

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

***Azospirillum* EM MILHO SAFRINHA SOLTEIRO E  
CONSORCIADO COM BRAQUIÁRIA EM SOLOS DE  
CERRADO**

CARLA MEDIANEIRA GIROLETTA DOS SANTOS

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL

2021

***Azospirillum* EM MILHO SAFRINHA SOLTEIRO E  
CONSORCIADO COM BRAQUIÁRIA EM SOLOS DE CERRADO**

CARLA MEDIANEIRA GIROLETTA DOS SANTOS

Engenheira Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. GESSÍ CECCON

Dissertação 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 Mestre.

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL

2021



*“Azospirillum EM MILHO SAFRINHA SOLTEIRO E CONSORCIADO COM BRAQUIÁRIA EM SOLOS DE CERRADO”*

por

**CARLA MEDIANEIRA GIROLETTA DOS SANTOS**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de mestre EM AGRONOMIA

Aprovada em: 26/05/2021.



---

Prof. Dr. Gessi Ceccon  
UFGD



---

Profa. Dra. Elaine Reis Pinheiro Lourente  
UFGD



---

Prof. Dr. Munir Mauad  
UFGD

ELOI

PANACHUKI:52907040197

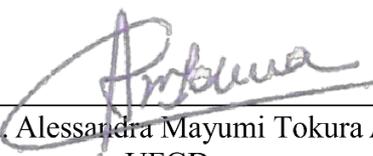
Assinado de forma digital por ELOI

PANACHUKI:52907040197

Dados: 2021.05.26 11:48:14 -03'00'

---

Prof. Dr. Elói Panachuki  
UEMS



---

Profa. Dra. Alessandra Mayumi Tokura Alovise  
UFGD

A Deus, pela vida, saúde e conforto nos momentos difíceis. Aos meus pais, pelo amor, dedicação e por todo esforço que tiveram para me dar estudo. Ao meu esposo e filhos, pela paciência, amor e compreensão.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal da Grande Dourados, pela oportunidade.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos e apoio financeiro.

À Fundação Agrisus, pelo apoio financeiro para a realização do projeto 2308/2018 *Azospirillum* na Soja e no Consórcio Milho-Braquiária.

Ao Prof. Dr. Gessí Ceccon, pelo excelente profissional que é, pelos conselhos, ensinamentos, críticas construtivas, opiniões e, principalmente pela paciência, amizade e confiança.

À Embrapa Agropecuária Oeste, pela disponibilização dos equipamentos e materiais necessários para a condução da pesquisa.

Aos funcionários da Embrapa Agropecuária Oeste, pelo auxílio nas atividades de campo.

Aos meus pais Carlos Alberto Giroletta e Ana Paula Peres Giroletta, por todo amor e carinho.

Ao meu esposo Jeferson Antonio dos Santos Silva, pelo apoio, amor e compreensão, para que eu pudesse me ausentar e concluir mais esta etapa em minha vida.

Aos meus filhos amados Carlos Eduardo Giroletta Pereira e Pedro Henrique Giroletta da Silva, pela compreensão por todos os momentos que tive que me ausentar, pela paciência e amor que depositaram em mim, vocês são meu alicerce e força para continuar.

Aos colegas estagiários da Embrapa, Hadassa Kathyuci Antunes de Abreu, Ricardo Fachinelli, Larissa Magalhães e principalmente a Denise Prevedel Capristo pela ajuda nas avaliações de campo e laboratório, pelos conselhos e amizade.

À banca examinadora, pelas críticas, sugestões e correções para o aperfeiçoamento deste trabalho.

À todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	viii
<b>RESUMO</b> .....	xi
<b>ABSTRACT</b> .....	xii
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	2
<b>Importância socioeconômica do milho</b> .....	2
<b>Sucessão soja-milho safrinha</b> .....	3
<b>Consórcio milho-braquiária</b> .....	3
<b>Solos de textura arenosa</b> .....	5
<b>Solos de textura média</b> .....	5
<b>Atributos microbiológicos do solo</b> .....	6
<b>Atividade enzimática do solo</b> .....	8
<b>Fixação biológica de nitrogênio</b> .....	9
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	10
<b>Caracterização do local e clima</b> .....	10
<b>Caracterização dos tratamentos e metodologia</b> .....	12
<b>Avaliações</b> .....	14
<b>Atributos Microbiológicos</b> .....	14
<b>Atividade enzimática</b> .....	16
<b>Índice de clorofila</b> .....	17
<b>Atributos morfológicos do milho e braquiária</b> .....	18
<b>Componentes de produtividade do milho</b> .....	18
<b>Análise estatística</b> .....	19
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	19
<b>Atributos microbiológicos</b> .....	19
<b>Atividade enzimática</b> .....	24
<b>Índice de clorofila</b> .....	27
<b>Atributos morfológicos do milho e braquiária</b> .....	30
<b>Componentes de produtividade do milho</b> .....	36
<b>CONCLUSÕES</b> .....	40
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	40

## LISTA DE QUADROS

- Quadro 1.** Análise química e granulométrica na camada de 0 a 20 cm do solo, realizada em agosto de 2018, antes da implantação dos experimentos, em Nova Andradina e Vicentina, MS .....11
- Quadro 2.** Inoculação com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* em soja e milho safrinha solteiro e consorciado com *Brachiaria ruziziensis*, realizada em Vicentina e Nova Andradina, MS .....13
- Quadro 3.** Inoculação com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* em soja e milho safrinha consorciado com *Brachiaria ruziziensis*, realizada em Vicentina e Nova Andradina, MS .....14
- Quadro 4.** Análise de variância e médias do carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), respiração da biomassa microbiana do solo (C-CO<sub>2</sub>), matéria orgânica do solo (MO) e quociente metabólico (qC-CO<sub>2</sub>), em função dos solos e dos tratamentos de inoculação e pré-inoculado com *Azospirillum* em milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária em Vicentina e Nova Andradina, MS (2019) .....19
- Quadro 5.** Interação significativa entre solos e tratamentos com inoculação para o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), em função dos solos e dos tratamentos de inoculação e pré-inoculado com *Azospirillum* em milho safrinha consorciado com braquiária em Vicentina e Nova Andradina, MS (2019) .....21
- Quadro 6.** Interação significativa entre solos e tratamentos com inoculação para a matéria orgânica do solo (MO), em função dos solos e dos tratamentos de inoculação e pré-inoculado com *Azospirillum* em milho safrinha consorciado com braquiária em Vicentina e Nova Andradina, MS (2019) .....23
- Quadro 7.** Análise de variância e médias para a atividade das enzimas  $\beta$ -glucosidase, arilsulfatase e fosfatase ácida, em função dos solos e dos tratamentos de inoculação e pré-inoculado com *Azospirillum* em milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária em Vicentina e Nova Andradina, MS (2019) .....25
- Quadro 8.** Interação significativa entre solos e tratamentos com inoculação para a atividade da enzima  $\beta$ -glucosidase, em função dos solos e dos tratamentos de

	inoculação e pré-inoculado com <i>Azospirillum</i> em milho safrinha consorciado com braquiária em Vicentina e Nova Andradina, MS (2019) .....	26
<b>Quadro 9.</b>	Análise de variância e médias para clorofila a (CLa), clorofila b (CLb) e clorofila total (CLt), avaliados durante a maturação do milho safrinha, em função dos solos e dos tratamentos de inoculação e pré-inoculado com <i>Azospirillum</i> em milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária em Vicentina e Nova Andradina, MS (2019) .....	28
<b>Quadro 10.</b>	Análise de variância e médias para massa seca de folhas (MSF), de colmos (MSC), de raízes (MSR) e da planta inteira (MSPi), avaliados no estágio V8 do milho safrinha, em função dos solos e dos tratamentos de inoculação e pré-inoculado com <i>Azospirillum</i> em milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária em Vicentina e Nova Andradina, MS (2019) .....	30
<b>Quadro 11.</b>	Análise de variância e médias para massa seca de folha (MSF), de colmo (MSC), de espiga (MSE) e planta inteira (MSP) avaliados no (R1), massa seca de braquiária (MSB) avaliado após a colheita do milho, altura da inserção da espiga (AIE) e altura de planta (APM) avaliados no estágio de maturação fisiológica do milho safrinha, em função dos solos e dos tratamentos de inoculação e pré-inoculado com <i>Azospirillum</i> em milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária em Vicentina e Nova Andradina, MS (2019) .....	32
<b>Quadro 12.</b>	Inserção de espiga (AIE), avaliada durante a maturação do milho safrinha, em função dos tratamentos de inoculação e pré-inoculado com <i>Azospirillum</i> em milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária em Vicentina e Nova Andradina, MS (2019) .....	34
<b>Quadro 13.</b>	Análise de variância e médias para comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), número de espigas doentes (ED), número de fileiras de espiga (NFE), número de grãos por espiga (NGE), produtividade de grãos de milho (PGM) e massa de cem grãos (MCG), avaliados durante a maturação do milho safrinha, em função dos solos e dos tratamentos de inoculação e pré-inoculado com <i>Azospirillum</i> em milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária em Vicentina e Nova Andradina, MS (2019) .....	36

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Precipitação pluviométrica, temperatura média (T °C), temperatura máxima (TM °C) e Umidade Relativa do ar (UR%), do município de Nova Andradina, MS. Fonte: Guia Clima e INMET (2020) .....12
- Figura 2.** Precipitação pluviométrica, temperatura média (T °C), temperatura máxima (TM °C) e Umidade Relativa do ar (UR %), do município de Vicentina, MS. Fonte: Guia Clima e INMET (2020) .....12

## ***Azospirillum* EM MILHO SAFRINHA SOLTEIRO E CONSORCIADO COM BRAQUIÁRIA EM SOLOS DE CERRADO**

Autora: Carla Medianeira Giroletta dos Santos

Orientador: Prof. Dr. Gessi Ceccon

**RESUMO:** O uso de *Azospirillum* na cultura do milho é uma tecnologia que visa o aumento de produtividade do milho com redução com custos com fertilizantes químicos. Objetivou-se avaliar a influência da inoculação e pré-inoculação de *Azospirillum brasilense* no milho safrinha solteiro e consorciado com *Brachiaria ruziziensis* e seu efeito nos parâmetros microbiológicos do solo. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 (texturas de solo) x 4 (tratamentos), com seis repetições. Os estudos foram realizados em Nova Andradina (textura média) e Vicentina (textura arenosa). Os tratamentos consistiram na pré-inoculação de *Azospirillum brasilense* na soja e inoculação de *A. brasilense* no milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Verificou-se efeito de solo para a maioria das variáveis avaliadas, com maiores médias para o solo de textura média. Houve efeito de tratamentos apenas para altura de inserção de espiga e interação entre solos e tratamentos para carbono da biomassa microbiana do solo, com maiores valores no tratamento de consórcio com pré-inoculação com *A. brasilense* para os solos de textura média. Interação entre solos e tratamentos para matéria orgânica do solo e  $\beta$ -glucosidase, com maiores valores para os tratamentos consórcio sem inoculação e com pré-inoculação com *A. brasilense* no solo de textura média. O uso de inoculação e pré-inoculação com *Azospirillum brasilense* em solo de textura arenosa e de textura média não influencia na produtividade do milho. A pré-inoculação é eficiente no incremento da biomassa microbiana do solo em solo de textura média devido o maior teor de matéria orgânica. O solo de textura média por apresentar maior teor de argila e de matéria orgânica proporciona maior produtividade do milho solteiro e consorciado com braquiária.

Palavras-chave: Biomassa microbiana do solo;  $\beta$ -glucosidase; *Urochloa ruziziensis*; *Zea mays* L.

***Azospirillum* IN SINGLE SAFRINHA CORN AND CONSORTIUM WITH  
BRACHIARY IN CERRADO SOILS**

Author: Carla Medianeira Giroletta dos Santos

Advisor: Prof. Dr. Gessi Ceccon

**ABSTRACT:** The use of *Azospirillum* in corn crop is a technology that aims to increase corn productivity with reduced costs with chemical fertilizers. The objective of this study was to evaluate the influence of inoculation and pre-inoculation of *Azospirillum brasilense* on single off-season corn and intercropped with *Brachiaria ruziziensis* and its effect on soil microbiological parameters. The experimental design was in randomized blocks, in a factorial scheme 2 (soil textures) x 4 (treatments), with six replications. The locations were Nova Andradina (medium texture) and Vicentina (sandy texture). The treatments consisted of pre-inoculation of *Azospirillum brasilense* on soybean and inoculation of *A. brasilense* on single off-season corn and intercropped with brachiaria. The data were subjected to analysis of variance and the means compared by the Tukey test at 5% probability. There was a soil effect for most of the variables evaluated, with higher averages for the medium textured soil. There was an effect of treatments only for height of ear insertion and interaction between soils and treatments for soil microbial biomass carbon, with higher values in the intercropping treatment with pre-inoculation with *A. brasilense* for medium texture soils. Interaction between soils and treatments for soil organic matter and  $\beta$ -glucosidase, with higher values for the intercropping treatments without inoculation and with pre-inoculation with *A. brasilense* in medium-textured soil. The use of inoculation and pre-inoculation with *Azospirillum brasilense* in a sandy textured and medium textured soil did not influence maize yield. Pre-inoculation is efficient in increasing soil microbial biomass in medium-textured soil due to the higher organic matter content. The medium textured soil, due to its higher clay and organic matter content, provides higher productivity of single corn and corn intercropped with brachiaria.

Key-words: Soil microbial biomass;  $\beta$ -glucosidase; *Urochloa ruziziensis*; *Zea mays* L.

## INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor de milho (*Zea mays* L.), depois de Estados Unidos e China. A cultura destaca-se no setor agrícola devido a sua grande versatilidade, sendo utilizada na alimentação humana e animal, e como matriz energética com produção de etanol.

A área de cultivo com este cereal foi de 18,5 milhões de hectares na safra 2019/2020, com produção de 100,9 milhões de toneladas, onde o milho safrinha foi responsável por uma produção de 74,2 milhões de toneladas com uma produtividade média de 5.406 kg ha<sup>-1</sup>, já a produtividade média de milho de primeira safra foi de 6.022 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2020).

A cultura é a principal alternativa de cultivo de outono-inverno na região Centro-Oeste do país, onde é semeada em sucessão à soja. Desta forma, a maior produção de milho safrinha encontra-se nesta região, onde, na safra 2019/2020, foram produzidos 53,9 milhões de toneladas (CONAB, 2020).

O milho safrinha nos últimos anos vem sendo cultivado em consórcio com braquiária, essa tecnologia viabiliza a instalação do sistema plantio direto (CECCON et al., 2014), proporcionando aumento da cobertura do solo, tornando-se uma alternativa para recuperação de áreas degradadas (CRUSCIOL et al., 2014) e viabilizando aumento de rendimento de milho em consórcio e da soja em sucessão (ALVES et al., 2013).

No milho, o nutriente que possui maior influência na produtividade é o nitrogênio, devido ao fato de ser constituinte da molécula de clorofila, de aminoácidos, enzimas e proteínas (MORAIS et al, 2017). E também, o que mais encarece a produção, em razão de utilizar energia do petróleo para conversão do nitrogênio atmosférico em fertilizante, o qual sofre influência do mercado internacional por ser uma commodity (REIS et al., 2010).

Uma forma de diminuir os custos de produção é utilizar bactérias diazotróficas, do gênero *Azospirillum*, em substituição aos adubos nitrogenados. Essas bactérias auxiliam o crescimento das plantas por meio da fixação biológica de nitrogênio (FBN) (BASHAN E BASHAN, 2005; FUKAMI et al., 2017). Sendo capazes de sintetizar fitohormônios (auxinas, citocininas e giberelinas) que promovem o crescimento vegetal, principalmente do sistema radicular, ampliando o volume de solo explorado pela planta (HUNGRIA et al., 2010; GITTI, 2016).

Estudos com pré-inoculação de bactérias fixadoras de nitrogênio em gramíneas são necessários visando o entendimento desta tecnologia, assim como a possível redução de custo de produção e melhorias dos bioindicadores do solo. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência da inoculação e pré-inoculação de *Azospirillum brasilense* no milho safrinha solteiro e consorciado com *Brachiaria ruziziensis* e seu efeito nos parâmetros microbiológicos do solo.

## REVISÃO DE LITERATURA

### Importância socioeconômica do milho

O milho (*Zea mays* L.) pertence à família Poaceae, é uma planta de metabolismo C4, muito eficiente na conversão de CO<sub>2</sub> em energia, sendo capaz de produzir mais que outras espécies com a mesma radiação solar (RIBEIRO et al., 2020).

Possui grande importância econômica por ser utilizado na alimentação humana, animal e como matéria-prima para indústrias de alta tecnologia. A cultura tem importante papel na rotação de culturas, devido à grande quantidade de palha que fica sobre o solo, proporcionando aumento de matéria orgânica e conservação do solo, o que pode incrementar a produtividade das culturas em sucessão (FAVARATO et al., 2016).

No Brasil, o milho é cultivado em duas épocas: a primeira safra (verão) com 4,2 milhões de hectares, e a segunda safra (safrinha) com 13,7 milhões de hectares, sendo a safrinha o principal período de produção, onde se destaca a região Centro-Oeste com área de 8,9 milhões de hectares (CONAB, 2020).

No cenário internacional, o Brasil se destaca como o terceiro maior produtor, depois de Estados Unidos e China. O cultivo nacional deste cereal atingiu área de 18,5 milhões de hectares na safra 2019/2020, o que representa crescimento de 1% se comparada à safra 2018/2019. A produção nacional total nacional na safra 2019/2020 foi de 102,5 milhões de toneladas, com produtividade média de 5.466 kg ha<sup>-1</sup>. A maior produção de milho safrinha no Brasil encontra-se na região Centro-Oeste onde, na safra 2019/2020, foram produzidos 53,9 milhões de toneladas, com produtividade média de 5.406 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2020).

A denominação “milho safrinha” tem origem nas baixas produtividades quando no seu início de cultivo na década de 1970, quando comparada a safra obtida

durante os meses de verão. No entanto, atualmente, o milho safrinha apresenta considerável produtividade, possuindo grande relevância no cenário nacional.

### **Sucessão soja-milho safrinha**

A sucessão soja-milho safrinha é o principal sistema de produção de grãos da região Centro-Oeste do Brasil. Esse sistema de cultivo consiste na semeadura da soja no início da época chuvosa (primeira safra) e semeadura do milho (safrinha) logo após a colheita da soja. Embora a safrinha apresente alto risco climático, possui viabilidade econômica, por gerar lucratividade ao produtor.

A sucessão soja-milho safrinha contribui para o aumento da produção da soja e do milho sem expansão de área cultivada. Todavia, o sucesso deste sistema depende do ajuste do ciclo da soja, que deve ser colhida até meados de fevereiro para viabilizar o cultivo do milho em sucessão (GARCIA et al., 2018).

Um grande desafio em regiões de clima tropical tem sido as altas taxas de decomposição do material vegetal, o que demanda quantidades maiores de palha sobre o solo. As lavouras com sucessão soja-milho safrinha apresentam baixa cobertura do solo, devido à insuficiente quantidade de restos culturais, e adição de matéria orgânica ao solo, favorecendo a degradação química, física e biológica do solo, incidência de pragas, doenças e plantas daninhas (BRÜGGEMANN, 2011; GUARESCHI E PEREIRA, 2015).

Contudo, atualmente o milho vem sendo cultivado em sistema de integração com outras culturas, sendo que o mais conhecido é o consórcio milho-braquiária, que possibilita o aumento da quantidade produzida fitomassa. Em virtude disso ocorre uma maior disponibilidade de massa vegetal, possibilitando a adoção do sistema plantio direto, que por sua vez permite aumento da MOS, melhorando os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, com aumento da fertilidade pela ciclagem de nutrientes, supressão de plantas daninhas, proporcionando melhor conservação do solo, e contribuindo no incremento da produtividade de soja em sucessão (RIBEIRO et al., 2018)

### **Consórcio milho-braquiária**

O consórcio milho-braquiária é uma prática conservacionista, que visa o aumento de material vegetal sobre o solo, bem como é uma alternativa de pastejo para animais na entressafra, tem seu cultivo simultâneo de milho com braquiária, tem se mostrado uma técnica economicamente viável e eficiente na formação, recuperação e renovação de pastagens, por apresentar vantagens como a cobertura satisfatória do solo, criando condições para melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos (BRANDAN et al., 2017), supressão de plantas daninhas, reduzindo a utilização de herbicidas na cultura sucessora (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2014), com aumento significativo na produtividade da soja em sucessão (CECCON et al., 2013).

Outro benefício do consórcio está no fornecimento de alimento em quantidade e qualidade para os animais durante a entressafra, viabilizando o ganho de peso nesse período crítico do ano (GARRETT et al., 2017), o que normalmente não acontece na realidade das pastagens brasileiras e que leva a oscilações no ganho de peso dos animais nesse período.

A escolha e o manejo correto da forrageira são de suma importância para a persistência e qualidade dessa cobertura (MOMESSO et al., 2019). Desta forma, dentre as forrageiras as espécies do gênero *Brachiaria* são mais utilizadas em sistemas integrados de produção, devido ao seu valor nutritivo e produção de massa seca (OLIVEIRA et al., 2019).

A *Brachiaria ruziziensis* se destaca nesse sistema por apresentar adequado crescimento mesmo em solos de baixa fertilidade, boa tolerância ao déficit hídrico, alta taxa de crescimento, facilidade de dessecação devido a sua resposta a doses menores de dessecante e produção de forragem de qualidade, proporcionando excelente cobertura do solo (BALBINOT JUNIOR et al., 2017). A produção de massa seca dessa espécie pode atingir até 7.000 kg ha<sup>-1</sup>, com persistência de 3.500 kg ha<sup>-1</sup> de palha no solo 70 dias após a dessecação (ALVES, 2015).

Desta forma, a cobertura vegetal satisfatória do solo contribui na diminuição de processos erosivos, supressão de plantas daninhas e maior vitalidade do solo, uma vez que a decomposição deste material eleva o teor de matéria orgânica, aumentando a atividade microbológica e ciclagem de nutrientes, favorecendo, principalmente a reposição de carbono e nitrogênio ao solo (RYSCHAWY et al., 2017; SANCHEZ et al., 2019).

## **Solos de textura arenosa**

A classificação dos solos de textura arenosa é por apresentar em sua constituição até  $150 \text{ g kg}^{-1}$  de argila (SANTOS et al., 2018). O cerrado brasileiro apresenta cerca de 15 % do seu território composto por solos arenosos, sendo no passado pouco utilizado na agricultura devido sua baixa capacidade de produção, com elevada drenagem, baixa fertilidade, suscetibilidade a erosão.

Devido a necessidade de aumento de áreas e surgimento de nova tecnologias capazes de melhorar as condições do solo, houve aumento do seu uso na produção de alimentos (DONAGEMMA et al., 2016). No entanto, são necessários maiores cuidados com o manejo a medida que o teor de argila decresce, sendo observado que, em áreas com histórico de déficit hídrico as produtividades das culturas apresentaram maiores decréscimos em solos arenosos em comparação aos solos argilosos (SANTOS et al., 2008).

Em geral, são solos profundos, bem drenados, com baixos teores de matéria orgânica, baixa capacidade de troca catiônica, baixa capacidade de retenção de água, baixa fertilidade natural do solo, elevado teor de alumínio, fragilidade da estrutura física do solo, sendo muito suscetíveis a erosão (ALMEIDA et al., 2015).

Estudos mostram que, os solos arenosos quando são bem manejados com adição de insumos como fertilizantes ocorre aumento na produtividade das culturas de soja, milho e algodão. Contudo, adoção de tecnologias que visam a sustentabilidade e proporcionam agricultura conservacionista, com aumento da matéria orgânica, como sistema plantio direto e sistemas integrados de produção como lavoura-pecuária, possibilita manutenção e continuidade do cultivo nessas áreas (DONAGEMMA et al., 2016).

A adoção de práticas conservacionistas, como o sistema plantio direto, rotação de culturas, integração lavoura-pecuária, consórcio milho-braquiária, entre outras, são primordiais para a manutenção dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, potencializando a execução de atividades agropecuárias nessas áreas.

## **Solos de textura média**

Os solos de textura média apresentam em sua constituição quantidade inferior a  $350 \text{ g kg}^{-1}$  de argila e mais de  $150 \text{ g kg}^{-1}$  de areia. São em sua maioria solos de baixa fertilidade natural e profundos, tendo como característica serem muito intemperizados, apresentam boa drenagem, sendo explorados usualmente para pastagens (SANTOS et al., 2018).

Estes solos apresentam maior teor de carbono orgânico e capacidade de troca catiônica (CTC), quando comparados aos solos arenosos. Contudo, assim como nos solos arenosos, apresentam baixos teores de fósforo assimilável, potássio, cálcio e magnésio, sendo necessário correções a fim de evitar limitações químicas (DONAGEMMA et al., 2016).

Entretanto Santos et al. (2008) mencionam que devido os solos de textura média apresentarem maior teor de argila em sua constituição favorece o maior acúmulo de água no solo, com aumento da produtividade de soja quando comparado com solo de textura arenosa, ou seja, com teor inferior a  $150 \text{ g kg}^{-1}$  de argila.

Por apresentarem maiores teores de areia, os solos de textura média apresentam suscetibilidade a erosão e degradação, bem como apresentam elevada acidez e baixa fertilidade, sendo necessários adoção de manejos que visem o aumento da matéria orgânica, com o aumento da fertilidade e a correção da acidez, tendo como objetivo medidas que venham reduzir os processos de erosão (CENTENO et al., 2017).

De acordo com Donagemma et al. (2016), adoção de práticas conservacionistas que visem arranjos e combinações de espécies, possibilita maior fechamento e cobertura do solo, favorecendo controle dos processos erosivos, bem como, possibilita benefícios relacionados tanto em melhorias da qualidade do solo como aumento de produtividade de culturas.

### **Atributos microbiológicos do solo**

A qualidade do solo é determinada pela interação entre os atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Entretanto, o componente biológico desempenha funções-chave no funcionamento desse recurso. Solos biologicamente ativos são constituídos por microrganismos, raízes e fauna que apresentam estreita relação com as propriedades químicas e físicas do solo, as quais, em conjunto, influenciam a produtividade das culturas e a sustentabilidade do sistema produtivo (VEZZANI E MIELNICZUK, 2009).

A biomassa microbiana do solo é sensível as alterações ambientais relacionadas ao uso do solo, sendo utilizado como um bioindicador da qualidade do solo, servindo de base para monitoramento das áreas, sendo mais sensível que os indicadores químicos e físicos no processo de detectar alterações decorrentes ao manejo do solo (MENDES et al., 2015).

Representa a parte viva do solo, constituída por inúmeros microrganismos, como fungos, bactérias entre outros, que participam de processos de decomposição da matéria orgânica, mineralização, formação e estabilização dos agregados do solo, ciclagem de nutrientes, auxiliando no processo de supressão de fitopatógenos (SOUZA et al., 2015).

Entre os parâmetros utilizados para caracterizar os atributos microbiológicos, destacam-se as avaliações do carbono da biomassa microbiana do solo, respiração basal, quociente metabólico e atividade de enzimas do solo associadas ao ciclo do carbono ( $\beta$ -glucosidase), ciclo do fósforo (fosfatase ácida) e do ciclo do enxofre (arilsulfatase) (BALOTA et al., 2013).

A determinação do carbono da biomassa microbiana (C-BMS) permite quantificar o carbono presente nos organismos, possibilitando estimar a massa microbiana viva total presente no solo. A respiração basal (C-CO<sub>2</sub>) quantifica o gás carbônico (CO<sub>2</sub>) liberado pelos microrganismos ativos no solo (ROSCOE et al., 2006), influenciada por diversos fatores, como umidade, temperatura e disponibilidade de nutrientes.

O quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>), determinado pela relação entre a C-CO<sub>2</sub> e C-BMS, indica a quantidade de CO<sub>2</sub> liberado pela biomassa microbiana em função do tempo, representando a taxa de respiração específica da biomassa microbiana (ALVES et al., 2011). Em condições ambientais estressantes ocorre o aumento do qCO<sub>2</sub> devido a biomassa microbiana necessitar de maior quantidade de carbono para sua manutenção. Desta forma, o uso intensivo do solo em sistemas agrícolas, aumenta o quociente metabólico (LACERDA et al., 2013; GUIMARÃES et al., 2017).

A decomposição da matéria orgânica do solo é decorrente da atividade microbiana, realizada por organismos vivos intimamente ligados ao ambiente e elementos químicos disponíveis, sendo determinante na disponibilidade dos nutrientes. Assim, a avaliação da biomassa microbiana (C-BMS), respiração basal (C-CO<sub>2</sub>) e quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) importantes ferramentas para o estudo da dinâmica e comportamento da matéria orgânica do solo (ROSCOE et al., 2006).

A principal vantagem de avaliar os bioindicadores de qualidade do solo está na maior sensibilidade desses parâmetros microbiológicos, em detectar com antecedência, alterações decorrentes de práticas agrícolas, como o manejo dos solos e das culturas, em relação aos indicadores químicos e físicos do solo (MENDES et al., 2003; LISBOA et al., 2012).

Sabe-se que o intenso revolvimento do solo no preparo convencional reduz de forma acentuada sua matéria orgânica. Já o solo manejado em Sistema Plantio Direto (SPD) recebe grande aporte de matéria orgânica, proporcionando mudanças benéficas como o aumento da biomassa microbiana, da atividade enzimática e, conseqüentemente, a maior ciclagem de nutrientes (ZUBER E VILLAMIL, 2016), elevando a sustentabilidade ambiental do sistema produtivo.

Desta forma, a qualidade do solo influencia o potencial de uso, a produtividade e a sustentabilidade da agropecuária, sendo de grande importância a sua avaliação para o emprego do manejo adequado do solo.

### **Atividade enzimática do solo**

As enzimas são especializadas em catalisar reações biogeoquímicas como a decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, as quais são reações são promovidas pela fauna e restos de plantas presentes no solo (TABATABAI, 1994), desta forma, as enzimas servem de parâmetros para a avaliação da qualidade biológica do solo (BALOTA et al., 2013). A potencialidade da atividade de enzimas do solo como indicadores de grande sensibilidade, tem sido verificada no Brasil (MENDES et al., 2003; BALOTA et al., 2004; MENDES et al., 2015).

A  $\beta$ -glucosidase atua na etapa final de degradação da celulose, hidrolisando a celobiose e liberando como produto final a glicose, importante fonte de energia para os microrganismos do solo. Essa enzima reflete a atividade biológica e a capacidade do solo em estabilizar a matéria orgânica, sendo sua atividade influenciada pelo manejo e pH do solo (TABATABAI, 1994).

A fosfatase ácida catalisa a hidrólise de ésteres e anidridos de ácido fosfórico, permitindo a mineralização do fósforo orgânico. A atividade dessa enzima é favorecida pela baixa disponibilidade de fósforo às plantas e aos microrganismos, e pode ser inibida

por altas concentrações de fosfato inorgânico no solo (TRANNIN et al., 2007), sendo excelente indicador de fertilidade.

A arilsulfatase é responsável por parte da ciclagem do enxofre (S) nos solos, atuando na mineralização do S orgânico. Partes consideráveis das arilsulfatases são secretadas por bactérias como resposta à limitação do S, sendo sua ocorrência, correlacionada com a biomassa microbiana do solo e com a taxa de imobilização do S (TABATABAI, 1994).

A atividade enzimática é um indicador sensível, podendo ser utilizado no monitoramento de alterações ocorridas no solo devido ao seu uso e manejo, sendo utilizada como ferramenta para o melhor planejamento e avaliação de práticas de manejo, visando à conservação do solo.

### **Fixação biológica de nitrogênio**

O nitrogênio (N) é o nutriente de maior influência na produtividade do milho (SILVA et al., 2013), o que mais encarece a produção. No entanto, o fornecimento de N por meio de fertilizantes nitrogenados tem gerado grande preocupação por estar associado a impactos ambientais negativos, como a eutrofização de rios e lagos e a emissão de gases de efeito estufa (GEE) (ORMEÑO-ORRILLO et al., 2013; SÁ et al., 2017). Assim, a inoculação com bactérias diazotróficas se tornou uma alternativa de produção econômica, eficiente e sustentável para o suprimento de N pelas plantas.

Essas bactérias possuem a capacidade de reduzir o nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ) à amônia ( $NH_3^+$ ) pela quebra da ligação tríplice do N pela enzima nitrogenase, com alto consumo de energia na forma de ATP. A associação das gramíneas com essas bactérias não tem por característica a formação de nódulos, o que as diferenciam da simbiose entre rizóbio-leguminosa, e podem colonizar as plantas desde suas raízes até suas folhas (TAIZ et al., 2017).

Dentre as bactérias do gênero *Azospirillum* spp, a espécie *A. brasilense* é a mais estudada e utilizada em todo o mundo. No Brasil, o uso comercial do *A. brasilense* começou em 2009 e tem aumentado exponencialmente desde então (HUNGRIA et al., 2010; HUNGRIA et al., 2016; FUKAMI et al., 2018). No caso das cepas comerciais brasileiras de *A. brasilense* Ab-V5 e Ab-V6, os principais benefícios

têm sido atribuídos à produção de fitohormônios (HUNGRIA et al., 2010; FUKAMI et al., 2018).

Vários benefícios têm sido atribuídos à inoculação com *A. brasilense*, incluindo o fornecimento de N pelo processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) (HUNGRIA et al., 2010; FUKAMI et al., 2017), estimulação do crescimento radicular (LIN et al., 2012; SANTI et al., 2013), solubilização de fosfato (RODRIGUEZ et al., 2004) e com isso, aumento da tolerância a estresses abióticos (CEREZINI et al., 2016; FUKAMI et al., 2018) e bióticos (FUKAMI et al., 2016; MARTINS et al., 2018).

Entre os benéficos destacam-se o crescimento de planta atribuindo-se a maior altura e aumento de número de raízes, tanto o crescimento como aumento no número de raízes possibilitam maior absorção de água e nutrientes, permitindo assim que a planta expresse todo seu potencial produtivo, outro benefício de plantas bem nutridas e maior tolerância a doenças (HUNGRIA et al., 2011).

De acordo com Hungria et al. (2011), as estirpes Ab-V4, Ab-V5, Ab-V6 e Ab-V7 proporcionam rendimento de 24 a 30% em comparação aos tratamentos sem inoculação. Autores mencionam que o uso de inoculação com *Azospirillum* possibilita mitigação de parte ou até mesmo eliminação de fertilizante nitrogenado em cobertura, permitindo que o rendimento seja igual ou até mesmo superior com o uso de nitrogênio mineral (HUNGRIA et al., 2011, MUMBACH et al., 2017).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização do local e clima

O experimento foi implantado nos municípios de Vicentina (textura arenosa) localizado nas coordenadas 22°24'59" Sul e 54°21'11" Oeste, a 421 m de altitude, e em Nova Andradina (textura média) localizado nas coordenadas 22°27'04" Sul e 53°18'13" Oeste, a 292 m de altitude, em Mato Grosso do Sul. O clima dessas regiões, segundo classificação de Köppen-Geiger, é do tipo Cwa (clima mesotérmico úmido, verões quentes e invernos secos) (FIETZ et al., 2017).

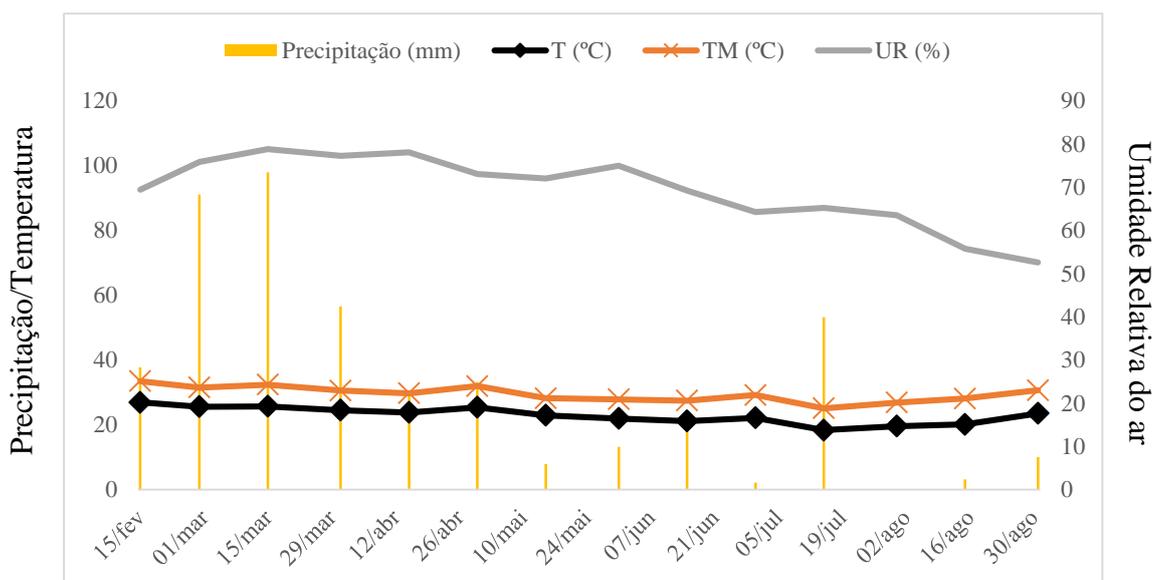
Em Nova Andradina o solo é classificado como Latossolo Vermelho-amarelo distrófico, textura média. E Vicentina é classificado como Neossolos Quartzarênicos Órticos latossólicos, textura arenosa (SANTOS et al., 2018).

Em agosto e setembro de 2018, realizou-se a coleta de amostras de solo na camada de 0 a 20 cm, os quais foram encaminhados para o laboratório de solos da Embrapa Agropecuária Oeste e apresentaram as seguintes características químicas e granulométrica (Quadro 1).

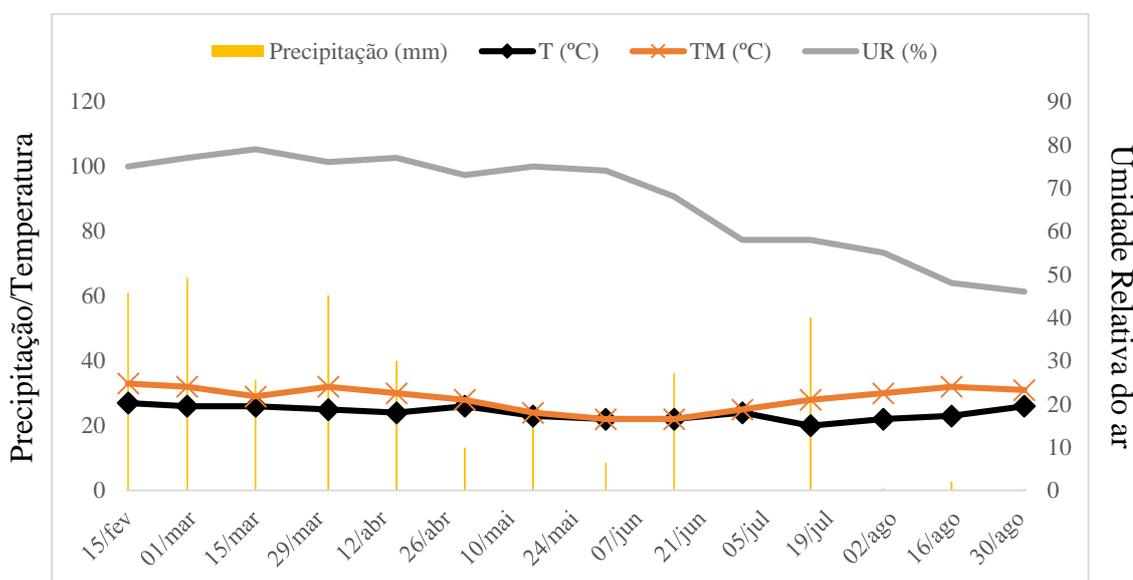
Os dados de precipitação pluviométrica, temperatura média e máxima, e de umidade relativa do ar, durante todo o período de condução do experimento encontra-se nas Figura 1 e 2, e foram obtidos na Estação Meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste, disponível no portal Guia Clima (2020) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2020).

**Quadro 1.** Análise química e granulométrica na camada de 0 a 20 cm do solo, realizada em agosto de 2018, antes da implantação dos experimentos, em Nova Andradina e Vicentina, MS.

Local	pH CaCl <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Al	CTC	P (Mehlich <sup>-1</sup> )
	(1:2,5)					efetiva	mg dm <sup>-3</sup>
Textura média	4,3	0,79	0,29	0,25	0,3	1,62	1,79
Textura arenosa	5,1	0,97	0,44	0,11	0,0	1,52	18,1
	Mn	Zn	V	MO	Areia	Silte	Argila
	mg dm <sup>-3</sup>		(%)		g kg <sup>-1</sup>		
Textura média	28,4	0,72	24,5	148	729	43	228
Textura arenosa	43,8	2,04	43,4	76	866	26	108



**Figura 1.** Precipitação pluviométrica, temperatura média (T °C), temperatura máxima (TM °C) e Umidade Relativa do ar (UR%), do município de Nova Andradina, MS. Fonte: Guia Clima e INMET (2020).



**Figura 2.** Precipitação pluviométrica, temperatura média (T °C), temperatura máxima (TM °C) e Umidade Relativa do ar (UR %), do município de Vicentina, MS. Fonte: Guia Clima e INMET (2020).

## Caracterização dos tratamentos e metodologia

Em setembro de 2018 realizou-se a aplicação e incorporação de calcário dolomítico, a fim de elevar a saturação de bases a 60% na camada de 0 a 20 cm. Posteriormente realizou-se a aplicação de fósforo, utilizando o fertilizante superfosfato simples, incorporado nas camadas de 0 a 15 cm. A soja foi cultivada durante a safra de verão, com aplicação combinada de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* com a finalidade de compor os tratamentos (Quadro 2).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 (texturas de solo) x 4 (tratamentos), com seis repetições. Sendo os locais utilizados áreas de renovação de pastagem, localizadas nos municípios de Nova Andradina (textura média) e Vicentina (textura arenosa), no estado de Mato Grosso do Sul. Os tratamentos consistem no consórcio de milho com braquiária com e sem inoculação com *Azospirillum brasilense*, milho solteiro inoculado com *Azospirillum brasilense*. Os tratamentos de pré-inoculação foram realizados na semeadura da soja (Quadro 2).

**Quadro 2.** Inoculação com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* em soja e milho safrinha solteiro e consorciado com *Brachiaria ruziziensis*, realizada em Vicentina e Nova Andradina, MS.

Tratamentos	Primavera-verão 2018/19	Outono-inverno 2019
1	Soja sem inoculação	Consórcio sem inoculação
2	Soja com <i>B. japonicum</i>	Consórcio com <i>A. brasilense</i>
3	Soja com <i>B. japonicum</i> + <i>A. brasilense</i>	Consórcio com <i>A. brasilense</i>
4	Soja com <i>B. japonicum</i> + <i>A. brasilense</i>	Milho solteiro com <i>A. brasilense</i>

Utilizou-se o híbrido simples de milho K9606 VIP3, de ciclo precoce, com tecnologia Bt (Vip3), com resistência ao herbicida glifosato, altura média 2,35 m, grão semi-duro, de cor alaranjada. Possui resistência às principais doenças de folha e de colmo (KWS, 2020). Para o consórcio utilizou-se a *Brachiaria ruziziensis*.

A inoculação foi realizada com *Azospirillum brasilense*, estirpes abV5 e abV6 com  $2 \times 10^8$  Unidade Formadora de Colônias (UFC)  $\text{ml}^{-1}$ , na dose de 150 mL do inoculante para  $50 \text{ kg}^{-1}$  de sementes de milho, com solução açucarada, a fim de obter uma concentração mínima de  $10^8$  células  $\text{mL}^{-1}$  do inoculante líquido (HUNGRIA, 2011), e o inoculante foi aplicado no momento da semeadura.

A semeadura do milho foi realizada nos dois locais no dia 16 de fevereiro de 2019, após a colheita da soja. As sementes de milho foram tratadas com fungicida antes

do plantio com os ingredientes ativos Carbendazim + Tiram na dose de 300 mL/100 kg<sup>-1</sup> de semente. Para a adubação de semeadura utilizou-se 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula NPK 08-20-20, com aplicação mecânica simultânea de fertilizante e sementes na linha de semeadura, em plantio direto.

As sementes de *Brachiaria ruziziensis* foram colocadas em caixa acoplada na semeadora de plantio e distribuídas ao lado da linha de milho e incorporadas com a passagem de semeadora, para obtenção de uma população de 100 mil plantas por hectare.

As unidades experimentais foram constituídas de sete linhas de 6 m de comprimento, espaçadas 0,50 m entre si, sendo considerada área útil apenas as duas linhas centrais. A semeadura foi realizada mecanicamente em área de plantio direto, na densidade de 6 sementes por m<sup>2</sup> e profundidade de 5 cm.

O controle de plantas daninhas foi realizado com a dessecação da soja para colheita e uma aplicação de atrazine, na dose de 3 L ha<sup>-1</sup> 15 dias após o estabelecimento do milho. O controle de pragas foi realizado com duas aplicações do inseticida thiamethoxam na dose de 205 ml ha<sup>-1</sup> nos estádios fenológicos V2 e V5 do milho.

## Avaliações

### Atributos Microbiológicos

Para avaliação da atividade microbiológica do solo utilizou-se os tratamentos consórcio de milho com braquiária sem inoculação, com pré-inoculação e com inoculação com *Azospirillum brasilense*, Quadro 3.

**Quadro 3.** Inoculação com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* em soja e milho safrinha consorciado com *Brachiaria ruziziensis*, realizada em Vicentina e Nova Andradina, MS.

Tratamentos	Primavera-verão 2018/19	Outono-inverno 2019
1	Soja sem inoculação	Consórcio sem inoculação
2	Soja com <i>B. japonicum</i>	Consórcio com <i>A. brasilense</i>
3	Soja com <i>B. japonicum</i> + <i>A. brasilense</i>	Consórcio com <i>A. brasilense</i>

A biomassa microbiana do solo foi avaliada após a colheita do milho na profundidade 0-10 cm, sendo utilizado o método de fumigação-extração, proposto para

estimar a biomassa microbiana no solo a partir do C extraível (VANCE et al., 1987; TATE et al., 1988).

Realizou-se o destorroamento e peneiramento em malha de 2 mm nas amostras de solo coletadas no campo após a colheita do milho, sendo, posteriormente, retirados possíveis fragmentos de raízes, vegetais e organismos remanescentes; após este procedimento as amostras foram acondicionadas em recipientes plásticos com tampa sendo umidificado uniformemente com auxílio de borrifador com água destilada, sendo movimentado verticalmente para homogeneizar a amostra, atingindo cerca de 40% da capacidade máxima de retenção de água (Capacidade de Campo), em seguida, fechados e reservados.

As amostras ficaram em repouso por 24 horas, após esse período, procedeu-se a pesagem através de balança semi-analítica com precisão de 0,1 g de seis sub-amostras de cada parcela com 20g de solo em cada recipiente, em frascos cilíndricos de vidro (“snaps”) e com tampa, separando três para avaliação de fumigação e três não fumigadas derivadas da amostra original.

Para as amostras fumigadas realizou-se acondicionamento de três das seis sub-amostras anteriores em dessecador, juntamente com um frasco contendo 10 mL de clorofórmio puro e analítico ( $\text{CHCl}_3$ ); tampou-se o dessecador e submeteu-se à aspiração por meio de uma bomba de vácuo, quando o dessecador atingiu -600 mmHg, fechou-se a válvula por 24 horas em sala escura com temperatura por volta dos 30°C;

Decorridas as 24 horas, removeu-se com uma bomba de vácuo o vapor de clorofórmio remanescente. Retirou-se os frascos de amostras de solo do dessecador e adicionou-se em cada um deles 50mL de sulfato de potássio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) 0,5 mol/L e pH 6,5-6,8. Após realizou-se o fechamento dos vidros com tampa e acondicionou-os em suporte específico de agitação (250 rpm) durante 30 minutos.

Posteriormente, retirou-se os frascos do agitador, separando-os em triplicata e removeu-se as tampas, deixando as amostras em repouso para decantação por no mínimo 30 minutos. Após este período procedeu-se a retirada de 10mL do líquido do sobrenadante da solução de cada amostra, com auxílio de uma pipeta (capacidade de 10mL, divisões de 0,1 mL), transferindo o líquido para filtragem para o erlenmeyer com papel-filtro.

Após a filtragem retirou-se da alíquota de 2mL de cada amostra e transferiu-se para tubos de ensaio de 20 mL. Em seguida adicionou-se, em ordem, 3 mL de água deionizada, 2,5 mL da solução de trabalho e 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado. Após, agitou-se as amostras, deixou-as em repouso por duas horas. Realizando após o repouso

a leitura da absorbância da curva padrão e das amostras em espectrofotômetro utilizando-se um comprimento de ondas de 495 nm.

O cálculo do carbono da biomassa microbiana do solo foi obtido através da subtração do C das amostras fumigadas pelo C das amostras não-fumigadas, utilizando um fator de correção  $K_c = 0,33$ .

$$C \text{ BMS} = (C(\text{amostras fumigadas}) - C(\text{amostras não-fumigadas}))/0,33$$

Para a determinação da respiração basal do solo ou atividade microbiana (C-CO<sub>2</sub>), utilizou-se as amostras de solo já peneirada e livre de restos de material vegetal, utilizada para avaliação de Biomassa do Solo. Procedeu-se a pesagem de 50 g do solo em frascos de vidro tipo “snap”, com três repetições para cada amostra. Preparou-se três réplicas para o branco. Após, armazenou-se as amostras e os brancos frascos herméticos de 500 mL, contendo em seu interior, frascos com 10 mL de uma solução de NaOH (1N). Vedou-se os frascos herméticos e proceder à incubação por sete dias, mantidas em local isento de luminosidade, com temperatura em torno de 28 °C.

Após a incubação, adicionou-se 2 mL de BaCl<sub>2</sub> 10% em frasco contendo NaOH, para a completa precipitação do CO<sub>2</sub>. Posteriormente, foram adicionadas 2 gotas de fenolftaleína 1% e titulado com solução 0,5 M de ácido clorídrico padronizada. Utilizou-se como controle três recipientes de vidro, sem solo, contendo a mesma solução de NaOH 0,5M.

Relação entre a respiração e a biomassa, e definido quociente metabólico determinado pela equação:  $\mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{g solo fresco}^{-1} \text{ h}^{-1} / \text{mg biomassa-C} \cdot \text{g solo}^{-1}$  (ANDERSON E DOMSCH, 1990).

### **Atividade enzimática**

As avaliações de atividade de enzimas do solo também foram realizadas nos três tratamentos com consórcio milho-braquiária (Quadro 3), pelo método proposto por Tabatabai (1994) associadas ao ciclo do carbono (b-glucosidase); do fósforo (fosfatase ácida) e do enxofre (arilsulfatase). Esses métodos baseiam-se na determinação colorimétrica do p-nitrofenol, formado após a adição de substratos incolores específicos para cada enzima avaliada. Para cada amostra de solo foram efetuadas três repetições analíticas no laboratório. A atividade enzimática do solo foi expressa em  $\mu\text{g}$  de p-nitrofenol liberado por grama de solo seco por hora.

Para avaliação de atividade enzimática, realizou-se a pesagem de 3 g da amostra de solo peneirado para análise, 1 g por erlenmeyer. Após a pesagem, as amostras foram armazenadas em geladeira entre 4-10 °C, para serem analisadas no dia seguinte.

Para a determinação da atividade da enzima  $\beta$ -glucosidase, arilsulfatase e fosfatase ácida realizou-se no dia seguinte a pesagem de 1,00 g  $\pm$  0,005 g de solo em frasco erlenmeyer de 50 mL, realizando três triplicatas por parcela. Para  $\beta$ -glucosidase, adicionou-se 4 mL de MUB pH 6,0 e 1 mL de PNG a todos os frascos menos os controles (testemunha, branco). Após realizou-se o fechamento dos frascos por uma hora a 37 °C com rolhas de borracha (para evitar evaporação). Posteriormente adicionou-se 1 mL de 0,5 M CaCl<sub>2</sub>, 4 mL de THAM pH 12 e 1 mL de PNG nos controles. Após realizou-se a filtração através de um papel de filtro Whatman n° 2, e realizou-se a leitura da coloração amarela em espectrofotômetro a 420 nm.

Para determinação da atividade da enzima arilsulfatase, adicionou-se 4 ml de tampão acetato pH 5 e 1 mL de PNS a todos os frascos menos os controles (testemunha, branco). Após realizou-se o fechamento dos frascos e incubou-os por uma hora a 37 °C com rolhas de borracha (para evitar evaporação). Após, adicionou-se 1 mL de 0,5 M CaCl<sub>2</sub>, 4 mL de NaOH 5.5 M e 1 mL de PNS nos controles. Posteriormente, realizou-se a filtração através de um papel de filtro Whatman n° 2, e realizou-se a leitura da coloração amarela em espectrofotômetro à 410 nm.

Para a determinação da atividade da enzima fosfatase ácida, adicionou-se 4 mL de MUB pH 6,5, 1 mL de PNF a todos os frascos menos os controles (testemunha, branco). Após, realizou-se o fechamento dos frascos com C com rolhas de borracha (para evitar evaporação) por uma hora a 37 °C (vide POP n° 039.02.04.13.4.036 Shaker Incubador temperatura controlada Série 25 New Brunswick). Posteriormente, adicionou-se 1 mL de 0,5 M CaCl<sub>2</sub>, 4 mL de NaOH 0,5 M e 1 mL de PNF nos controles. Após, realizou-se a filtração através de um papel de filtro Whatman n° 2, e em seguida a leitura da coloração amarela em espectrofotômetro a 410 nm

### **Índice de clorofila**

O índice de clorofila a (CLa), b (CLb) e total (CLt) foi avaliado utilizando aparelho ClorofiLOG (FALKER, 2020) no estágio fenológico de doze folhas

completamente desenvolvidas (V12), medindo no terço médio da folha da base da espiga, em 10 plantas por parcela. (FALKER, 2020).

### **Atributos morfológicos do milho e braquiária**

As avaliações morfológicas na planta de milho foram realizadas no estágio de oito folhas completamente desenvolvidas (V8), no estágio reprodutivo de embonecamento (R1) e na maturação fisiológica do milho. No estágio fenológico V8, coletou-se três plantas na área útil de cada parcela ao acaso, para avaliação da massa seca de folha (MSF), colmo (MSC), raízes (MSR) e planta inteira (MSPi).

A massa seca de raiz (MSR) foi avaliada pela coleta de um bloco de solo com 10 cm de largura 10 cm de profundidade, com 15 cm de comprimento. Posteriormente, as raízes foram lavadas, acondicionadas em saco de papel e colocadas em estufa, a 60°C por 72 horas, para determinação da massa seca.

No estágio (R1) foram coletadas cinco plantas ao acaso para avaliação de massa seca de folha (MSF), colmo (MSC), espiga (MSE) e de planta inteira (MSP). As plantas coletadas no estágio V8 e R1 foram acondicionadas em sacos de papel, pesadas para determinar massa verde e após foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 60°C por 72h, pesadas novamente para determinar a massa seca. Posteriormente calculou-se a massa seca.

A massa seca de braquiária foi avaliada na maturação fisiológica do milho, coletando as plantas em uma área de 0,5 m<sup>2</sup>. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel, e pesadas para determinar massa verde e secas em estufa de circulação forçada de ar a 60°C por 72h.

Na maturação fisiológica do milho foram avaliadas cinco plantas ao acaso: altura de plantas, medida da superfície do solo à base da última folha (AP); altura da inserção de espiga: medida do solo à base da espiga principal (AIE);

### **Componentes de produtividade do milho**

Na colheita foram retiradas dez espigas de cada parcela, para avaliação do diâmetro (DE) e comprimento de espiga (CE); número de espigas doentes (ED); número de fileiras da espiga (NFE); e posteriormente, realizou-se a trilha e as avaliações de

número de grãos por espiga (NGE); massa de cem grãos (MCG); e calculada a produtividade de grãos de milho (PGM), com umidade corrigida para 13%.

### **Análise estatística**

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para a verificação da normalidade dos resíduos e ao teste de Bartlett para verificação da homogeneidade entre as variâncias. Atendidos esses pressupostos realizou-se a análise de variância (ANOVA) e, quando observada diferença significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Atributos microbiológicos**

Verificou-se diferença estatística significativa entre os solos para o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), respiração da biomassa microbiana do solo (C-CO<sub>2</sub>), matéria orgânica do solo (MO) e quociente metabólico ( $qC-CO_2$ ) (Quadro 4). Houve interação significativa entre solos e tratamentos com inoculação para o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) e matéria orgânica do solo (MO).

Observa-se que a maior média para respiração da biomassa microbiana do solo (C-CO<sub>2</sub>) (9,72 0,001mg g<sup>-1</sup> ss dia<sup>-1</sup>) foi maior no solo de textura média, porém, o quociente metabólico ( $qC-CO_2$ ) (18,11 0,001mg g<sup>-1</sup> ss dia<sup>-1</sup>), foi menor neste solo. Esse resultado se deu devido ao experimento no solo de textura média ter apresentado maior acumulado de precipitação pluviométrica (458 mm), com chuvas mais regulares durante o período do experimento, associado com maior teor de argila e de matéria orgânica, favoreceu a umidade do solo e a fertilidade devido a ciclagem dos nutrientes, possibilitando o desenvolvimento e atividade biológica.

**Quadro 4.** Análise de variância e médias do carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), respiração da biomassa microbiana do solo (C-CO<sub>2</sub>), matéria orgânica do solo (MO) e quociente metabólico ( $qC-CO_2$ ), em função dos solos e dos

tratamentos de inoculação e pré-inoculado com *Azospirillum* em milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária em Vicentina e Nova Andradina, MS (2019).

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio			
		C-BMS 0,001 mg g	C-CO <sub>2</sub> 0,001mg g <sup>-1</sup> ss	MO g kg <sup>-1</sup>	qC-CO <sub>2</sub> -
Solos (S)	1	*	*	*	*
Tratamentos (T)	2	*	ns	*	ns
S X T	2	*	ns	*	ns
Erro	30	-	-	-	-
Média	-	158,11	7,91	17,61	24,66
CV (%)	-	21,77	25,28	9,76	25,42
Solos		C-CO <sub>2</sub> 0,001mg g <sup>-1</sup> ss dia <sup>-1</sup>		qC-CO <sub>2</sub> -	
Textura arenosa		6,11 b		31,22 a	
Textura média		9,72 a		18,11 b	

F: \* e ns – significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. CV: coeficiente de variação. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey,  $p \geq 0,05$ .

Em pesquisa com esses indicadores microbiológicos, Mendes et al. (2015) também observaram que, a liberação de CO<sub>2</sub> depende de fatores como umidade, temperatura, disponibilidade de nutrientes, bem como, de acordo Martins et al. (2011), da atividade biológica e do carbono lábil presente no solo.

Contudo, estudos demonstram que a diminuição da matéria orgânica ou ausência resulta em redução de macroporosidade e oxigenação do solo afetado diretamente a microbiota do solo. Bem como, solo de textura com maior teor de areia apresenta ausência de formação de agregados, interferindo na diminuição de microrganismos e fauna do solo, devido os agregados servirem de refúgio para biota do solo (CARDOSO et al., 2013).

De acordo com Anderson e Domsch (1993), valores elevados de quociente metabólico refletem solos com algum distúrbio ou estresse, já valores baixos refletem solos maduros e estáveis. Desta forma, pode-se inferir que, devido ao solo de textura arenosa ter apresentado um ambiente com condições ambientais mais adversas que o ambiente do solo de textura média, com menor acúmulo de precipitação pluviométrica (396 mm), elevada temperatura, textura com menor teor de argila e menor matéria orgânica, resultou em estresse, comprometendo a atividade biológica no ambiente.

Já nas interações entre solos e tratamentos, o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) foi maior no solo de textura média no consórcio milho-braquiária pré-inoculado com *A. brasilense* (278,16 $\mu\text{g C g}^{-1}$  solo seco) (Quadro 5).

**Quadro 5.** Interação significativa entre solos e tratamentos com inoculação para o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), em função dos solos e dos tratamentos de inoculação e pré-inoculado com *Azospirillum* em milho safrinha consorciado com braquiária em Vicentina e Nova Andradina, MS (2019).

Tratamentos	Textura média	Textura arenosa
Consórcio sem inoculação	218,16 b A	81,16 b B
Consórcio com inoculação de <i>A. brasilense</i>	206,50 b A	82,66 b B
Consórcio com pré-inoculação de <i>A. brasilense</i>	278,16 a A	82,00 b B
Média	158,11	
CV (%)	21,77	

Letras minúsculas comparam os tratamentos em cada solo. Letras maiúsculas comparam os tratamentos entre solos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

De acordo com a interpretação de indicadores microbiológicos para Latossolo no Cerrado em Sistema Plantio Direto, proposto por Lopes et al. (2018), os valores do C-BMS para os tratamentos avaliados em solo de textura média, foram baixos ( $< 245 \text{ mg kg}^{-1}$ ) nos tratamentos de consórcio milho-braquiária sem inoculação (218,16  $\text{mg kg}^{-1}$ ) e inoculados (206,50  $\text{mg kg}^{-1}$ ) e, moderado (245-440  $\text{mg kg}^{-1}$ ) em consórcio com milho braquiária com pré-inoculação (278,16  $\text{mg kg}^{-1}$ ) (Quadro 5). Já para os tratamentos de biomassa microbiana do solo avaliados em solo de textura arenosa, todos foram baixos ( $< 245 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

No entanto, os valores da interação demonstram que o solo de textura média apresentou diferença estatística para todos os tratamentos em relação ao solo de textura arenosa, quando se avaliou tratamento dentro de cada solo (Quadro 5).

Desta forma, podemos inferir que o aumento da biomassa em todos os tratamentos de consórcio no solo de textura média em relação ao solo de textura arenosa, se deu possivelmente devido as características do solo de textura média e as condições ambientais, que favoreceu o incremento de matéria orgânica a qual já era superior antes da implantação do experimento, com maior disponibilidade de nutrientes e maior retenção de água no sistema, devido a maior porcentagem de argila.

Segundo Cardoso et al., (2013), a matéria orgânica é extremamente importante ao solo pois auxilia na retenção de água, devido as substancias húmicas atraírem a molécula água devido as cargas dos grupos carboxílicos e fenólicos, do mesmo modo, autores mencionam que as características físicas do solo são determinantes para vida microbiana, uma vez que solos com elevada drenagem e redução na aeração do solo afetam a atividade da microbiota.

Já em relação ao consórcio entre milho e braquiária, diversos autores mencionam sua importância a sustentabilidade do sistema, bem como melhorias nos atributos químicos, físicos e principalmente biológicos do solo, e por consequência aumento de produtividade de culturas em sucessão (CECCON et al., 2013; SALTON et al., 2014; MENDES et al., 2015).

De acordo com Salton et al. (2014), o consórcio milho-braquiária também é uma ferramenta para o aumento e desenvolvimento da microbiota do solo, em razão da constante renovação de suas raízes e intensa produção de palhada, que possibilitam estruturação apropriada do solo, macroporosidade adequada, formação de agregados estáveis, melhorando as características físicas e químicas do solo, em consequência da à atividade dos microrganismos do solo que atuam na decomposição das raízes e do material vegetal, propiciando aumento da fertilidade do solo.

Contudo, apenas o tratamento de consórcio milho-braquiária pré-inoculado com *A. brasilense* apresentou maior média para carbono da biomassa microbiana do solo no experimento com solo de textura média ( $278,16\mu\text{g C g}^{-1}$  solo seco). Demonstrando que, possivelmente a pré-inoculação realizada na cultura anterior e a inoculação realizada no milho posteriormente permitiu condições propícias a multiplicação e sobrevivência da microbiota, e que as condições físicas do solo de textura média, possivelmente por ter maior teor de argila e de matéria orgânica possibilitou a manutenção e atividade da comunidade microbiana neste ambiente.

Quadros et al. (2014), observaram que o tipo de solo e o clima do ambiente influenciam na adaptação das estirpes, sendo estes fatores determinantes para a sobrevivência das bactérias no solo, alterando os resultados de acordo com as condições edafoclimáticas de cada região.

Muitos são os fatores que podem influenciar o sucesso da inoculação, como o híbrido de milho, número de células das estirpes por semente, tipo e características químicas do solo, gênero da bactéria promotora de crescimento, método de aplicação, bem como, competição entre os microrganismos nativos do solo (MORAIS et al., 2017).

Portanto, pode inferir que o aumento da biomassa microbiana do solo está intimamente ligado a atividade biológica, podendo ser explicado devido ao ambiente do experimento do solo de textura média ter apresentado condições mais adequadas tanto do clima e de solo, e que o uso da pré-inoculação favoreceu o estabelecimento e desenvolvimento da microbiota.

Na interação entre solos e tratamentos para matéria orgânica do solo (MO) os tratamentos consórcio sem inoculação (23,83g kg<sup>-1</sup>) e consórcio pré-inoculado com *A. brasilense* (21,50 g kg<sup>-1</sup>) apresentaram as maiores médias em solo de textura média (Quadro 6).

**Quadro 6.** Interação significativa entre solos e tratamentos com inoculação para a matéria orgânica do solo (MO), em função dos solos e dos tratamentos de inoculação e pré-inoculado com *Azospirillum* em milho safrinha consorciado com braquiária em Vicentina e Nova Andradina, MS (2019).

Tratamentos	Textura média	Textura arenosa
Consórcio sem inoculação	23,83 a A	15,00 a B
Consórcio inoculado com <i>A. brasilense</i>	20,00 b A	12,83 ab B
Consórcio pré-inoculado com <i>A. brasilense</i>	21,50 ab A	12,50 b B
Média		17,61
CV (%)		9,76

Letras minúsculas comparam os tratamentos em cada solo. Letras maiúsculas comparam os tratamentos entre solos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Os resultados de matéria orgânica possivelmente refletem as alterações da biomassa do solo, uma vez a biomassa microbiana é um dos componentes que controla a decomposição e o acúmulo de matéria orgânica (ROSCOE et al., 2006), concordando com os resultados discutidos anteriormente onde foi observado maior atividade da biomassa microbiana nos mesmos tratamentos.

Contudo, as condições do solo foram determinantes para maior atividade da biomassa microbiana bem como do maior acúmulo de matéria orgânica, uma vez que na análise realizada antes do plantio constatou maior teor de argila e de matéria orgânica no solo de textura média, tais resultados possibilitam afirmar que a argila por formar agregados estáveis com matéria orgânica forma um ambiente propício ao desenvolvimento, sobrevivência e atividade biológica no solo (ROSCOE et al., 2006; CARDOSO et al., 2013).

No entanto, apesar da estrutura física do solo ser muito importante para a vida da microbiota, outro ponto chave para a sobrevivência e diversidade da biota é o aporte vegetal sobre o solo, uma vez que a comunidade microbiota necessita de material vegetal como fonte de energia, tendo como papel fundamental nos processos de mineralização e imobilização de nutrientes (ROSCOE et al., 2006; MENES et al., 2015).

E dentre os sistemas de cultivo o consórcio, bem como os sistemas integrados de produção são mencionados por diversos autores como uma técnica eficaz no fornecimento cobertura do solo com biomassa vegetal e de raízes, bem como, a diversificação do material vegetal, contribuindo consequentemente em melhorias nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (SALTON et al., 2014; SATO et al., 2019;).

Deste modo, o aumento da matéria orgânica do solo está intimamente ligada atividade microbiana, possivelmente devido aumento e diversificação de material vegetal sobre o solo e de raízes (SOUZA et al., 2010), bem como do clima e do solo (QUADROS et al., 2014). Principalmente pelo solo com maior teor de argila, pois solos com maior presença de areia em sua constituição apresenta pouca ou nenhuma proteção a matéria orgânica, interferindo na formação de agregados (SILVA et al., 2014).

Desta forma, solos com maiores teores de argila favorecem a formação de agregados devido a capacidade de aproximar as partículas do solo, protegendo a matéria orgânica, a qual tem papel fundamental no processo de formação e estabilização de agregados do solo (SILVA et al., 2014), favorecendo a sobrevivência, manutenção e atividade biológica no solo (CARDOSO et al., 2013).

### **Atividade enzimática**

Houve diferença significativa entre solos para a atividade das enzimas  $\beta$ -glucosidase, arilsulfatase e fosfatase ácida e, diferença entre os tratamentos com inoculação na atividade da enzima  $\beta$ -glucosidase (Quadro 7). Para a atividade enzimática do solo, nota-se efeito da interação solos x tratamentos para a enzima  $\beta$ -glucosidase (Quadro 7), onde o tratamento consórcio sem inoculação apresentou maior média para o experimento no solo de textura média (Quadro 8).

De forma semelhante as enzimas arilsulfatase (705,61 mg p-nitrofenol kg<sup>-1</sup> de solo h<sup>-1</sup>) e fosfatase ácida (1.077 mg p-nitrofenol kg<sup>-1</sup> de solo h<sup>-1</sup>), apresentaram as maiores médias para o solo de textura média (Quadro 7).

**Quadro 7.** Análise de variância e médias para a atividade das enzimas β-glucosidase, arilsulfatase e fosfatase ácida, em função dos solos e dos tratamentos de inoculação e pré-inoculado com *Azospirillum* em milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária em Vicentina e Nova Andradina, MS (2019).

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio		
		β-glucosidase	Arilsulfatase	Fosfatase ácida
(mg p-nitrofenol kg <sup>-1</sup> de solo h <sup>-1</sup> )				
Solos (S)	1	*	*	*
Tratamentos (T)	2	*	ns	ns
S X T	2	*	ns	ns
Erro	30	-	-	-
Média	-	49,52	563,05	705,08
CV (%)	-	11,42	9,85	12,74
Solos	Arilsulfatase		Fosfatase ácida	
mg p-nitrofenol kg <sup>-1</sup> de solo h <sup>-1</sup>				
Textura arenosa	420,50 b		332,50 b	
Textura média	705,61 a		1.077 a	

F: \* e ns – significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. CV: coeficiente de variação. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey,  $p \geq 0,05$ .

Desta forma, pode-se inferir que devido ao solo de textura arenosa apresentar menor teor de argila e de matéria orgânica, com características de elevada drenagem e por consequência menor aeração, interferiu na proteção de matéria orgânica, desta forma, solo com ausência de agregados tem por consequência perda de matéria orgânica, que acarreta em menor biomassa microbiana no solo (CARDOSO et al., 2013), e associado com as condições climáticas com as características do solo potencializaram em perda de diversidade biológica e metabólica.

De acordo com Silva et al. (2012), a redução dos teores da atividade da enzima arilsulfatase estão correlacionados com a redução dos valores de matéria orgânica, isto devido a matéria orgânica do solo ser constituída por ésteres de sulfato, que é componente principal para atividade desta enzima. Já Cardoso e Andreote (2016), mencionam que atividade enzimática é influenciada pela estrutura física do solo, estando intimamente relacionado em solos que apresentam agregados estáveis.

Já a enzima fosfatase é elevada com o aumento do carbono orgânico total no solo, sendo observado maiores valores dessa variável em ambientes preservados (SILVA et al., 2012), e com aumento da comunidade microbiota (NAHAS, 2002). Contudo, um fator determinante na atividade desta enzima é o clima, pois segundo Aragão et al. (2012), houve uma redução da atividade desta enzima em condições de baixa precipitação pluviométrica.

Outro fator limitante desta enzima é a inibição de sua atividade devido ao uso de fertilizantes fosfatados, sendo observado elevada atividade desta enzima em baixa disponibilidade de fósforo às plantas e aos microrganismos (TRANNIN et al., 2007).

Atividade da enzima  $\beta$ -glucosidase apresentou interação entre solos e tratamentos (Quadro 8), onde as maiores médias foram observadas para os tratamentos consórcio milho-braquiária sem inoculação (77 mg p-nitrofenol  $\text{kg}^{-1}$  de solo  $\text{h}^{-1}$ ) e consórcio pré-inoculado com *A. brasilense* (72 mg p-nitrofenol  $\text{kg}^{-1}$  de solo  $\text{h}^{-1}$ ) no solo de textura média.

**Quadro 8.** Interação significativa entre solos e tratamentos com inoculação para a atividade da enzima  $\beta$ -glucosidase, em função dos solos e dos tratamentos de inoculação e pré-inoculado com *Azospirillum* em milho safrinha consorciado com braquiária em Vicentina e Nova Andradina, MS (2019).

Tratamentos	Textura média	Textura arenosa
Consórcio sem inoculação	77,00 a A	30,00 b B
Consórcio inoculado com <i>A. brasilense</i>	67,50 b A	24,50 b B
Consórcio pré-inoculado com <i>A. brasilense</i>	72,00 ab A	26,16 b B
Média		49,52
CV (%)		11,42

Letras minúsculas comparam os tratamentos em cada solo. Letras maiúsculas comparam os tratamentos entre solos. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Tais resultados concordam com os discutidos anteriormente, onde o solo de textura média por apresentar maiores teores de MO e de argila possibilitaram maior atividade biológica e enzimática, devido o maior teor de argila proporcionar maior proteção a matéria orgânica do solo, com maior mineralização e imobilização de nutrientes a qual está diretamente ligada a ciclagem de nutrientes, formação e estabilização de agregados devido as substâncias húmicas cimentantes (SILVA et al., 2014), possibilitando assim ambiente adequado para maior atividade da microbiota.

Outro aspecto que possivelmente pode ter potencializado tal efeito foi o relacionado ao clima durante a condução do experimento, onde o solo de textura média apresentou melhores condições ambientais em relação ao solo de textura arenosa, proporcionando melhorias no desenvolvimento da microbiota, com valores médios superiores de biomassa microbiana e de matéria orgânica.

De acordo com Cardoso et al. (2013), mencionam que ambientes que apresentam condições limitantes de água e elevadas temperaturas interferem diretamente na atividade da microbiota, afetando diretamente processos relacionados a mineralização da matéria orgânica do solo.

Segundo Evangelista et al. (2012), a enzima  $\beta$ -glucosidase é influenciada pela quantidade de carbono orgânico presente no solo, formando compostos húmicos, que protegem as enzimas  $\beta$ -glucosidase da ação de outras enzimas. Já Matsuoka et al. (2003), mencionam que o aumento da ação desta enzima está relacionado com aumento de restos de culturas leguminosas e gramíneas, com correlação positiva com o aumento de carbono prontamente mineralizável.

Tendo como fatores limitantes da atividade desta enzima a baixa umidade do solo e a alta temperatura (BALDRIAN et al., 2013). Desta forma, os dados dessa variável confirmam os resultados discutidos anteriormente, o clima e o solo são fatores determinantes para os atributos microbiológicos e de atividade enzimática do solo, pois o ambiente que apresentou melhores condições climáticas, com maior teor de argila na constituição do solo e de matéria orgânica, apresentou melhores incrementos de matéria orgânica e maior atividade biológica.

Por essa razão, o clima associado aos fatores químicos e físicos do solo interferem, no sucesso da inoculação, bem como no desenvolvimento da microbiota nativa, e que a pré-inoculação possibilitou manutenção e aumento da atividade biológica do solo. Sendo um indicador que o clima é fator determinante no sucesso da inoculação de bactérias promotoras de crescimento, bem como, possibilita o desenvolvimento comunidade microbiota nativa e inoculada.

## **Índice de clorofila**

Houve diferença estatística nos experimentos em relação as variáveis clorofila a, b e total para solos (Quadro 9). As médias para clorofila a, b e total foram maiores para o experimento de textura média.

Podendo-se inferir que, devido as condições de déficit hídrico e baixo acúmulo de precipitação pluviométrica no experimento de textura arenosa, associado a baixo teor de argila e de matéria orgânica, com baixa retenção de água no solo, além de favorecer maior lixiviação dos nutrientes, bem como, o estresse hídrico pode ter reduzido a absorção de N por este elemento movimentar-se até a planta por fluxo de massa, favorecendo também competição interespecífica entre plantas de milho e de braquiária, afetando diretamente o desenvolvimento da cultura de interesse econômico.

**Quadro 9.** Análise de variância e médias para clorofila a (CLa), clorofila b (CLb) e clorofila total (CLt), avaliados durante a maturação do milho safrinha, em função dos solos e dos tratamentos de inoculação e pré-inoculado com *Azospirillum* em milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária em Vicentina e Nova Andradina, MS (2019).

Fonte de variação	G.L	Quadrado Médio		
		CLa	CLa	CLt
Locais (L)	1	*	*	*
Tratamentos (T)	3	ns	ns	ns
L X T	3	ns	ns	ns
Erro	35	-	-	-
Média		6,31	14,97	51,71
CV (%)		36,91	14,13	8,32
Solos		CLa	CLb	CLt
Textura arenosa		33,00 b	12,50 b	45,46 b
Textura média		40,83 a	17,08 a	57,96 a

F: \* e ns – significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. CV: coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem significativamente entre si (Tukey, 0,05).

Estes dados confirmam que os estresses ocasionados na planta em solos de textura arenosa, em função do déficit hídrico e temperaturas elevadas, comprometeram o desempenho, possivelmente pelo fechamento estomático, limita absorção de nutrientes, assimilação de água e de CO<sub>2</sub>, reduzindo os processos fotossintéticos, evitando a transpiração e a desidratação celular (BERNINI et al., 2016).

Outro fator decorrente do déficit hídrico no estágio vegetativo é o menor desenvolvimento foliar que ocasiona danos diretamente na taxa fotossintética, e

consequentemente, menor acumulação de carboidratos, ocasionando diminuição da produtividade (BORELLA et al., 2019). No entanto, a deficiência de nitrogênio (N) também pode ter potencializado danos ao índice de clorofila, pois plantas supridas adequadamente com este nutriente apresentam maior assimilação de gás carbônico, maior síntese de carboidratos e maior índice de atividade fotossintética (NEUMANN et al., 2019).

As condições ambientais nos dois ambientes apresentaram limitações a cultura, contudo o ambiente de textura arenosa apresentou um déficit hídrico mais acentuado, resultando em menor índice de clorofila a, b e total. De acordo com Parajuli et al. (2018), o estresse hídrico reduz o nitrogênio no solo, onde associação do baixo teor de nitrogênio no solo com estresses abióticos reduzem até 80% da produtividade da cultura do milho.

Outro fator que pode ter potencializado tais resultados é o baixo teor de matéria orgânica do solo no experimento de textura arenosa. Chiodini et al. (2013), mencionam que a matéria orgânica do solo é fonte de inúmeros nutrientes, onde o nitrogênio aumenta à medida que a matéria orgânica do solo incrementada no sistema, sendo este liberado a medida que a matéria orgânica é mineralizada.

Já Souza e Melo (2000), observaram que a matéria orgânica do solo foi elevada em ambientes com integração lavoura-pecuária, elevando em mais de 80% o N prontamente mineralizável. Os mesmos autores mencionam que a MO apresenta grande capacidade de retenção de água, sendo esta fundamental para disponibilidade dos nutrientes na solução do solo.

Contudo, em ambientes com limitações ambientais ocorre competição interespecífica nas culturas de milho e braquiária por recursos naturais (SILVA et al., 2015). Deste modo, Makino et al. (2019), mencionam que no consórcio de milho com braquiária quando ocorre competição por nutrientes, o N é requerido em maior quantidade, podendo afetar negativamente o índice total de clorofila da planta de milho.

A deficiência de N também acarreta senescência antecipada das folhas das plantas de milho, devido a translocação do nitrogênio para os pontos de crescimento, afetando diretamente atividade fotossintética e o desenvolvimento da planta (REPKE et al., 2013).

Neste contexto, as condições climáticas adversas e os solos com baixo teor de argila e de matéria orgânica no ambiente de textura arenosa associada ao uso de inoculação e pré-inoculação com *A. brasilense*, possivelmente não supriu a demanda

requerida pela cultura, bem como a textura do solo e MO, associado a uma má distribuição pluviométrica influenciaram os processos fotossintéticos da cultura, ocasionando decréscimo nos atributos morfológicos e nos componentes de produtividade.

### Atributos morfológicos do milho e braquiária

Os resultados da análise de variância indicam efeito significativo para solos para massa seca de folha (MSF), colmo (MSC), raiz (MSR) e planta inteira (MSPi) avaliados no estágio fenológico de oito folhas (Quadro 10). As maiores médias observadas para MSF (808 kg ha<sup>-1</sup>), MSC (910 kg ha<sup>-1</sup>), MSR (247 kg ha<sup>-1</sup>) e MSPi (1.965 kg ha<sup>-1</sup>) foram observados para o solo de textura média (Quadro 10).

**Quadro 10.** Análise de variância e médias para massa seca de folhas (MSF), de colmos (MSC), de raízes (MSR) e da planta inteira (MSPi), avaliados no estágio V8 do milho safrinha, em função dos solos e dos tratamentos de inoculação e pré-inoculado com *Azospirillum* em milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária em Vicentina e Nova Andradina, MS (2019).

Fonte de variação	G.L	Quadrado Médio			
		MSF	MSC	MSR	MSP
Locais (L)	1	*	*	*	*
Tratamentos (T)	3	ns	ns	ns	ns
L X T	3	ns	ns	ns	ns
Erro	35	-	-	-	-
Média		661,18	647,76	197,90	1.506,97
CV (%)		9,56	31,42	20,69	17,88
Solos		MSF	MSC	MSR	MSPi
		kg ha <sup>-1</sup>			
Textura arenosa		514 b	386 b	148 b	1.049 b
Textura média		808 a	910 a	247 a	1.965 a

F: \* e ns – significativo 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. CV: coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem significativamente entre si (Tukey, 0,05).

Os resultados demonstraram que não houve efeito significativo para os tratamentos com inoculação e pré-inoculação, inferindo-se que possivelmente as condições do solo e ambientais como mencionados por Quadros et al. (2014), podem ter interferido na expressão das bactérias promotoras de crescimento.

Inúmeros trabalhos relatam os benefícios tanto a promoção de crescimento, como no fornecimento de nitrogênio e aumento de produtividade da cultura do milho (HUNGRIA et al., 2011, MUMBACH et al., 2017; FUKAMI et al., 2018). Contudo, a inoculação com *Azospirillum* no milho ainda apresenta respostas muito variáveis, onde autores mencionam que a inoculação não apresentou efeito positivo nos parâmetros morfológicos e produtivos da cultura (PORTUGAL et al., 2014; RAMPIM et al., 2020).

A precipitação pluviométrica acumulada durante o período do experimento no solo de textura média foi de 458 mm, enquanto o solo de textura arenosa foi 396 mm. A necessidade hídrica ideal para que a cultura do milho expresse todo seu potencial produtivo varia em torno de 439 a 534 mm (RIBEIRO et al., 2020).

Tais dados confirmam o que foi observado, onde o solo de textura arenosa por apresentar menor teor de argila e de matéria orgânica, possivelmente apresentou elevada drenagem, tendo por consequência menor retenção de água devido suas características físicas, podendo ter agravado devido ao maior tempo de estiagem em comparação ao solo de textura média.

Neste sentido, o fato do experimento de textura média ter recebido precipitação pluviométrica mais elevada com melhores condições física em comparação ao solo de textura arenosa, possivelmente proporcionou condições mais adequadas as plantas, para que estas realizassem adequadamente seu desenvolvimento. Segundo Bernini et al. (2020), o estresse hídrico acarreta problemas relacionados ao desenvolvimento de estruturas vegetativas, reduzindo a produção de fitomassa.

Bergamaschi et al. (2006), observaram que os estádios vegetativos de V5 a V8 são primordiais para a cultura do milho, pois ocorre aumento acelerado no alongamento do colmo e crescimento de raiz. Desta forma, a ocorrência de déficit hídrico nesta fase, pode acarretar a diminuição da atividade fotossintética, desacelerando o crescimento da planta e, conseqüentemente, a diminuição da massa seca da raiz e parte aérea.

Outro fator que possivelmente pode ter afetado tais resultados é o cultivo consorciado de milho com braquiária, pois de acordo com Silva et al. (2015), em sistema consorciado de milho com braquiária em casos de déficit hídrico acarreta competição entre as espécies. Concordando com os resultados encontrados por Silva et al (2000), que observaram que o consórcio apresenta maior eficiência no uso da água quando comparado com o monocultivo, contudo, essa eficiência decresce quando ocorre déficit hídrico, afetando diretamente a integração.

Desta forma, o menor crescimento da parte aérea do experimento de textura arenosa, possivelmente se deve ao fato que os processos de divisão e expansão celular serem diretamente prejudicados no início do estresse hídrico, acarretando menor crescimento de folha e de colmo (MELO et al., 2018), sendo este fator determinante para a cultura do milho, pois reduz a altura de planta e de inserção de espiga, afetando o potencial produtivo da cultura (BUSO et al., 2017). O estresse hídrico ocasiona redução do potencial hídrico, com redução de expansão celular e foliar, fechamento estomático e, conseqüentemente, a inibição fotossintética (TAIZ et al., 2017).

No Quadro 11 verifica-se efeito de solos para massa seca de folha (MSF), colmo (MSC), espiga (MSE) e planta inteira (MSP) avaliados no estágio reprodutivo de embonecamento (R1), e de altura de inserção de espiga (AIE) e altura de plantas de milho (APM) avaliados maturação fisiológica do milho. Houve efeito de tratamentos apenas para altura de inserção de espiga.

**Quadro 11.** Análise de variância e médias para massa seca de folha (MSF), de colmo (MSC), de espiga (MSE) e planta inteira (MSP) avaliados no (R1), massa seca de braquiária (MSB) avaliado após a colheita do milho, altura da inserção da espiga (AIE) e altura de planta (APM) avaliados no estágio de maturação fisiológica do milho safrinha, em função dos solos e dos tratamentos de inoculação e pré-inoculado com *Azospirillum* em milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária em Vicentina e Nova Andradina, MS (2019).

Quadrado Médio								
Fonte de variação	G.L	MSF	MSC	MSE	MSP	MSB	AIE	APM
Locais (L)	1	*	*	*	*	ns	*	*
Tratamentos (T)	3	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
L X T	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Erro	35	-	-	-	-	-	-	-
Média		919,27	2,370	2.003	5.293	946	91,85	181,02
CV (%)		12,01	15,31	42,28	20,52	31,10	6,14	5,51
Solos		MSF	MSC	MSE	MSP	AIE	APM	
		kg ha <sup>-1</sup>				cm		
Textura arenosa		883 b	1.770 b	1.215 b	3.869 b	78 b	159 b	
Textura média		955 a	2.971 a	2.792 a	6.719 a	105 a	203 a	

F: \* e ns – significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. CV: coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra comparam local em cada variável e não diferem entre si (Tukey, 0,05).

As variáveis MSF (955 kg ha<sup>-1</sup>), MSC (2.971 kg ha<sup>-1</sup>), MSE (2.792 kg ha<sup>-1</sup>) e MSP (6.719 kg ha<sup>-1</sup>) medidas em R1, AIE (78 cm) e APM (159 cm) avaliados no estágio de maturação fisiológica do milho safrinha, apresentaram as maiores médias para o solo de textura média (Quadro 11).

Concordando com o que foi avaliado na fase vegetativa, tais dados confirmam que, devido ao solo de textura arenosa ter apresentado condições ambientais e propriedades físicas do solo mais limitantes, provavelmente comprometeu as funções como a da fotossíntese, que deve ter sido inibida devido ao fechamento estomático (TAIZ et al., 2017), comprometendo a produção de fotoassimilados e assimilação de nutrientes, com menor acúmulo de massa seca e menor desenvolvimento de planta (MELO et al., 2018).

Outro ponto observado nos resultados é a falta de respostas com a inoculação, indicando que, a inoculação foi mais eficiente nos atributos microbiológicos e enzimáticos do solo (Quadros 4 e 7), do que nos parâmetros morfológicos do milho (Quadro 10 e 11). Indicando que, possivelmente os fatores ambientais associados com as características do solo podem ter afetado atividade das estirpes de *Azospirillum brasilense*.

O solo de textura arenosa apresenta em sua constituição 86% de areia e apenas 10,8% de argila (Quadro 1), com maior macroporosidade e com menor capacidade de retenção de água (SANTOS E CARLESSO, 1998), possivelmente as características físicas do solo potencializaram os efeitos associados ao menor acúmulo de água. Neste sentido, Bonfim-Silva et al. (2011) mencionam que a redução da massa seca de parte aérea decresce à medida que a diminuição de água disponível no solo para a cultura do milho.

Segundo Didonet et al. (2001), os híbridos modernos de milho apresentam alto teto produtivo, contudo apresentam elevada sensibilidade ao estresse hídrico, afetando o armazenamento de fotoassimilados pelos drenos. Desta forma, devido ao déficit hídrico ter ocorrido durante a fase de pré-florescimento, dentre as fases críticas da cultura, pode ter afetado de forma direta desenvolvimento vegetativo e produtivo da cultura (SANTOS E CARLESSO, 1998).

Os tratamentos de milho solteiro e consorciado com braquiária não diferiram entre si, demonstrando que, o consórcio de cultura de interesse econômico e a forrageira, na população de plantas realizado neste experimento não interferiu no rendimento de fitomassa do milho.

Na falta de água no solo resulta na indisponibilidade dos nutrientes na solução do solo, desta forma, Chiodini et al. (2013), mencionam que, a matéria orgânica apresenta extrema importância pois permite agregação e estruturação do solo, proporcionando melhorias como maior aeração, maior umidade e infiltração de água, podendo reter de 5 a 6 vezes maior conteúdo de água no solo.

O estresse hídrico ocasiona a diminuição ou inibição da elongação celular devido redução do potencial hídrico, afetando altura de planta e menor massa seca de parte aérea pelo menor acúmulo de fotoassimilados no caule devido o menor comprimento de internódios (COSTA et al., 2008). Deste modo, o crescimento de planta é afetado diretamente no início do estresse hídrico, tal efeito está relacionado com redução da turgescência celular, afetando diretamente a expansão celular (PEGORARE et al., 2009).

Para AIE as médias significativas observadas foram para os tratamentos milho solteiro com pré-inoculação com *A. brasilense* (94,75 cm), consórcio sem inoculação (92,75 cm) e consórcio com inoculação com *A. brasilense* (92,16 cm) (Quadro 12).

**Quadro 12.** Inserção de espiga (AIE), avaliada durante a maturação do milho safrinha, em função dos tratamentos de inoculação e pré-inoculado com *Azospirillum* em milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária em Vicentina e Nova Andradina, MS (2019).

Tratamentos	AIE
Consórcio sem inoculação	92,75 ab
Consórcio com inoculação de <i>A. brasilense</i>	92,16 ab
Consórcio com pré-inoculação <i>A. brasilense</i>	87,75 b
Milho solteiro com pré-inoculação <i>A. brasilense</i>	94,75 a
Média	91,85
CV (%)	6,14

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem significativamente entre si (Tukey, 0,05).

A altura de inserção de espiga foi maior no milho solteiro pré-inoculado com *A. brasilense*, todavia, não diferiu estatisticamente dos tratamentos consórcio sem inoculação e consórcio com inoculação com *A. brasilense*.

Neste sentido, pode inferir que a inoculação com as bactérias promotoras de crescimento possibilita manutenção da microbiota no solo como observado na análise de biomassa microbiana (Quadro 5), no entanto, observou-se apenas efeito de tratamento

com inoculação para altura de inserção de espiga, o qual não interferiu positivamente nas outras variáveis analisadas. Deste modo, evidencia-se que o uso da inoculação com *Azospirillum brasilense* não apresentou efeito benéfico nos parâmetros morfológicos e produtivos do milho.

A inoculação é descrita por apresentar inúmeros benefícios na cultura do milho, com o crescimento promovido pela síntese de fitohormônios e capacidade de superação de estresses bióticos e abióticos, mitigando o uso parcial de nitrogênio mineral na cultura (FUKAMI et al., 2018), porém não verificadas neste trabalho.

No entanto, o uso de pré-inoculação na cultura do milho é escasso, apresentando casos que divergem sobre o desenvolvimento da planta. Já caso de sucesso com o uso na germinação de semente de milho, foram relatados por Sousa et al. (2015), apresentando efeitos positivos de crescimento tanto de raiz como de parte aérea.

Rampim et al. (2020) avaliaram a inoculação e reinoculação em sementes de milho com *A. brasilense*, e observam que, a inoculação não apresentou efeitos satisfatórios, porém, quando efetuou-se a reinoculação foi observado melhorias na qualidade fisiológica das plântulas, com aumento do sistema radicular, mas com redução da parte aérea.

Altura de inserção de espiga é desejada desde que não ocorra acamamento ou quebraimento do colmo, pois quando se objetiva o cultivo de milho em consórcio com braquiária possibilita aumento da plataforma de corte da colhedora, favorecendo maior quantidade de braquiária no solo, possibilitando pastejo animal após a colheita da cultura de interesse econômico (FREITAS et al., 2013).

Segundo Brambilla et al. (2009) o cultivo de milho solteiro apresenta maior altura de inserção de espiga e de planta devido ao maior aproveitamento dos recursos como de água, luz e nutrientes, favorecendo o maior crescimento e desenvolvimento de planta.

Contudo, o aumento das plantas de milho em consórcio com braquiária pode ter ocorrido devido ao aumento de plantas na área em consequência adoção do consórcio com plantas de braquiária, que possivelmente apresentaram maior competição interespecífica, ocasionado em estiolamento das plantas de milho. Concordando com os resultados encontrados por Freitas et al. (2013), que observaram aumento da altura de inserção de espiga e de plantas de milho em consórcio com braquiária.

## Componentes de produtividade do milho

Observa-se efeitos significativos de solos para comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), número de espigas doentes (ED), número de fileiras de espiga (NFE), número de grãos por espiga (NFE), produtividade de grãos de milho (PGM) e massa de cem grãos (MCG) (Quadro 13). As maiores médias CE (12,12 cm) e DE (47,00 mm) foram observadas no solo de textura média (Quadro 13), já a variável ED (1,62) apresentou maior média no solo de textura arenosa.

**Quadro 13.** Análise de variância e médias para comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), número de espigas doentes (ED), número de fileiras de espiga (NFE), número de grãos por espiga (NGE), produtividade de grãos de milho (PGM) e massa de cem grãos (MCG), avaliados durante a maturação do milho safrinha, em função dos solos e dos tratamentos de inoculação e pré-inoculado com *Azospirillum* em milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária em Vicentina e Nova Andradina, MS (2019).

Fonte de variação	G.L	Quadrado Médio						
		CE	DE	ED	NFE	NGE	PGM	MCG
Locais (L)	1	*	*	*	*	*	*	*
Tratamentos (T)	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
L X T	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Erro	35	-	-	-	-	-	-	-
Média		10,66	41,97	1,32	14,71	226	3.100	25,60
CV (%)		10,11	5,40	14,13	7,87	12,1	9,7	6,5
Solos		CE	DE	ED	NFE	NGE	PGM	MCG
		cm	mm	-----número-----			kg ha <sup>-1</sup>	gramas
Textura arenosa		9,21 b	36,96 b	1,62 a	14,08 b	166 b	1.500 b	18,4 b
Textura média		12,12 a	47,00 a	0,12 b	15,33 a	287 a	4.700 a	32,9 a

F: \* e ns – significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. CV: coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem significativamente entre si (Tukey, 0,05).

Os resultados dos componentes de produtividade evidenciaram mais uma vez que, a inoculação com *Azospirillum* não apresentou efeitos esperados na cultura do milho, como observado nos resultados anteriores (Quadros 9, 10 e 11). Indicando que, possivelmente a inoculação via semente não foi capaz de fornecer teores adequados

nitrogênio, bem como promoção de crescimento tanto de planta como radicular e tolerância aos estresses bióticos e abióticos como mencionados por inúmeros autores (HUNGRIA et al., 2010; LIN et al., 2012; SANTI et al., 2013; CEREZINI et al., 2016; FUKAMI et al., 2017; FUKAMI et al., 2018; MARTINS et al., 2018).

Outro aspecto observado com os resultados do Quadro 12 demonstra que, provavelmente que a falta de efeito da inoculação pode ter associação com as condições climáticas e do solo dos experimentos, contudo, os resultados demonstram que o solo é o fator que mais influência nos resultados observados, pois a pequena diferença de precipitação pluviométrica acumulada de 62 mm durante o experimento, possivelmente não seria capaz de influenciar tais resultados.

Desta forma, o solo com textura média com maiores teores de argila e de matéria orgânica possibilita maior proteção da matéria orgânica devido maiores teores de argila no solo, possibilitando aumento da fertilidade do solo devido a mineralização e imobilização de nutrientes, favorecendo a formação e estabilização dos agregados, auxiliando na retenção de água e na aeração (CARDOSO et al. 2013; SILVA et al., 2014).

Contudo, quando observamos os resultados do solo de textura arenosa (Quadros 9, 10, 11 e 13), podemos inferir que as condições ambientais associado com as características do solo potencializaram efeitos negativos na cultura do milho quando comparamos com os resultados do solo de textura média.

Deste modo, pode-se inferir que, as condições adversas observadas no estágio vegetativo da cultura, acarretou menor desenvolvimento de planta no solo de textura arenosa (Quadro 10), afetando diretamente os componentes de produtividade que são estabelecidos no estágio V6 a V12 da cultura (Quadro 13), indicando assim que, a cultura do milho apresenta elevada sensibilidade a estresses hídricos no início do desenvolvimento da cultura, acarretando em perda de produtividade.

O déficit hídrico, a partir do pendoamento, causa menor acúmulo de matéria seca na espiga, acarretando consequentemente menor crescimento de espiga (PIAS et al., 2017). Segundo Olivoto et al. (2018) o comprimento de espiga é influenciado pelo ambiente, afetando diretamente a produtividade da cultura.

O mesmo fator foi observado para o diâmetro de espiga, sendo o ambiente e o estado nutricional, os principais fatores que interferem no desempenho do potencial produtivo da cultura de milho (OLIVOTO et al., 2018). As espigas avaliadas no solo de textura arenosa apresentaram menor comprimento e diâmetro de espigas, e falhas no ápice

da espiga, fator relacionado com altas temperaturas e deficiência hídrica, acarretando inviabilização dos grãos pólen.

Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2012), avaliando híbridos de milho em restrição hídrica, relataram que os híbridos apresentaram menor diâmetro de espiga por consequência do déficit hídrico ocasionado no estágio vegetativo de 10 a 17 folhas completamente expandidas, sendo este estágio o que define esta característica.

O número de espigas doentes foi superior no experimento realizado no solo de textura arenosa (Quadro 13), podendo ser explicado devido ao suprimento inadequado de nitrogênio para suprir a demanda da cultura pela inoculação e pré-inoculação com *Azospirillum brasilense*, associado com o estresse hídrico e temperatura elevada.

Ambientes com estresse acarretam competição das plantas a luz, água e nutrientes, podendo reduzir o acúmulo de fotoassimilados, para enchimento de grãos. Desta maneira a planta se torna mais suscetível a doenças, devido a sua senescência antecipada (SANGOI E SALVADOR, 1997; SANGOI et al., 2000).

De acordo com Brito et al. (2013), a fase responsável pela definição dos componentes de número de fileiras e de grãos por espiga está entre o estágio vegetativo de V5 a V8, e estresses abióticos neste estágio podem acarretar efeitos negativos a planta. Segundo os autores, o fechamento estomático devido ao estresse hídrico e de elevada temperatura visando reduzir a transpiração e a desidratação celular, resulta em gasto energético e menor produtividade da cultura.

O número de fileiras (15,33), número de grãos por espiga (287), produtividade de grãos de milho (4.700 kg ha<sup>-1</sup>) e massa de cem grãos (32,90 g) foram observados maiores médias no solo de textura média (Quadro 13).

De acordo com Bergamaschi et al. (2006), os componentes de produtividade são afetados diretamente pelo estresse hídrico durante o período crítico da cultura que vai do pendoamento até enchimento de grãos, onde os mais afetados são número de espiga por planta e número de grãos por espiga, interferindo diretamente na produtividade da cultura.

Tais resultados concordam com os encontrados por Silva et al. (2012), onde o número de fileiras por espiga e número de grãos foram afetados devido ao déficit hídrico no estágio vegetativo. Fumagalli et al. (2017) mencionam que o número de fileiras é definido no estágio vegetativo, onde sofre grande influência do ambiente, principalmente de água, nitrogênio e eficiência fotossintética.

Podendo-se inferir que, os resultados encontrados no experimento de solo com textura arenosa são decorrentes das condições ambientais que interferem diretamente nos componentes de produção da cultura do milho, e que o solo de textura arenosa deve ter potencializado os efeitos da estiagem, por apresentar baixo teor de matéria orgânica e de argila (Quadro 1), sendo o principal responsável pela maior parte da capacidade de troca de cátions, apresentando baixa capacidade de retenção de água (ALMEIDA et al., 2015).

Contudo, o consórcio é uma prática que possibilita adoção do sistema plantio direto, bem como manter esse sistema, desta forma, o consórcio é benéfico ao uso dos solos arenosos, pois sua adoção permite inúmeras vantagens como, maior rendimento das culturas em sucessão (CECCON et al., 2013), maior retenção água, melhorias dos atributos físicos, químicos e biológicos, aumento do aporte de MO, aumento a fertilidade do solo e maior controle dos processos erosivos (DONAGEMMA et al., 2016).

A produtividade de grãos do milho e massa de cem grãos apresentaram maiores médias no solo de textura média (Quadro 13). Segundo Bernini et al. (2020), período vegetativo é determinante para estabelecer os principais componentes de produção da cultura, estresses abióticos nesse estágio e no período que antecede o florescimento acarreta decréscimo na produtividade, afetando cerca de 25% da produção quando o estresse ocorre antes do florescimento e 50% no período de florescimento.

Podendo ser explicado devido à quebra de sincronismo entre emissão dos estigmas e liberação do pólen, ocasionando em baixa produtividade devido apresentar espigas com poucos grãos (BERGAMASCHI et al., 2006). Fumagalli et al. (2017), observaram que com o aumento da competição interespecífica por água, luz e nutrientes resulta em redução de fotoassimilados, afetando negativamente a fase de enchimento de grãos, bem como a manutenção da planta.

O aumento da produtividade das gramíneas está inteiramente ligado a textura do solo, devido a elevada quantidade de matéria orgânica que favorece proteção física do solo devido a maior presença de argila, onde poderá haver maior disponibilidade de água as plantas (CENTENO et al., 2017).

Desta forma, confirma os resultados encontrados neste trabalho, onde plantas que sofreram estresses ambientais apresentaram menor massa de grãos e de produtividade, indicando que, devido aos estresses ambientais, como elevada temperatura e o solo com baixa fertilidade natural e elevada drenagem do experimento do solo de textura arenosa, prejudicou a produção de fotoassimilados, e que a relação fonte dreno

ocasionou insuficiência para manutenção da planta, redirecionado todo o acúmulo de fotoassimilados para as regiões de maiores demandas (FUMAGALLI et al., 2017).

No consórcio de milho com braquiária, a forrageira não afeta os componentes de produção e a massa seca de milho, no entanto, o cereal é afetado pelo aumento de sua população, interferindo diretamente no acúmulo de massa e a produtividade da cultura (MAKINO et al., 2019). No solo de textura média não houve efeito significativo de massa seca de braquiária, contudo, devido a área ter apresentado melhores condições climáticas, ao consórcio com a forrageira não interferiu na produção do milho.

Contudo, a prática do consórcio milho-braquiária é uma tecnologia que visa proteção do solo, com diversificação da cobertura vegetal sem afetar a produtividade do milho quando ajustado adequadamente (CECCON et al., 2018).

## CONCLUSÕES

O uso de inoculação e pré-inoculação com *Azospirillum brasilense* em solo de textura arenosa e de textura média não influencia na produtividade do milho.

A pré-inoculação é eficiente no incremento da biomassa microbiana do solo em solo de textura média devido o maior teor de matéria orgânica.

O solo de textura média por apresentar maior teor de argila e de matéria orgânica proporciona maior produtividade do milho solteiro e consorciado com braquiária.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. V. D. L.; CORRÊA, M. M.; LIMA, J. R. S.; SOUZA, E. S.; SANTORO, K. R.; ANTONINO, A. C. D. Atributos Físicos, Macro e Micromorfológicos de Neossolos Regolíticos no Agreste Meridional de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 1235-1246, 2015.

ALVES, L. W. R. *Produção e dinâmica de degradação da fitomassa de planta para cobertura do solo no Sistema Plantio Direto em Paragominas, PA*. Macapá: Embrapa. 20 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento 90). 2015.

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*, Maringá, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.

ALVES, V. B.; PADILHA, N. S.; GARCIA, R. A.; CECCON, C. Milho safrinha consorciado com *Urochloa ruziziensis* e produtividade da soja em sucessão. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v.12, n.3, p. 280-292, 2013.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, Amsterdã, v. 10, n. 3, p. 215-221, 1993.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Application of eco-physiological quotiens ( $q\text{CO}_2$  and  $q\text{D}$ ) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.22, p.251-255, 1990.

ARAGÃO, D. V.; CARVALHO, C. J. R.; KATO, O. R.; ARAÚJO, C. M.; SANTOS, M. T. P.; JÚNIOR, M. M. Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense. *Acta Amazonica*, Petrópolis, v. 42, n. 1, p. 11-18, 2012.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; YOKOYAMA, A. H. Contribution of roots and shoots of *Brachiaria* species to soybean performance in succession. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 58, n. 8, p.592-598, 2017.

BALDRIAN, P.; SNAJDR, J.; MERHAUTOVÁ, V.; SOVÁ, P. D.; CAJTHAML, T.; VALÁSKOVÁ, V. Responses of the extracellular enzyme activities in hardwood forest to soil temperature and seasonality and the potential effects of climate change. *Soil Biology & Biochemistry*, Amsterdã, v. 56, p. 60-68, 2013.

BALOTA, E. L.; KANASHIRO, M.; COLOZZI, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems. *Brazilian Journal of Microbiology*, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 300-396, 2004.

BALOTA, E. L.; NOGUEIRA, M. A.; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; FAGOTTI, D. S.; MELO, G. M. P.; SOUZA, R. C. MELO, W. J. Enzimas e seu papel na qualidade do solo. *Tópicos em Ciência do Solo*, Viçosa, v. 8. p. 221-278, 2013.

BASHAN, Y.; BASHAN, L. E. Plant growth-promoting. *Encyclopedia of soil in the environment*. 2. ed. Oxford: Elsevier, Amsterdã, p. 103-115, 2005.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGOI, G. A.; COMIRANI, S.; BERGONCII, J. I.; MÜLLERII, A. G.; FRANÇAIII, S.; SANTOSIV, A. O.; RADINV, B.; BIANCHII, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, n. 2, p. 243-249, 2006.

BERNINI, C. S.; GUIMARÃES, P. S.; CARLINI-GARCIA, L. A.; PATERNIANI, M. E. G. Z. Caracteres fisiológicos e agrônômicos em progênes interpopulacionais de milho

selecionadas sob condições de déficit hídrico. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 15, n. 1, p. 39-52, 2016.

BERNINI, C. S.; SANTOS, F. A. S.; SILVA, D. S.; FIGUEIREDO, Z. N. Seleção fenotípica de híbridos de milho para ambientes de baixa altitude e déficit hídrico. *Nativa*, Sinop, v. 8, n. 2, p. 172-177, 2020.

BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; CABRAL, C. E. A.; KROTH, B. E.; REZENDE, D. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 180-186, 2011.

BORELLA, J.; LESCHEWITZ, R.; TRAUTENMÜLLER, J. W. Arquitetura foliar em populações de milho de ciclos contrastantes. *Revista brasileira de engenharia de biosistemas*, Tupã, v. 13, n. 2, p. 168-177, 2019.

BRANDAN, C. P.; CHAVARRÍA, D.; HUIDOBROA, J.; MERILES, J. M.; BRANDAN, C. P.; GIL, S. V. Influence of a tropical grass (*Brachiaria brizantha* cv. Mulato) as cover crop on soil biochemical properties in a degraded agricultural soil. *European Journal of Soil Biology*, Amsterdã, v. 83, p. 84-90, 2017.

BRAMBILLA, J. A.; LANGE, A.; BUCHELT, A. C.; MASSAROTO, J. A. Produtividade de milho safrinha no sistema de integração lavoura-pecuária, na região de sorriso, mato grosso. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v.8, n.3, p. 263-274, 2009.

BRITO, M. E. B.; FILHO, G. D. A.; WANDERLEY, J. A. C.; MELO, A. S.; COSTA, F. B.; FERREIRA, M. G. P. Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1244-1254, 2013.

BRÜGGEMANN, G. Estado da arte e divulgação do plantio direto no Brasil. *Revista Plantio Direto*, Passo Fundo, v. 20, n.122, p.16-23, 2011.

BUSO, W. H. D.; SILVA, L. B.; SILVA, S. M. C.; JUNIOR, L. A. L. Desempenho agrônômico de híbridos de milho em três épocas de semeadura no Cerrado goiano. *Revista de Agricultura Neotropical*, Cassilândia-MS, v. 4, n. 4, p. 46-52, 2017.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. *Microbiologia do solo*. 2. ed. São Paulo: Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2016. v. 1.

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? *Revista Scientia Agricola*, São Paulo, v.70, n.4, p.274-289, 2013.

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

CECCON, G.; SILVA, J. F.; NETO, A. L. N.; MAKINO, P. A.; SANTOS, A. Produtividade de milho safrinha em espaçamento reduzido com populações de milho e de *Brachiaria ruziziensis*. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v.13, n.3, p. 326-335, 2014.

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, n. 1: 204-212, 2013.

CENTENO, L. N.; GUEVARA, M. D. F.; CECCONELLO, S. T.; SOUSA, R. O. D.; TIMM, L. C. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. *Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade*, Pelotas, v. 4, n. 1, p.31-37, 2017.

CEREZINI, P.; KUWANO, B. H.; SANTOS, M. B.; TERASSI, F.; HUNGRIA, M.; NOGUEIR, M. A. Strategies to promote early nodulation in soybean under drought. *Field Crops Research*, Amsterdã, v. 196, p. 160-167, 2016.

CONAB - *Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos*, v. 8 – Safra 2020, n. 3- Terceiro levantamento, Brasília, p. 1-86, Dezembro 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/infoagro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acesso em: 06 jun. 2020.

CONAB - *Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos – Décimo segundo levantamento/setembro 2020*. v. 7, n. 12, safra 2019/2020, Brasília: 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/infoagro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acesso em: 06 jan. 2020.

COSTA, J. R.; PINHO, J. L. N; PARRY, M. M. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 443-450, 2008.

CHIODINI, B. M.; SILVA, A. G.; NEGREIROS, A. B.; MAGALHÃES, L. B. Matéria orgânica e a sua influência na nutrição de plantas. *Revista Cultivando o Saber*, Cascavel, v.6, n.1, p.181-190, 2013.

CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; MATEUS, G. P.; PARIZ, C. M.; MARTINS, P. O.; BORGHI, E. Intercropping soybean and palisade grass for enhanced land use efficiency and revenue in a no till system. *European Journal of Agronomy*, Londres, v. 58, p.53–62, 2014.

DIDONET, A. D.; RODRIGUES, O.; MARIO, J. L.; IDE, F.; TISSOT, D. Crescimento e desenvolvimento de milho: acúmulo de massa seca do grão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 3, p. 447-456, 2001.

DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L.; BALIEIRO, F. C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M.; FILHO, J. C. A.; SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE, M. R.; MACEDO, M. C. M.; TEIXEIRA, P. C.; AMARAL, A. J.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de

manejo de solos leves no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.51, n.9, p.1003-1020, 2016.

EVANGELISTA, C. R.; PARTELLI, F. L.; FERREIRA, E. P. B.; CORRECHEL, V. Atividade enzimática do solo sob sistema de produção orgânica e convencional na cultura da cana-de-açúcar em Goiás. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 33, n. 4, p. 1251-1262, 2012.

FALKER, *Automação agrícola. Medidor eletrônico de teor de clorofila (Nota de Aplicação – CFL1030 - N.2)*. Porto Alegre, 2020. p. 1-6. Disponível em: <<https://www.falker.com.br/artigos-tecnicos.php>>. Acesso em: 10 set. 2020.

FALKER, *Automação agrícola. Valores indicativos para o uso do clorofiLOG em milho. (ClorofiLOG/CFL 1030)*. Porto Alegre, 2020. p. 1-4. Disponível em: <<https://www.falker.com.br/artigos-tecnicos.php>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

FAVARATO, L. F.; SOUZA, J. L.; GALVÃO, J. C. C.; SOUZA, C. M.; GUARCONI, R. C.; BALBINO, J. M. S. Crescimento e produtividade do milho-verde sobre diferentes coberturas de solo no sistema plantio direto orgânico. *Bragantia*, Campinas, v. 75, n. 4, 2016.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema de análise estatística de computador. *Revista Ciências e agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FIETZ, C. R; FISCH, G.F; COMUNELLO, É; FLUMIGNAN, D. L. *O Clima da Região de Dourados, MS*. Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS. 3ª edição revista e atualizada, 2017, p.34.

FREITAS, R. J.; NASCENTE, A. S.; SANTOS, F. L. S. População de plantas de milho consorciado com *Urochloa ruziziensis*. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 43, n. 1, p. 79-87, 2013.

FUKAMI, J.; CEREZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. *AMB Express*, Münster, v. 8, n. 73, 2018.

FUKAMI, J.; OLLERO, FRANCISCO, J.; MEGÍAS, M.; HUNGRIA, M. Phytohormones and induction of plant-stress tolerance and defense genes by seed and foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* cells and metabolites promote maize growth. *AMB Express*, Münster, v. 7, p. 153, 2017.

FUMAGALLI, M.; MACHADO, R. A. F.; FIORINI, I. V. A.; PEREIRA, C. S.; PIRES, L. P. M.; PEREIRA, H. D. Desempenho produtivo do milho híbrido simples em função de espaçamentos entre fileiras e populações de plantas. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v.16, n.3, p. 426-439, 2017.

GARCIA, R. A.; CECCON, G.; SUTIER, G. A. S.; SANTOS, A. L. F. Soybean-corn succession according to seeding date. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 53, n. 1, p. 22-29, 2018.

GARRETT, R. D.; NILES, M. T.; GIL, J. D. B.; GAUDIN, A.; CHAPLIN-KRAMER, R.; ASSMANN, A.; ASSMANN, T. S.; BREWER, K.; CARVALHO, P. C. F.; CORTNER, O.; DYNES, R.; GARBACH, K.; KEBREAB, E.; MUELLER, N.; PETERSON, C.; REIS, J. C.; SNOW, V.; VALENTIN, J. Social and ecological analysis of commercial integrated crop livestock systems: Current knowledge and remaining uncertainty. *Agricultural Systems*, Amsterdã, v.155, p.136-149, 2017.

GITTI, D. C.; *Inoculação e Coinoculação na Cultura da Soja*. In: MELOTTO, A. M.; LOURENÇÃO, A. L. F.; GITTI, D. C.; GRIGOLLI, J. F. J. Tecnologia e Produção: Safra 2015/2016. 1ed. Curitiba: Midiograf, 2016, v. 1, p. 15-23.

GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G. Plantio direto no Cerrado: O que vem sendo realmente praticado. *A Granja*, Porto Alegre, v. 71, n.795, p.71-73, 2015.

GUIA CLIMA. *Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, 2020*. Disponível em: <<https://clima.cpao.embrapa.br/>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

GUIMARÃES, N. F.; GALLO, A. S.; FONTANETTI, A.; MENEGHIN, S. P.; SOUZA, M. D. B.; MORINIGO, K. P. G.; SILVA, R. F. Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. *Revista de Ciências Agrárias*, Lisboa, v. 40, n. 1, p. 34-44, 2017.

HUNGRIA, M. *Inoculação com Azospirillum brasilense: inovação em rendimento a baixo custo*. Embrapa Soja-Documents, Londrina, PR. 325 (INFOTECA-E), p. 36, 2011.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. *Plant and Soil*, Crawley, v. 331, n. 1, p. 413-425, 2010.

HUNGRIA, M.; O'HARA, G. W.; ZILLI, J. E.; ARAUJO, R. S.; DEAKER, R.; HOWIESON, J. G. Isolation and growth of rhizobia, in: Howieson JG, Dilworth JG (eds) Working with rhizobia. *Australian Centre for International Agricultural Research*, Canberra, p. 39-60, 2016.

INMET. *Instituto Nacional de Meteorologia*, Brasília, 2020. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>> Acesso em: 28 set. 2020.

KWS SAAT SE & Co. KGaA. *Catálogo de milho* (digital 2) – K9606 VIP3. P. 10-11, 2020. Disponível em: < [https://mediamaster.kws.com/01\\_Products/BR\\_Brazil/Productsheets/Mais/kws\\_br\\_k9606vip3-2.pdf](https://mediamaster.kws.com/01_Products/BR_Brazil/Productsheets/Mais/kws_br_k9606vip3-2.pdf)> Acesso em: 10 dez. 2020.

LACERDA, K. A. P.; CORDEIRO, M. A. S.; VERGINASSI, A.; SALGADO, F. H. M. PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. C. Organic carbon, biomass and microbial activity in an Oxisol under different management systems. *Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, Belém, v. 56, n. 3, p. 249-254, 2013.

LIN, L.; LI, Z.; HU, C.; ZHANG, X.; CHANG, S.; YANG, L.; AN, Q. Plant growth-promoting nitrogen-fixing enterobacteria are in association with sugarcane plants growing in Guangxi, China. *Microbes and Environments*, Singapura, v. 27, n. 4, p. 391-398, 2012.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 36, p. 45-55, 2012.

LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; JÚNIOR, F. B. R.; CÍCERO CÉLIO 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*, Amsterdã, v. 12, p. 72–82, 2018.

MAKINO, P. A.; CECCON, G.; RIBEIRO, L. M.; CECCON, F. Agronomic performance and photosynthetically active radiation intercepted by maize intercropped with Brachiaria. *Revista de Agricultura Neotropical*, Cassilândia, v. 6, n. 4, p. 42-48, 2019.

MARTINS, M. E.; CAMPOS, D. T. S.; WRUCK, F. J. Caracterização microbiana em um latossolo vermelho-amarelo distroférico sob o sistema de integração lavoura pecuária. *Global Science and Technology*, Rio Verde, v. 04, n. 02, p.38 – 46, 2011.

MARTINS, T. G.; FREITAS JUNIOR, S. P.; LUZ, L. N.; MARCO, C. A.; VASQUEZ, E. M. F. Inoculation efficiency of *Azospirillum brasilense* on economising nitrogen fertiliser in landrace popcorn. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 49, n. 2, p. 283-290, 2018.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). *Revista Brasileira Ciências do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 425-433, 2003.

MELO, A. V.; SANTOS, V. M.; VARANDA, M. A. F.; CARDOSO, D. P.; DIAS, M. A. R. Desempenho agrônômico de genótipos de milho submetidos ao estresse hídrico no sul do estado do Tocantins. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v.17, n.2, p. 177-189, 2018.

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

MENDES, I.C.; SOUZA, D.M.G.; REIS JUNIOR, F.B. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 32, n. 1, p. 185-203, 2015.

MOMESSO, L.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; VYN, T. J.; TANAKA, K. S.; COSTA, C. H. M.; COSTA, J. F. N.; CANTARELLA, H. Impacts of nitrogen management on no-till maize production following forage cover crop. *Agronomy Journal*, Brookings, v.111, n.2, p.639-649, 2019.

MORAIS, G. P.; GOMES, V. F. F.; FILHO, P. F. M.; ALMEIDA, A. M. M.; JÚNIOR, J. M. T. S. Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. *Revista Agropecuária Técnica*, Areia, v. 38, n. 3, p. 109-116, 2017.

MUMBACH, G. L.; KOTOWSKI, I. E.; SCHNEIDER, F. J. A.; MALLMANN, M. S.; BONFADA, É. B.; PORTELA, V. O.; BONFADA, É. B.; KAISER, D. R. Resposta da inoculação com *Azospirillum brasilense* nas culturas de trigo e de milho safrinha. *Revista Scientia Agraria*, Curitiba, v. 18, n. 2, p. 97-13, 2017.

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

NEUMANN, M.; TURCO, G. M. S.; FARIA, M. V.; VIGNE, G. L. D.; de SOUZA, A. M.; Produção e composição física da planta de milho para silagem em diferentes sistemas de cultivo. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, Guarapuava, v. 12, n.1, p.87-97, 2019.

OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; RIOS, F. A.; CONSTANTIN, J.; ISHII-IWAMOTO, E. L. Grass straw mulching to suppress emergence and early growth of weeds. *Planta Daninha*, Viçosa, v.32, n.1, p.11-17, 2014.

OLIVEIRA, M. S.; ALMEIDA, R. E. M.; PIEROZAN JUNIOR, C.; REIS, A. F. B.; SOUZA, L. F. N.; FAVARIN, J. L. Contribution of corn intercropped with *Brachiaria* species to nutrient cycling. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 49, ed.55018, 2019.

OLIVOTO, T.; CARVALHO, I. R.; NARDINO, M.; FERRARI, M.; PELEGRIN, A. J.; SZARESKI, V. J.; DEMARI, G. H.; SOUZA, V. Q. Caracteres morfológicos e rendimento de grãos de híbridos simples de milho em diferentes ambientes. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v. 17, n. 4, p.462-471, 2018.

ORMEÑO-ORRILLO, E.; HUNGRIA, M.; MARTÍNEZ-ROMERO, E. *Dinitrogen-Fixing Prokaryotes*. In: ROSEMBERG, E.; DE LONG, E. F.; LORY, S.; STACKEBRANDT, E.; THOMPSON, F. (Org.). *The Prokaryotes*. 1 ed. Berlin Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, p. 427-451, 2013.

PARAJULI, S.; OJHA, B. R.; FERRARA, G. O. Quantification of secondary traits for drought and low nitrogen stress tolerance in inbreds and hybrids of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Genetics and Breeding*, Itália. v. 2, n. 1, p. 1-12, 2018.

PEGORARE, A. B.; FEDATTO, E.; PEREIRA, S. B.; SOUZA, L. C. F.; FIETZ, C. R. Irrigação suplementar no ciclo do milho “safrinha” sob plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.13, n.3, p.262–271, 2009.

PIAS, O. H. C.; LOWE, M. A.; DAMIAN, J. M.; SANTI, A. L.; TREVISAN, R. Componentes de rendimento e produtividade de híbridos de milho em função de doses de NPK e de deficit hídrico em estádios fenológicos críticos. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v. 16, n. 4, p. 422-432, 2017.

PORTUGAL, J. R.; ARF, O.; PERES, A. R.; GITTI, D. C.; GARCIA, N. F. S. Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação com *Azospirillum brasilense* em milho no Cerrado. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 48, n. 4, p. 639-649, 2017.

QUADROS, P. D.; ROESCHII, L. F. W.; SILVA, P. R. F.; VIEIRA, V. M.; ROEHRSV, D. D.; CAMARGO, F. A. O. Desempenho agrônômico a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 61, n. 2, p. 209-218, 2014.

RAMPIM, L.; GUIMARÃES, V. F.; SALLA, F. H.; COSTA, A. C. P. R.; INAGAKI, A. M.; BULEGON, L. G.; FRANÇA, R. Desenvolvimento inicial de plântulas de milho reinoculadas com bactérias diazotróficas. *Research, Society and Development*, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 5, e24953109, 2020.

REIS, G. L.; REIS, R. P.; FERREIRA, I. C.; LANA, Â. M. Q.; AGUIAR, A. P.; LANA, R. M. Q. Avaliação econômica da aplicação de fertilizantes nitrogenados em pastagens destinadas a vacas em lactação. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 34, n. 3, p. 730-738, 2010.

REPKE, R. A.; CRUZ, S. J. S.; SILVA, C. J.; FIGUEIREDO, P. G.; BICUDO, S. J. Eficiência da *Azospirillum brasilense* combinada com doses de nitrogênio no desenvolvimento de plantas de milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 12, n. 3, p. 214-226, 2013.

RIBEIRO, L. M.; CECCON, G.; MECCHI, I. A.; SANTOS, A. L. F.; FACHINELLI, R.; MAKINO, P. A. Produtividade da soja em sucessão a cultivos de outono-inverno. *Revista Agrarian*, Dourados, v.11, n. 40, p. 120-131, 2018.

RIBEIRO, B. S. M. R.; ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; FRIEDRICH, E. D.; PILECCO, I. B.; ALVES, PUNTEL, S.; SARMENTO, L. F. V.; STRECK, I. L.; INKLMAN, V. B.; PETRY, M. T.; MARTINS, J. D.; BORTOLUZZI, M. P.; LOOSE, L. H.; BRUNETTO, G.; MARIN, F. R.; ANTOLIN, L. A. S.; BREDEMEIER, C.; VIAN, A. L.; OLIVEIRA, L. F. R. *Ecofisiologia do Milho Visando Altas Produtividade*. 1. ed. Santa Maria: 2020. v. 1. 256p.

RODRIGUEZ, H.; GONZALEZ, T.; GOIRE, I.; BASHAN, Y. Gluconic acid production and phosphate solubilization by the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* spp. *The Science of Nature*, Crawley, v. 91, n. 11, p 552-555, 2004.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; MENDES, I.C.; REIS JUNIOR, F.B.; SANTOS, J.C.F.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. (Ed.). *Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 163-198.

RYSCHAWY, J.; MARTIN, G.; MORAINÉ, M.; DURU, M.; THEROND, O. Designing croplivestock integration at different levels: toward new agroecological models. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Crawley, v.108, n.1, p.5-20, 2017.

SÁ, J. C. M.; LAL, R.; CERRI, C. C.; LORENZ, K.; HUNGRIA, M.; CARVALHO, P. C. C. Lowcarbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. *Environment International*, Amsterdã, v. 98, p. 102-112, 2017.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Amsterdã, v. 190, p. 70-79, 2014.

SANCHEZ, I. L.; FULTZ, L. M.; LOFTON, J.; HAGGARD, B. Soil biological response to integration of cover crops and nitrogen rates in a conservation tillage corn production systems. *Soil Science Society of America Journal*, Crawley, v. 83, n. 5, p.1356-1367, 2019.

SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A. F.; BOGO, A.; KOTHE, D. M. Incidência e severidade de doenças de quatro híbridos de milho cultivados com diferentes densidades de plantas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 30, n. 1, p.17-21, 2000.

SANGOI, L.; SALVADOR, R. J. Dry matter production and partitioning of maize hybrids and dwarf lines at four plant populations. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 27, n.1, p.1-6, 1997.

SANTI, C.; BOGUSZ, D.; FRANCHE, C. Biological nitrogen fixation in non-legume plants. *Annals of Botany*, Oxford, v. 111, n. 5, p. 743-767, 2013.

SANTOS, F. C.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; FOLONI, J. M.; FILHO, M. R. A.; KER, J. C. Produtividade e aspectos nutricionais de plantas de soja cultivadas em solos de cerrado com diferentes texturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p. 2015-2025, 2008.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á. de.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C. de.; OLIVEIRA, J. B. de.; CUNHA, T. J. F. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2018. 187p.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SATO, J. H.; FIGUEIREDO, C. C.; MARCHÃO, R. L.; OLIVEIRA, A. D.; VILELA, L.; DELVICO, F. M.; ALVES, B. J. R.; CARVALHO, A. M. Understanding the relations between soil organic matter fractions and N<sub>2</sub>O emissions in a long-term integrated crop–livestock system. *European Journal of Soil Science*, Cranfield, p.1-14, 2019.

SILVA, F. C.; SILVA, M. M.; LIBADI, P. L. Aplicação de nitrogênio no cultivo de milho, sob sistema plantio direto: efeitos na qualidade física do solo e características agronômicas. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 34, n. 6, p. 3513-3528, 2013.

SILVA, G. S. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; CARDOSO, M. J.; ARAÚJO NETO, R. B. Dinâmica da água do solo e produtividade no consórcio de milho e *Brachiaria ruziziensis*. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 50, 2020.

SILVA, M. R.; MARTIN, T. N.; ORTIZ, S.; BERTONCELLI, P.; VONZ, D. Desempenho agrônomico de genótipos de milho sob condições de restrição hídrica. *Revista de Ciências Agrárias*, Recife, v. 35 n. 1, p. 202-212, 2012.

SILVA, A. S.; SILVA, I. F.; BANDEIRA, L. B.; DIAS, B. O.; NETO, L. F. S. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. *Revista Ciência Rural*, Santa Maria, v.44, n.10, p. 1783-1789, 2014.

SILVA, D. V.; PEREIRA, G. A. M.; FREITAS, M. A. M.; SILVA, A. A.; SEDIYAMA, T.; SILVA, G. S.; FERREIRA, L. R.; CECOM, P. R. Produtividade e teor de nutrientes do milho em consórcio com braquiária. *Revista Ciência Rural*, Santa Maria, v.45, n.8, p.1394-1400, 2015.

SOUSA, R. F. B.; GRUIMARÃES, V. F.; PINTO JUNIOR, A. S.; COSTA, A. C. P. R.; OFFEMANN, L. C.; FUCHS, F.; COELHO, G. F.; Physiological quality of corn seeds reinoculated with diazotrophic bacteria. *Revista Scientia Agraria Paranaensis*, Marechal Cândido Rondon, v. 14, n. 3, p. 148-153, 2015.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S.; CARVALHO, P. C. F.; MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio Direto, submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira Ciências do Solo*, Viçosa, v. 34, p. 79-88, 2010.

SOUZA, L. M.; SOUSA, D. M. G.; REIS JÚNIOR, F. B.; MENDES, I. C. Carbono da biomassa microbiana em Latossolos determinado por oxidação úmida e combustão a temperatura elevada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 50, n. 11, p. 1061-1070, 2015.

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sob diferentes sistemas de produção de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 885-896, 2000.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; SCOTT, A.; BOTTOMELEY, P. J.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, M. A. eds. *Methods of soil analysis: Microbiological and Biochemical Properties*. *Soil Science Society of America*, Madison, p. 778-835, 1994.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E; MOLLER, I. M; MURPHY, A. *Fisiologia e Desenvolvimento*. Revisão técnica: Paulo Luiz de Oliveira. – 6. ed. – Porto Alegre: Artmed, p. 888, 2017.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biofertilizante industrial e cultivo de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.31, n. 5, p.1173-1184, 2007.

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

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.

ZUBER, S. M.; VILLAMIL, M. B. Meta-analysis approach to assess effect of tillage on microbial biomass and enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry*, Amsterdã, v. 97, p. 176-187, 2016.