratamentos	pH CaC <sub>2</sub>	P (mg/dm <sup>3</sup> )	K	Ca		Mg
				(cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )		
Milho	5,95 a	31,32 a	0,63 a	6,21 b		2,39 b
Milho+Braquiaria	5,96 a	26,63 a	0,66 a	6,17 b		2,66 b
Milheto	5,95 a	29,35 a	0,74 a	6,21 b		2,48 b
Aveia	6,01 a	27,87 a	0,72 a	6,47 b		2,74 ab
Niger	6,02 a	27,19 a	0,70 a	7,01 b		2,94 ab
Crot. Spectabilis	5,99 a	30,23 a	0,73 a	7,02 b		2,67 ab
Vegetação nativa	6,37 a	8,91 b	0,41 b	10,34 a		3,23 a
CV	3,59	9,93	8,79	8,63		8,88
Tratamentos	Cu	Fe	Mn	Zn	M.O	
Milho	7,05 a	40,10 ab	85,19 ab	4,26 bc		35,56 c
Milho+Braquiaria	7,68 a	39,37 ab	97,11 ab	4,88 ab		37,65 b
Milheto	6,65 a	33,81 b	99,39 ab	5,37 a		37,14 b
Aveia	7,07 a	40,40 ab	100,46 ab	4,87 ab		37,29 b
Niger	6,93 a	42,19 a	112,43 a	2,95 d		37,27 b
Crot. Spectabilis	6,73 a	36,17 ab	70,32 b	2,98 d		38,30 b
Vegetação nativa	2,01 b	21,32 c	103,44 a	3,34 cd		62,20 a
CV	10,94	9,26	14,72	10,52		2,44

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.