

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN – RS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: AGRICULTURA  
E AMBIENTE

Eduardo Canepelle

*Azospirillum brasilense* E FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES  
NO DESENVOLVIMENTO DO SORGO GRANÍFERO E SUA  
OCORRÊNCIA EM SOLO CONTAMINADO COM COBRE

Frederico Westphalen, RS  
2023

Eduardo Canepelle

*Azospirillum brasilense* E FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NO  
DESENVOLVIMENTO DO SORGO GRANÍFERO E SUA OCORRÊNCIA EM SOLO  
CONTAMINADO COM COBRE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof.º Dr. Rodrigo Ferreira da Silva

Frederico Westphalen, RS  
2023

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Canepelle, Eduardo

Azospirillum brasilense E FUNGOS MICORRÍZICOS  
ARBUSCULARES NO DESENVOLVIMENTO DO SORGO GRANÍFERO E SUA  
OCORRÊNCIA EM SOLO CONTAMINADO COM COBRE / Eduardo  
Canepelle.- 2023.  
99 p.; 30 cm

Orientador: Rodrigo Ferreira da Silva  
Coorientador: Clovis Orlando da Ros  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós  
Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, RS, 2023

1. Fertilizante inorgânico 2. Metal pesado 3.  
Inoculação 4. Micorrizas I. Ferreira da Silva , Rodrigo  
II. da Ros, Clovis Orlando III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, EDUARDO CANEPELLE, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**Eduardo Canepelle**

***Azospirillum brasilense* E FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NO  
DESENVOLVIMENTO DO SORGO GRANÍFERO E SUA OCORRÊNCIA EM SOLO  
CONTAMINADO COM COBRE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

**Aprovado em 28 de Abril de 2023:**

---

**Rodrigo Ferreira da Silva, Dr. (UFSM)  
(Presidente/Orientador)**

---

**Felipe Bonini da Luz, Dr. (UFSM)**

---

**Danni Maisa da Silva, Dra. (UERGS)**

Frederico Westphalen, RS  
2023

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais Antonio e Maria Izali e á minha vó Maria, pilares da minha vida,  
por todo esforço realizado sempre em prol dos meus sonhos.

## AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pelas inúmeras graças recebidas, por me guiar com sabedoria durante esta caminhada e pela sua presença em todos os momentos.

À minha família, em especial aos meus pais Antonio e Maria Izali, minha avó Maria e minha tia Vanderli pelo apoio incondicional, carinho, motivação, atenção, compreensão, a mim transmitidos e prestados durante essa caminhada e por viverem comigo este sonho.

Ao meu orientador professor Dr. Rodrigo Ferreira da Silva, pelo apoio, incentivo, confiança em mim depositado, pela oportunidade concedida e pelo conhecimento comigo compartilhado durante esse período através das sábias orientações.

Aos professores Dr. Clovis Orlando da Ros e Dr. Vanderlei Rodrigues da Silva pelos ensinamentos, por disponibilizarem equipamentos e laboratórios para as avaliações.

Ao professor Dr. Rodrigo Josemar Seminoti Jaques pelos seus ensinamentos, apoio e por suas contribuições técnicas a este estudo.

Aos membros da banca examinadora pela disponibilidade de avaliar este estudo.

Aos técnicos laboratoriais, Andréa da Rocha Giovenardi, Micheli Pokulat Sauer, Lucindo Somavilla, Marcela de Melo Torchelsen e Felipe Bonini da Luz pela orientação e ajuda incondicional na realização das análises, pela concessão de equipamentos e materiais necessários para o desenvolvimento deste estudo, pela amizade, convivência, e conselhos durante essa minha jornada.

Aos colegas e ex-colegas do Laboratório de Microbiologia e Biologia do Solo, Sinara Barros, Juliano B. Magalhães, Daniel E. Fontanive, Domenico M. Raffaele, Ricardo Turchetto, Ana P. da Silva, Eduarda da Silva e Rafaela R. da Silva, pela convivência, ensinamentos, amizade, experiências, ajuda e por todo empenho dedicado a este estudo.

Aos demais professores e funcionários da UFSM-FW, pelos ensinamentos, auxílios e suporte prestados.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura e Ambiente (PPGAAA) pela oportunidade de cursar o mestrado em Frederico Westphalen, RS e de realizar este estudo.

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

Enfim, a todos aqueles não citados, mas que de alguma forma contribuíram para essa conquista.

A todos, meu eterno agradecimento. Muito Obrigado!

“Em todas as coisas da natureza existe algo de maravilhoso”

(Aristóteles)

## RESUMO

### ***Azospirillum brasilense* E FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NO DESENVOLVIMENTO DO SORGO GRANÍFERO E SUA OCORRÊNCIA EM SOLO CONTAMINADO COM COBRE**

AUTOR: Eduardo Canepelle  
ORIENTADOR: Rodrigo Ferreira da Silva

A inoculação da bactéria *Azospirillum brasilense* e dos fungos micorrízicos arbusculares as plantas pode melhorar o seu desenvolvimento e produtividade, e também reduzir a quantidade de fertilizante inorgânico aplicado às plantas. Contudo o aumento da concentração de cobre no solo especialmente devido à intensificação de atividades antrópicas promove uma pressão de seleção principalmente nos fungos e bactérias, que induz a manutenção no solo apenas das espécies mais resistentes. Diante disso, objetivo geral deste estudo foi analisar a influência de *Azospirillum brasilense* e de diferentes espécies de fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento e na produtividade do sorgo granífero, bem como o efeito da contaminação do solo com cobre na população de *Azospirillum brasilense* e no número de esporos de fungos micorrízicos existente em solo cultivado com culturas agrícolas. Para atender esse objetivo foram desenvolvidos três estudos científicos, sendo o primeiro teve como objetivo avaliar a capacidade da inoculação de *Azospirillum brasilense* em substituir parcialmente o fertilizante inorgânico na cultura do sorgo granífero, considerando o seu desenvolvimento e produtividade; o segundo, selecionar espécies de fungos micorrízicos arbusculares eficientes para o desenvolvimento e produtividade de duas cultivares de sorgo granífero adubadas com fertilizante inorgânico; e o terceiro, analisar o efeito da contaminação com cobre na população de *Azospirillum brasilense* e de fungos micorrízicos arbusculares em solo cultivado com diferentes culturas agrícolas. Os resultados evidenciaram que a inoculação de *Azospirillum brasilense* no sorgo granífero cultivado com fertilizante inorgânico aumentou o sistema radicular, NDVI, proteína do grão e a produtividade de grãos. As plantas de sorgo inoculadas com *Azospirillum brasilense* cultivadas com 75% da dose de fertilizante apresentaram produtividade de grãos e teor de proteína dos grãos equivalente às cultivadas com 100% da dose recomendada de fertilizante sem inoculação. A inoculação de *Azospirillum brasilense* possui a capacidade de substituir parcialmente o fertilizante inorgânico na cultura do sorgo granífero. As espécies micorrízicas *Scutellospora pellucida* e *Acaulospora scrobiculata* aumentaram o peso de mil grãos, os teores de fósforo e potássio dos grãos e a produtividade de grãos do sorgo granífero, *Acaulospora scrobiculata* também aumentou o seu desenvolvimento vegetativo assim como *Glomus formosanum*. A inoculação dos fungos micorrízicos no sorgo aumentou o NDVI e o teor de proteína dos grãos. A contaminação do solo com 400 mg de cobre kg<sup>-1</sup> reduziu o número de esporos dos fungos micorrízicos presente no solo cultivado com sorgo granífero e trigo bem como a população de *Azospirillum brasilense* no solo cultivado com sorgo granífero e milho.

**Palavras-chave:** Fertilizante inorgânico. Inoculação. Metal pesado. Micorrizas. *Sorghum bicolor*.



## ABSTRACT

### ***Azospirillum brasilense* AND ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN THE DEVELOPMENT OF GRAIN SORGHUM AND ITS OCCURRENCE IN SOIL CONTAMINATED WITH COPPER**

AUTHOR: Eduardo Canepelle  
ADVISOR: Rodrigo Ferreira da Silva

The inoculation of *Azospirillum brasilense* bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi to plants can improve their development and productivity, and also reduce the amount of inorganic fertilizer applied to the plants. However, the increase in copper concentration in the soil, especially due to the intensification of anthropic activities, promotes a selection pressure mainly on fungi and bacteria, which induces the maintenance of only the most resistant species in the soil. Therefore, the general objective of this study was to analyze the influence of *Azospirillum brasilense* and different species of arbuscular mycorrhizal fungi on the development and productivity of grain sorghum, as well as the effect of soil contamination with copper on the population of *Azospirillum brasilense* and on the number of spores of mycorrhizal fungi existing in soil cultivated with agricultural crops. To meet this objective, three scientific studies were developed, the first of which aimed to evaluate the ability of *Azospirillum brasilense* inoculation to partially replace inorganic fertilizer in the grain sorghum crop, considering its development and productivity; the second, to select species of arbuscular mycorrhizal fungi efficient for the development and productivity of two grain sorghum cultivars fertilized with inorganic fertilizer; and the third, to analyze the effect of copper contamination on the population of *Azospirillum brasilense* and arbuscular mycorrhizal fungi in soil cultivated with different agricultural crops. The results showed that the inoculation of *Azospirillum brasilense* in grain sorghum cultivated with inorganic fertilizer increased the root system, NDVI, grain protein and grain yield. Sorghum plants inoculated with *Azospirillum brasilense* grown with 75% of the fertilizer dose showed grain yield and grain protein content equivalent to those grown with 100% of the recommended fertilizer dose without inoculation. Inoculation of *Azospirillum brasilense* has the ability to partially replace inorganic fertilizer in grain sorghum. The mycorrhizal species *Scutellospora pellucida* and *Acaulospora scrobiculata* increased the thousand grain weight, the phosphorus and potassium contents of the grains and the grain yield of grain sorghum, *Acaulospora scrobiculata* also increased its vegetative development as well as *Glomus formosanum*. The inoculation of mycorrhizal fungi in sorghum increased the NDVI and the protein content of the grains. Soil contamination with 400 mg of copper kg<sup>-1</sup> reduced the number of spores of mycorrhizal fungi present in soil cultivated with grain sorghum and wheat, as well as the population of *Azospirillum brasilense* in soil cultivated with grain sorghum and maize.

**Keywords:** Heavy metal. Inoculation. Inorganic fertilizer. Mycorrhizae. *Sorghum bicolor*.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

- FIGURA 1 - Comprimento da raiz (A), área superficial específica da raiz (B), volume da raiz (C) e massa seca da raiz (D) das plantas de sorgo cultivadas com 0, 25, 50, 75 e 100% da dose fertilizante recomendado para cultura, com e sem inoculação de *A. brasilense*.....29
- FIGURA 2 - Efeito simples das doses de fertilizante (A) e da inoculação de *A. brasilense* (B) no diâmetro da raiz das plantas de sorgo granífero..... 31
- FIGURA 3 - Diâmetro do colmo (A), altura (B), área foliar (C), massa seca de panícula (D) e massa seca da parte aérea (E) das plantas de sorgo cultivadas com 0, 25, 50, 75 e 100% da dose fertilizante recomendado para cultura. ....32
- FIGURA 4 - Diâmetro do colmo (A), altura (B), área foliar (C) massa seca de panícula (D) e massa seca da parte aérea (E) das plantas de sorgo com e sem inoculação de *A. brasilense*.....34
- FIGURA 5 - Clorofila a (A), clorofila b (B) e clorofila total (C) das plantas de sorgo cultivadas com 0, 25, 50, 75 e 100% da dose de fertilizante recomendado para a cultura. ....35
- FIGURA 6 - Índice de vegetação por diferença normalizada das plantas de sorgo cultivadas com 0, 25, 50, 75 e 100% da dose fertilizante recomendado para cultura, com e sem inoculação de *A. brasilense*. ....36
- FIGURA 7 - Número mais provável (número de células x  $10^3$  g<sup>-1</sup> solo) de *A. brasilense* no solo cultivado com sorgo granífero com 0, 25, 50, 75 e 100% da dose de fertilizante recomendado para cultura..... 37
- FIGURA 8 - Efeito simples das doses de fertilizante (A) e da inoculação de *A. brasilense* (B) no peso de mil grãos de sorgo. ....38

FIGURA 9 - Produtividade de grãos (A) e teor de proteína do grão (B) das plantas de sorgo cultivadas com 0, 25, 50, 75 e 100% da dose de fertilizante recomendado para cultura, com e sem inoculação de <i>A. brasilense</i> . .....	39
FIGURA 10 - Teor de P (A) e K do grão (B) das plantas de sorgo cultivadas com 0, 25, 50, 75 e 100% da dose de fertilizante recomendado para cultura. ....	40
FIGURA 11 - Teor de N (A), P (B), K na massa seca da parte aérea (C), e teor de N (D), P (E), K na massa seca da raiz (F), das plantas de sorgo cultivadas com 0, 25, 50, 75 e 100% da dose de fertilizante recomendada.....	41
FIGURA 12 - Teor de N (A), P (B), K na massa seca da parte aérea (C), e teor de N (D), P (E), K na massa seca da raiz (F) das plantas de sorgo com e sem inoculação de <i>A. brasilense</i> .....	42

## CAPÍTULO 2

FIGURA 1 - Número de esporos no solo (A) e colonização micorrízica das raízes (B) das cultivares de sorgo BRS 310 e BRS 330 inoculadas com os fungos micorrízicos <i>Acaulospora scrobiculata</i> , <i>Glomus formosum</i> , <i>Gigaspora margarita</i> e <i>Scutellospora pellucida</i> . ....	68
---	----

## CAPÍTULO 3

FIGURA 1 - Número de esporos dos fungos <i>Acaulospora scrobiculata</i> e <i>Rhizoglyphus clarum</i> no solo cultivado com sorgo granífero (A) e milho (B) sem e com adição de 400 mg de cobre kg <sup>-1</sup> de solo. ....	82
FIGURA 2 - Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares no solo cultivado com trigo sem e com adição de 400 mg de cobre kg <sup>-1</sup> de solo. ....	84
FIGURA 3 - Número de esporos dos fungos micorrízicos <i>Acaulospora colombiana</i> e <i>Gigaspora margarita</i> presente no solo cultivado com trigo.....	85

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 2

- TABELA 1 - Massa seca da raiz (MSR), volume da raiz (VR) e o comprimento da raiz (CR) de duas cultivares de sorgo granífero inoculadas com os fungos micorrízicos *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus formosanum*, *Gigaspora margarita*, *Scutellospora pellucida* e testemunha (sem inoculação). .....58
- TABELA 2 - Diâmetro da raiz (D) e área superficial específica da raiz (ASE) de duas cultivares de sorgo granífero inoculadas com os fungos micorrízicos *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus formosanum*, *Gigaspora margarita*, *Scutellospora pellucida* e testemunha (sem inoculação). ..... 59
- TABELA 3 - Altura de planta (AP), índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e área foliar (AF) do sorgo granífero inoculado com os fungos micorrízicos *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus formosanum*, *Gigaspora margarita*, *Scutellospora pellucida* e testemunha (sem inoculação). ..... 60
- TABELA 4 - Clorofila a (A), clorofila b (b) e clorofila total (C) das plantas de sorgo granífero inoculado com os fungos micorrízicos *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus formosanum*, *Gigaspora margarita*, *Scutellospora pellucida* e testemunha (sem inoculação). ..... 62
- TABELA 5 - Diâmetro da panícula (DP), comprimento da panícula (CP) e massa seca da parte aérea (MSPA) de duas cultivares de sorgo granífero inoculadas com os fungos micorrízicos *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus formosanum*, *Gigaspora margarita*, *Scutellospora pellucida* e testemunha (sem inoculação) ..... 63
- TABELA 6 - Massa seca de panícula (MSP), peso de mil grãos (PMG) e produtividade de grãos (PG), do sorgo granífero inoculado com os fungos micorrízicos *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus formosanum*, *Gigaspora margarita*, *Scutellospora pellucida* e testemunha (sem inoculação). ..... 64

TABELA 7 - Diâmetro do colmo (DC), área foliar (AF), massa seca de panícula (MSP), peso de mil grãos (PMG) e produtividade de grãos (PG) de duas cultivares de sorgo granífero..... 65

TABELA 8 – Efeito simples de inóculo micorrízicos (*Acaulospora scrobiculata*, *Glomus formosanum*, *Gigaspora margarita*, *Scutellospora pellucida* e testemunha sem inoculação) e de cultivares (BRS 310 e BRS 330) no teor de proteína, fósforo (P) e potássio (K) do grão do sorgo granífero..... 66

### **CAPÍTULO 3**

TABELA 1 - Análise física e química da mistura de solo + areia utilizada para implantação dos experimentos com as culturas do sorgo granífero e do milho. .... 79

TABELA 2 - Análise física e química da mistura de solo + areia utilizada para implantação do experimento com a cultura do trigo. .... 79

TABELA 3 - Número mais provável da população de *Azospirillum brasilense* no solo ( $\text{g}^{-1}$  solo) cultivado com sorgo granífero e milho sem e com adição de 400 mg de cobre  $\text{kg}^{-1}$  de solo..... 86

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
2.1	SORGO GRANÍFERO.....	17
2.2	<i>AZOSPIRILLUM brasilense</i> .....	19
2.3	FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES .....	20
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO 1: DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE SORGO GRANÍFERO SUBMETIDO A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE INORGÂNICO E <i>Azospirillum brasilense</i></b> .....	23
3.1	RESUMO.....	23
3.2	ABSTRACT .....	23
3.3	INTRODUÇÃO.....	24
3.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	25
<b>3.4.1</b>	<b>Alocação do experimento</b> .....	25
<b>3.4.2</b>	<b>Parâmetros avaliados</b> .....	26
<b>3.4.3</b>	<b>Análise estatística</b> .....	28
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
<b>3.5.1</b>	<b>Desenvolvimento vegetativo e aspectos fisiológicos do sorgo granífero</b> .....	28
<b>3.5.2</b>	<b>Produtividade e aspectos nutricionais do sorgo granífero</b> .....	37
3.6	CONCLUSÃO.....	44
3.7	REFERÊNCIAS .....	44
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO 2: FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NO DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE SORGO GRANÍFERO</b> .....	52
4.1	RESUMO.....	52
4.2	ABSTRACT .....	52
4.3	INTRODUÇÃO.....	53
4.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	54
<b>4.4.1</b>	<b>Alocação do experimento</b> .....	54

<b>4.4.2 Parâmetros avaliados</b> .....	55
<b>4.4.3 Análise estatística</b> .....	57
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.6 CONCLUSÃO.....	68
4.7 REFERÊNCIAS .....	69
<b>5 CAPÍTULO 3: OCORRÊNCIA DE <i>Azospirillum brasilense</i> E FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM SOLO CONTAMINADO COM COBRE</b> .....	76
5.1 RESUMO.....	76
5.2 ABSTRACT .....	76
5.3 INTRODUÇÃO.....	77
5.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	78
5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	81
5.6 CONCLUSÃO.....	87
5.7 REFERÊNCIAS .....	87
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	92
<b>7 CONCLUSÃO GERAL</b> .....	94
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	95

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), pertencente à família Poaceae possui elevada exigência nutricional, sobretudo quando se busca altos índices de produtividade (BORGES et al., 2016; MENEZES et al., 2018). As exigências nutricionais do sorgo são supridas com aplicação de fertilizante inorgânico, os quais possuem elevado custo de aquisição e raramente são plenamente aproveitados pelas plantas (FRANCO; RAMIREZ; CHÁIREZ, 2019). Desse modo, é necessário desenvolver práticas agronômicas que possibilitem suprir parte ou totalmente os fertilizantes inorgânicos nas culturas de interesse agrícola, como o sorgo, e que possibilitem manter sua produtividade (FRANCO; HERNÁNDEZ; DEL RÍO, 2008; WRITZL et al., 2019). Nesse contexto, a inoculação do sorgo com a bactéria *Azospirillum brasilense* e os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) pode ser uma técnica agronômica eficiente para reduzir a necessidade de fertilizante para as plantas, bem como para aumentar sua produção.

A bactéria diazotrófica *A. brasilense* vive em associação com a rizosfera de plantas sendo capaz de se associar as raízes inclusive de gramíneas (MOREIRA; VALADÃO; JÚNIOR, 2019). Essa bactéria realiza o processo fixação biológica de nitrogênio, produz fitormônios estimuladores do crescimento vegetal, aumenta a resistência das plantas a doenças e outros fatores bióticos e abióticos, solubiliza fosfato inorgânico e estimula o crescimento, desenvolvimento e produtividade de grãos em gramíneas, como na cultura do sorgo granífero (CASSÁN et al., 2020; CORSINI, 2018; DUARTE et al., 2020; RONDINA et al., 2020). Contudo, estudos sobre aplicação de bactérias diazotróficas na cultura do sorgo granífero com a perspectiva de reduzir e/ou substituir os fertilizantes inorgânicos, ainda são escassos, sobretudo no sentido de determinar a quantidade de fertilizante que pode ser reduzido com a sua inoculação as plantas.

Os FMAs são organismos biotróficos obrigatórios que formam associações mutualísticas com inúmeras plantas encontradas nos mais variados tipos de solos e ambientes proporcionando o aumento da absorção de água e nutrientes, especialmente os de baixa mobilidade no solo, ação protetora contra alguns fitopatógenos do solo, produção fitohormônios estimuladores do crescimento vegetal, redução do estresse abiótico ocasionado pela elevada acidez do solo, presença de metais pesados e a produtos químicos (FRANCO; RAMIREZ; CHÁIREZ, 2019; MIRANDA et al., 2012; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; NOVAIS et al., 2017). Desse modo, torna-se importante o desenvolvimento de estudos que



visem identificar quais as espécies de FMAs promovem maiores benefícios no desenvolvimento e na produtividade da cultura do sorgo granífero, sobretudo adubada com fertilizante inorgânico.

A contaminação do solo por cobre tem aumentado em decorrência da intensificação das atividades antrópicas, industriais, agrícolas e de mineração, sendo um problema ambiental grave (BARROS, 2022; SANTANA, 2018). Áreas contaminadas com cobre podem trazer risco à saúde pública e ao meio ambiente, devido alta concentração do metal no solo ser prejudicial às plantas, animais, humanos e aos microrganismos nesses promove uma pressão de seleção principalmente nos fungos e bactérias, induzindo a manutenção apenas das espécies mais resistentes (ANDREAZZA et al., 2013; LI et al., 2016; SILVA et al., 2018; SILVA, 2019). Entretanto, pouco se sabe sobre o efeito da contaminação do solo com cobre cultivado com culturas agrícolas sobre ocorrência de FMAs e da *A. brasilense*.

Nesse sentido, diante do exposto foram estabelecidas as seguintes hipóteses para nortear o desenvolvimento deste estudo: a inoculação de *A. brasilense* as plantas de sorgo granífero permite substituir parcialmente a quantidade de fertilizante inorgânico aplicado à cultura; as espécies de fungos micorrízicos arbusculares promovem de maneira distinta benefícios no desenvolvimento e na produtividade das cultivares de sorgo granífero adubadas com fertilizante inorgânico; a contaminação do solo com cobre reduz a população de *A. brasilense* e o número de esporos de fungos micorrízicos existente no solo. Assim, este estudo teve como objetivo geral analisar a influência de *A. brasilense* e de diferentes espécies de fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento e na produtividade do sorgo granífero, bem como o efeito da contaminação do solo com cobre na população de *A. brasilense* e no número esporos de fungos micorrízicos existente em solo cultivado com culturas agrícolas.

Para atender às hipóteses e ao objetivo deste estudo foram desenvolvidos três experimentos, sendo que o primeiro teve como objetivo, avaliar a capacidade da inoculação de *A. brasilense* em substituir parcialmente o fertilizante inorgânico na cultura do sorgo granífero, considerando o seu desenvolvimento e produtividade; o segundo, selecionar espécies de fungos micorrízicos arbusculares eficientes para o desenvolvimento e produtividade de duas cultivares de sorgo granífero adubadas com fertilizante inorgânico e o terceiro, analisar o efeito da contaminação com cobre na população de *A. brasilense* e de fungos micorrízicos arbusculares em solo cultivado com diferentes culturas agrícolas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 SORGO GRANÍFERO

O sorgo granífero, (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), é uma planta de origem africana e pertencente à família Poaceae, sendo o quinto cereal mais produzido no globo, apresenta enorme importância alimentar na África e Ásia, onde é amplamente utilizado na alimentação humana (ALBUQUERQUE; MENEZES; FREITAS, 2021; GUIMARÃES et al., 2020). Nas Américas, é utilizado principalmente na alimentação animal (MENEZES et al., 2018).

O sorgo apresenta alta produção de grãos, os quais no Brasil são utilizados predominantemente na fabricação de ração animal, por possuírem baixa contaminação por micotoxinas e o custo de produção ser em média 25% inferior ao do milho, enquanto seu valor biológico, medido na forma de energia metabolizável, alcança 95% do milho (GUIMARÃES et al., 2020; MENEZES et al., 2021). No entanto, os grãos de sorgo no Brasil têm sido utilizados também na alimentação humana por causa da demanda por produtos alimentícios sem glúten (ALBUQUERQUE; MENEZES; FREITAS, 2021).

A cultura do sorgo granífero tem adaptação a áreas áridas, semiáridas e subtropicais do mundo, sendo relatado seu cultivo desde o nível do mar até 3.000 m de altitude (ALBUQUERQUE; MENEZES; FREITAS, 2021). O Brasil apresenta ótimas condições climáticas para o desenvolvimento do sorgo granífero, o qual é cultivado principalmente nas regiões Centro-Oeste e Sudeste as quais respondem por 88% da produção nacional, sendo, entretanto, também cultivado nas regiões Sul e Nordeste, em menor escala (MENEZES; SILVA; SANTOS, 2021; MENEZES et al., 2021).

Na safra 2021/2022 a área destinada com a cultura do sorgo no Brasil foi de 1,032 milhão de hectares já para safra 2022/2023 a previsão é de 1,054 milhão de hectares (CONAB, 2023), sendo Goiás o principal Estado produtor detendo 45% da produção nacional, em decorrência de ser a principal opção para produção de grãos em situações em que o déficit hídrico oferece maiores riscos para outras culturas, como por exemplo, o milho (MENEZES et al., 2021). Isso ocorre em função do sorgo granífero apresentar metabolismo do tipo C4, com alta capacidade fotossintética e características como: sistema radicular profundo, alta concentração de pelos absorventes, presença de sílica na endoderme e lignificação no periciclo que possibilitam maior tolerância ao déficit hídrico (GUIMARÃES et al., 2020; MENEZES et al., 2021).

A maioria das cultivares de sorgo granífero cultivado no Brasil são híbridos simples que não contém tanino, responsável por reduzir a eficiência alimentar do grão de sorgo de 5 a 20% quando usado para animais monogástricos, esses híbridos também apresentam ampla adaptabilidade e estabilidade de produção, assim 95% das áreas produtoras de sorgo no país cultivam híbridos simples sem tanino (MENEZES; SILVA; SANTOS, 2021; MENEZES et al., 2021). Algumas cultivares de sorgo granífero disponíveis no Brasil como BRS 310 e a BRS 330 apresentam ampla adaptabilidade o que permite seu cultivo tanto no cerrado quanto na região sul (MENEZES et al., 2018).

O Sistema de Plantio Direto (SPD) amplamente utilizado no país ajusta-se perfeitamente à cultura do sorgo, por causa da excelente produção de palha o que contribui para expansão do seu cultivo, principalmente no plantio de segunda safra, após cultivo da soja (MENEZES et al., 2021). Outros fatores como o menor requerimento hídrico que o milho, tolerância à presença de alumínio em solos ácidos, cultivo mecanizável, baixo custo de produção e redução da infestação de nematoides no solo também contribuem de forma decisiva para o crescimento do cultivo do sorgo no país (GUIMARÃES et al., 2020).

No entanto, a produtividade média nacional do sorgo na safra 2021/2022 foi apenas de  $2,76 \text{ t ha}^{-1}$ , valor esse muito abaixo do potencial produtivo de  $7,0 \text{ t ha}^{-1}$  que essa cultura pode alcançar (CONAB, 2023; MENEZES et al., 2018). O baixo investimento em adubação de base e em cobertura e os fertilizantes utilizados são apontados como fatores que contribuem de forma decisiva para baixa produtividade do sorgo granífero, tendo vista que a cultura responde intensamente a adubação e essa exerce influência direta na produção de grãos (BIESDORF et al., 2018; FILHO, 2020).

A utilização predominante de fertilizantes inorgânicos para suprir as necessidades nutricionais do sorgo, além de elevar o seu custo de produção em função do alto custo de aquisição desses fertilizantes também pode contribuir para que suas exigências nutricionais não sejam plenamente atendidas, pois somente entre 10 e 40% do fertilizante inorgânico aplicado é efetivamente utilizado pelas plantas (FRANCO; RAMIREZ; CHÁIREZ, 2019). Como a necessidade nutricional do sorgo granífero é elevada em decorrência das grandes quantidades que são exportadas para os grãos, faz-se necessária a reposição de nutrientes a cada cultivo, mesmo havendo a incorporação de restos culturais que devolvem ao solo parte dos nutrientes translocados para parte aérea (BORGES et al., 2016; MENEZES et al., 2018). Desse modo, é preciso desenvolver práticas agronômicas que melhorem a eficiência ou que possibilitem suprir parte ou totalmente os fertilizantes inorgânicos aplicados no sorgo

granífero, a fim de se conseguir aumentar a sua produtividade (FRANCO; HERNÁNDEZ; DEL RÍO, 2008; WRITZL et al., 2019).

A inoculação do sorgo granífero com bactérias diazotróficas e fungos micorrizícos pode reduzir a necessidade de fertilizante inorgânico para as plantas ou melhorar sua eficiência, proporcionando aumento de produtividade (FRANCO; RAMIREZ; CHÁIREZ, 2019; FRANCO; HERNÁNDEZ; DEL RÍO, 2008). Assim, a inoculação desses microrganismos é uma estratégia economicamente viável para melhorar a nutrição das plantas de interesse agrícola, sobretudo do sorgo (FRANCO et al., 2014; HUNGRIA, 2011).

## 2.2 *AZOSPIRILLUM brasilense*

O gênero *Azospirillum* compreende bactérias Gram-negativas diazotróficas de vida livre que não formam esporos, não são fermentativas e são fixadoras de nitrogênio (FERREIRA et al., 2020). Essas bactérias colonizam a rizosfera e os espaços radiculares intercelulares de várias espécies de plantas, são capazes de crescer em condições microaerofílicas sendo suas células em forma de bastão ou espiral (CASSÁN et al., 2020; FERREIRA et al., 2020). Desde sua descoberta por Martinus Beijerinck na Holanda em 1925, tem sido uma das bactérias promotoras de crescimento de plantas mais estudadas e, devido o gênero estar distribuído mundialmente, foram isoladas diferentes cepas e espécies em vários países, incluindo Argentina, Brasil, China, Taiwan, Coréia, Rússia, que estão sendo utilizada na produção agrícola em todo o mundo (CASSÁN et al., 2020; RONDINA et al., 2020).

O uso de inoculantes com *Azospirillum brasilense* é recomendado para 16 tipos de culturas agrícolas, dentre elas o sorgo (CASSÁN et al., 2020). Estima-se que mais de 2,5 milhões de doses de inoculantes contendo *A. brasilense* anualmente são comercializadas para gramíneas no país (HUNGRIA, 2016). No Brasil existem 14 inoculantes comerciais produzidos no país ou importados da Argentina, formulados a partir da combinação das cepas Ab-V5 e Ab-V6; sendo 94% na forma líquida e 6% formulados em carreadores sólidos, como turfa ou bentonita, a concentração mínima exigida de *A. brasilense* é de  $1 \times 10^8$  UFC ml<sup>-1</sup> (CASSÁN et al., 2020).

A bactéria *A. brasilense* é capaz de fixar o nitrogênio atmosférico e disponibilizá-lo às plantas em formas lábeis, o nitrogênio fixado torna-se disponível para as plantas pela excreção direta da bactéria ou pela mineralização de bactérias mortas (MOREIRA; VALADÃO; JÚNIOR, 2019). No entanto, a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) é influenciada negativamente pela dose de nitrogênio aplicada, tornando-se assim fundamental

o entendimento da necessidade da adubação nitrogenada em cada gramínea específica, a fim de evitar aplicação de doses que inibem os efeitos da FBN nas plantas (FREITAS et al., 2019; MOREIRA; VALADÃO; JÚNIOR, 2019).

Os efeitos benéficos que a inoculação da bactéria *A. brasilense* proporciona no crescimento e desenvolvimento das plantas, tem sido atribuído principalmente à sua capacidade de fixar nitrogênio atmosférico e produzir fitohormônios (auxinas, citocininas, giberelina) (CASSÁN et al., 2020). No entanto, há outras ações como: à biodisposição de nutrientes, expressão de enzimas, síntese de compostos relacionados à mitigação do estresse de plantas, competição contra fitopatógenos, redução do nitrato, produção de vitaminas e de sideróforos, que também contribui para o crescimento e desenvolvimento das plantas (CASSÁN et al., 2020; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

As raízes são os órgãos da planta que são preferencialmente modificados pela inoculação de *A. brasilense* devido à produção fitohormônios bacterianos especialmente do ácido indolacético, que proporciona as plantas um aumento das taxas de absorção de água e aquisição de nutrientes, especialmente o nitrogênio (CASSÁN et al., 2020). Assim, a associação dessa bactéria diazotrófica em gramíneas é uma das alternativas mais promissoras para a redução do consumo de fertilizantes inorgânicos especialmente os nitrogenados (MOREIRA; VALADÃO; JÚNIOR, 2019).

Resultados de pesquisa evidenciam que a inoculação de *A. brasilense* nas sementes do sorgo aumenta a produtividade de grãos em 14%, mesmo quando cultivado na entressafra em condições de seca severa no cerrado brasileiro (SOARES et al., 2022), bem como possibilita redução de 25% da adubação nitrogenada do sorgo granífero BRS 307, sem influenciar a produtividade (MORTATE et al., 2020). A inoculação da *A. brasilense* na semente é o método que proporciona maior massa seca do sistema radicular das plantas de sorgo granífero DOW1G282 e AG1090 (ANDRADE et al., 2019). Nesse sentido, Paiva et al. (2021) também verificaram que a inoculação de *A. brasilense* no sorgo granífero BRS 332 aumenta o crescimento do sistema radicular e a produtividade de grãos.

### 2.3 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), pertence ao filo Glomeromycota, classe Glomeromycetes são micorrizas encontradas comumente nos ecossistemas terrestres, sendo essa simbiose a mais importante entre microrganismos e plantas (NOVAIS et al., 2017).

Associação dos FMAs ocorre com 80% das espécies vegetais, sendo que, apenas algumas famílias perderam a capacidade de formar essa associação, tais como Brassicaceae, Caryophyllaceae, Chenopodiaceae, Juncaceae, Polygonaceae e Cyperaceae (NOVAIS et al., 2017). Assim, parte significativa da biomassa microbiana do solo é constituída por esses fungos (RODRIGUES; BARROSO; FIQUEIREDO, 2018).

Os FMAs são biotróficos obrigatórios só se propagam quando associados à planta viva, assim todas as espécies de FMA dependem da raiz metabolicamente ativa da planta hospedeira para sua alimentação e reprodução, sua associação nas plantas é caracterizada pela colonização das células do córtex da raiz inter e intracelularmente com a formação de arbúsculos dentro das células das raízes ou talos vegetais estrutura responsável pelas trocas entre o fungo e a planta hospedeira, hifas cenocíticas, esporos grandes e em alguns grupos taxonômicos a formação de vesículas, essas estruturas não promovem alterações morfológicas macroscópicas nas raízes (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; NOVAIS et al., 2017).

As vesículas são estruturas globosas ricas em lípidos, formadas através de dilatações terminais nas hifas, aparentemente servem como órgão de reserva para os fungos e também podem atuar como propágulos no solo, os esporos, contudo atuam predominantemente como propágulos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). As vesículas estão presentes nas espécies dos gêneros *Rhizophagus*, *Funneliformis*, *Glomus*, *Claroideoglomus*, *Otospora*, *Pacispora*, *Acaulospora*, *Ambispora*, *Sclerocystis* e *Diversispora*, estas estruturas não são formadas apenas nas espécies dos gêneros *Archaeospora*, *Gigaspora*, *Racocetra*, *Cetraspora* e *Scutellospora* (NOVAIS et al., 2017).

Os FMAs melhoram o crescimento das plantas e sua produtividade, devido principalmente ao fato de aumentarem a absorção de água e de nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, zinco e cobre, em função do micélio fúngico externo aumentar a capacidade das plantas de explorar o solo, tanto em área de superfície de contato quanto em volume, tendo vista que as hifas possuem pequeno diâmetro o que garante acesso a poros do solo que são inacessíveis às raízes (NOVAIS et al., 2017; RODRIGUES; BARROSO; FIQUEIREDO, 2018).

Os FMAs proporcionam outros benéficos à planta hospedeira como: aumento da tolerância ao estresse hídrico, elevação da quantidade de auxinas, citocininas, giberelinas, vitaminas e compostos orgânicos, minimização dos efeitos ou danos causados por nematoides e por fungos patogênicos do sistema radicular (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; NOVAIS et al., 2017). Esses microrganismos amenizam ainda o estresse abiótico ocasionado nas plantas pela elevada acidez do solo, pela presença de metais pesados e pelos efeitos fitotóxicos de

produtos químicos e também melhoram a estruturação e estabilidade de agregados do solo, pois as hifas extrarradiculares produzidas por esses fungos formam uma rede biológica que entrelaça e mantém unidas as partículas do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A inoculação dos fungos micorrízicos arbusculares *Glomus etunicatum*, *Gigaspora margarita* e *Glomus clarum* no sorgo granífero aumenta a matéria seca da parte aérea, o peso dos grãos, a produção de grãos e teores foliares de N, P, K, Zn e Cu (BRESSAN et al., 2001), enquanto a dos fungos *Acaulospora scrobiculata* e *Rhizoglomus clarum* aumenta a altura de planta, diâmetro do colmo, volume de raiz e número de perfilhos (BARROS, 2022). A inoculação de fungos micorrízicos arbusculares no sorgo granífero também aumenta a produção de massa seca da raiz (PÉREZ; RODRÍGUEZ; SUÁREZ, 2018). Associação de FMA da espécie *Rhizophagus intraradices* em dois híbridos de sorgo, além de aumentar a biomassa radicular também possibilita reduzir 50% da fertilização inorgânica utilizada na cultura, sem afetar a produtividade de grãos (FRANCO; RAMIREZ; CHÁIREZ, 2019).

### 3 CAPÍTULO 1: DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE SORGO GRANÍFERO SUBMETIDO A DIFERENTES DOSES DE FERTILIZANTE INORGÂNICO E *Azospirillum brasilense*

#### 3.1 RESUMO

A inoculação de *Azospirillum brasilense* nas plantas pode reduzir as quantidades de fertilizantes aplicadas. Neste estudo objetivou-se avaliar a capacidade da inoculação de *A. brasilense* em substituir parcialmente o fertilizante inorgânico na cultura do sorgo granífero, considerando o seu desenvolvimento e produtividade. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições em esquema fatorial 5x2, sendo cinco doses de fertilizante [0(zero=testemunha), 25, 50, 75 e 100%] da quantidade recomendada para o sorgo, com e sem inoculação de *A. brasilense*. Avaliou-se altura de planta; diâmetro do colmo; área foliar; NDVI; clorofila; comprimento, volume e área superficial específica da raiz; massa seca de panícula, da raiz e aérea; peso de mil grãos; produtividade de grãos; teor de proteína, fósforo e potássio dos grãos, número mais provável da população de *A. brasilense* no solo e teor de NPK na massa seca aérea e da raiz. O diâmetro do colmo, altura de planta, área foliar, massa seca aérea e de panícula, peso de mil grãos, teor de NPK na massa seca aérea e da raiz aumentaram com inoculação de *A. brasilense* nas plantas e com a aplicação das doses de fertilizante. A inoculação de *A. brasilense* no sorgo cultivado nas doses de fertilizante aumentou o sistema radicular, NDVI, produtividade de grãos e teor de proteína dos grãos. As plantas de sorgo inoculadas com *A. brasilense* cultivadas com 75% da dose de fertilizante apresentaram produtividade de grãos e teor de proteína dos grãos equivalente às cultivadas com 100% da dose recomendada de fertilizante sem inoculação.

**Palavras-chave:** *Azospirillum brasilense*. Fertilizante. Inoculação. *Sorghum bicolor*.

#### 3.2 ABSTRACT

Inoculation of *Azospirillum brasilense* in plants can reduce the amount of fertilizer applied. The objective of this study was to evaluate the ability of *A. brasilense* inoculation to partially replace inorganic fertilizer in grain sorghum, considering its development and productivity. The experimental design was completely randomized, with four replications in a 5x2 factorial scheme, with five doses of fertilizer [0(zero=control), 25, 50, 75 and 100%] of the recommended amount for sorghum, with and without inoculation of *A. brasilense*. Plant height was evaluated; stem diameter; leaf area; NDVI; chlorophyll; root length, volume and specific surface area; panicle, root and aerial dry mass; thousand-grain weight; grain productivity; protein, phosphorus and potassium content of grains, most likely population number of *A. brasilense* in the soil and NPK content in aerial and root dry mass. Stem diameter, plant height, leaf area, aerial and panicle dry mass, thousand grain weight, NPK content in aerial and root dry mass increased with inoculation of *A. brasilense* in the plants and with the application of doses of fertilizer. Inoculation of *A. brasilense* in sorghum cultivated at fertilizer rates increased root system, NDVI, grain yield and grain protein content. Sorghum plants inoculated with *A. brasilense* grown with 75% of the fertilizer dose



showed grain yield and grain protein content equivalent to those grown with 100% of the recommended fertilizer dose without inoculation.

**Keywords:** *Azospirillum brasilense*. Fertilizer. Inoculation. *Sorghum bicolor*.

### 3.3 INTRODUÇÃO

O sorgo granífero, (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) pertencente à família Poaceae apresenta elevada exigência nutricional, sobretudo de nitrogênio, quando se buscam altos índices de produtividade (BORGES et al., 2016). As necessidades nutricionais do sorgo são supridas com fertilizantes inorgânicos, os quais raramente atendem suas exigências, pois somente entre 10 e 40% do aplicado é efetivamente utilizado pelas plantas (FRANCO; RAMIREZ; CHÁIREZ, 2019).

O nitrogênio (N) é o nutriente mais caro para aquisição e é exigido em maiores quantidades pelo sorgo, sendo necessária a aplicação de elevadas quantidades desse nutriente na cultura (MORTATE et al., 2020; ROCHA; COLTRO; LIZZONI, 2020). A ureia é o fertilizante inorgânico mais utilizado para suprir à demanda de N das plantas, em função da sua fácil disponibilização no solo para absorção, no entanto, ela pode se tornar pouco eficiente na cultura do sorgo, devido às instabilidades climáticas ocasionadas durante o seu cultivo induzirem sua perda no solo, que incluem a imobilização microbiana, volatilização da amônia e lixiviação de nitrato (ALBUQUERQUE et al., 2020; MOREIRA; VALADÃO; JÚNIOR, 2019). Assim, há interesse no desenvolvimento de alternativas para suprir as necessidades de N nos cultivos das Poaceas, sendo a Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN) atmosférico realizada por bactérias uma das mais promissoras (ANDRADE et al., 2019).

Nesse sentido, as bactérias diazotróficas, são capazes de fixar o N atmosférico e disponibilizá-lo às plantas em formas lábeis, pela excreção direta da bactéria ou pela mineralização de sua célula após a morte (MOREIRA; VALADÃO; JÚNIOR, 2019). Além disso, geram outros benefícios às plantas, como biossíntese de fitohormônios estimuladores do crescimento e a indução de mecanismos de resistência (VIDOTTI et al., 2019). Assim, as bactérias diazotróficas pertencem a um grupo de microrganismos benéfico às plantas, denominado de Bactérias Promotoras do Crescimento de Plantas (BPCP), que estimula seu desenvolvimento de diversas formas não somente através da FBN (HUNGRIA, 2011).

Dentre os gêneros de bactérias diazotróficas capazes de se associar a raízes de gramíneas está o *Azospirillum*, sendo a *Azospirillum brasilense* uma espécie promissora para utilização na produção agrícola (MOREIRA; VALADÃO; JÚNIOR, 2019; RONDINA et al.,

2020). Alguns estudos detalham os efeitos benéficos que a inoculação de *Azospirillum* proporciona às plantas, no seu crescimento, desenvolvimento e produtividade (CASSÁN et al., 2020). Na cultura do sorgo granífero, Soares et al. (2022) e Paiva et al. (2021) demonstraram que inoculação da *A. brasilense* proporciona aumento da produtividade de grãos, já Andrade et al. (2019) verificaram que a inoculação desse microrganismo no sorgo melhorou o sistema radicular das plantas através da maior produção de massa seca. Mortate et al. (2020), além do aumento da produtividade dos grãos de sorgo também verificaram que a inoculação da *A. brasilense* possibilitou redução de 25% da adubação nitrogenada aplicada á cultura, sem ocasionar perdas na produtividade.

Estudos sobre aplicação de bactérias diazotróficas na cultura do sorgo com a perspectiva de reduzir o uso de fertilizantes são de suma importância (MORTATE et al., 2020). Porém, ainda se tem a dúvida de que é possível que a inoculação de *A. brasilense* permite a redução da quantidade de fertilizante inorgânico aplicado à cultura do sorgo. Desse modo, o estudo objetivou avaliar a capacidade da inoculação de *A. brasilense* em substituir parcialmente o fertilizante inorgânico na cultura do sorgo granífero, considerando o seu desenvolvimento e produtividade.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.4.1 Alocação do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Ciências Agrônômicas e Ambientais da Universidade Federal de Santa Maria, campus de Frederico Westphalen, por 116 dias, de Outubro de 2021 a Fevereiro de 2022. O solo utilizado no experimento foi coletado na camada de 0-20 cm e caracterizado como Latossolo Vermelho (SANTOS et al., 2018). Após a coleta, o solo foi peneirado em malha de 2 mm e misturado com areia fina na proporção de 65% (v/v) de solo peneirado e 35% (v/v) de areia fina para a obtenção de uma textura próxima a 45% de argila, a fim de facilitar as avaliações. Em seguida o solo foi esterilizado em autoclave a 121°C, em 3 ciclos de 30 min, posteriormente a isso uma amostra desse solo esterilizado foi retirada para análise dos atributos químicos e físicos, que apresentaram as seguintes características: 460 g kg<sup>-1</sup> de argila; 5,3 de pH em água; 4,6 mg dm<sup>-3</sup> de P; 27,5 mg dm<sup>-3</sup> de K; 10 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica; 1,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca; 1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg; 4,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H + Al; 4,2 mg dm<sup>-3</sup> de Cu e 1,3 mg dm<sup>-3</sup> de Zn.

Com base na análise de solo realizou-se a calagem com aplicação de calcário dolomítico, para atingir pH em água de 6,5, 62 dias antes da semeadura. Após esse procedimento, o solo foi acondicionado em vasos plásticos esterilizados de 5 L. Adubação do sorgo granífero foi realizada no momento da semeadura e em cobertura, de acordo com recomendação do Manual de Calagem e Adubação para os Estados do RS e SC (CQFS, 2016), visando um potencial de produção  $5 \text{ t ha}^{-1}$ . A adubação consistiu de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de sulfato de amônio,  $833 \text{ kg ha}^{-1}$  de super fosfato triplo,  $224 \text{ kg ha}^{-1}$  de cloreto de potássio aplicados no momento da semeadura e  $155 \text{ kg ha}^{-1}$  de ureia aplicada em cobertura, aos 35 dias após a emergência das plantas, essas quantidades representaram a dose de 100% do fertilizante inorgânico recomendado para a cultura; nas demais doses testadas foram aplicadas 0, 25, 50 e 75% da quantidade recomendada.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições em esquema fatorial  $5 \times 2$ , sendo cinco doses de fertilizante inorgânico [0 (zero = testemunha), 25, 50, 75 e 100%] da quantidade recomendada para cultura, com e sem inoculação de *A. brasilense*.

A inoculação da *A. brasilense* foi realizada através do inoculante líquido (BiomaMais<sup>®</sup>, Bioma, Fazenda Rio Grande, PR, BR) que possuía uma concentração  $4,0 \times 10^8 \text{ UFC mL}^{-1}$  da mistura das linhagens Ab-V5 e Ab-V6. A inoculação foi diretamente nas sementes, duas horas antes da semeadura na dose de 100 ml para 180.000 sementes de sorgo resultando na concentração estimada de 222.222 células por semente.

A semeadura foi realizada em sete de outubro, com cinco sementes da cultivar BRS 310 por vaso, dez dias após a semeadura foi realizado o desbaste deixando apenas uma planta por vaso até final do experimento. As sementes utilizadas foram desinfetadas com hipoclorito de sódio 2% por dez minutos e lavadas três vezes em água esterilizada, antes da semeadura ou da sua inoculação. As plantas foram conduzidas em vasos plásticos com capacidade de 5 L, os quais haviam sido preenchidos com 5 kg da mistura solo e areia. Cada vaso, contendo uma planta, foi considerado uma unidade experimental. A irrigação das plantas foi realizada diariamente por meio de um sistema de irrigação automático por aspersão, mantendo-se a umidade em 80% da capacidade de campo.

### 3.4.2 Parâmetros avaliados

O índice relativo de clorofila (IRC) das folhas foi determinado através de clorofilômetro portátil (ClorofiLOG<sup>®</sup>, Falker, Porto Alegre, RS, BR, modelo CFL 1030)

(FALKER, 2018), a partir de três leituras realizadas na folha superior totalmente expandida, aos 88 dias após a semeadura. O equipamento forneceu instantaneamente os resultados em unidades adimensionais chamados valores de IRC.

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foi definido através de um sensor óptico ativo portátil (GreenSeeker<sup>®</sup>, Trimble Navigation Limited, Sunnyvale, CA, EUA, Modelo 505) que utiliza bandas da região do vermelho (660±15nm) e do infravermelho próximo (770±15nm) para cálculo do NDVI (ROSA et al., 2012). A leitura foi realizada 70 dias após semeadura, posicionando o equipamento 0,80 m do dossel da planta.

No estágio de pleno florescimento, 88 dias após a semeadura, foi avaliada a área foliar (AF) por meio do método do triângulo/trapézio proposto por Sousa et al. (2015). Para determinação da AF por esse método foram realizadas três medidas em cada folha da planta (comprimento total - Med-A), (largura da base do limbo - Med-B) e (largura do meio do limbo - Med-C), obtidas com régua milimetrada, sendo a Área foliar (cm<sup>2</sup>) = área do triângulo  $[(\text{Med-C}) * (\text{Med-A}/2)/2]$  + área do trapézio  $[(\text{Med-C} + \text{Med-B})/2] * (\text{Med-A}/2)$ . AF total de cada planta foi obtida a partir do somatório da AF de cada folha existente na planta.

Ao final do ciclo da cultura foi avaliado: altura de planta (AP), com uma régua graduada, medindo a distância do colo das plantas até inserção da panícula; o diâmetro do colmo (DC), com paquímetro digital (Black Jack Tools<sup>®</sup>, Campinas, SP, BR); peso de mil grãos (PMG), obtido pela contagem manual de mil grãos e produtividade de grãos (PG), obtida através dos grãos existentes na panícula da planta. Tanto no PMG quanto na PG os grãos foram pesados em balança analítica e tiveram sua umidade corrigida para 13%. A massa seca da panícula (MSP) e da parte aérea (MSPA) foram obtidas através da secagem do material em estufa a 65±1°C até massa constante, determinado em balança analítica. A parte aérea foi separada da radicular na região do colo da planta.

Após a coleta da parte aérea, as raízes das plantas foram separadas do solo por meio da lavagem com água corrente usando-se peneiras com malha de 0,5 mm, em seguida foi determinado o volume da raiz (VR), através do método da proveta graduada conforme Araújo et al. (2013a) e a massa fresca do sistema radicular (MFSR), obtida através da pesagem em balança analítica. Na sequência esse material foi colocado em estufa a 65±1°C até massa constante, posteriormente pesado em balança analítica para a determinação da massa seca da raiz (MSR). A partir de uma amostra de 0,5g MFSR determinou-se o comprimento radicular total da planta (CR) pelo método de Tennant (1975) e a área superficial específica da raiz (ASE) segundo Schenk; Barber (1979). O diâmetro médio das raízes (D) foi determinado de acordo com Maruyama (2016).

Para definição dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), amostras das massas secas da parte aérea, das raízes e dos grãos foram moídas em moinho tipo Willey com peneira de malha 10 mesh e digeridas em solução sulfúrica conforme descrito por Kaspary et al. (2013). Os teores de N, P e K, foram determinados por método KJELDAHL, colorimetria e fotometria de chama, respectivamente (SILVA, 2009). O teor de proteína dos grãos foi obtido pela multiplicação do teor de nitrogênio dos grãos pelo fator 6,25 (GALVANI; GAERTNER, 2006).

Para a determinação da população de bactérias diazotróficas (*A. brasilense*) foram coletadas 10 gramas do solo da rizosfera de cada tratamento, no estágio de plena floração do sorgo. O solo (10 gramas) foi diluído uma única vez em 10 ml de solução salina e agitado em agitador horizontal, após foi realizada a diluição seriada da amostra em  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  e  $10^{-4}$ , sendo inoculado três amostras de cada diluição no meio de cultura NFb semi-sólido, as quais na sequência foram incubadas a 30°C por 14 dias para o desenvolvimento das bactérias, conforme descrito por Videira; Araújo; Baldani (2007). A contagem foi realizada pelo método do Número Mais Provável (NMP) descrito por Döbereiner; Baldani; Baldani (1995), que se baseia na presença (+) e ausência (-) de película em forma de véu, próxima a superfície do meio de cultura, sendo os valores determinados pela Tabela de McCrady.

### 3.4.3 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância, quando houve interação significativa, desdobraram-se os efeitos das doses nos tratamentos com e sem inoculação através da análise de regressão. Quando não houve interação significativa, se analisou os efeitos simples, sendo as doses (fator quantitativo) através de regressão e a inoculação (fator qualitativo) pelo teste de comparação de média Scott-Knott a 5% de probabilidade ( $p \leq 0,05$ ), utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

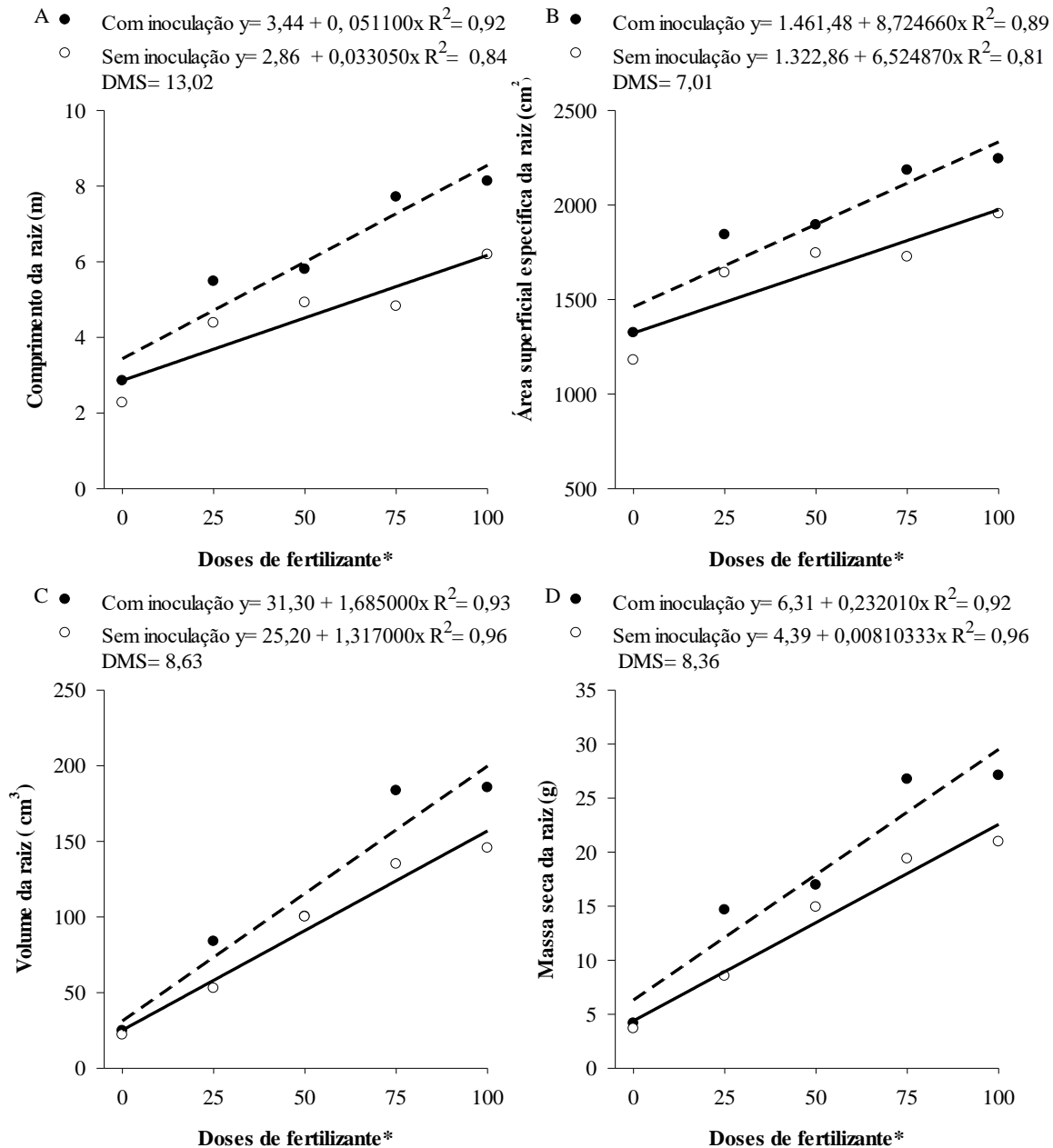
## 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.5.1 Desenvolvimento vegetativo e aspectos fisiológicos do sorgo granífero

Os resultados demonstraram interação significativa entre as doses de fertilizante e a inoculação de *A. brasilense* para comprimento da raiz (CR), área superficial específica da raiz (ASE), volume da raiz (VR) e massa seca da raiz (MSR), com aumento linear com as dose de

fertilizante, sendo significativamente maior com a inoculação de *A. brasilense* (Figura 1A, 1B, 1C e 1D).

Figura 1 - Comprimento da raiz (A), área superficial específica da raiz (B), volume da raiz (C) e massa seca da raiz (D) das plantas de sorgo cultivadas com 0, 25, 50, 75 e 100% da dose fertilizante recomendado para cultura, com e sem inoculação de *A. brasilense*.



Fonte: Autor (2023).

\*Porcentagens equivalentes da recomendação de fertilizante para cultura do sorgo.

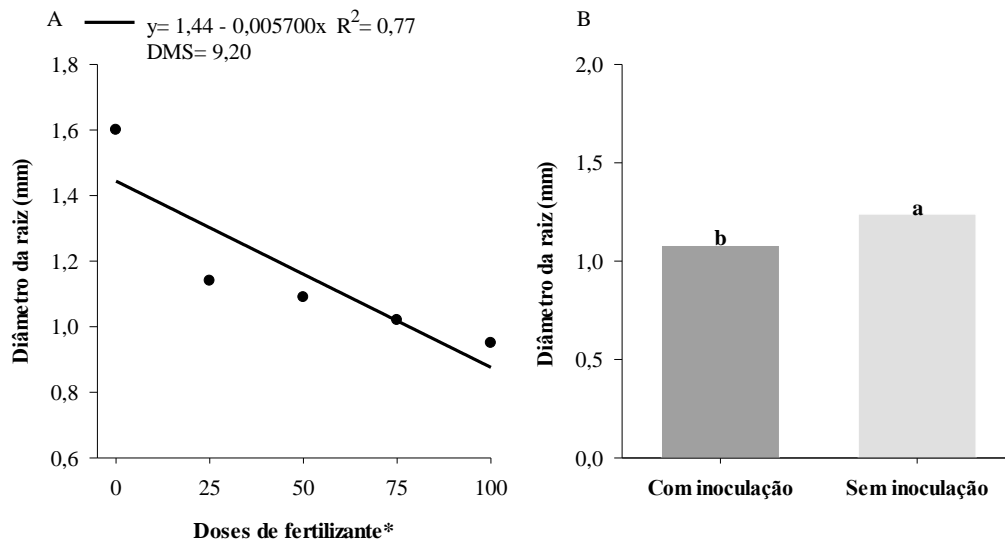
O comprimento da raiz das plantas de sorgo inoculadas com *A. brasilense* cultivadas com 53% da dose de fertilizante recomendado é equivalente aos das plantas cultivadas sem

inoculação com 100% dose de fertilizante. Em relação à área superficial específica da raiz se verificou que sorgo inoculado com *A. brasilense* cultivado com 56% da dose de fertilizante recomendado, apresenta equivalente ao do cultivado sem inoculação com 100% dose de fertilizante (Figura 1 B). O aumento do comprimento da raiz com inoculação de *A. brasilense* também foi verificado no sorgo granífero por Ventura et al. (2020) e em outras culturas como o trigo (NOZAKI; LORENZATTO; MANCINI, 2013) e o milho (ZEFA et al., 2019). Isso ocorre devido *A. brasilense* modificar a arquitetura radicular das plantas, através da produção do ácido indolacético o qual é produzido durante todas as fases do desenvolvimento bacteriano, além disso, a FBN realizada por esses organismos também pode contribuir para melhorias no sistema radicular, pois proporciona o aumento na disponibilidade de nitrogênio nas raízes (CASSÁN et al., 2020; MOREIRA; VALADÃO; JÚNIOR, 2019; ZEFA et al., 2019). O aumento do comprimento da raiz do sorgo possibilita maior absorção de água e nutrientes pelas plantas, melhorando o seu desenvolvimento vegetativo (SOUSA et al., 2016).

O acréscimo do volume e da massa seca da raiz com inoculação de *A. brasilense* foi também verificado no sorgo por Barros (2022) e em *Brachiaria brizantha* por Fonseca et al. (2019). Esse aumento com inoculação de *A. brasilense* possivelmente ocorre devido aos fitohormônios produzidos por essa bactéria promoverem alterações morfológicas no sistema radicular como: aumento das raízes laterais, adventícias, elevação do número de pelos radiculares, crescimento da área de superfície e do comprimento da raiz (CASSÁN et al., 2020). Portanto, o comprimento, a área superficial específica, o volume e a massa seca da raiz das plantas de sorgo granífero, aumentam com inoculação de *A. brasilense* e com as doses de fertilizante, sendo que as plantas de sorgo inoculadas com *A. brasilense* cultivadas com as doses de 67 e 63% do fertilizante recomendado apresentam volume e massa seca da raiz respectivamente equivalente aos das plantas sem inoculação cultivadas com 100% da dose.

Não houve interação significativa entre as doses de fertilizante e inoculação para o diâmetro da raiz (D) das plantas de sorgo, apenas efeito simples significativo. O diâmetro da raiz das plantas de sorgo reduziu linearmente com aumento da dose de fertilizante (Figura 2A). A literatura científica evidencia que o diâmetro da raiz apresenta correlação negativa com comprimento da raiz, tanto no sorgo (NEGRI et al., 2017), quanto no milho (MAGALHÃES; NEGRI; SOUZA, 2013). Desse modo, o aumento das doses de fertilizante inorgânico possibilitou o desenvolvimento de um sistema radicular com maior comprimento, área, volume e massa seca (Figura 1) e de menor diâmetro, o que proporcionou as plantas de sorgo o predomínio de raízes finas.

Figura 2 - Efeito simples das doses de fertilizante (A) e da inoculação de *A. brasilense* (B) no diâmetro da raiz das plantas de sorgo granífero.



Fonte: Autor (2023).

\*Porcentagens equivalentes da recomendação de fertilizante para cultura do sorgo.

Médias seguidas de mesma letra minúscula em com e sem inoculação não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

O diâmetro da raiz das plantas de sorgo diminuiu com a inoculação de *A. brasilense* (Figura 2 B). A inoculação de *A. brasilense* promove o desenvolvimento de raízes mais finas nas plantas, pois induz o aumento do número de pêlos radiculares e de raízes laterais (CASSÁN et al., 2020; SPAEPEN et al., 2007).

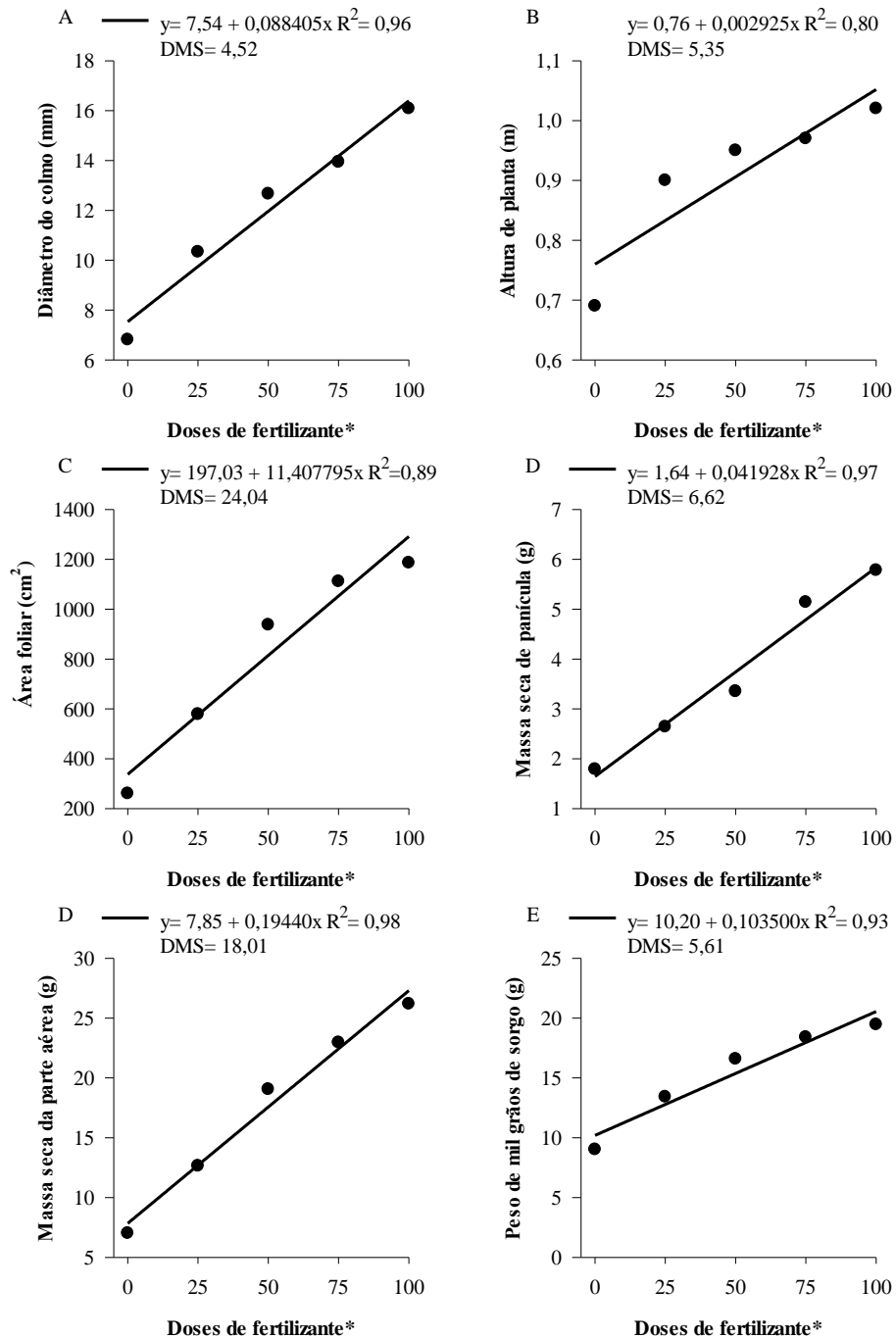
Não houve interação significativa entre as doses de fertilizante e inoculação de *A. brasilense*, no diâmetro do colmo (DC), altura de planta (AP), área foliar (AF), massa seca de panícula (MSP) e massa seca da parte aérea (MSPA), contudo se verificou efeito simples significativo dos fatores de variação.

O diâmetro do colmo, altura de planta, área foliar, massa seca de panícula e massa seca da parte aérea aumentaram de forma linear, com as doses de fertilizante, resultando respectivamente, na maior dose (100%), em valores 136, 47, 356, 222 e 273% maiores que a testemunha (Figura 3A, 3B, 3C, 3D e 3E). Isso acontece em decorrência da aplicação de fertilizante disponibilizar maior quantidade de nitrogênio, fósforo e potássio as plantas (PEREIRA et al., 2014). Nesse sentido, Fonseca et al. (2008) também verificaram que fornecimento desses nutrientes as plantas de sorgo granífero de acordo com a suas necessidades, aumenta o diâmetro do colmo e altura de planta. O acréscimo da área foliar ocasionado pela aplicação do fertilizante indica melhor crescimento das plantas, pois é um



dos parâmetros morfológicos que reflete diretamente o desenvolvimento vegetal do sorgo (BORREGO et al., 2021; LESSA et al., 2018).

Figura 3 - Diâmetro do colmo (A), altura (B), área foliar (C), massa seca de panícula (D) e massa seca da parte aérea (E) das plantas de sorgo cultivadas com 0, 25, 50, 75 e 100% da dose fertilizante recomendado para cultura.



Fonte: Autor (2023).

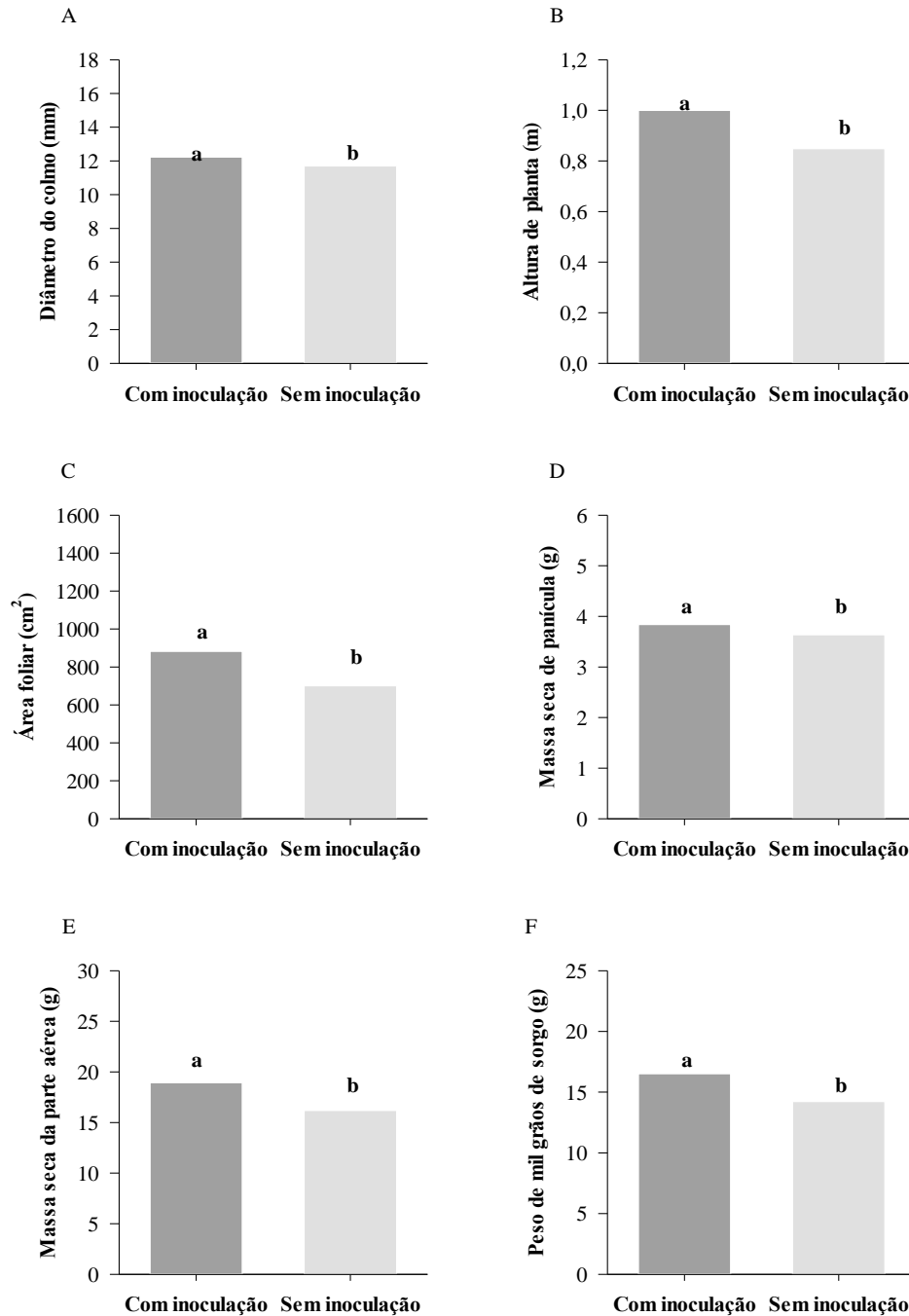
\*Porcentagens equivalentes da recomendação de fertilizante para cultura do sorgo.

O aumento da disponibilidade de nitrogênio às plantas, ocasionado pela aplicação dos fertilizantes, é responsável por incrementar a produção de massa seca da parte aérea (Figura 3E), pois esse é constituinte de moléculas de proteínas, atua na produção de aminoácidos e na constituição de vários compostos nas plantas (ALBUQUERQUE et al., 2020; GOES et al., 2011; ROCHA; COLTRO; LIZZONI, 2020). Estudos desenvolvidos com outras culturas agrícolas pertencentes à família Fabaceae também confirmam acréscimos lineares na produção de massa seca da parte aérea com aumento da disponibilidade de nitrogênio as plantas (FONSECA et al., 2019; QUATRIN et al., 2019).

As plantas de sorgo inoculadas com *A. brasilense* apresentaram diâmetro do colmo, altura de planta, área foliar, massa seca de panícula, massa seca da parte aérea superior em 19; 5; 26; 7 e 17% respectivamente, às sem inoculação (Figura 4A, 4B, 4C, 4D e 4E). Esses resultados corroboram com outros estudos que demonstram que a inoculação de *A. brasilense* no sorgo, aumenta significativamente o diâmetro do colmo, altura de planta, área foliar (BARROS, 2022; MORTATE et al., 2020; NAKAO et al., 2014; SILVA, 2019), massa seca da parte aérea (VENTURA et al., 2020) e massa seca de panícula (NAKAO et al., 2014; PAIVA et al., 2021). A melhoria do crescimento das plantas inoculadas é atribuída principalmente à capacidade dessa bactéria de fixar biologicamente o nitrogênio e de produzir fitohormônios estimuladores do crescimento (auxinas, citocininas, giberelinas) (CASSÁN et al., 2020). O maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas de sorgo, proporcionado pela *A. brasilense* também contribui para o melhor crescimento do sorgo, pois melhora absorção de água e nutrientes (NAKAO et al., 2014; NEGRI et al., 2017; SILVA, 2019).

O maior diâmetro do colmo ocasionado pela *A. brasilense* tornar a planta menos suscetível ao acamamento e juntamente com a altura e área foliar favorece o aumento da produtividade (NAKAO et al., 2014; SILVA et al., 2021).

Figura 4 - Diâmetro do colmo (A), altura (B), área foliar (C) massa seca de panícula (D) e massa seca da parte aérea (E) das plantas de sorgo com e sem inoculação de *A. brasilense*.



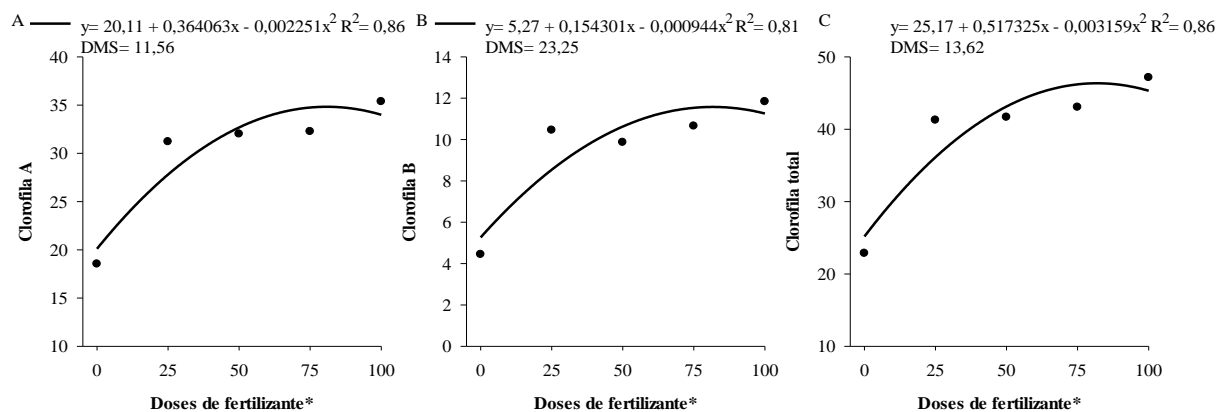
Fonte: Autor (2023).

Médias seguidas de mesma letra minúscula em com e sem inoculação não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

A clorofila a, b e total não apresentaram interação significativa, apenas efeito simples significativo de doses, sendo que os três parâmetros de clorofila responderam de forma quadrática, com ponto de máxima total obtido com 81% da dose de fertilizante recomendado (Figura 5A, 5B e 5C). A elevação dos teores de clorofila com aplicação de fertilizantes

inorgânicos ocorre devido a sua correlação com a disponibilidade de nutrientes para as plantas, principalmente nitrogênio, o qual é um componente estrutural destas moléculas (XAVIER, 2021). Nesse sentido, Müller et al. (2016) verificaram aumento do teor de clorofila com a aplicação de doses de nitrogênio em cobertura no milho, evidenciando também, comportamento quadrático das doses. O não efeito da inoculação corrobora com os resultados de Müller et al. (2016) e Moreira; Valadão; Júnior (2019) os quais também não verificaram aumento do teor de clorofila em plantas de milho com inoculação de *A. brasilense*.

Figura 5 - Clorofila a (A), clorofila b (B) e clorofila total (C) das plantas de sorgo cultivadas com 0, 25, 50, 75 e 100% da dose de fertilizante recomendado para a cultura.



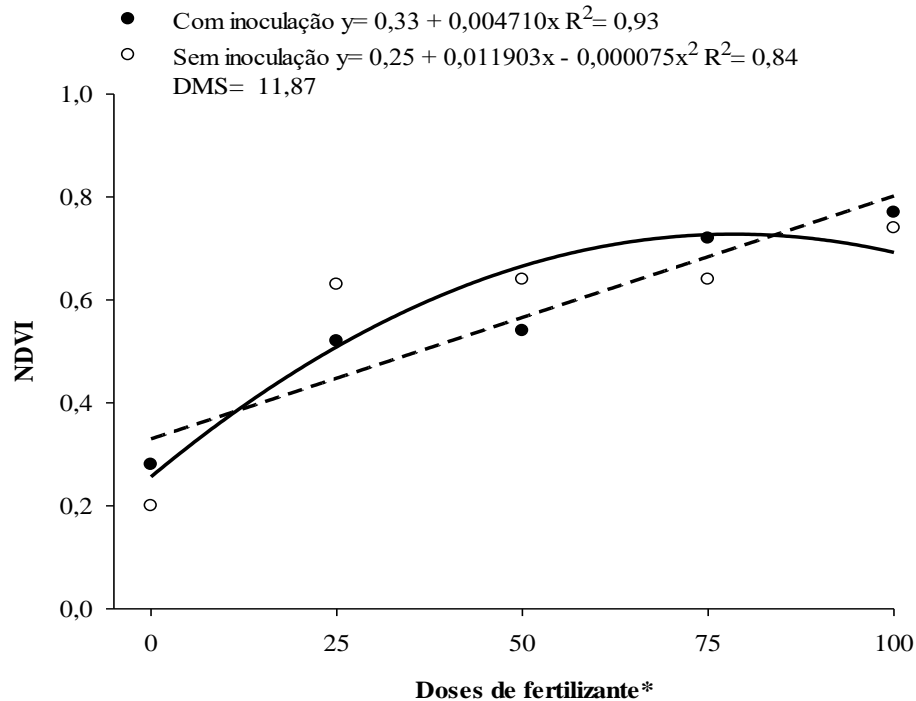
Fonte: Autor (2023).

\*Porcentagens equivalentes da recomendação de fertilizante para cultura do sorgo.

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) evidenciou interação significativa entre as doses de fertilizantes e a inoculação de *A. brasilense*. As plantas inoculadas apresentaram aumento linear do NDVI com as doses de fertilizante, enquanto as sem inoculação apresentaram resposta quadrática com ponto de máxima com 79% da dose recomenda para cultura (Figura 6). O NDVI das plantas sem inoculação apresentou ponto de máxima em dose próxima ao verificado nos teores de clorofila (dose com 81% do fertilizante recomendado), devido à concentração de clorofila no tecido foliar exercer influência direta sobre o NDVI (MOTOMIYA et al., 2014). O aumento do NDVI com inoculação de *A. brasilense*, foi verificado também por Pagnani et al. (2020) em três genótipos de trigo. Isso acontece devido a *A. brasilense* realizar a FBN e disponibilizar o nitrogênio em formas lábeis para as plantas, pela excreção direta da bactéria ou pela mineralização de bactérias mortas, pois o aumento da disponibilidade de nitrogênio ocasiona a elevação do NDVI (MOREIRA; VALADÃO; JÚNIOR, 2019; RISSINI; KAWAKAMI; GENÚ, 2015). Assim, a inoculação de

*A. brasilense* proporciona às plantas de sorgo o desenvolvimento de NDVI mais elevado, indicando melhor disponibilidade de nitrogênio às plantas.

Figura 6 - Índice de vegetação por diferença normalizada das plantas de sorgo cultivadas com 0, 25, 50, 75 e 100% da dose fertilizante recomendado para cultura, com e sem inoculação de *A. brasilense*.



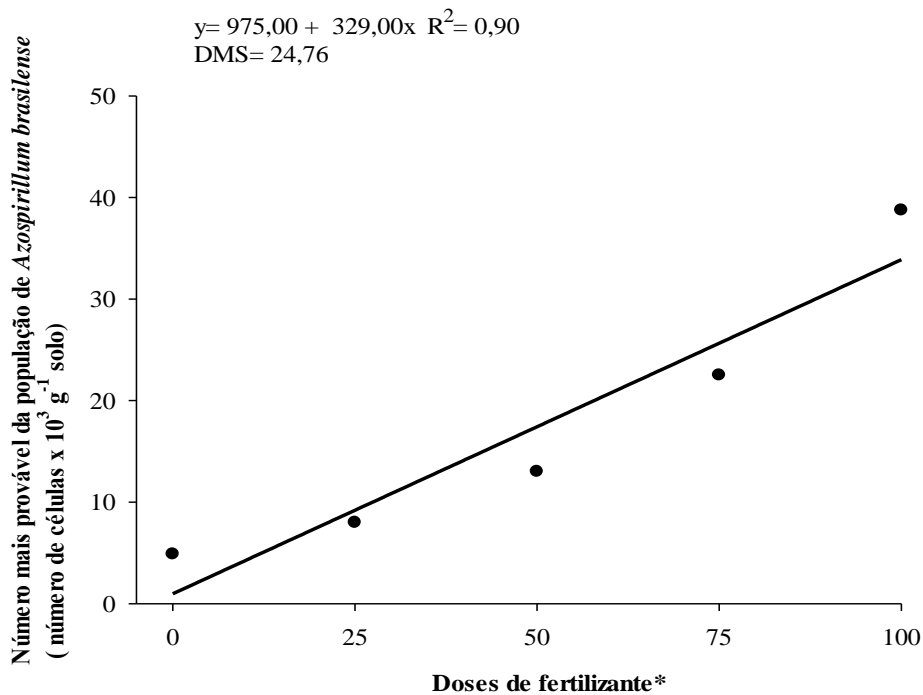
Fonte: Autor (2023).

\*Porcentagens equivalentes da recomendação de fertilizante para cultura do sorgo.

Não houve o desenvolvimento de *A. brasilense* no solo do sorgo cultivado sem inoculação independente da dose de fertilizante aplicado, devido a esse ter sido esterilizado e não ter recebido aplicação da bactéria. Desse modo, o número mais provável (NMP) de *A. brasilense* nas doses de fertilizante inorgânico foi determinado apenas no solo em que as plantas de sorgo foram inoculadas com bactéria.

Aplicação das doses de fertilizante no solo para o cultivo do sorgo inoculado com *A. brasilense* proporcionou aumento linear do NMP dessa bactéria no solo, sendo que na dose de 100% o aumento foi de 695% em relação ao tratamento sem fertilizante (Figura 7). A maior disponibilidade de nutrientes no solo principalmente de nitrogênio proporcionado pela aplicação de fertilizante induz o aumento do sistema radicular do sorgo granífero (PAIVA et al., 2021). Plantas com sistema radicular maior e mais desenvolvido liberam quantidades mais elevadas de exsudatos na rizosfera o que possibilita o aumento da população das bactérias que vivem nessa região do solo, incluindo *A. brasilense* (CASSÁN et al., 2020).

Figura 7 - Número mais provável (número de células  $\times 10^3 \text{ g}^{-1}$  solo) de *A. brasilense* no solo cultivado com sorgo granífero com 0, 25, 50, 75 e 100% da dose de fertilizante recomendado para cultura.



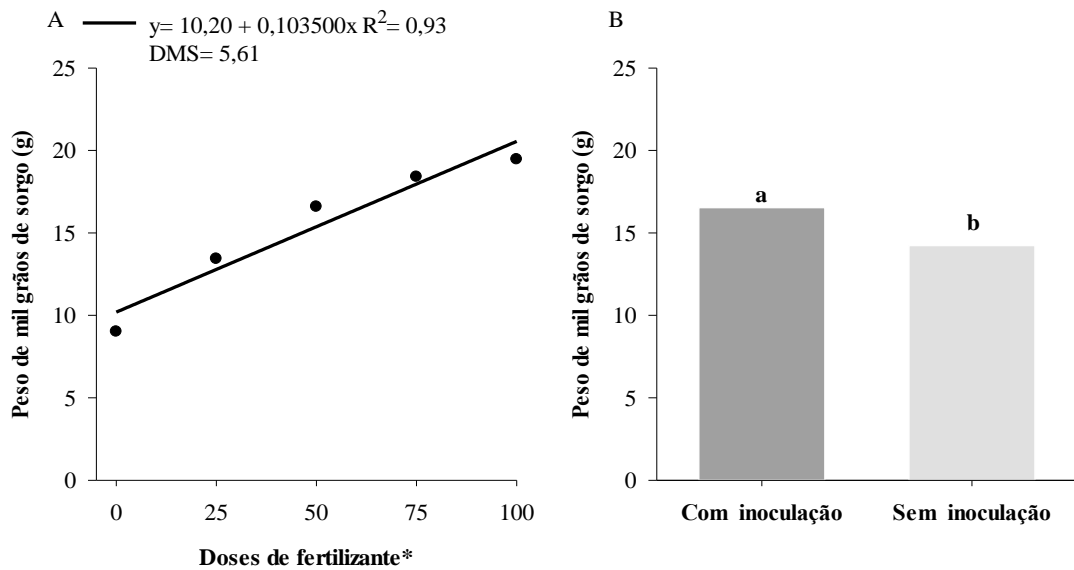
Fonte: Autor (2023).

\*Porcentagens equivalentes da recomendação de fertilizante para cultura do sorgo.

### 3.5.2 Produtividade e aspectos nutricionais do sorgo granífero

Não houve interação significativa entre as doses de fertilizante e inoculação para o peso de mil grãos, apenas efeito simples significativo. O peso de mil grãos (PMG) aumentou linearmente com as doses de fertilizante, sendo com a dose 100% obtido aumento de 116% em comparação á testemunha (Figura 8 A). A maior disponibilidade de nutrientes ás plantas principalmente fósforo e nitrogênio proporcionados pela aplicação de fertilizante aumenta o peso de grãos do sorgo (GOES et al., 2011; PEREIRA et al., 2014). Nesse sentido, Matos et al. (2021) também verificaram que aplicação de fertilizante no sorgo granífero aumenta o peso de grãos.

Figura 8 - Efeito simples das doses de fertilizante (A) e da inoculação de *A. brasilense* (B) no peso de mil grãos de sorgo.



Fonte: Autor (2023).

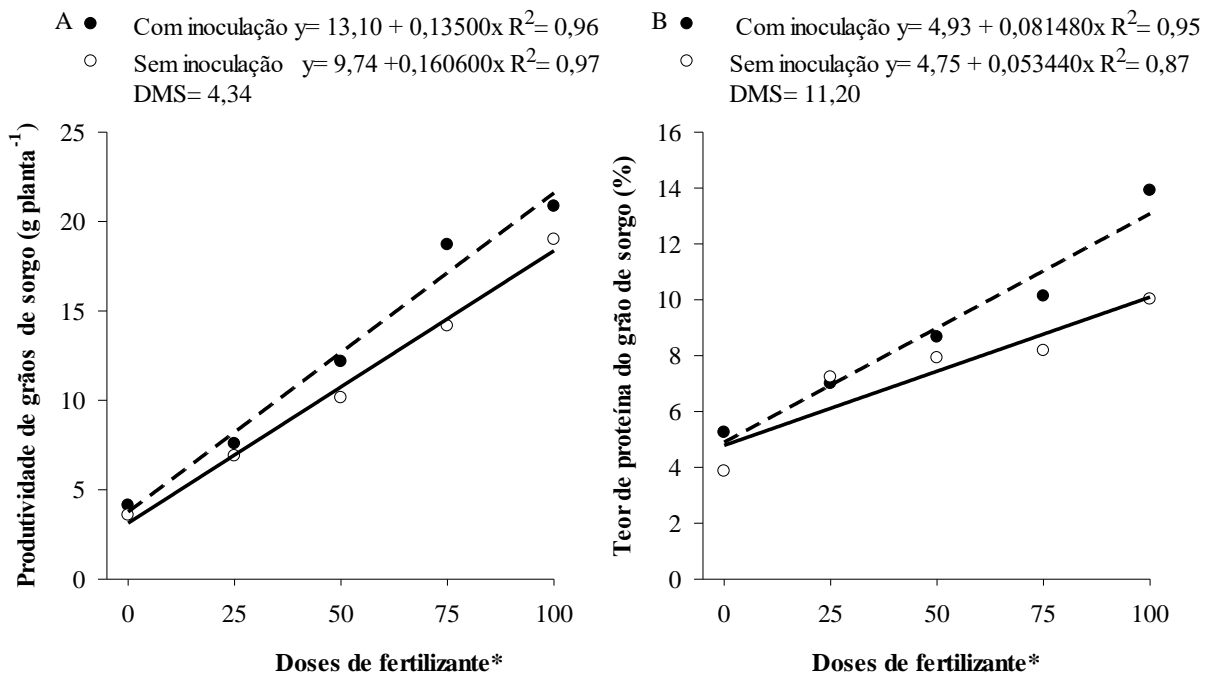
\*Porcentagens equivalentes da recomendação de fertilizante para cultura do sorgo.

Médias seguidas de mesma letra minúscula em com e sem inoculação não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

A inoculação de *A. brasilense* no sorgo aumentou significativamente em 16% o PMG, quando comparado ao sem inoculação (Figura 8B). O aumento do PMG de sorgo com inoculação de *A. brasilense* também foi verificado por Lopes (2019) em oito linhagens de sorgo. Isso ocorre possivelmente em função da FBN realizada por essa bactéria aumentar à disponibilidade de nitrogênio as plantas, pois a disponibilidade de nitrogênio possui influência no peso dos grãos de sorgo (CASSÁN et al., 2020; NAKAO et al., 2014).

Os resultados evidenciaram interação significativa entre as doses de fertilizante e a inoculação de *A. brasilense* para produtividade de grãos (PG) e teor de proteína do grão. A produtividade de grãos do sorgo aumentou de forma linear com as doses de fertilizante e foi significativamente maior com a inoculação de *A. brasilense*, sendo que a inoculação possibilitou, na dose 100% aumento de 10% da produtividade de grãos e na de 75% produtividade de grãos equivalente à dose 100% sem inoculação (Figura 9A). O aumento da produtividade de grãos do sorgo granífero com a inoculação de *A. brasilense* também foi constatado em outros estudos (MORTATE et al., 2020; NAKAO et al., 2014; PAIVA et al., 2021). Isso ocorre devido a esse organismo melhorar a absorção de água e nutrientes das plantas inoculadas em função do maior desenvolvimento do sistema radicular, produzir fitohormônios estimuladores do crescimento e realizar a FBN que aumenta a disponibilidade de nitrogênio (CASSÁN et al., 2020; NAKAO et al., 2014).

Figura 9 - Produtividade de grãos (A) e teor de proteína do grão (B) das plantas de sorgo cultivadas com 0, 25, 50, 75 e 100% da dose de fertilizante recomendado para cultura, com e sem inoculação de *A. brasilense*.



Fonte: Autor (2023).

\*Porcentagens equivalentes da recomendação de fertilizante para cultura do sorgo.

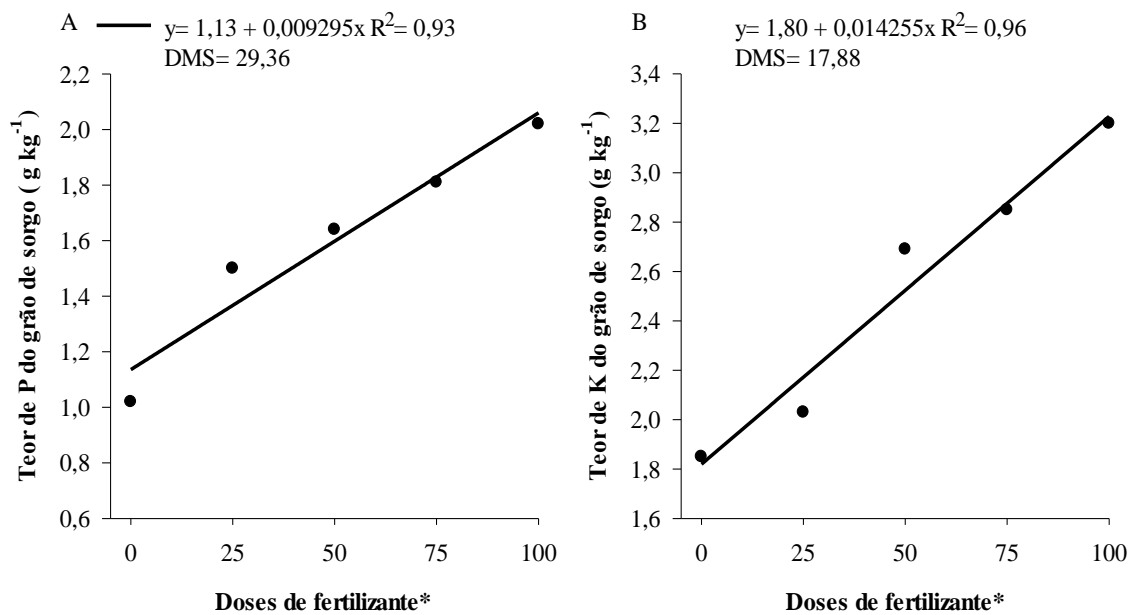
O teor de proteína dos grãos de sorgo aumentou linearmente com as doses de fertilizante aplicadas e foi significativamente maior com a inoculação de *A. brasilense*, sendo 38% maior na dose de 100% (Figura 9B). A maior disponibilidade de nutrientes as plantas, sobretudo de N, ocasionada pela aplicação dos fertilizantes, contribui para elevação do teor de proteína dos grãos (PINNOW et al., 2013). Associado a isso, a inoculação com *A. brasilense* possibilita o fornecimento de nitrogênio de maneira gradual às plantas, durante todo o seu ciclo, o que proporciona alterações na composição dos grãos, como o aumento do teor de proteína (CANPELLE et al., 2019; CAZETTA et al., 2008; SOUZA et al., 2014). Além disso, a inoculação com *A. brasilense* com 75% da dose de fertilizante também possibilitou teor de 10% de proteína nos grãos, sendo equivalente à 100% da dose de fertilizante sem inoculação (Figura 9B). O teor de 10% de proteína nos grãos de sorgo corrobora com encontrado por Albuquerque et al. (2020) e Santos (2014). Porém, neste estudo a inoculação com *A. brasilense* possibilitou alcançar esse teor proteico reduzindo-se 25% da fertilização.

O teor de fósforo (P) e potássio (K) dos grãos de sorgo não apresentaram interação significativa entre doses e a inoculação, havendo apenas efeito simples significativo das doses de fertilizante, com aumento linear para ambos os nutrientes (Figura 10A e 10B). O aumento da disponibilidade dos nutrientes no solo ocasionado pela aplicação do fertilizante possibilita



elevação dos teores dos grãos, pois um nutriente, para ser absorvido pela planta e modificar composição de seu grão, deve estar na solução do solo em alta quantidade na forma passível de absorção e utilização pela planta (PEREIRA et al., 2014; SANTOS, 2014). O teor de K dos grãos de sorgo foi superior ao do P (Figura 15A e 15B) e corrobora com o verificado por Santos (2014). Isso ocorre devido ao K ser o nutriente acumulado em maior quantidade na planta de sorgo, assim quantidades mais elevadas desse nutriente são exportadas para os grãos (BORGES et al., 2016).

Figura 10 - Teor de P (A) e K do grão (B) das plantas de sorgo cultivadas com 0, 25, 50, 75 e 100% da dose de fertilizante recomendado para cultura.



Fonte: Autor (2023).

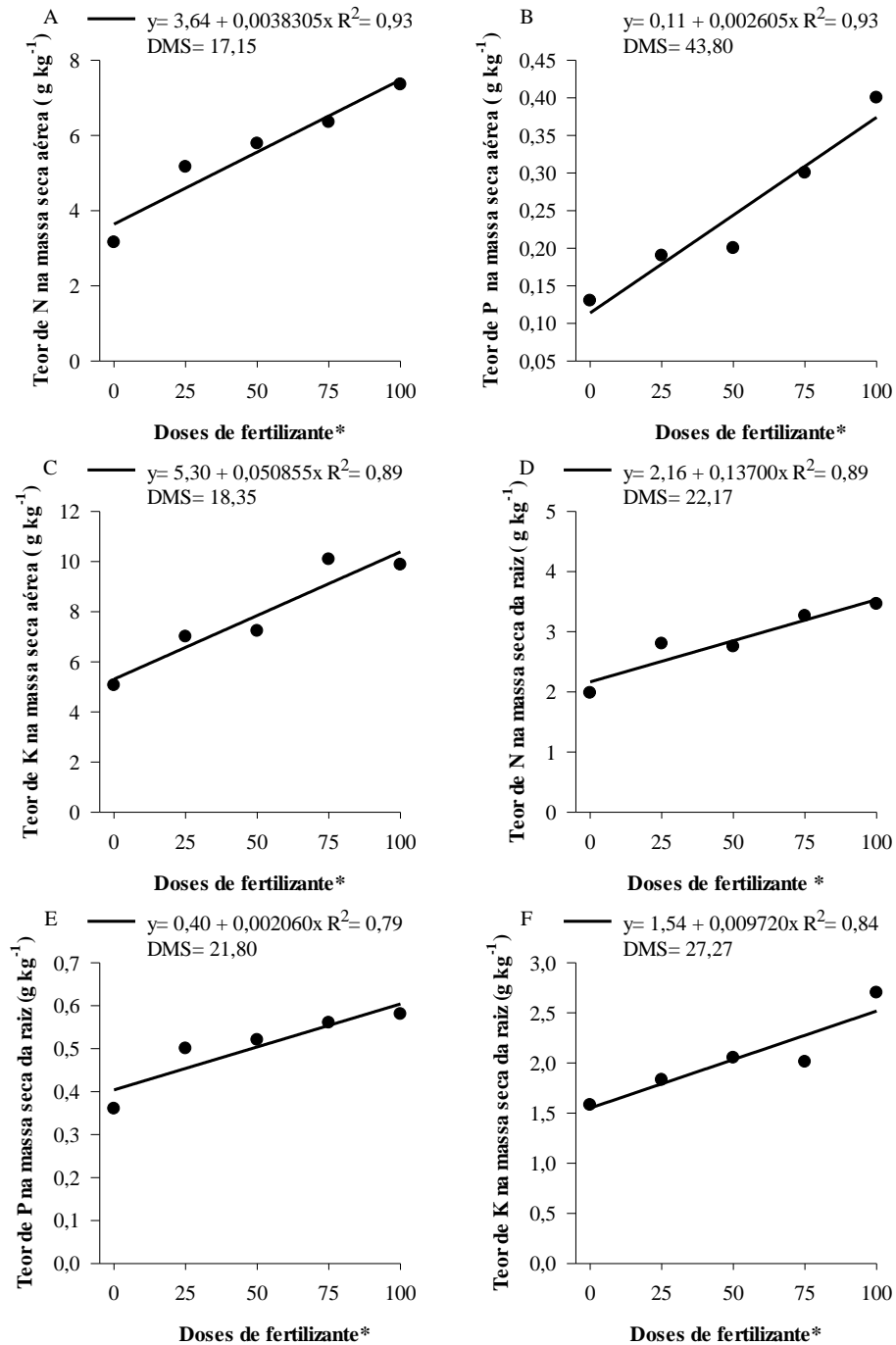
\*Porcentagens equivalentes da recomendação de fertilizante para cultura do sorgo.

Os resultados do teor de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) presente na massa seca da parte aérea e da raiz do sorgo não evidenciaram interação significativa entre as doses de fertilizante e a inoculação de *A. brasilense*, apenas efeito simples significativo dos fatores de variação.

Os teores de N, P e K na massa seca da parte aérea do sorgo aumentaram linearmente com as doses de fertilizante aplicadas, sendo com 100% da dose de fertilizante obtido um aumento do teor de N, P e K na massa seca aérea de 133, 207 e 95% respectivamente, em comparação à testemunha (Figura 11A, 11B e 11C). Isso ocorre devido aplicação de fertilizante aumentar disponibilidade de nutrientes às plantas (GOES et al., 2011). A

disponibilidade de nutrientes às plantas exerce influência direta nos teores de N, P e K presente na parte aérea do sorgo (FONSECA et al., 2008).

Figura 11 - Teor de N (A), P (B), K na massa seca da parte aérea (C), e teor de N (D), P (E), K na massa seca da raiz (F), das plantas de sorgo cultivadas com 0, 25, 50, 75 e 100% da dose de fertilizante recomendada.



Fonte: Autor (2023).

\*Porcentagens equivalentes da recomendação de fertilizante para cultura do sorgo.

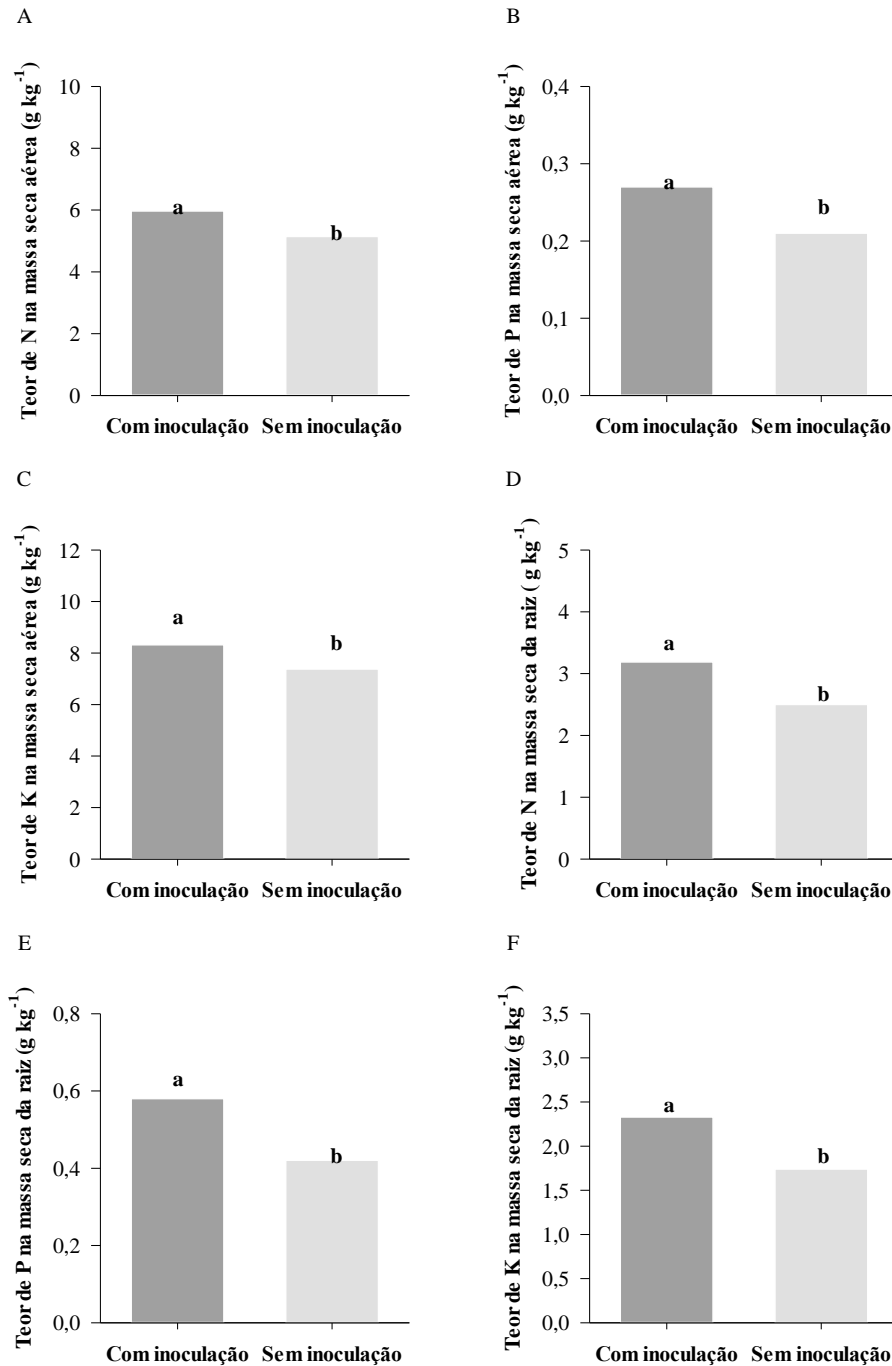
Os teores dos nutrientes na parte aérea do sorgo (Figura 11A, 11B e 11C) são inferiores aos considerados adequados (OLIVEIRA, 2004) ou os obtidos em outros estudos (FILHO, 2020; SANTANA, 2018). Isso ocorreu por terem sido determinados após a colheita dos grãos, pois a concentração de nutrientes na parte aérea das plantas é menor no final do ciclo quando comparada ao estágio de pleno florescimento (BORGES et al., 2016; MARCELO; CORÁ; FERNANDES, 2012).

As doses de fertilizante aplicadas também aumentaram de forma linear os teores de N, P e K na massa seca da raiz do sorgo, sendo que aplicação da dose 100% aumentou o teor de N, P e K em 75, 61 e 71% respectivamente, em comparação à testemunha (Figura 11D, 11E e 11F). Isso decorre da maior disponibilidade de N, P e K no solo, proporcionada pela aplicação do fertilizante inorgânico, pois o teor desses macronutrientes presentes nas raízes apresenta relação direta com as quantidades disponibilizadas às plantas (PRADO; ROMUALDO; ROZANE, 2007; SANTI et al., 2006)

Os teores de N, P e K na massa seca da parte aérea do sorgo aumentaram significativamente com inoculação de *A. brasilense* em 16, 28 e 13% respectivamente, quando comparado ao tratamento sem inoculação (Figura 12A, 12B e 12C).

A inoculação de *A. brasilense* no milho também o aumentou os teores de N (MILLÉO; CRISTÓFOLI, 2016), P (GALINDO et al., 2016) e K (ARAÚJO et al., 2013a) na massa seca da parte aérea. Isso acontece devido alguns mecanismos desenvolvidos pela *A. brasiliense* como a FBN e a produção de substâncias promotoras do crescimento melhorarem a nutrição das plantas, pois os teores desses nutrientes na massa seca parte aérea do sorgo são influenciados pelo estado nutricional das plantas (ARAÚJO et al., 2013b; CASSÁN et al., 2020; FILHO, 2020; GASPARETO, 2022).

Figura 12 - Teor de N (A), P (B), K na massa seca da parte aérea (C), e teor de N (D), F (E), K na massa seca da raiz (F) das plantas de sorgo com e sem inoculação de *A. brasilense*.



Fonte: Autor (2023).

Médias seguidas de mesma letra minúscula em com e sem inoculação não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

A inoculação de *A. brasilense* proporcionou aumento significativo nos teores de N, P e K na massa seca da raiz do sorgo, de 28, 38 e 34% quando comparado ao tratamento sem inoculação (Figura 12D, 12E e 12F). Resultados de pesquisa também indicam que a inoculação de *A. brasilense* aumenta os teores de nutrientes na raiz de outras espécies da

família Poaceae, como o N, P e K no milho (SOUSA et al., 2018) e N e K no trigo (KLEIN et al., 2012). O aumento da concentração dos nutrientes nas raízes das plantas inoculadas com *A. brasilense* acontece em decorrência do maior desenvolvimento radicular, pois um sistema radicular mais desenvolvido possibilita as plantas maior absorção de água e aquisição de nutrientes (CASSÁN et al., 2020; SOUSA, 2017; SOUSA et al., 2018). Dessa forma, o maior desenvolvimento do sistema radicular do sorgo induzido pela inoculação de *A. brasilense* favorece o aumento dos teores de N, P e K na massa seca da raiz.

### 3.6 CONCLUSÃO

O crescimento das plantas de sorgo granífero aumentou com inoculação de *A. brasilense* bem como os teores de nitrogênio, fósforo e potássio na massa seca aérea e da raiz.

A inoculação de *A. brasilense* no sorgo granífero cultivado nas diferentes doses de fertilizante inorgânico aumentou o sistema radicular, NDVI, produtividade de grãos e teor de proteína dos grãos.

As plantas de sorgo inoculadas com *A. brasilense* cultivadas com 75% da dose de fertilizante apresentaram produtividade de grãos e teor de proteína dos grãos equivalente às cultivadas com 100% da dose recomendada de fertilizante sem inoculação. Desse modo, a inoculação de *A. brasilense* possui a capacidade de substituir parcialmente o fertilizante inorgânico na cultura do sorgo granífero.

### 3.7 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. J. B. *et al.* Uso do clorofilômetro e sua relação com o manejo da adubação nitrogenada em cultivares de sorgo granífero e silageiro na região semiárida. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 16976-16993, 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/8376/7220>. Acesso em: 01 Setembro 2022.

ANDRADE, A. F. *et al.* *Azospirillum brasilense* inoculation methods in corn and sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, p. 1-9, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/k4vz8CzT979GhDP45kd9MGK/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 25 Agosto 2022.

ARAÚJO, E. O. *et al.* Estado nutricional do milho em resposta à aplicação de nitrogênio e à inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae*. In: XII Seminário Nacional Milho Safrinha. 2013b, Dourados. **Anais eletrônicos [...]**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/975002/1/107.ERICAESTADO.pdf>. Acesso em: 08 Outubro 2022.

ARAÚJO, E. O. *et al.* Inoculação de *Herbaspirillum seropedicae* no desenvolvimento de genótipos de milho sob diferentes níveis de nitrogênio. In: XII Seminário Nacional Milho Safrinha. 2013a, Dourados. **Anais eletrônicos** [...]. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/975020/1/108.ERICAINMOCULACAO.pdf>. Acesso em: 06 Setembro 2022.

BARROS, S. **Fungos Micorrízicos Arbusculares e *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento de sorgo e milho cultivados em solo contaminado com cobre.** 2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, 2022.

BORGES, I. D. *et al.* Acúmulo de macronutrientes na cultura do sorgo granífero na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 294-304, 2016. Disponível em: <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/692>. Acesso em: 24 Agosto 2022.

BORREGO, F. Z. *et al.* Efecto de diferentes niveles de evapotranspiración sobre área foliar, temperatura superficial, potencial hídrico y rendimiento en sorgo forrajero. **Terra Latinoamericana**, v. 39, p.1-14, 2021. Disponível em: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792021000100150&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792021000100150&script=sci_arttext). Acesso em: 10 Setembro 2022.

CANEPELLE, E. *et al.* Propriedades reológicas e físico-químicas dos grãos de trigo produzidos com pó de rocha de basalto e *Azospirillum brasilense*. In: IX SIEPEX-IX Salão Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão. **Anais eletrônicos** [...]. Porto Alegre: UERGS, 2019. Disponível em: <http://conferencia.uergs.edu.br/index.php/IXSIEPEX/IXSIEPEX/paper/view/3409>. Acesso em: 01 Outubro 2022.

CASSÁN, F. *et al.* Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. **Biology and Fertility of Soils**, v. 56, n. 4, p. 461-479, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-020-01463-y>. Acesso em: 26 Agosto 2022.

CAZETTA, D. A. *et al.* Qualidade industrial de cultivares de trigo e triticales submetidos à adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. **Bragantia**, v. 67, n. 3, p. 741-750, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/Z7mRnQ389hzTQpMDqgGyzKx/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 30 Setembro 2022.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC - CQFS. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 11. ed. Porto Alegre, RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. 376 p.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. **Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não leguminosas.** 1. ed. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - CNPAB, 1995. 60 p.

FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA Ltda. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG / CFL 1030)**. 2018. 34 p. Disponível em: <https://www.falker.com.br/br/suporte>. Acesso em: 06 Setembro 2022.

FRANCO, A. D.; RAMIREZ, M. E.; CHÁIREZ, F. E. O. Reducción de la fertilización inorgánica mediante micorriza arbuscular en Sorgo. **Revista internacional de contaminación ambiental**, v. 35, n. 3, p. 683-692, 2019. Disponível em: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992019000300683&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992019000300683&script=sci_arttext). Acesso em: 30 Agosto 2022.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/yjKLJXN9KysfmX6rvL93TSh/?lang=en>. Acesso em: 06 Setembro 2022.

FILHO, O. F. **Indicação de folha índice para diagnose foliar em sorgo-sacarino**. 1. ed. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2020. 9 p.

FONSECA, I. M. *et al.* Crescimento e nutrição do sorgo (cv. BRS 304) em solução nutritiva. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 2, p. 113-124, 2008. Disponível em: <http://joaootavio.com.br/bioterra/workspace/uploads/artigos/13crescimentosorgo-51817026453a6.pdf>. Acesso em: 14 Janeiro 2023.

FONSECA, L. R. M. *et al.* Desenvolvimento radicular e produção de gramíneas forrageiras inoculadas com *Azospirillum*. In: 71ª Reunião Anual da SBPC. 2019, Campo Grande. **Anais eletrônicos** [...]. Campo Grande: UFSM, 2019. Disponível em: [http://reunioessbpc.org.br/campogrande/inscitos/resumos/5073\\_145440e85cf4565e033a46dc4d47726e1.pdf](http://reunioessbpc.org.br/campogrande/inscitos/resumos/5073_145440e85cf4565e033a46dc4d47726e1.pdf). Acesso em: 19 Setembro 2022.

GALINDO, F. S. *et al.* Corn yield and foliar diagnosis affected by nitrogen fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1-18, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150364>. Acesso em: 06 Outubro 2022.

GALVANI, F.; GAERTNER, E. **Adequação da metodologia Kjeldahl para determinação de nitrogênio total e proteína bruta**. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2006. 9 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/812198/1/CT63.pdf>. Acesso em: 06 Setembro 2022.

GASPARETO, R. N. **Inoculação com bactérias promotoras de crescimento associado a doses de nitrogênio na nutrição e desempenho agrônomo de trigo no cerrado**. 2022. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, SP, 2022.

GOES, R. J. *et al.* Fontes e doses de nitrogênio em cobertura, no sorgo granífero na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, n. 2, p. 121-129, 2011. Disponível em: <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/345>. Acesso em: 21 Setembro 2022.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. 1. ed. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2011. 36 p.

KASPARY, T. E. *et al.* Determinação do estado nutricional em alface através da análise de tecidos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 2729-2734, 2013. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2013a/agrarias/determinacao%20do%20estado.pdf>. Acesso em: 06 Setembro 2022.

KLEIN, J. *et al.* Qualidade nutricional de plântulas de cultivares de trigo submetidas à inoculação com *Azospirillum*, bioestimulante e triadimenol. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 11, n. suplemento, p. 59-69, 2012. Disponível em: <https://saber.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/view/7871>. Acesso em: 13 Outubro 2022.

LESSA, B. F. T. *et al.* Modelos matemáticos para a estimativa da área foliar total em sorgo sacarino. **Energia na Agricultura**, v. 33, n. 2, p. 175-182, 2018. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/2967>. Acesso em: 10 Setembro 2022.

LOPES, E. M. G. **Perspectivas de uso de formulação de *Azospirillum brasilense* via foliar em linhagens de sorgo**. 2019. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Minas Gerais, Monte Carlos, MG, 2019.

MAGALHÃES, K. S.; NEGRI, B. F.; SOUZA, S. M. **Análise Morfológica do Sistema Radicular do Painele de Diversidade de Milho da Embrapa Milho e Sorgo**. 1. ed. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 32 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/949594/1/bol64.pdf>. Acesso em: 20 Setembro 2022.

MARCELO, A. V.; CORÁ, J. E.; FERNANDES, C. Sequências de culturas em sistema de semeadura direta: I-produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1553-1567, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500020>. Acesso em: 06 Outubro 2022.

MARUYAMA, T. M. **Avaliação de comprimento e diâmetro radicular do milho por técnicas de processamento digital de imagens**. 2016. Dissertação (Mestrado em computação aplicada) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR, 2016.

MATOS, F. S. A. *et al.* Quantificar a produtividade do sorgo granífero BRS 330 em um neossolo quartzarênico no sistema de plantio direto, utilizando diferentes dose de fertilizante organomineral. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 9, p. 91594-91605, 2021. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/36291>. Acesso em: 26 Setembro 2022.

MILLÉO, M. V. R.; CRISTÓFOLI, I. Avaliação da eficiência agrônômica da inoculação de *Azospirillum* sp. na cultura do milho. **Scientia Agraria**, v. 17, n. 3, p. 14-23, 2016. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/995/99549974002.pdf>. Acesso em: 06 Outubro 2022.

MOREIRA, R. C.; VALADÃO, F. C. A.; JÚNIOR, D. D. V. Desempenho agrônômico do milho em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**,



v. 62, 2019. Disponível em: <http://btcc.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/2865>. Acesso em: 26 Agosto 2022.

MORTATE, R. K. *et al.* Resposta de sorgo inoculado com *Azospirillum brasilense* a doses de nitrogênio em cobertura. **Revista Ciência Agrícola**, v. 18, n. 1, p. 65-72, 2020. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/revistacienciaagricola/article/view/7388>. Acesso em: 26 Agosto 2022.

MOTOMIYA, A. V. A. *et al.* Índice de vegetação no algodoeiro sob diferentes doses de nitrogênio e regulador de crescimento. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 169-177, 2014. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744139014.pdf>. Acessado em: 14 Setembro 2022.

MÜLLER, T. M. *et al.* Combination of inoculation methods of *Azospirillum brasilense* with broadcasting of nitrogen fertilizer increases corn yield. **Ciência Rural**, v. 46, n. 2, p. 210-215, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/ft8wDyvyPkzGzpFDtYYcQKp/?lang=en#ModalTablet1>. Acesso em: 10 Setembro 2022.

NAKAO, A. *et al.* Resposta do sorgo granífero à aplicação de diferentes doses e épocas de inoculante (*Azospirillum brasilense*) via foliar. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 2702-2714, 2014. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2014a/AGRARIAS/Resposta%20do%20sorgo.pdf>. Acesso em: 10 Setembro 2022.

NEGRI, B. F. *et al.* **Caracterização Morfológica de Acessos do Paineiro de Diversidade de Sorgo Avaliados em Solução Nutritiva sob Baixo Fósforo**. 1. ed. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2017. 25 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1082720/1/bol1158.pdf>. Acesso em: 20 Setembro 2022.

NOZAKI, M. H.; LORENZATTO, R.; MANCINI, M. Efeito do *Azospirillum* spp. em associação com diferentes doses de adubação mineral na cultura do trigo. **Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 17, n. 6, 2013. Disponível em: <https://ensaioseciencia.pgsskroton.com.br/article/view/2289>. Acesso em: 19 Setembro de 2022.

OLIVEIRA, S. A. Análise foliar. In: SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.) **Cerrado correção do solo e adubação**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2004. p. 245-256.

PAGNANI, G. *et al.* Open field inoculation with PGPR as a strategy to manage fertilization of ancient Triticum genotypes. **Biology and Fertility of Soils**, v. 56, n. 1, p. 111-124, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-019-01407-1>. Acessado em: 15 Setembro 2022.

PAIVA, A. P. L. *et al.* ***Azospirillum brasilense* para Mitigação do Estresse Hídrico no Sorgo BRS 332 Submetido a Diferentes Doses de Nitrogênio**. 1. ed. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 36 p.

PEREIRA, R. G. *et al.* Rendimento do sorgo granífero adubado com nitrogênio e fósforo no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 3, p. 284-299, 2014. Disponível em: <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/492>. Acesso em: 21 Setembro 2022.

PINNOW, C. *et al.* Qualidade industrial do trigo em resposta à adubação verde e doses de nitrogênio. **Bragantia**, v. 72, n. 1, p. 20-28, 2013. Disponível: <https://www.scielo.br/j/brag/a/cFnsJHFWHrxXXXRJggHYWvKD/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 30 Setembro 2022.

PRADO, R. M.; ROMUALDO, L. M.; ROZANE, D. E. Omissão de macronutrientes no desenvolvimento e no estado nutricional de plantas de sorgo (cv. BRS 3010) cultivadas em solução nutritiva. **Científica**, v. 35, n. 2, p. 122-128, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2007v35n2p122%20-%20128>. Acesso em: 10 Outubro 2022.

QUATRIN, M. P. *et al.* Response of dual-purpose wheat to nitrogen fertilization and seed inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Ciência e agrotecnologia**, v. 43, p. 1-10, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/PLjJLgcKV99ZqxcspLcrP9w/?lang=en#>. Acesso em: 21 Setembro 2022.

RISSINI, A. L. L.; KAWAKAMI, J.; GENÚ, A. M. Normalized difference vegetation index and yield of wheat cultivars under different application rates of nitrogen. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 39, n. 6, p. 1703-1713, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/xq8qCbBSpP4MtRH6nGk8Yzr/?lang=pt#>. Acessado em: 14 Setembro 2022.

ROCHA, R. A. S.; COLTRO, G. L.; LIZZONI, G. C. Adubação nitrogenada associada à inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Biodiversidade**, v. 19, n. 4, p. 73-81, 2020. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/biodiversidade/article/view/11313>. Acesso em: 01 Setembro 2022.

RONDINA, A. B. L. *et al.* Changes in root morphological traits in soybean co-inoculated with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* or treated with *A. brasilense* exudates. **Biology and Fertility of Soils**, v. 56, n. 4, p. 537-549, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-020-01453-0>. Acesso em: 26 Agosto 2022.

ROSA, H. J. A. *et al.* Identificação de resposta a doses de nitrogênio em cana-de-açúcar medida pelo Sensor Greenseeker. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão. 2012, Ribeirão Preto. **Anais eletrônicos** [...]. Ribeirão Preto: ConBAP, 2012. Disponível em: [https://www.agriculturadeprecisao.org.br/wp-content/uploads/2020/01/cgr-2012\\_19.pdf](https://www.agriculturadeprecisao.org.br/wp-content/uploads/2020/01/cgr-2012_19.pdf). Acesso em: 05 Setembro 2022.

SANTANA, C. A. **Inibidor de urease (NBPT) e a eficiência da ureia aplicada em dose única ou parcelada na cultura do sorgo sacarino**. 2018. Monografia (Curso de Engenharia Agrônômica) – Universidade Federal de São Carlos, Araras, SP, 2018.

SANTI, A. *et al.* Deficiências de macronutrientes em sorgo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 2, p. 228-233, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000200006>. Acesso em: 10 Outubro 2022.

SANTOS, F. A. **Manejo alternativo de sorgo granífero para safrinha em consórcio com soja superprecoce**. 2014. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SCHENK, M. K.; BARBER, S. A. Absorção de fosfato pelo milho em função das características do solo e morfologia radicular. **Soil Science Society of America Journal**, v. 43, n. 5, p. 880-883, 1979. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1979.03615995004300050012x>. Acesso em: 06 Setembro 2022.

SILVA, D. F. *et al.* Características morfológicas, melhoramento genético e densidade de plantio das culturas do sorgo e do milho: uma revisão. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 3, p. 1-9, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/issue/view/74>. Acesso em: 10 Setembro 2022.

SILVA, F. B. (Ed). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

SILVA, J. C. **O desenvolvimento e capacidade fitoextratora de plantas agrícolas cultivadas em solos com diferentes texturas e teores de cobre**. 2019. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, 2019.

SOARES, D. A. *et al.* Inoculation with *Azospirillum* combined with nitrogen fertilization in sorghum intercropped with Urochloa in off-season. **Revista Ceres**, v. 69, p. 227-235, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/JTxxgtFvLrjRjk8cJRPkQpPP/abstract/?lang=en>. Acesso em: 25 Agosto 2022.

SOUSA, F. G. **Isolamento, identificação e seleção de bactérias diazotróficas promotoras de crescimento vegetal associadas à cultura do sorgo, em solos de diferentes biomas**. 2017. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA, 2017.

SOUSA, G. C. *et al.* Emergência e crescimento inicial de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) em diferentes substratos. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 11, n. 4, p. 63-71, 2016.

SOUSA, S. M. *et al.* **Cepas de *Bacillus* e *Azospirillum* Aumentam o Crescimento e a Absorção de Nutrientes em Milho em Condições Hidropônicas**. 1. ed. Sete Lagoas, MG:Embrapa Milho e Sorgo, 2018. 31 p.

SOUSA, L. F. *et al.* Método prático e eficiente para estimar a área foliar de gramíneas forrageiras tropicais. **Archivos de Zootecnia**, v. 64, n. 245, p. 83-85, 2015. Disponível em:

<https://www.uco.es/servicios/ucopress/az/index.php/az/article/view/380>. Acesso em: 06 Setembro 2021.

SOUZA, T. M. *et al.* Composição química e desoxinivalenol em trigo da região Centro-Sul do Paraná: Adubação nitrogenada em cobertura associada com *Azospirillum brasilense*. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 327-341, 2014. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744139027.pdf>. Acesso em: 01 Outubro de 2022.

SPAEPEN, S. *et al.* Characterization of phenylpyruvate decarboxylase, involved in auxin production of *Azospirillum brasilense*. **Journal of Bacteriology**, v. 189, n. 21, p. 7626-7633, 2007. Disponível em: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/JB.00830-07>. Acesso em: 20 Setembro 2022.

TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, v. 63, n. 3, p. 995-1001, 1975. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2258617>. Acesso em: 06 Setembro 2022.

VENTURA, M. V. A. *et al.* Diferentes métodos de inoculação de bactérias fixadoras de nitrogênio (*Azospirillum*) específicas de gramíneas em sorgo. **Ipê Agronomic Journal**, v. 4, n. 2, p. 1-8, 2020. Disponível em: <http://anais.unievangelica.edu.br/index.php/ipeagronicjournal/article/view/6366>. Acesso em: 19 Setembro de 2022.

VIDEIRA, S. S.; ARAÚJO, J. L. S.; BALDANI, V. L. D. **Metodologia para isolamento e posicionamento taxonômico de bactérias diazotróficas oriundas de plantas não leguminosas**. 1. ed. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 2007. 74 p.

VIDOTTI, M. S. *et al.* Additive and heterozygous (dis) advantage GWAS models reveal candidate genes involved in the genotypic variation of maize hybrids to *Azospirillum brasilense*. **Plos one**, v. 14, n. 9, p. 1-21, 2019. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0222788>. Acesso em: 01 Setembro 2022.

XAVIER, W. D. **Sensores para estimativa de nitrogênio e pigmentos fotossintetizantes em sorgo sacarino**. 2021. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Instituto Federal Goiano, Rio Verde, GO, 2021.

ZEFA, D. M. *et al.* *Azospirillum brasilense* promotes increases in growth and nitrogen use efficiency of maize genotype. **Plos one**, v. 14, n. 4, p. 1-19, 2019. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0215332#sec009>. Acesso em: 26 Agosto 2022.

## 4 CAPÍTULO 2: FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NO DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE SORGO GRANÍFERO

### 4.1 RESUMO

Os fungos micorrízicos arbusculares aumentam a absorção de água e nutrientes do solo pelas plantas. Contudo, seus benefícios às plantas variam de acordo com a espécie inoculada. O objetivo deste estudo foi selecionar espécies de fungos micorrízicos arbusculares eficientes para o desenvolvimento e produtividade de duas cultivares de sorgo granífero adubadas com fertilizante inorgânico. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 5, sendo duas cultivares de sorgo (BRS 310 e BRS 330) e cinco inóculos de fungos micorrízicos arbusculares [Testemunha (sem inoculação), *Gigaspora margarita*, *Glomus formosanum*, *Acaulospora scrobiculata* e *Scutellospora pellucida*], com quatro repetições. Avaliou-se altura de planta; diâmetro do colmo; área foliar; NDVI; clorofila; comprimento, volume, área superficial específica e diâmetro da raiz; massa seca de panícula, da raiz e aérea; comprimento e diâmetro da panícula; peso de mil grãos; produtividade de grão; teor de proteína, P e K dos grãos; colonização micorrízica e número de esporos. A inoculação dos fungos aumentou o NDVI e a proteína dos grãos. As espécies *G. formosanum* e *A. scrobiculata* promoveram o desenvolvimento do sorgo granífero, sendo que *G. formosanum* contribuiu para maior comprimento da panícula, massa seca, área superficial específica, comprimento e volume da raiz, enquanto *A. scrobiculata* contribuiu para maior altura de planta, área foliar, massa seca de panícula, massa seca aérea e clorofila. A inoculação com os fungos *S. pellucida* e *A. scrobiculata* aumentou o peso de mil grãos, produtividade de grãos e os teores de P e K dos grãos.

**Palavras-chave:** *Acaulospora scrobiculata*. *Gigaspora margarita*. *Glomus formosanum*. Granífero. *Scutellospora pellucida*.

### 4.2 ABSTRACT

Arbuscular Arbuscular mycorrhizal fungi increase the absorption of water and nutrients from the soil by plants. However, its benefits to plants vary according to the inoculated species. The objective of this study was to select species of arbuscular mycorrhizal fungi efficient for the development and productivity of two grain sorghum cultivars fertilized with inorganic fertilizer. The experimental design was completely randomized in a 2 x 5 factorial scheme, with two sorghum cultivars (BRS 310 and BRS 330) and five inoculations of arbuscular mycorrhizal fungi [Control (without inoculation), *Gigaspora margarita*, *Glomus formosanum*, *Acaulospora scrobiculata* and *Scutellospora pellucida*], with four replications. Plant height was evaluated; stem diameter; leaf area; NDVI; chlorophyll; root length, volume, specific surface area and diameter; panicle, root and aerial dry mass; panicle length and diameter; thousand grain weight; grain productivity; protein, P and K content of grains; mycorrhizal colonization and number of spores. Fungal inoculation increased NDVI and grain protein. The species *G. formosanum* and *A. scrobiculata* promoted the development of grain sorghum, with *G. formosanum* contributing to greater panicle length, dry mass, specific surface area,

root length and volume, while *A. scrobiculata* contributed to greater plant height, leaf area, panicle dry mass, aerial dry mass and chlorophyll. Inoculation with the fungi *S. pellucida* and *A. scrobiculata* increased the thousand grain weight, grain yield and P and K contents of the grains.

**Keywords:** *Acaulospora scrobiculata*. *Gigaspora margarita*. *Glomus formosanum*. Graniferous. *Scutellospora pellucida*.

### 4.3 INTRODUÇÃO

O cultivo do sorgo granífero no Brasil está em expansão, na safra 2021/2022 foram cultivadas 1,032 milhão de hectares com cereal, já para safra 2022/2023 a previsão é que sejam cultivadas 1,054 milhão de hectares, sendo cultivado como a principal opção para a produção de grãos em situações que o déficit hídrico oferece risco ao cultivo do milho (CONAB, 2023; MENEZES et al., 2021). Contudo sua produtividade média nacional na safra 2021/2022 foi de apenas 2,76 t ha<sup>-1</sup>, sendo esse um valor muito abaixo do potencial produtivo da cultura que pode ser de até 7,0 t ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2023; MENEZES; SILVA; SANTOS, 2021). O baixo investimento em adubação de base e em cobertura e os fertilizantes empregados contribuem para a baixa produtividade do sorgo, pois a disponibilidade de nutrientes afeta seu potencial de produção (BIESDORF et al., 2018; MENEZES et al., 2018).

As necessidades nutricionais do sorgo são essencialmente supridas com fertilizantes inorgânicos, dos quais somente entre 10 e 40% do aplicado são utilizados pelas plantas, sendo o restante transformado em poluentes e somado ao alto valor de aquisição, aumenta o custo de produção do cereal (FRANCO; RAMIREZ; CHÁIREZ, 2019). Diante desse cenário, surge a necessidade de se desenvolver práticas agronômicas que aumentem a produtividade do sorgo, sendo a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) nas plantas uma das alternativas promissoras (FRANCO; HERNÁNDEZ; DEL RÍO, 2008; FRANCO et al., 2014).

Os FMAs formam associações mutualísticas com 80% das espécies vegetais, que permitem às plantas o aumento absorção de água e de nutrientes, devido ao seu micélio fúngico externo atuar como uma extensão do sistema radicular, aumentando a capacidade de exploração do solo, também contribuem para a redução dos efeitos de condições abióticas adversas, na produção de fitohormônios estimuladores do crescimento vegetal e na estimulação da ação protetora contra alguns fitopatógenos do solo (FRANCO; RAMIREZ; CHÁIREZ, 2019; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; NOVAIS et al., 2017; RODRIGUES; BARROSO; FIQUEIREDO, 2018). Desse modo, no sorgo granífero a inoculação de FMA ocasiona o aumento da altura de planta, diâmetro do colmo, volume da raiz, número de

perfilhos (BARROS, 2022); matéria seca da parte aérea, peso de grãos, produção de grãos, teores foliares de N, P, K, Zn e Cu (BREISSAN et al., 2001) e da massa seca da raiz (PÉREZ; RODRÍGUEZ; SUÁREZ, 2018).

No entanto, os benefícios às plantas hospedeiras podem variar dependendo da espécie de fungo micorrízico utilizada, assim, para viabilizar a utilização dos FMA nas plantas é essencial isolar fungos que sejam capazes de melhorar o seu desenvolvimento e produtividade (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; FRANCO et al., 2014). Contudo, persiste a dúvida sobre quais espécies de FMAs promovem os maiores benefícios nas cultivares de sorgo granífero adubadas com fertilizante inorgânico. Desse modo, o estudo objetivou selecionar espécies de fungos micorrízicos arbusculares eficientes para o desenvolvimento e produtividade de duas cultivares de sorgo granífero adubadas com fertilizante inorgânico.

#### 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

##### 4.4.1 Alocação do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Ciências Agrônômicas e Ambientais da Universidade Federal de Santa Maria, campus de Frederico Westphalen, por 152 dias, de Outubro de 2021 a Março de 2022. O solo utilizado no experimento foi coletado na camada de 0-20 cm e caracterizado como Latossolo Vermelho (SANTOS et al., 2018). Após a coleta, o solo foi peneirado em malha de 2 mm e misturado com areia fina na proporção de 65% (v/v) de solo peneirado e 35% (v/v) de areia fina para obtenção de uma textura próxima a 45% de argila, a fim de facilitar as avaliações. Em seguida o solo foi esterilizado em autoclave a 121°C, em 3 ciclos de 30 min, posteriormente a isso uma amostra desse solo esterilizado foi retirada para análise dos atributos químicos e físicos, que apresentaram as seguintes características: 460 g kg<sup>-1</sup> de argila; 5,3 de pH em água; 4,6 mg dm<sup>-3</sup> de P; 27,5 mg dm<sup>-3</sup> de K; 10 g kg<sup>-1</sup> de MO; 1,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca; 1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg; 4,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H + Al; 4,2 mg dm<sup>-3</sup> de Cu e 1,3 mg dm<sup>-3</sup> de Zn.

Com base na análise de solo realizou-se a calagem com aplicação de calcário dolomítico, para atingir pH em água de 6,5, 62 dias antes da semeadura. Após esse procedimento, o solo foi acondicionado em vasos plásticos esterilizados de 5 L. Adubação do sorgo granífero foi realizada no momento da semeadura e em cobertura, conforme a necessidade apresentada na análise de solo, de acordo com recomendação do Manual de Calagem e Adubação para os Estados do RS e SC (CQFS, 2016), visando um potencial de

produção 5 t ha<sup>-1</sup>. A adubação consistiu de 100 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio, 833 kg ha<sup>-1</sup> de super fosfato triplo, 224 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio aplicados no momento da semeadura e 155 kg ha<sup>-1</sup> de ureia aplicada em cobertura, aos 35 dias após a emergência das plantas.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, em um esquema fatorial 2 x 5. Sendo duas cultivares de sorgo granífero (BRS 310 e BRS 330) inoculadas com cinco inóculos [Testemunha (sem inoculação) e quatro espécies de fungos micorrízicos arbusculares: *Gigaspora margarita* (*G. margarita*), *Glomus formosanum* (*G. formosanum*), *Acaulospora scrobiculata* (*A. scrobiculata*) e *Scutellospora pellucida* (*S. pellucida*)].

Os isolados dos FMAs (*G. margarita*, *G. formosanum*, *A. scrobiculata* e *S. pellucida*) foram obtidos da coleção da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ, BR). A inoculação dos FMAs nas plantas foi realizada através da aplicação de 30 esporos de cada isolado em cada vaso, correspondente ao tratamento. Os esporos de cada isolado de fungo micorrízico, foram aplicados 5 minutos antes da semeadura nos orifícios aberto no solo para colocação das sementes.

A semeadura das cultivares foi realizada em sete de outubro, sendo semeadas cinco sementes por vaso, dez dias após a semeadura foi realizado o desbaste deixando apenas uma planta por vaso até final do experimento. As sementes utilizadas foram desinfetadas com hipoclorito de sódio 2% por dez minutos e lavadas três vezes em água esterilizada, antes da semeadura. As plantas foram conduzidas em vasos plásticos com capacidade de 5 L, os quais haviam sido preenchidos com 5 kg da mistura solo e areia. Cada vaso, contendo uma planta de sorgo granífero, foi considerado uma unidade experimental neste estudo. A irrigação das plantas foi realizada diariamente por meio de um sistema de irrigação automático por aspersão, mantendo-se a umidade em 80% da capacidade de campo.

#### 4.4.2 Parâmetros avaliados

O índice relativo de clorofila (IRC) das folhas foi determinado através de clorofilômetro portátil (ClorofiLOG<sup>®</sup>, Falker, Porto Alegre, RS, BR, modelo CFL 1030) (FALKER, 2018), a partir de três leituras realizada na folha superior totalmente expandida, aos 88 dias após a semeadura. O equipamento forneceu instantaneamente os resultados em unidades adimensionais chamados valores de IRC.

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foi definido através de um sensor óptico ativo portátil (GreenSeeker<sup>®</sup>, Trimble Navigation Limited, Sunnyvale, CA,



EUA, Modelo 505) que utiliza bandas da região do vermelho (660±15nm) e do infravermelho próximo (770±15nm) para cálculo do NDVI (ROSA et al., 2012). A leitura foi realizada 70 dias após semeadura, posicionando equipamento 0,80 m do dossel da planta.

No estágio de pleno florescimento, 88 dias após a semeadura, foi avaliada a área foliar (AF) por meio do método do triângulo/trapézio proposto por Sousa et al. (2015). Para determinação da AF por esse método foram realizadas três medidas em cada folha da planta (comprimento total - Med-A), (largura da base do limbo - Med-B) e (largura do meio do limbo - Med-C), obtidas com régua milimetrada, sendo a Área foliar (cm<sup>2</sup>) = área do triângulo [(Med-C)\*(Med-A/2)/2] + área do trapézio [((Med-C + Med-B)/2)\*(Med-A/2)]. AF total de cada planta foi obtida a partir do somatório da AF de cada folha existente na planta.

Ao final do ciclo da cultura foi avaliado: altura de planta (AP), com uma régua graduada, medindo a distância do colo das plantas até inserção da panícula; o diâmetro do colmo (DC), com paquímetro digital (Black Jack Tools®, Campinas, SP, BR); comprimento da panícula (CP) com régua graduada, medindo a distância da base do ráqui até o ápice da panícula; diâmetro da panícula (DC) com paquímetro digital (Black Jack Tools®, Campinas, SP, BR) posicionado na região central da panícula; peso de mil grãos (PMG), obtido pela contagem manual de mil grãos e produtividade de grãos (PG), obtida através dos grãos existentes na panícula da planta, contudo foi extrapolada para uma população de 180.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Tanto no PMG quanto na PG os grãos foram pesados em balança analítica e tiveram sua umidade corrigida para 13%. A Massa seca da panícula (MSP) e da parte aérea (MSPA) foram obtidas através da secagem do material em estufa a 65±1°C até massa constante, determinado em balança analítica. A parte aérea foi separada da radicular na região do colo da planta.

Após a coleta da parte aérea, as raízes das plantas foram separadas do solo por meio da lavagem com água corrente usando-se peneiras com malha de 0,5 mm, em seguida foi determinado o volume da raiz (VR), através do método da proveta graduada conforme Araújo et al. (2013) e a massa fresca do sistema radicular (MFSR), obtida através da pesagem em balança analítica. Na sequência esse material foi colocado em estufa a 65±1°C até massa constante, posteriormente pesado em balança analítica para a determinação da massa seca da raiz (MSR). A partir de uma amostra de 0,5g MFSR determinou-se o comprimento radicular total da planta (CR) pelo método de Tennant (1975) e a área superficial específica da raiz (ASE) segundo Schenk; Barber (1979). O diâmetro médio das raízes (D) foi determinado de acordo com Maruyama (2016).

A avaliação da colonização micorrízica das raízes, foi realizada com 1 grama de raízes frescas, por meio da técnica de clarificação e coloração de raízes com Azul de Trypan 0,05% (PHILLIPS; HAYMAN, 1970) e a porcentagem de colonização estimada em seis repetições por planta pelo método da placa quadriculada descrito por Giovannetti; Mosse (1980).

A extração dos esporos presentes em 50 mL de solo em que as plantas haviam sido cultivadas foi realizada pelo método de peneiramento úmido descrito por Gerdemann; Nicolson (1963), seguido de centrifugação em solução sacarose. Após o procedimento de extração, os esporos presentes em cada amostra de solo analisada foram colocados em placa de Petri e com auxílio de uma lupa contados manualmente.

Para definição dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) dos grãos, amostras secas de grãos foram moídas em moinho tipo Willey com peneira de malha 10 mesh e digeridas em solução sulfúrica conforme descrito por Kaspary et al. (2013). Os teores de N, P e K, foram determinados por método KJELDAHL, colorimetria e fotometria de chama respectivamente (SILVA, 2009). O teor de proteína dos grãos foi obtido pela multiplicação do teor de nitrogênio dos grãos pelo fator 6,25 (GALVANI; GAERTNER, 2006).

#### 4.4.3 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância, quando houve interação significativa, foi comparado efeito das fontes de inóculo dentro de cada cultivar bem como entre cultivares, através do teste de comparação de média Scott-Knott a 5% de probabilidade ( $p \leq 0,05$ ), já quando não houve interação significativa, se analisou os efeitos simples dos fatores pelo mesmo teste de comparação de média. As análises foram realizadas com auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

#### 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa entre inóculo e cultivares de sorgo granífero para massa seca da raiz (MSR), volume da raiz (VR), comprimento da raiz (CR), diâmetro da raiz (D) e área superficial específica da raiz (ASE).

A massa seca da raiz das plantas de sorgo da cultivar BRS 310 com a inoculação do fungo *S. pellucida* foi 28,73 e 17,90% maior que a testemunha e a cultivar BRS 330 respectivamente, já a inoculação com os fungos *G. formosanum* e *G. margarita* aumentou a massa seca de raiz na cultivar BRS 330 em 46,60 e 36,37% em relação à testemunha, e

também em relação a cultivar BRS 310 em 20,57 e 26,32% respectivamente (Tabela 1). O aumento da massa seca da raiz do sorgo com inoculação de FMAs foi observado em outros estudos (BARROS, 2022; FRANCO; RAMIREZ; CHÁIREZ, 2019; PÉREZ; RODRÍGUEZ; SUÁREZ, 2018), sendo atribuído a fitohormônios produzidos pelos fungos micorrízicos durante a simbiose, bem como a formação de hifas do fungo nas raízes das plantas (FRANCO et al., 2014; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Tabela 1 - Massa seca da raiz (MSR), volume da raiz (VR) e o comprimento da raiz (CR) de duas cultivares de sorgo granífero inoculadas com os fungos micorrízicos *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus formosanum*, *Gigaspora margarita*, *Scutellospora pellucida* e testemunha (sem inoculação).

Inóculo	Cultivar					
	BRS 310	BRS 330	BRS 310	BRS 330	BRS 310	BRS 330
	MSR (g)		VR (cm <sup>3</sup> )		CR (m)	
Testemunha	21,75 Ab*	22,00 Ab	133,25 Ac	92,50 Bd	6,26 Bc	7,58 Ab
<i>A. scrobiculata</i>	22,50 Ab	22,25 Ab	142,75 Ac	93,25 Bd	7,31 Ab	7,55 Ab
<i>G. formosanum</i>	26,75 Ba	32,25 Aa	151,00 Bb	167,75 Aa	8,55 Ba	9,50 Aa
<i>G. margarita</i>	23,75 Bb	30,00 Aa	135,00 Bc	147,50 Ab	7,57 Bb	8,41 Ab
<i>S. pellucida</i>	28,00 Aa	23,75 Bb	165,00 Aa	121,25 Bc	9,38 Aa	8,12 Bb
CV %	9,88		4,91		7,91	

Fonte: Autor (2023).

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

O volume da raiz da cultivar BRS 310 inoculada com *S. pellucida* foi 23,83 e 36,09% maior que o da testemunha e o da cultivar BRS 330 respectivamente, contudo com inoculação do fungo *G. formosanum* o volume da raiz da cultivar BRS 330 foi maior 81,36 e 40% em relação à testemunha e a cultivar BRS 310, respectivamente (Tabela 1). Aumento do volume da raiz do sorgo inoculado com FMAs também foi observado por Barros (2022) e em outras culturas como, por exemplo, o milho (NUNES et al., 2019). Estando provavelmente relacionado ao micélio externo produzido pelos FMAs na raiz do hospedeiro, que aumenta o volume da raiz, o que possibilita as plantas explorarem maior área de solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; NOVAIS et al., 2017).

O comprimento da raiz das plantas de sorgo da cultivar BRS 310 inoculada com *S. pellucida* foi 49,85 e 15,52% maior que o da testemunha e o da cultivar BRS 330 respectivamente, entretanto com inoculação do fungo *G. formosanum* o comprimento da raiz

da cultivar BRS 330 foi 25,33 e 11,12% maior em relação à testemunha e a cultivar BRS 310, respectivamente, a inoculação desse fungo também aumentou na cultivar BRS 310 em 36,58% comprimento da raiz em relação à testemunha (Tabela 1). Ao analisar o sistema radicular do trigo Turchetto (2021) também verificou aumento do comprimento de raiz com inoculação FMAs as plantas. Os FMAs produzem hifas externas nas raízes das plantas as quais funcionam como extensão do sistema radicular das plantas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; NOVAIS et al., 2017). A espécie *G. formosanum* foi à única eficiente em aumentar o comprimento de raiz na cultivar BRS 330 em comparação à testemunha (Tabela 1).

O diâmetro da raiz das plantas de sorgo da cultivar BRS 310 diminui com a inoculação dos fungos *A. scrobiculata*, *G. formosanum*, *G. margarita* e *S. pellucida* em 7,07; 13,13; 9,09 e 16,16% respectivamente quando comparado à testemunha. Na cultivar BRS 330 somente a inoculação do fungo *G. formosanum* ocasionou diminuição do diâmetro da raiz em relação à testemunha sendo de 9,89% (Tabela 2). A redução no diâmetro da raiz proporcionada pelos FMAs contribui para o predomínio de raízes finas, que juntamente com hifas externas dos fungos aumentam à absorção de nutrientes as plantas, devido terem acesso a poros do solo de pequeno diâmetro (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). As espécies de FMAs que ocasionam a diminuição do diâmetro da raiz (Tabela 2), também aumentam significativamente o seu comprimento (Tabela 1).

Tabela 2 - Diâmetro da raiz (D) e área superficial específica da raiz (ASE) de duas cultivares de sorgo granífero inoculadas com os fungos micorrízicos *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus formosanum*, *Gigaspora margarita*, *Scutellospora pellucida* e testemunha (sem inoculação).

Inóculo	Cultivar			
	BRS 310	BRS 330	BRS 310	BRS 330
	D (mm)		ASE (cm <sup>2</sup> )	
Testemunha	0,99 Aa*	0,91 Ba	1.949 Bc	2.166 Ab
<i>A. scrobiculata</i>	0,92 Ab	0,91 Aa	2.123 Ab	2.152 Ab
<i>G. formosanum</i>	0,86 Ac	0,82 Ab	2.303 Aa	2.438 Aa
<i>G. margarita</i>	0,90Ab	0,86 Aa	2.150 Ab	2.282 Ab
<i>S. pellucida</i>	0,83 Ac	0,88 Aa	2.444 Aa	2.241 Bb
CV %	3,92		4,37	

Fonte: Autor (2023).

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

A área superficial específica (ASE) da raiz da cultivar BRS 310, inoculada com os fungos *S. pellucida* e *G. formosanum* foi 25,40 e 18,17% maior respectivamente em relação à testemunha, a *S. pellucida* também aumentou a área superficial específica da raiz dessa cultivar em 9,06% em comparação BRS 330, na cultivar BRS 330 a inoculação com *G. formosanum* aumentou ASE da raiz em relação aos demais tratamentos, sendo em comparação a testemunha verificado um aumento de 12,57% (Tabela 2). O aumento da ASE da raiz ocasionado pelos FMAs ocorre em decorrência do aumento do comprimento e redução do diâmetro da raiz pelos FMAs, pois raízes mais finas e compridas possuem maior área superficial. As hifas externas produzidas por FMAs junto às raízes da planta hospedeira por serem muito finas também contribuem para o aumento da área superficial da raiz das plantas micorrizadas (NOVAIS et al., 2017).

Os resultados não evidenciaram interação significativa entre as fontes de inóculo e as cultivares de sorgo para a altura de planta (AP), índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e área foliar (AF), havendo apenas efeito simples significativo das fontes de inóculo e da cultivar para área foliar.

A inoculação somente do FMA *A. scrobiculata*, proporcionou aumento significativo na altura de planta em relação aos demais tratamentos (Tabela 3). O aumento da altura das plantas de sorgo com inoculação do FMA *A. scrobiculata* também foi verificado por Barros (2022). As hifas produzidas por esses fungos aumentam o volume de solo explorado pelo sistema radicular das plantas inoculadas proporcionando maior eficiência na absorção de água e nutrientes, resultando em maior crescimento vegetativo (ABREU et al., 2018).

Tabela 3 - Altura de planta (AP), índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e área foliar (AF) do sorgo granífero inoculado com os fungos micorrízicos *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus formosanum*, *Gigaspora margarita*, *Scutellospora pellucida* e testemunha (sem inoculação).

Inóculo	AP (m)	NDVI	AF (cm <sup>2</sup> )
Testemunha	1,13 b*	0,22 b	1.296 b
<i>A. scrobiculata</i>	1,19 a	0,56 a	1.727 a
<i>G. formosanum</i>	1,14 b	0,58 a	1.414 b
<i>G. margarita</i>	1,12 b	0,57 a	1.597 a
<i>S. pellucida</i>	1,14 b	0,58 a	1.544 a
CV %	3,68	22,55	14,75

Fonte: Autor (2023).

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

A inoculação dos FMAs *A. scrobiculata*, *G. formosanum*, *G. margarita* e *S. pellucida* possibilitou aumento significativo médio de 160% no NDVI das plantas de sorgo em comparação ao da testemunha (Tabela 3). Nesse sentido, Magalhães (2022) verificou que aplicação de fertilizante organomineral inoculado com FMAs em plantas de triticales também ocasionou aumento do NDVI. O aumento do NDVI com inoculação dos FMAs acontece em função desses fungos aumentarem a absorção de nitrogênio na planta hospedeira, pois o NDVI possui relação direta com o manejo do nitrogênio nas plantas da família Poaceae (BREDEMEIER; VIAN; PIRES, 2016; NOVAIS et al., 2017; POVH et al., 2008).

As plantas de sorgo inoculadas com FMAs *A. scrobiculata*, *G. margarita* e *S. pellucida* tiveram sua área foliar aumentada significativamente em 33,26; 23,23 e 19,14%, respectivamente, quando comparada à testemunha (Tabela 3). O aumento da área foliar do sorgo granífero com a inoculação de FMAs também foi verificado por Barros (2022) e no milho por Nunes et al. (2019) e Júnior et al. (2018). O aumento da área foliar ocasionado pelos fungos micorrízicos arbusculares proporciona ampliação da área fotossintética, o que beneficia a assimilação de carbono nas plantas e conseqüentemente o seu desenvolvimento vegetativo (JUNIOR et al., 2018; LESSA et al., 2018).

A clorofila a, b e total não evidenciaram interação significativa entre as fontes de variação, apenas efeito simples significativo de inóculo. A inoculação dos FMAs, *A. scrobiculata*, *G. formosanum*, *G. margarita* e *S. pellucida* aumentou a clorofila total (clorofila a + b) das plantas em 96,75; 92,61; 74,05 e 85,13% respectivamente, em relação à testemunha (Tabela 4). A clorofila a e b das plantas de sorgo (BARROS, 2022) e de outras culturas agrícolas, como a soja (ANDREOLA, 2021) também aumentou com a inoculação de FMAs. Os FMAs proporcionam às plantas o aumento da absorção de nutrientes do solo, dentre eles o nitrogênio, nutriente esse que exerce influência direta nas quantidades de clorofila das plantas, devido a ser componente estrutural dessas moléculas (NOVAIS et al., 2017; XAVIER, 2021).

Tabela 4 - Clorofila a (A), clorofila b (b) e clorofila total (C) das plantas de sorgo granífero inoculado com os fungos micorrízicos *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus formosanum*, *Gigaspora margarita*, *Scutellospora pellucida* e testemunha (sem inoculação).

Inóculo	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
Testemunha	19,39 c*	4,27 b	23,66 c
<i>A. scrobiculata</i>	35,04 a	11,51 a	46,55 a
<i>G. formosanum</i>	34,45 a	11,12 a	45,57 a
<i>G. margarita</i>	30,95 b	10,23 a	41,18 b
<i>S. pellucida</i>	33,74 a	10,06 a	43,80 a
CV %	8,71	13,37	8,54

Fonte: Autor (2023).

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Os resultados de comprimento de panícula (CP), diâmetro de panícula (DP) e da massa seca da parte aérea (MSPA) demonstraram interação significativa entre as fontes de variação. O comprimento de panícula das plantas da cultivar BRS 310 com inoculação do fungo *A. scrobiculata* foi 21,12% maior que o da cultivar BRS 330, sendo juntamente com *G. formosanum* 23,87 e 17,05% respectivamente maior que a testemunha, enquanto na cultivar BRS 330 os fungos *G. formosanum*, *G. margarita* e *S. pellucida* aumentaram, respectivamente em 18,52; 27,17 e 19,76% em relação à testemunha (Tabela 5). Na literatura outros estudos também evidenciaram o aumento do comprimento da panícula do sorgo com a inoculação de FMAs as plantas (FRANCO; HERNÁNDEZ; DEL RÍO, 2008; FRANCO; LÓPEZ; CHÁIREZ, 2015; FRANCO; RAMIREZ; CHÁIREZ, 2019). Panículas mais compridas podem apresentar número mais elevado de grãos e, por consequência, maior massa de grãos por planta (CRUSCIOL et al., 2011). Nesse caso, destaca-se o fungo *G. formosanum* como o único eficiente em aumentar o comprimento da panícula de ambas as cultivares de sorgo granífero testadas.

Tabela 5 - Comprimento da panícula (CP), diâmetro da panícula (DP) e massa seca da parte aérea (MSPA) de duas cultivares de sorgo granífero inoculadas com os fungos micorrízicos *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus formosanum*, *Gigaspora margarita*, *Scutellospora pellucida* e testemunha (sem inoculação).

Inóculo	Cultivar					
	BRS 310	BRS 330	BRS 310	BRS 330	BRS 310	BRS 330
	CP (cm)		DP (mm)		MSPA (g)	
Testemunha	22,00 Ab*	20,25 Ab	10,50 Ac	8,88 Bc	18,16 Bb	30,70 Ab
<i>A. scrobiculata</i>	27,25 Aa	22,50 Bb	14,39 Aa	9,28 Bc	22,37 Ba	34,15 Aa
<i>G. formosanum</i>	25,75 Aa	24,00 Aa	12,05 Ab	10,90 Bb	19,25 Bb	32,33 Ab
<i>G. margarita</i>	23,25 Ab	25,75 Aa	11,06 Bc	13,30 Aa	19,27 Bb	35,35 Aa
<i>S. pellucida</i>	25,25 Ab	24,25 Aa	12,03 Ab	10,88 Bb	22,17 Ba	31,97 Ab
CV %	7,14		5,08		6,23	

Fonte: Autor (2023).

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

A inoculação dos fungos micorrízicos *A. scrobiculata*, *G. formosanum* e *S. pellucida* induziu maior diâmetro da panícula da cultivar BRS 310 em comparação a BRS 330, sendo ainda 37,05; 14,77 e 14,58% respectivamente maior que a testemunha, enquanto na cultivar BRS 330 a inoculação de *G. formosanum*, *G. margarita* e *S. pellucida* foi 22,75; 49,78 e 22,53%, respectivamente maior, que a testemunha (Tabela 5). Os FMA possibilitam aumento da absorção de fósforo e nitrogênio às plantas e, a disponibilidade desses nutrientes para o sorgo granífero tem influência direta no desenvolvimento do diâmetro da panícula e no comprimento (NOVAIS et al., 2017; PEREIRA et al., 2014).

A MSPA da cultivar BRS 310 com os fungos *A. scrobiculata* e *S. pellucida* aumentou 23,19 e 22,09% respectivamente, em relação à testemunha, já na cultivar BRS 330 que apresenta maior MSPA que BRS 310, os fungos *G. margarita* e *A. scrobiculata* aumentaram em 15,15 e 11,24% respectivamente, em comparação à testemunha (Tabela 5). O aumento da MSPA do sorgo com a inoculação de FMAs também foi relatado em outras pesquisas (BARROS, 2022; FRANCO; RAMIREZ; CHÁIREZ, 2019; PÉREZ; RODRÍGUEZ; SUÁREZ, 2018). Os benefícios nutricionais e não nutricionais proporcionados por FMAs que aumentam o desenvolvimento das plantas provavelmente possibilitam a maior produção de MSPA (MORREIRA; SIQUEIRA, 2006; PÉREZ; RODRÍGUEZ; SUÁREZ, 2018). Assim, a MSPA de cultivares de sorgo varia em função da espécie FMA inoculada, sendo a *A. scrobiculata* eficiente em aumentar esse parâmetro em ambas as cultivares.



Os resultados de massa seca de panícula (MSP), produtividade de grãos (PG), peso de mil grãos (PMG) e diâmetro do colmo (DC) não evidenciaram interação significativa entre as fontes de inóculo e as cultivares, contudo houve efeito simples significativo das fontes de inóculo exceto para diâmetro do colmo (DC) e das cultivares.

A MSP do sorgo foi significativamente maior com a inoculação de *A. scrobiculata*, seguido de *G. formosanum* e *S. pellucida*, sendo 48,93; 24,47 e 24,47% respectivamente, maiores que a testemunha (Tabela 6). A maior absorção de nitrogênio das plantas proporcionada pelos FMAs possibilita o aumento da produção da MSP, pois o nitrogênio possui influência direta no crescimento e desenvolvimento das panículas (ALBUQUERQUE et al., 2020; ROCHA; COLTRO; LIZZONI, 2020).

Tabela 6 - Massa seca de panícula (MSP), peso de mil grãos (PMG) e produtividade de grãos (PG), do sorgo granífero inoculado com os fungos micorrízicos *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus formosanum*, *Gigaspora margarita*, *Scutellospora pellucida* e testemunha (sem inoculação).

Inóculo	MSP (g)	PMG (g)	PG (kg ha <sup>-1</sup> )
Testemunha	4,17 c*	15,62 c	2.381 c
<i>A. scrobiculata</i>	6,21 a	19,24 b	2.997 b
<i>G. formosanum</i>	5,19 b	16,42 c	2.524 c
<i>G. margarita</i>	4,38 c	15,88 c	2.439 c
<i>S. pellucida</i>	5,19 b	20,79 a	3.204 a
CV %	8,66	5,01	6,96

Fonte: Autor (2023).

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

O peso de mil grãos de sorgo e produtividade de grãos foi significativamente maior com a inoculação de *S. pellucida*, seguido de *A. scrobiculata*, sendo o peso de mil grãos 33,10 e 23,18% respectivamente e a produtividade de grãos 34,57 e 25,88% respectivamente, maiores que a testemunha (Tabela 6). A inoculação de FMAs também proporcionou aumento da produtividade de grãos do sorgo em outros estudos (FRANCO; HERNÁNDEZ; DEL RÍO, 2008; FRANCO; LÓPEZ; CHÁIREZ, 2015; FRANCO; RAMIREZ; CHÁIREZ, 2019). A melhor nutrição das plantas ocasionada pelos FMAs devido ao micélio externo do fungo aumentar a sua capacidade explorar o solo proporciona além do incremento no desenvolvimento também aumento da produtividade (FRANCO; RAMIREZ; CHÁIREZ,

2019; NOVAIS et al., 2017). Desse modo, das espécies FMAs avaliadas a *S. pellucida* é que proporciona o maior peso de mil grãos e produtividade de grãos do sorgo granífero.

As plantas da cultivar BRS 330 apresentaram DC e a AF maior 3,62 e 53,43% respectivamente, que as da cultivar BRS 310 (Tabela 7). O maior diâmetro do colmo torna as plantas menos suscetível ao acamamento (NAKAO et al., 2014). A área foliar é utilizada como parâmetro morfológico para estimar a capacidade fotossintética das plantas e para prever a produção de matéria seca da parte aérea (BORREGO et al., 2021). A relação da AF do sorgo com a produção de MSPA foi verificada nas plantas da cultivar BRS 330, pois essas apresentaram maior AF (Tabela 7) e também MSPA (Tabela 5) que as cultivar BRS 310.

Tabela 7 - Diâmetro do colmo (DC), área foliar (AF), massa seca de panícula (MSP), peso de mil grãos (PMG) e produtividade de grãos (PG) de duas cultivares de sorgo granífero.

Cultivares	DC (mm)	AF (cm <sup>2</sup> )	MSP (g)	PMG (g)	PG (kg ha <sup>-1</sup> )
BRS 310	17,15 b*	1.196 b	5,95 a	19,48 a	2.915 a
BRS 330	17,77 a	1.835 a	4,11 b	15,70 b	2.503 b
CV %	4,36	14,75	8,66	5,01	6,96

Fonte: Autor (2023).

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

A MSP, o PMG e a PG das plantas da cultivar BRS 310 foi maior significativamente 44,77; 24,08 e 16,47% respectivamente que as da BRS 330 (Tabela 7). Panículas maiores podem refletir um número mais elevado de grãos e, por consequência, maior produtividade (CRUSCIOL et al., 2011). Contudo a variabilidade produtiva do sorgo granífero é ocasionada dentre outros fatores também pelas cultivares utilizadas (MAY et al., 2011). Nesse sentido, Facchinello et al. (2012) verificaram que a produtividade de grãos do sorgo granífero variou significativamente entre as cultivares analisadas, sendo algumas mais produtivas que outras. Portanto, BRS 310 apresenta maior PG que BRS 330 bem como MSP e PMG.

Os resultados do teor de proteína, fósforo (P) e potássio (K) dos grãos não evidenciaram interação significativa entre inóculo e cultivares de sorgo, havendo apenas efeito simples significativo das fontes de variação (Tabela 8).

Tabela 8 – Efeito simples de inóculo micorrízicos (*Acaulospora scrobiculata*, *Glomus formosanum*, *Gigaspora margarita*, *Scutellospora pellucida* e testemunha sem inoculação) e de cultivares (BRS 310 e BRS 330) no teor de proteína, fósforo (P) e potássio (K) do grão do sorgo granífero.

Inóculo	Proteína (%)	P (g kg <sup>-1</sup> )	K (g kg <sup>-1</sup> )
Testemunha	8,20 b*	2,08 b	4,08 b
<i>A. scrobiculata</i>	10,03 a	2,87 a	5,04 a
<i>G. formosanum</i>	9,74 a	2,28 b	4,21 b
<i>G. margarita</i>	9,64 a	2,30 b	4,17 b
<i>S. pellucida</i>	10,44 a	2,90 a	5,15 a
CV %	9,17	17,29	17,66
Cultivares	Proteína (%)	P (g kg <sup>-1</sup> )	K (g kg <sup>-1</sup> )
BRS 310	10,19 a	2,09 b	3,57 b
BRS 330	9,03 b	2,88 a	5,49 a
CV %	9,17	17,29	17,66

Fonte: Autor (2023).

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Os FMAs *A. scrobiculata*, *G. formosanum*, *G. margarita* e *S. pellucida* ocasionaram aumento significativo do teor de proteína dos grãos de sorgo, sendo 22,32; 18,79; 17,57 e 27,32% respectivamente, maior que a testemunha (Tabela 8). Esse resultado corrobora com encontrados por Franco; Hernández; Del Río (2008) e Bressan et al. (1994) os quais também verificaram aumento do teor de proteína nos grãos de sorgo com inoculação de FMAs. Isso ocorre devido ao FMAs aumentarem a absorção de nitrogênio das plantas (NOVAIS et al., 2017). Pois a maior disponibilidade de nitrogênio às plantas aumenta o teor de proteína dos grãos, tendo em vista que o nitrogênio é o principal componente das proteínas (CAZETTA et al., 2008; PINNOW et al., 2013).

Os teores de P e K dos grãos de sorgo aumentaram com inoculação do fungo *A. scrobiculata* em 37,99 e 23,53% e com *S. pellucida* em 39,43 e 26,23% respectivamente, em relação à testemunha (Tabela 8). Isso ocorre, possivelmente, em função dos FMAs aumentarem absorção desses nutrientes as plantas, pois, para modificar a composição dos grãos de sorgo é necessário disponibilizar às plantas elevadas quantidades de nutrientes (SANTOS, 2014; ROSOLEM; MALAVOLTA; BRINHOLI, 1980). Os FMAs possibilitam às plantas o aumento da absorção de nutrientes como P e o K, devido às hifas e o micélio externo crescerem solo adentro, acessando micro sítios ricos em nutrientes, inexplorados por raízes

não micorrizadas, assim esses fungos conseguem absorver do solo 80% do P necessário para planta e 10% do K (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; NOVAIS et al., 2017).

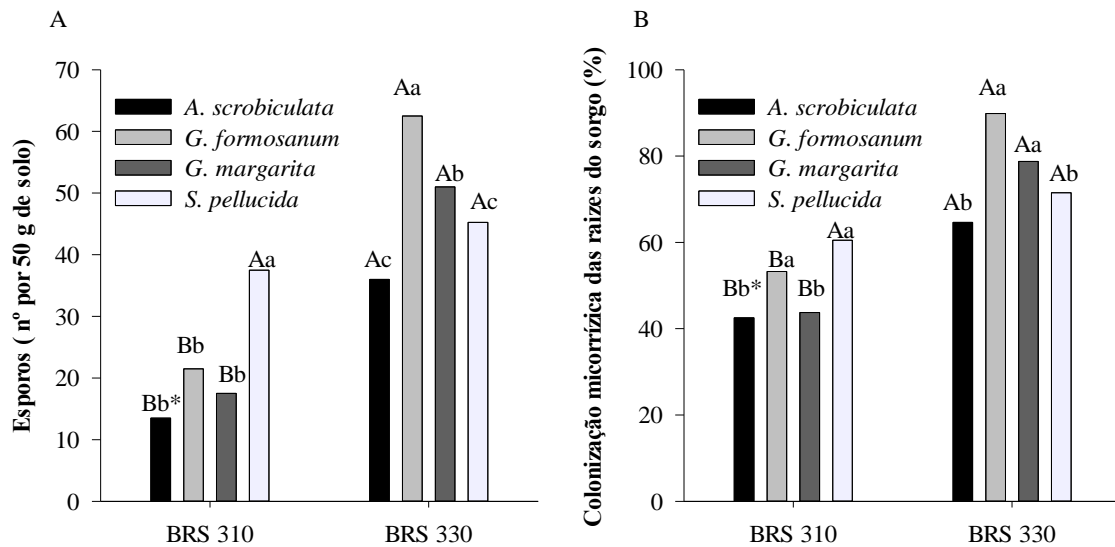
O teor de proteína dos grãos da cultivar BRS 310 foi 12,85% maior que os da BRS 330 (Tabela 8). Variação do teor de proteína dos grãos de sorgo granífero, entre cultivares, também foi verificado por Martino et al. (2012) destacando-se a BRS 310 como superior a BRS 305 e BR 700. A composição nutricional dos grãos de sorgo, inclusive o teor de proteína varia entre cultivares, devido ao fato de algumas serem mais eficientes em produzir grãos com maior quantidade proteica (QUEIROZ et al., 2021).

Os teores de fósforo e potássio dos grãos da cultivar BRS 330 foram 37,80 e 53,79% maiores, respectivamente que os da cultivar BRS 310 (Tabela 8). Esse resultado corrobora com os de Martino et al. (2012) os quais também verificaram variação no teor de fósforo dos grãos de sorgo entre cultivares bem como menor teor nos grãos da cultivar BRS 310. Isso ocorre devido a cultivar de sorgo possuir influência direta nas quantidades de fósforo e potássio presente nos grãos (PAIVA et al., 2017; QUEIROZ et al., 2021).

Os resultados demonstraram interação significativa entre as fontes de inóculo e as cultivares de sorgo para número de esporos no solo e colonização micorrízica das raízes.

O número de esporos no solo cultivado com a cultivar BRS 330 foi maior com a inoculação de *A. scrobiculata*, *G. formosanum* e *G. margarita* em relação ao da BRS 310, com destaque para *G. formosanum*, enquanto na BRS 310 destacou-se *S. pellucida*. (Figura 1A). A variação do número de esporos no solo entre cultivares, também foi observada para mirtilo, sendo atribuída à característica genética das cultivares que estimulam de forma diferenciada a esporulação dos FMAs na rizosfera (LIMA, 2014). Já, variação entre as espécies de FMAs ocorre devido à capacidade de esporulação ser própria de cada uma, contudo ela pode ser influenciada, em parte, por características do solo e das plantas (HUNGRIA et al., 1997). Nesse sentido, o pH do solo corrigido para 6,0 pode ter contribuído para a esporulação dos FMAs *S. pellucida* e *G. formosanum*, pois estes gêneros se desenvolvem preferencialmente em solo com pH 6,0 (BENEDETTI et al., 2005). Portanto, o número de esporos no solo varia entre espécies de FMAs e entre cultivares de sorgo, sendo a *S. pellucida* a mais indicada para BRS 310 e *G. formosanum* para BRS 330 para o maior número de esporos no solo.

Figura 1 - Número de esporos no solo (A) e colonização micorrízica das raízes (B) das cultivares de sorgo BRS 310 e BRS 330 inoculadas com os fungos micorrízicos *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus formosanum*, *Gigaspora margarita* e *Scutellospora pellucida*.



Fonte: Autor (2023).

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula entre as cultivares de sorgo e minúsculas dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

A porcentagem de colonização micorrízica na cultivar BRS 330 com a inoculação dos fungos *A. scrobiculata*, *G. formosanum* e *G. margarita* foi maior em relação BRS 310, entretanto com inoculação de *S. pellucida* não houve diferença entre as cultivares, contudo a inoculação *S. pellucida* bem como de *G. formosanum* proporcionam porcentagem de colonização micorrízica na BRS 310 superior a das outras espécies, já na BRS 330 foi à inoculação de *G. formosanum* e *G. margarita* que proporcionou maior colonização (Figura 1B). Variações na colonização micorrízica das raízes do sorgo entre espécies de FMAs também foi verificado por Bressan et al. (2001) e Costa (1998). Isso acontece devido à compatibilidade da planta com o fungo variar entre as espécies de FMAs, assim porcentagem de colonização micorrízica é maior nas espécies que possuem compatibilidade mais elevada (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Portanto, a porcentagem de colonização micorrízica varia entre espécies de FMAs e entre cultivares de sorgo, sendo a inoculação de *S. pellucida* e *G. formosanum* na BRS 310 as mais indicadas e *G. formosanum* e *G. margarita* na BRS 330.

#### 4.6 CONCLUSÃO

As espécies *Glomus formosanum* e *Acaulospora scrobiculata* promoveram o desenvolvimento do sorgo granífero, sendo que *Glomus formosanum* contribui para maior

comprimento da panícula, massa seca, área superficial específica, comprimento e volume da raiz, enquanto *Acaulospora scrobiculata* para maior a altura de planta, área foliar, massa seca de panícula, massa seca da parte aérea e clorofila.

A inoculação das sementes do sorgo granífero com fungos micorrízicos arbusculares aumentou o índice de vegetação por diferença normalizada e o teor de proteína dos grãos de sorgo em média em 21,50%.

Os fungos *Scutellospora pellucida* e *Acaulospora scrobiculata* aumentaram o peso de mil grãos, a produtividade de grãos e os teores de fósforo e potássio dos grãos.

A inoculação da espécie *Scutellospora pellucida* na cultivar BRS 310 e de *Glomus formosanum* na BRS 330 possibilitou maior colonização micorrízica e número de esporos no solo.

#### 4.7 REFERÊNCIAS

- ABREU, G. M. *et al.* Crescimento inicial e absorção de fósforo e nitrogênio de *Enterolobium contortisiliquum* inoculada com fungos micorrízicos arbusculares. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 156-164, 2018. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16635>. Acesso em: 30 Agosto 2022.
- ALBUQUERQUE, C. J. B. *et al.* Uso do clorofilômetro e sua relação com o manejo da adubação nitrogenada em cultivares de sorgo granífero e silageiro na região semiárida. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 16976-16993, 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/8376/7220>. Acesso em: 01 Setembro 2022.
- ANDREOLA, S. D. **Fixação biológica de nitrogênio e FMAs no desenvolvimento da soja em solo contaminado com cobre**. 2021. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, 2021.
- ARAÚJO, E. O. *et al.* Inoculação de *Herbaspirillum seropedicae* no desenvolvimento de genótipos de milho sob diferentes níveis de nitrogênio. *In: XII Seminário Nacional Milho Safrinha*. 2013, Dourados. **Anais eletrônicos [...]**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/975020/1/108.ERICAINMOCULACAO.pdf>. Acesso em: 06 Setembro 2022.
- BARROS, S. **Fungos Micorrízicos Arbusculares e *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento de sorgo e milho cultivados em solo contaminado com cobre**. 2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, 2022.
- BENEDETTI, T. *et al.* Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na cultura do milho após uso de espécies de plantas de cobertura de solo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**,

v. 4, n. 1, p. 44-51, 2005. Disponível em:

<https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5397>. Acesso em: 23 Janeiro 2023.

BIESDORF, E. M. *et al.* Efeito inibitório do sorgo granífero na cultura da soja semeada em sucessão. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 3, p. 445-459, 2018. Disponível em: <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/1029>. Acesso em: 24 Agosto 2022.

BORREGO, F. Z. *et al.* Efecto de diferentes niveles de evapotranspiración sobre área foliar, temperatura superficial, potencial hídrico y rendimiento en sorgo forrajero. **Terra Latinoamericana**, v. 39, p. 1-14, 2021. Disponível em:

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792021000100150&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792021000100150&script=sci_arttext). Acesso em: 10 Setembro 2022.

BREDEMEIER, C.; VIAN, A. L.; PIRES, J. L. F. Aplicação de nitrogênio em tempo real: modelos e aplicações. In: SANTI, A. L.; GIOTTO, E.; SEBEM, E.; AMADO, T. J. C. (Org.). **Agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**, Santa Maria, RS: CESPOL, 2016. p. 137-158.

BRESSAN, W. *et al.* Efeitos de fungos MVA no teor de proteína dos grãos no consórcio sorgo granífero-soja. In: Congresso nacional de milho e sorgo.1994, Goiânia. **Anais eletrônicos** [...]. Sete Lagoas: ABMS, 1994. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/478544/1/Efeitosfungos.pdf>. Acesso em: 22 Janeiro 2023.

BRESSAN, W. *et al.* Fungos micorrízicos e fósforo, no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção do sorgo e soja consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 315-323, 2001. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/pab/a/XsfyFJkgbMZfB5PsS94Fh6z/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 30 Agosto 2022.

CAZETTA, D. A. *et al.* Qualidade industrial de cultivares de trigo e triticales submetidos à adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. **Bragantia**, v. 67, n. 3, p. 741-750, 2008. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/brag/a/Z7mRnQ389hzTQpMDqgGyzKx/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 30 Setembro 2022.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC - CQFS. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre, RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. 376 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Portal de informações agropecuárias. Produção agrícola: safras-estimativas-grãos**. 2023. Disponível em:

<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-estimativa-de-evolucao-graos.html>. Acesso em: 05 Janeiro 2023.

COSTA, N. L. Resposta do sorgo forrageiro à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 4, n. 2, p. 119-123, 1998. Disponível em: <http://revistapag.agricultura.rs.gov.br/ojs/index.php/revistapag/article/view/494>. Acesso em: 25 Janeiro 2023.

CRUSCIOL, C. A. C. *et al.* Nutrição e produtividade de híbridos de sorgo granífero de ciclos contrastantes consorciados com capim-marandu. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1234-1240, 2011. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/pab/a/ZzxSQdDnRbWydC37qwbRKPr/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 26 Setembro 2022.

FACCHINELLO, P. H. K. *et al.* Avaliação de cultivares de sorgo granífero no ensaio sul riograndense em terras baixas na safra 2010/2011. *In: 21º Congresso de Iniciação Científica; 4º Mostra Científica. 2012, Pelotas. Anais eletrônicos [...].* Pelotas: UFPelotas, 2012.

Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/951146/1/CICUFPELCA00590.pdf>.

Acesso em: 05 Janeiro 2023.

FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA Ltda. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG / CFL 1030)**. 2018. 34 p. Disponível em:

<https://www.falker.com.br/br/suporte>. Acesso em: 06 Setembro 2022.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cagro/a/yjKLJXN9KysfmX6rvL93TSh/?lang=en>. Acesso em: 06 Setembro 2022.

FRANCO, A. D. *et al.* Características de planta, suelo y productividad entre sorgo fertilizado e inoculado con micorriza arbuscular. **Revista mexicana de ciencias agrícolas**, v. 5, n. 3, p. 379-390, 2014. Disponível em: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342014000300004&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342014000300004&script=sci_arttext). Acesso em 25 Janeiro 2023.

FRANCO, A. D.; HERNÁNDEZ, C. J.; DEL RÍO, M. A. P. Productividad de sorgo en campo asociada con micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense*. **Universidad y ciencia**, v. 24, n. 3, p. 229-237, 2008. Disponível em:

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?Script=sci\\_arttext&pid=S0186-29792008000300007&lang=pt](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=S0186-29792008000300007&lang=pt). Acesso em: 29 Dezembro 2022.

FRANCO, A. D.; LÓPEZ, D. G.; CHÁIREZ, F. E. O. Bioinoculación y fertilización química reducida asociadas con el crecimiento de planta y productividad de sorgo. **Revista internacional de contaminación ambiental**, v. 31, n. 3, p. 245-252, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v31n3/v31n3a4.pdf>. Acesso em: 05 Janeiro 2023.

FRANCO, A. D.; RAMIREZ, M. E.; CHÁIREZ, F. E. O. Reducción de la fertilización inorgánica mediante micorriza arbuscular en Sorgo. **Revista internacional de contaminación ambiental**, v. 35, n. 3, p. 683-692, 2019. Disponível em:

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992019000300683&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992019000300683&script=sci_arttext). Acesso em: 30 Agosto 2022.

GALVANI, F.; GAERTNER, E. **Adequação da metodologia Kjeldahl para determinação de nitrogênio total e proteína bruta**. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2006. 9 p.

Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/812198/1/CT63.pdf>. Acesso em: 06 Setembro 2022.



GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil wet sieving and decanting. **Transactions of British Mycological Society**, v. 46, n. 2, p. 235-244, 1963. Disponível em: <https://srv2.freepaper.me/n/wSnbIbeX1cYJnqGzqgagLA/PDF/3a/3a70a9cecd93997ca1f0deb7db2beb79.pdf>. Acesso em: 02 Janeiro 2023.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesiculararbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, v. 84, n. 3, p. 489-500, 1980. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2432123>. Acesso em: 02 Janeiro 2023.

HUNGRIA, M. *et al.* Interação entre microrganismos do solo, feijoeiro e milho em monocultura ou consórcio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 8, p. 807–818, 1997.

JÚNIOR, C. C. G. *et al.* Inoculação com fungos micorrízicos arbusculares em duas doses de fósforo no solo altera a resposta de crescimento em genótipos de milho. *In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo*. 2018, Lavras. **Anais eletrônicos [...]**. Lavras: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2018. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1095506/1/Inoculacaofungos.pdf>. Acesso em: 04 Janeiro 2023.

KASPARY, T. E. *et al.* Determinação do estado nutricional em alface através da análise de tecidos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 2729-2734, 2013. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2013a/agrarias/determinacao%20do%20estado.pdf>. Acesso em: 06 Setembro 2022.

LESSA, B. F. T. *et al.* Modelos matemáticos para a estimativa da área foliar total em sorgo sacarino. **Energia na Agricultura**, v. 33, n. 2, p. 175-182, 2018. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/2967>. Acesso em: 10 Setembro 2022.

LIMA, P. E. **Propágulos de fungos micorrízicos arbusculares na rizosfera e potencial de utilização no enraizamento de estacas de mirtilheiro (*Vaccinium spp*)**. 2014. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG. 2014.

MAGALHÃES, J. B. **Inoculação de fungos micorrízicos em fertilizante organomineral no desenvolvimento de *Triticum turgisecale***. 2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, 2022.

MARTINO, H. S. D. *et al.* Chemical characterization and size distribution of sorghum genotypes for human consumption. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, n. 2, p. 337-344, 2012. Disponível em: <https://docs.bvsalud.org/biblioref/ses-sp/2012/ses-26499/ses-26499-3929.pdf>. Acesso em: 01 Outubro 2022.

MARUYAMA, T. M. **Avaliação de comprimento e diâmetro radicular do milho por técnicas de processamento digital de imagens**. 2016. Dissertação (Mestrado em computação aplicada) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR, 2016.

MAY, A. *et al.* **Cultivares de sorgo para o mercado brasileiro na safra 2011/2012**. 1. ed. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 28 p.

MENEZES, C. B. *et al.* É Possível Aumentar a Produtividade de Sorgo Granífero no Brasil?. *In:* PAES, M. D. A.; VINHO, R. G.; MOREIRA, S. G. (ed). **Livro de palestras: Soluções integradas para os sistemas de produção de milho e sorgo no Brasil**. Sete Lagoas, MG: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2018. p. 106-139.

MENEZES, C. B. *et al.* Importância do sorgo para o abastecimento de grãos, forragem e bioenergia no Brasil. *In:* MENEZES, C. B. (ed). **Melhoramento Genético de Sorgo**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 14-58.

MENEZES, C. B.; SILVA, K. J.; SANTOS, C. V. Melhoramento Genético de Sorgo Granífero. *In:* MENEZES, C. B. (ed). **Melhoramento Genético de Sorgo**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 216- 240.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras, MG: Editora UFLA, 2006. 729 p.

NAKAO, A. *et al.* Resposta do sorgo granífero à aplicação de diferentes doses e épocas de inoculante (*Azospirillum brasilense*) via foliar. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 2702-2714, 2014. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2014a/AGRARIAS/Resposta%20do%20sorgo.pdf>. Acesso em: 10 Setembro 2022.

NOVAIS, C. B. *et al.* **Técnicas Básicas em Micorrizas Arbusculares**. 1. ed. Lavras, MG: Ed.UFLA, 2017.132 p.

NUNES, A. B. C. *et al.* Steel slag and phosphate nutrition of corn inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/cV8xJMj36zBBJNg3gsGwQHw/abstract/?lang=en>. Acesso em: 04 Janeiro 2023.

PAIVA, C. L. *et al.* Mineral content of sorghum genotypes and the influence of water stress. **Food chemistry**, v. 214, p. 400-405, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814616310895>. Acesso em: 22 Janeiro 2023.

PEREIRA, R. G. *et al.* Rendimento do sorgo granífero adubado com nitrogênio e fósforo no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 3, p. 284-299, 2014. Disponível em: <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/492>. Acesso em: 21 Setembro 2022.

PÉREZ, Y. M.; RODRÍGUEZ, J. M. D. A.; SUÁREZ, K. F. Evaluación de la infectividad de *Glomus cubense* en formulación líquida sometida a diferentes presiones hidrostáticas. **Cultivos Tropicales**, v. 39, n. 4, p. 86-90, 2018. Disponível em: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362018000400012&lang=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362018000400012&lang=pt). Acesso em: 30 Agosto 2022.

PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **British Mycological Society Transactions**, v. 55, n. 1, p. 158-160, 1970. Disponível em: <https://srv2.freepaper.me/n/lzmr7csEoCQdur0Pa3pV0A/PDF/f1/f1ebcef53e4b18d3c3a48bda7f24db52.pdf>. Acesso em: 02 Janeiro 2023.

PINNOW, C. *et al.* Qualidade industrial do trigo em resposta à adubação verde e doses de nitrogênio. **Bragantia**, v. 72, n. 1, p. 20-28, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/cFnsJHFWHrxXXRJggHYWvKD/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 30 Setembro 2022.

POVH, F. P. *et al.* Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 8, p. 1075-1083, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/fxPgbgnrmFN9GjF8R497NSj/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 14 Setembro 2022.

QUEIROZ, V. A. P. *et al.* Sorgo para Alimentação Humana. *In*: MENEZES, C. B. (ed). **Melhoramento Genético de Sorgo**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 459-494.

ROCHA, R. A. S.; COLTRO, G. L.; LIZZONI, G. C. Adubação nitrogenada associada à inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Biodiversidade**, v. 19, n. 4, p. 73-81, 2020. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/biodiversidade/article/view/11313>. Acesso em: 01 Setembro 2022.

RODRIGUES, L. A.; BARROSO, D. G.; FIQUEIREDO, F. A. M. M. A. Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e na nutrição mineral de mudas de *Tectona grandis* LF. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 25-34, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/sYjg68QXYRNT7zNfZsgXqJF/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 28 Agosto 2022.

ROSA, H. J. A. *et al.* Identificação de resposta a doses de nitrogênio em cana-de-açúcar medida pelo Sensor Greenseeker. *In*: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão. 2012, Ribeirão Preto. **Anais eletrônicos** [...]. Ribeirão Preto: ConBAP, 2012. Disponível em: [https://www.agriculturadeprecisao.org.br/wp-content/uploads/2020/01/cgr-2012\\_19.pdf](https://www.agriculturadeprecisao.org.br/wp-content/uploads/2020/01/cgr-2012_19.pdf). Acesso em: 05 Setembro 2022.

ROSOLEM, C. A.; MALAVOLTA, E.; BRINHOLI, O. Estudos sobre a nutrição mineral do sorgo granífero: VIII. efeitos do fósforo. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 37, n. 1, p. 49-61, 1980. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0071-12761980000100005>. Acesso em: 03 Outubro 2022.

SANTOS, F. A. **Manejo alternativo de sorgo granífero para safrinha em consórcio com soja superprecoce**. 2014. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SCHENK, M. K.; BARBER, S. A. Absorção de fosfato pelo milho em função das características do solo e morfologia radicular. **Soil Science Society of America Journal**, v. 43, n. 5, p. 880-883, 1979. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1979.03615995004300050012x>. Acesso em: 06 Setembro 2022.

SILVA, F. B. (Ed). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

SOUSA, L. F. *et al.* Método prático e eficiente para estimar a área foliar de gramíneas forrageiras tropicais. **Archivos de Zootecnia**, v. 64, n. 245, p. 83-85, 2015. Disponível em: <https://www.uco.es/servicios/ucopress/az/index.php/az/article/view/380>. Acesso em: 06 Setembro 2021.

TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, v. 63, n. 3, p. 995-1001, 1975. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2258617>. Acesso em: 06 Setembro 2022.

TURCHETTO, R. **Fungos micorrízicos e *Azospirillum* no desenvolvimento do trigo em solo contaminado com cobre**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, 2021.

XAVIER, W. D. **Sensores para estimativa de nitrogênio e pigmentos fotossintetizantes em sorgo sacarino**. 2021. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Instituto Federal Goiano, Rio Verde, GO, 2021.

## 5 CAPÍTULO 3: OCORRÊNCIA DE *Azospirillum brasilense* E FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM SOLO CONTAMINADO COM COBRE

### 5.1 RESUMO

A contaminação do solo com cobre é um problema ambiental que afeta os microrganismos edáficos. Objetivou-se analisar o efeito da contaminação com cobre na população de *Azospirillum brasilense* e de fungos micorrízicos arbusculares em solo cultivado com diferentes culturas agrícolas. Foram analisadas amostras de solo de três experimentos. No primeiro experimento com sorgo granífero e no segundo com milho, o delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com arranjo fatorial (4x2), sendo testados quatro inóculos [Testemunha (sem inoculação), *Acaulospora scrobiculata*, *Rhizoglyphus clarum*, *Azospirillum brasilense*] sem cobre e com adição de 400 mg de cobre kg<sup>-1</sup> de solo, com sete repetições. No terceiro experimento com trigo, o delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com arranjo fatorial (3x2), sendo testados três inóculos [Testemunha (sem inoculação), *Gigaspora margarita*, *Acaulospora colombiana*] sem cobre e com adição de 400 mg de cobre kg<sup>-1</sup> de solo, com oito repetições. As amostras de solo foram coletadas após término do ciclo reprodutivo das culturas, sendo quatro amostras de cada tratamento, em cada cultura, para determinação do número de esporos dos fungos micorrízicos e do número mais provável da população de *A. brasilense*. Os resultados demonstraram que a contaminação do solo com 400 mg de cobre kg<sup>-1</sup> reduziu o número de esporos dos fungos micorrízicos presente no solo cultivado com sorgo granífero e trigo bem como a população de *A. brasilense* no solo cultivado com sorgo granífero e milho. O solo contaminado com cobre e cultivado com milho não reduziu o número de esporos de *A. scrobiculata*.

**Palavras-chave:** Metal pesado. Microrganismos. Milho. Sorgo granífero. Trigo.

### 5.2 ABSTRACT

Soil contamination with copper is an environmental problem that affects edaphic microorganisms. The objective was to analyze the effect of copper contamination on the population of *Azospirillum brasilense* and arbuscular mycorrhizal fungi in soil cultivated with different agricultural crops. Soil samples from three experiments were analyzed. In the first experiment with grain sorghum and in the second with maize, a completely randomized design was used with a factorial arrangement (4x2), with four inoculations being tested [Control (without inoculation), *Acaulospora scrobiculata*, *Rhizoglyphus clarum*, *Azospirillum brasilense*] without copper and with addition of 400 mg of copper kg<sup>-1</sup> of soil, with seven replications. In the third experiment with wheat, a completely randomized design with a factorial arrangement (3x2) was used, with three inoculum tested [Control (without inoculation), *Gigaspora margarita*, *Acaulospora colombiana*] without copper and with the addition of 400 mg of copper kg<sup>-1</sup> soil, with eight repetitions. Soil samples were collected after the end of the reproductive cycle of the cultures, with four samples of each treatment, in each culture, to determine the number of spores of mycorrhizal fungi and the most probable number of the population of *A. brasilense*. The results showed that soil contamination with 400 mg of copper kg<sup>-1</sup> reduced the number of spores of mycorrhizal fungi present in the soil

cultivated with grain sorghum and wheat, as well as the population of *A. brasilense* in the soil cultivated with grain sorghum and corn. Soil contaminated with copper and cultivated with maize did not reduce the number of spores of *A. scrobiculata*.

**Keywords:** Copper. Corn. Grain sorghum. Heavy metal. Microorganisms. Wheat.

### 5.3 INTRODUÇÃO

A utilização de insumos para produção de alimentos tem contribuído para elevação dos teores de cobre no solo, por meio da aplicação de fertilizantes, corretivos, fungicidas e dejetos de animais (BARROS, 2022; TURCHETTO, 2021). A contaminação dos solos por cobre é um problema ambiental, pois sua alta concentração na solução do solo é tóxica aos microrganismos, plantas, animais e humanos (ANDREZZA et al., 2013; SANTANA, 2018). Nos microrganismos edáficos o cobre em elevada concentração apresenta uma ação antimicrobiana que influencia na sua ocorrência (ANTONIOLLI et al., 2010; LINS, 2006). Desse modo, a legislação brasileira disciplina a concentração máxima de cobre permitida no solo de áreas agrícolas, a qual não traz riscos à saúde e ao ambiente (BARROS, 2022), sendo que o valor limite, em áreas agrícolas, sem que haja a necessidade intervenção, de  $200 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo, de acordo com resolução n°420 (CONAMA, 2009).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são organismos biotróficos obrigatórios que formam associações mutualísticas com 80% das espécies vegetais, proporcionando às plantas o aumento da absorção de água e nutrientes, redução dos efeitos de condições abióticas adversas, produção de fitohormônios estimuladores do crescimento vegetal, estimulação da ação protetora contra alguns fitopatógenos do solo e elevação da tolerância a metais pesados presente no solo, devido ao fato de acumularem os metais em órgãos não vitais do fungo, como no micélio, nas paredes celulares e nos esporos, o que resulta em diminuição da sua disponibilidade às plantas (FRANCO; RAMIREZ; CHÁIREZ, 2019; NOVAIS et al., 2017; RODRIGUES; BARROSO; FIQUEIREDO, 2018; RUSCITTI; ARANGO; BELTRANO, 2017; TURCHETTO, 2021). Contudo, os esporos uma das formas de propágulo responsáveis pelo início do processo de colonização nas plantas, têm sua germinação reduzida com o aumento da concentração de metais pesados no solo (BARROS, 2022; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A *Azospirillum brasilense* é uma das bactérias diazotróficas mais estudadas e empregadas na produção agrícola em todo o mundo, pois melhora o crescimento e a

produtividade de várias culturas inclusive de gramíneas como: sorgo granífero, milho e trigo, em decorrência da sua capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico e disponibilizá-lo às plantas em formas lábeis, produzir fitohormônios estimuladores do crescimento (auxinas, citocininas, giberelina), aumentar a tolerância das plantas a altas concentrações de metais pesados no solo, especialmente de cobre (BARROS, 2022; BASHAN et al., 2010; CASSÁN et al., 2020; MOREIRA; VALADÃO; JÚNIOR, 2019; RONDINA et al., 2020; VIDOTTI et al., 2019). Nesse sentido, a inoculação de *A. brasilense* possibilita o desenvolvimento das plantas em solo contaminado com cobre, sendo uma estratégia que pode ser empregada na fitorremediação para descontaminação dos solos com excesso desse metal (SILVA, 2019).

A comunidade de microrganismos no solo em condições naturais é elevada e diversa, entretanto a contaminação do solo com cobre pode mudar essa comunidade e sua atividade biológica, inclusive de fungos e bactérias que tem habilidade de transportar esse elemento dentro de suas células, devido ao seu excesso no solo promover uma pressão de seleção nos microrganismos (ANDREAZZA et al., 2013; LI et al., 2016; SANTOS, 2006; SILVA et al., 2018). Contudo, ainda persiste a dúvida de que a contaminação do solo com cobre reduz a ocorrência de microrganismos simbiotes importantes para promoção do crescimento vegetal como a bactéria *A. brasilense* e fungos micorrízicos arbusculares no solo cultivado com culturas agrícolas. O estudo objetivou analisar o efeito da contaminação com cobre na população de *A. brasilense* e de fungos micorrízicos arbusculares em solo cultivado com diferentes culturas agrícolas.

#### 5.4 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste estudo foram analisadas amostras de solo de três experimentos conduzidos na casa de vegetação do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria campus de Frederico Westphalen com as culturas do milho, sorgo granífero e trigo.

No primeiro experimento com a cultura do sorgo granífero e no segundo com cultura do milho, o delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com arranjo fatorial (4x2), sendo testados quatro inóculos [Testemunha (sem inoculação), *Acaulospora scrobiculata* (*A. scrobiculata*), *Rhizoglyphus clarum* (*R. clarum*), *Azospirillum brasilense* (*A. brasilense*)] sem cobre e com adição de 400 mg de cobre kg<sup>-1</sup> de solo, com sete repetições. No terceiro experimento com cultura do trigo, o delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com arranjo fatorial (3x2), sendo testados três inóculos [Testemunha (sem inoculação),

*Acaulospora colombiana* (*A. colombiana*), *Gigaspora margarita* (*G. margarita*)] sem cobre e com adição de 400 mg de cobre  $\text{kg}^{-1}$  de solo, com oito repetições.

O solo utilizado para o estabelecimento e condução dos experimentos foi coletado na camada de 0-20 cm e caracterizado como Latossolo Vermelho (SANTOS et al., 2018). Após a coleta, o solo foi peneirado em malha de 2 mm. Na sequência o solo utilizado para os experimentos com sorgo granífero e milho foi previamente misturado com 50% de areia média (v/v), enquanto o solo para o experimento com trigo foi misturado com 30% areia média (v/v). Em seguida esses solos foram esterilizados em autoclave a 121°C, em 3 ciclos de 30 min. Posteriormente foi retirada uma amostra de cada um dos solos para análise dos atributos químicos e físicos, os quais estão descritos na Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1 - Análise física e química da mistura de solo + areia utilizada para implantação dos experimentos com as culturas do sorgo granífero e do milho.

-----Parâmetros-----								
Teor de Argila	pH <sub>água</sub>	MO	P	K	Cu	Zn	Mg	Al+H
%	1:1	%	-----mg dm <sup>-3</sup> -----			-----Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----		
46	5,3	1,0	4,6	27,5	4,2	1,3	1,0	4,9

Fonte: Autor (2023).

Tabela 2 - Análise física e química da mistura de solo + areia utilizada para implantação do experimento com a cultura do trigo.

-----Parâmetros-----								
Teor de Argila	pH <sub>água</sub>	MO	P	K	Cu	Zn	Mg	Al+H
%	1:1	%	-----mg dm <sup>-3</sup> -----			-----Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----		
52,5	5,2	0,9	0,85	24,97	8,1	0,59	1,92	1,85

Fonte: Autor (2023).

A contaminação do solo dos tratamentos com 400 mg de cobre  $\text{kg}^{-1}$  de solo foi realizada com aplicação de solução de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) diretamente no solo, sendo submetidos a agitação em sacolas plásticas esterilizadas para ocorrer a homogeneização do contaminante.

A adubação do solo foi realizada conforme a necessidade das culturas, tendo-se como base a análise de solo, sendo com adubo químico formulado NPK 10-20-10 nas culturas do milho e sorgo granífero e com adubo químico formulado NPK 10-20-20 na cultura do trigo,



de acordo com as recomendações do Manual de Calagem e Adubação para os Estados do RS e SC (CQFS, 2016).

Os isolados dos FMAs (*R. clarum* e *A. scrobiculata*) inoculados no sorgo granífero e no milho foram obtidos da coleção da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ, BR), enquanto os FMAs (*G. margarita* e *A. colombiana*) inoculados ao trigo foram obtidos da coleção internacional de cultura de Glomeromycota (CICG) do Laboratório de Micorrizas da Universidade Regional de Blumenau (FURB, Blumenau, SC, BR). A inoculação dos FMAs nas plantas foi realizada no momento da semeadura das culturas, através da aplicação de 30 esporos por vaso de cada isolado, correspondente ao tratamento. Os esporos de cada isolado de fungo micorrízico, foram depositados nos orifícios aberto no solo para colocação das sementes. A inoculação de *A. brasilense* no milho e no sorgo granífero foi realizada através do inoculante líquido (Azo Total Max<sup>®</sup>, Total Biotecnologia Indústria e Comércio Ltda, Curitiba, PR, BR) composto pelas estirpes Ab-V5 e Ab-V6, aplicado diretamente nas sementes no momento da semeadura na concentração de 2.000.000 UFC por semente.

A cultivar de sorgo granífero utilizada foi BRS 330 e a de trigo TBIO Sinuelo, já a variedade de milho utilizada foi MORGAN 20A78. As plantas foram cultivadas em vasos plásticos com capacidade de 5 L, os quais foram preenchidos com 5 kg da mistura solo e areia. Em cada vaso foram semeadas quatro sementes de sorgo, ou de milho, sendo dez dias após a semeadura, realizado o desbaste deixando apenas uma planta de sorgo, ou de milho por vaso até final do experimento. A semeadura do trigo constou de dez sementes em cada vaso, sendo quinze dias após a semeadura realizado o desbaste deixando quatro plantas de trigo por vaso até o final do experimento. As sementes das culturas foram desinfetadas com hipoclorito de sódio 2% por quinze minutos e na sequencia lavadas em água corrente, antes da semeadura. A irrigação das plantas foi realizada diariamente por meio de um sistema de irrigação automático por gotejamento, mantendo a umidade em 80% da capacidade de campo.

Após o término do ciclo reprodutivo das culturas (milho, sorgo e trigo) foram coletadas quatro amostras de 100 gramas de solo de cada tratamento, em cada cultura. O solo foi acondicionado em sacolas plásticas esterilizadas, sendo imediatamente após a coleta, submetido às análises microbianas.

O número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares foi determinado a partir de 50 gramas de solo de cada amostra coletada. A extração dos esporos do solo foi realizada pelo método de peneiramento úmido descrito por Gerdemann; Nicolson (1963), seguido de centrifugação em solução sacarose. Após o procedimento de extração, os esporos dos fungos

micorrízicos arbusculares presentes em cada amostra de solo analisada foram colocados em placa de Petri e com auxílio de uma lupa contados manualmente para se determinar o número de esporos existente na amostra analisada.

Para determinação da população de *A. brasilense* presente no solo cultivado com sorgo granífero e milho foram utilizados 10 gramas de solo de cada amostra coletada. O solo (10 gramas) foi diluído uma única vez em 10 ml de solução salina e agitado em agitador horizontal, após foi realizada a diluição seriada da amostra em  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  e  $10^{-4}$ , sendo inoculado três amostras de cada diluição no meio de cultura NFb semi-sólido, as quais na sequência foram incubadas a 30°C por 14 dias para o desenvolvimento das bactérias, conforme descrito por Videira; Araújo; Baldani (2007). A contagem foi realizada pelo método do Número Mais Provável (NMP) descrito por Döbereiner; Baldani; Baldani (1995), que se baseia na presença (+) e ausência (-) de película em forma de véu, próxima a superfície do meio de cultura, sendo os valores determinados pela Tabela de McCrady.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, quando houve interação significativa, para variável número de esporos, foi comparado o efeito do fator cobre no fator inóculo (espécies de fungos) através do teste T a 5% de probabilidade ( $p \leq 0,05$ ), enquanto para variável população de *A. brasilense* foi comparado o efeito do fator cobre no fator culturas (sorgo granífero e milho), também pelo teste T a 5% de probabilidade ( $p \leq 0,05$ ) e quando em ambas as variáveis não houve interação significativa, se analisou os efeitos simples dos fatores, também através do teste T a 5% de probabilidade ( $p \leq 0,05$ ). Os resultados foram analisados com auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

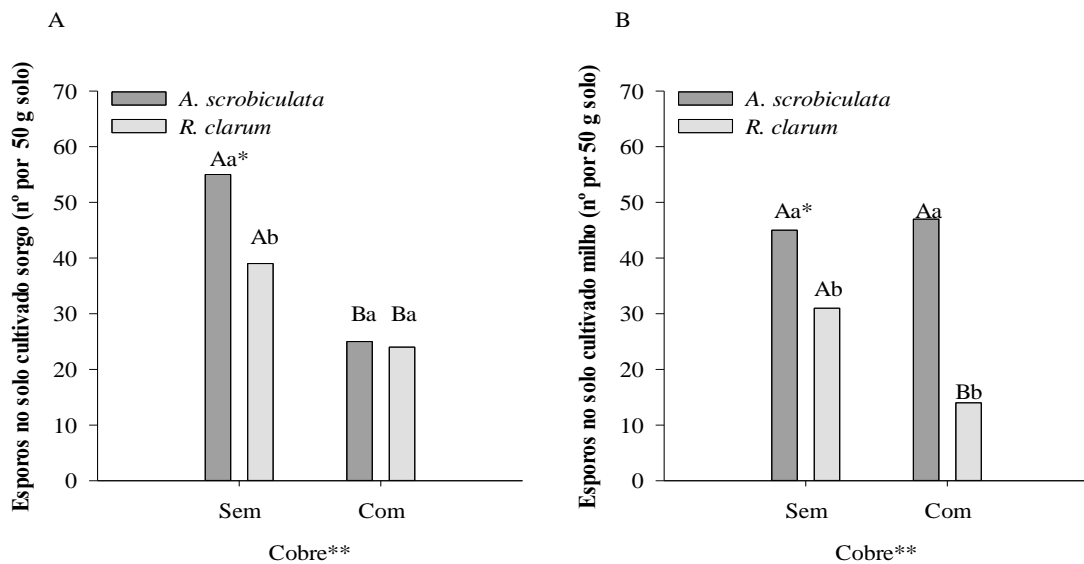
## 5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ocorreu interação significativa entre cobre e as espécies de FMAs para o número de esporos de FMAs presente no solo cultivado com sorgo granífero e milho.

No solo cultivado com sorgo granífero, o número de esporos dos fungos *A. scrobiculata* e *R. clarum* reduziu 54 e 38% respectivamente com contaminação de cobre, não havendo diferença significativa entre as espécies, já no solo sem contaminação o número de esporos de *A. scrobiculata* foi 41% maior que o de *R. clarum* (Figura 1 A). A redução do número de esporos de fungos micorrízicos com aumento da concentração de cobre no solo também foi observada por Lins (2006). A alta concentração de cobre no solo é tóxica para os FMAs, inibindo a germinação dos seus esporos, o crescimento micelial e a porcentagem de colonização micorrízica (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; SILVA et al., 2001). Nesse sentido,

Barros (2022) verificou que a contaminação do solo com 400 mg de cobre  $\text{kg}^{-1}$  reduziu significativamente a porcentagem de colonização do fungo *R. clarum* nas raízes do sorgo granífero. A redução do número de esporos dos FMAs diminui o potencial infectivo desses, pois os esporos são uma das formas de propágulos existentes no solo que possuem maior capacidade infectiva nas plantas (NOVAIS et al., 2017).

Figura 1 - Número de esporos dos fungos *Acaulospora scrobiculata* e *Rhizoglyphus clarum* no solo cultivado com sorgo granífero (A) e milho (B) sem e com adição de 400 mg de cobre  $\text{kg}^{-1}$  de solo.



Fonte: Autor (2023).

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula entre os tratamentos com e sem cobre e minúscula no mesmo tratamento não diferem entre si pelo teste T a 5% de probabilidade de erro.

\*\*Sem = teor natural do solo.

No solo cultivado com milho o número de esporos do inóculo *A. scrobiculata*, não foi alterado com a contaminação de cobre e foi 45 e 235% respectivamente, maior no solo sem e com cobre que o *R. clarum* que reduziu 55% com contaminação de cobre (Figura 1B). A menor interferência do cobre sobre os esporos do fungo *A. scrobiculata*, ocorreu devido aos fungos pertencentes à família Acaulosporaceae apresentarem maior tolerância a fatores de estresse, como presença de metais pesados (FERREIRA, 2016; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Nesse sentido, Barros (2022) verificou que a porcentagem de colonização micorrizica, nas raízes do milho, pelo fungo *A. scrobiculata* não diminui significativamente com a contaminação do solo com 400 mg de cobre  $\text{kg}^{-1}$ , contudo, a do fungo *Rhizoglyphus clarum* foi reduzida significativamente. O milho é uma das culturas agrícolas que possui elevada compatibilidade com FMAs, seu cultivo beneficia a multiplicação desses fungos proporcionando aumento da quantidade de esporos no solo (MIRANDA, 2012). Portanto, o

cultivo do milho contribui para maior esporulação do fungo *A. scrobiculata* inclusive em solo contaminado com cobre, assim seu número de esporos no solo cultivado com milho não é afetado pela contaminação de cobre.

No solo sem contaminação de cobre cultivado com sorgo granífero o número médio de esporos dos fungos *A. scrobiculata* e *R. clarum* foi de 55 e 39 esporos por 50 g de solo respectivamente, sendo 22 e 26% superior ao do milho. O número de esporos de uma mesma espécie de fungo micorrízico pode variar dependendo da planta hospedeira, devido micotrofia das plantas apresentar diferença entre as espécies, sendo algumas mais eficientes em favorecer a multiplicação dos fungos (GOMIDE et al., 2009). Desse modo, em solo sem contaminação de cobre o cultivo do sorgo granífero favorece a maior esporulação dos fungos *A. scrobiculata* e *R. clarum* em comparação ao cultivo do milho.

O número mais elevado de esporos de fungos micorrízicos favorece sua associação às plantas. Pois, os esporos são uma das formas de propágulos responsáveis pela colonização das raízes, assim à porcentagem de colonização das raízes está relacionada com densidade de esporos existente no solo (LINS, 2006; MERGULHÃO et al., 2009; TAVARES, 2020). Dessa forma, a redução do número de esporos no solo ocasionado pela contaminação de cobre, pode afetar a associação desses fungos as plantas.

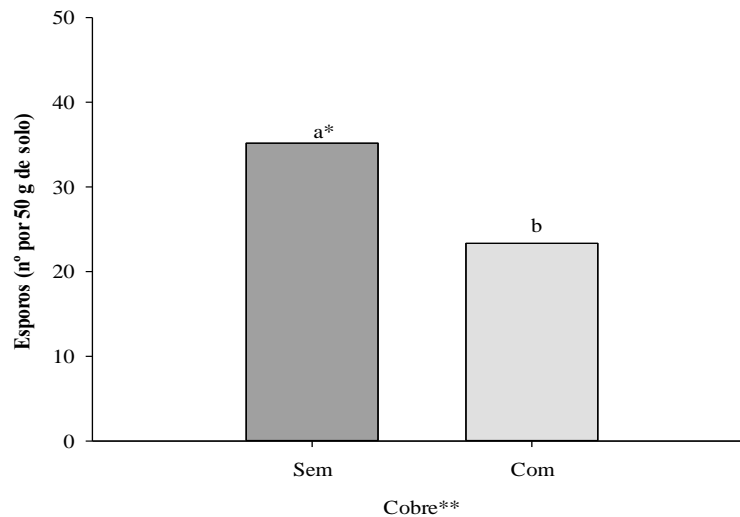
Na testemunha, independente da contaminação de cobre não foi encontrado nenhum esporo de fungo micorrízico. Nesse sentido, Gomide et al. (2009) também não encontraram esporo de fungo micorrízico arbuscular no solo esterilizado, sem inoculação, cultivado com *Urochloa decumbens*. Portanto, o processo de esterilização que se submeteu o solo foi eficiente em eliminar propágulos nativos de FMAs.

Os resultados não evidenciaram interação significativa para o número de esporos presente no solo cultivado com trigo, contudo houve efeito simples significativo da contaminação e de inóculo.

A contaminação do solo com 400 mg de cobre  $\text{kg}^{-1}$  reduziu em 33% o número de esporos dos fungos micorrízicos presente no solo cultivado com trigo, quando comparado ao solo sem contaminação (Figura 2). Isso ocorre devido às altas concentrações de metais pesados no solo como cobre, possuir efeito tóxico sobre os esporos de fungos micorrízicos, que inibe a sua germinação, bem como, as quantidades existentes no solo (LINS, 2006; MORREIRA; SIQUEIRA, 2006; SILVA et al., 2001). Em decorrência de altos teores de cobre no solo afetarem o crescimento e o desenvolvimento de organismo e plantas, sua concentração no solo é controlada pela legislação brasileira (ANDREAZZA et al., 2013). Nesse sentido, verificou-se que a contaminação do solo com 400 mg de cobre  $\text{kg}^{-1}$ , reduz

drasticamente essa forma de propágulos dos fungos micorrízicos presente no solo, quando cultivado com trigo (Figura 2).

Figura 2 - Número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares no solo cultivado com trigo sem e com adição de 400 mg de cobre kg<sup>-1</sup> de solo.



Fonte: Autor (2023).

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste T a 5% de probabilidade de erro.

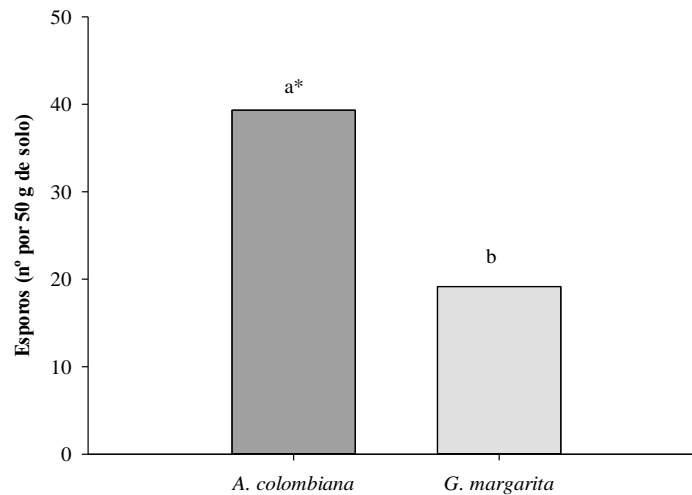
\*\*Sem = teor natural do solo.

O excesso de metais pesados no solo afeta a esporulação dos fungos micorrízicos e sua porcentagem de colonização nas raízes (MORREIRA; SIQUEIRA, 2006). Nesse sentido, Turchetto (2021) verificou que a contaminação do solo com 400 mg de cobre kg<sup>-1</sup> reduziu significativamente a porcentagem de colonização micorrízica dos fungos *R. clarum* e *A. colombiana* nas raízes do trigo, em relação a obtida no solo sem contaminação. A diminuição do número de esporos no solo e da porcentagem de colonização pode indicar menor contribuição benéfica dos FMAs para as plantas (MORREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O número de esporos do fungo *A. colombiana* presente no solo cultivado com trigo foi 105% maior que o do fungo *G. margarita* (Figura 3). A desigualdade no número de esporos entre espécies ocorre devido à capacidade de esporular ser própria de cada espécie de fungo micorrízico arbuscular, contudo ela pode ser influenciada também por características do solo e das plantas (HUNGRIA et al., 1997). Nesse sentido, o pH do solo corrigido para 6,0 pode ter contribuído também para o menor número de esporos do fungo *G. margarita*, pois essa espécie se desenvolve e é encontrada preferencialmente em solos ácidos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Fungos do gênero *Acaulospora* estão entre os de maior ocorrência nos

solos brasileiros em função da sua esporulação elevada (LINS, 2006). Desse modo, dentre os fungos micorrízicos inoculados no trigo *A. colombiana*, foi que apresentou maior produção de esporos no solo após o cultivo da cultura.

Figura 3 - Número de esporos dos fungos micorrízicos *Acaulospora colombiana* e *Gigaspora margarita* presente no solo cultivado com trigo.



Fonte: Autor (2023).

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste T a 5% de probabilidade de erro.

No solo cultivado com trigo o número médio de esporos dos fungos *A. colombiana* e *G. margarita* foi de 39 e 16 por 50 gramas de solo respectivamente (Figura 3), isso demonstra que esses fungos possuem compatibilidade de associação com essa cultura, pois foram inoculadas de ambas as espécies somente 30 esporos em cada vaso (5 kg de solo) conforme o tratamento correspondente. A compatibilidade da planta hospedeira com FMAs afeta diretamente o seu desenvolvimento e a multiplicação, incluindo o número de esporos deixados no solo após cultivo das plantas (GOMIDE et al., 2009). Assim, as duas espécies de fungo micorrízico arbuscular possuem compatibilidade de associação com trigo, aumentando o seu número de esporos no solo após o cultivo da cultura.

Os resultados demonstraram interação significativa entre contaminação com cobre e as culturas para população de *A. brasilense* no solo. Contudo não houve o desenvolvimento de bactérias diazotróficas no solo cultivado com sorgo granífero e milho nos tratamentos sem inoculação de *A. brasilense* (testemunha), independente da contaminação com cobre, demonstrando que o processo de esterilização do solo foi eficiente em eliminar bactérias nativas. Desse modo, as bactérias encontradas no solo nos tratamentos de inoculação

pertencem à espécie *A. brasilense*, além disso, o meio de cultivo utilizado foi seletivo para bactérias diazotróficas.

A contaminação do solo com adição de 400 mg de cobre  $\text{kg}^{-1}$  diminui significativamente em 79 e 59% a população de *A. brasilense* presente no solo cultivado com sorgo granífero e milho, respectivamente, quando comparada ao tratamento sem adição de cobre (Tabela 3). A contaminação do solo com cobre diminui significativamente a população de *A. brasilense* presente também nas raízes do sorgo granífero e do milho (BARROS, 2022). O cobre é um elemento essencial para a sobrevivência das bactérias do solo, contudo ele pode se tornar tóxico e apresentar uma ação antimicrobiana sobre esses organismos quando sua concentração no solo for muito elevada (ANTONIOLLI et al., 2010; LINS, 2006). Os metais pesados apresentam efeito tóxico sobre os microrganismos devido a interagirem diretamente com as células microbianas e/ou indiretamente afetando o crescimento e metabolismo, interferindo, por exemplo, na absorção de nutrientes ou alterando o ambiente físico-químico da célula (GADD, 2009). O cobre nas células bacterianas promove extensos danos na membrana provocando a perda da integridade celular em poucos minutos após o contato da célula com o metal, provavelmente isso ocorra em função das proteínas ou os lipídeos das membranas se constituírem os maiores alvos da toxicidade (DEPNER et al., 2015).

Tabela 3 - Número mais provável da população de *Azospirillum brasilense* no solo ( $\text{g}^{-1}$  solo) cultivado com sorgo granífero e milho sem e com adição de 400 mg de cobre  $\text{kg}^{-1}$  de solo.

Culturas	População de <i>A. brasilense</i> no solo ( $\text{g}^{-1}$ solo)	
	Cobre**	
	Sem	Com
Sorgo granífero	3,37x10 <sup>4</sup> Aa*	7,00x 10 <sup>3</sup> Ba
Milho	1,45x10 <sup>4</sup> Ab	6,00x10 <sup>3</sup> Ba
CV %	16,84	

Fonte: Autor (2023).

\*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste T a 5% de probabilidade de erro.

\*\*Sem = teor natural do solo.

A população de *A. brasilense* no solo sem contaminação de cobre cultivado com sorgo granífero foi 133% superior que a do solo cultivado com milho, já no solo contaminado com cobre a população de *A. brasilense* não variou significativamente entre as culturas cultivadas (Tabela 3). A população de *A. brasilense* nas raízes do sorgo granífero cultivado em solo sem

contaminação de cobre também foi superior a do milho (BARROS, 2022). Isso ocorre devido espécie hospedeira exercer influência direta sobre a população de bactérias diazotróficas, sendo que algumas proporcionam o desenvolvimento de populações mais elevadas (MOREIRA et al., 2013). Diferenças na população de bactérias diazotróficas no solo ocorrem até entre cultivares da mesma espécie, devido a cada cultivar responder de forma diferenciada à colonização em função das suas características genéticas (SILVA et al., 2004). Desse modo, possivelmente por características próprias da cultura, o sorgo granífero cultivado em solo sem contaminação de cobre proporciona uma população de *A. brasilense* superior a do milho.

A elevação da população de *A. brasilense* no solo estimula o aumento do crescimento e do desenvolvimento do sistema radicular das plantas, devido a elevar a concentração do ácido indolacético na rizosfera e, também, torna a fixação biológica de nitrogênio mais eficiente nas plantas (CASSÁN et al., 2020; ROESCH et al., 2005). Desse modo, a redução da população de *A. brasilense* no solo causada pela contaminação com o cobre pode afetar a eficiência da fixação biológica de nitrogênio assim como seus efeitos benéficos produzidos no sistema radicular.

## 5.6 CONCLUSÃO

A contaminação do solo com 400 mg de cobre  $\text{kg}^{-1}$  reduziu o número de esporos dos fungos micorrízicos arbusculares presente no solo cultivado com sorgo granífero e trigo.

O número de esporos do fungo *Acaulospora scrobiculata* no solo cultivado com milho, não reduziu com a contaminação do solo com 400 mg de cobre  $\text{kg}^{-1}$ .

A população de *Azospirillum brasilense* no solo cultivado com sorgo granífero e milho foi reduzida com a contaminação do solo com 400 mg de cobre  $\text{kg}^{-1}$ .

## 5.7 REFERÊNCIAS

ANDREAZZA, R. et al. Biorremediação de áreas contaminadas com cobre. **Revista de ciências agrárias**, v. 36, n. 2, p. 127-136, 2013. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16290>. Acesso em: 13 Fevereiro 2023.

ANTONIOLLI, Z. I. et al. Efeito do cobre na população de bactérias e fungos do solo, na associação micorrízica e no cultivo de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Pinus elliottii* Engelm e *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 3, p. 419-428, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/cFm43PmYhwzYwCFCKGT4cVK/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 18 Fevereiro 2023.



BARROS, S. **Fungos Micorrízicos Arbusculares e *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento de sorgo e milho cultivados em solo contaminado com cobre.** 2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, 2022.

BASHAN, L. E. *et al.* Growth of quailbush in acidic, metalliferous desert mine tailings: effect of *Azospirillum brasilense* Sp6 on biomass production and rhizosphere community structure. **Microbial ecology**, v. 60, p. 915-92, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00248-010-9713-7>. Acesso em: 13 Fevereiro 2023.

CASSÁN, F. *et al.* Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. **Biology and Fertility of Soils**, v. 56, n. 4, p. 461-479, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-020-01463-y>. Acesso em: 26 Agosto 2022.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC - CQFS. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 11.ed. Porto Alegre, RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. 376 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº420 de 28 de Dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, nº. 249, p. 81-84, 30 dez. 2009. Disponível em: [http://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=601](http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=601) . Acesso em: 13 Fevereiro 2023.

DEPNER, R. F. R. *et al.* O cobre como superfície de contato antimicrobiana e sua potencial aplicação na Medicina Veterinária. **Veterinária e Zootecnia**, v. 22, n. 4, p. 532-543, 2015. Disponível em: <https://rvz.emnuvens.com.br/rvz/article/view/865>. Acesso em: 05 Maio 2023.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. **Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não leguminosas.** 1. ed. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - CNPAB, 1995. 60 p.

FERREIRA, D. A. **Interações entre fungos micorrízicos arbusculares e a microbiota de solos.** 2016. Tese (Doutorado em ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2016.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/yjKLJXN9KysfmX6rvL93TSh/?lang=en>. Acesso em: 06 Setembro 2022.

FRANCO, A. D.; RAMIREZ, M. E.; CHÁIREZ, F. E. O. Reducción de la fertilización inorgánica mediante micorriza arbuscular en Sorgo. **Revista internacional de contaminación ambiental**, v. 35, n. 3, p. 683-692, 2019. Disponível em:

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992019000300683&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992019000300683&script=sci_arttext). Acesso em: 30 Agosto 2022.

GADD, G. Heavy metal pollutants: environmental and biotechnological aspects. In: Encyclopedia of microbiology. In: SCHAECHTER, M. (ed). **Encyclopedia of Microbiology**. Oxford: Academic Press, 2009. p. 321-334. Disponível em: <https://discovery.dundee.ac.uk/en/publications/heavy-metal-pollutants-environmental-and-biotechnological-aspects>. Acesso em: 09 Maio 2023.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil wet sieving and decanting. **Transactions of British Mycological Society**, v. 46, n. 2, p. 235-244, 1963. Disponível em: <https://srv2.freepaper.me/n/wSnbIbeX1cYJnqGzqgagLA/PDF/3a/3a70a9cecd93997ca1f0deb7db2beb79.pdf>. Acesso em: 02 Janeiro 2023.

GOMIDE, P. H. O. *et al.* Diversidade e função de fungos micorrízicos arbusculares em sucessão de espécies hospedeiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 11, p. 1483-1490, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/kpQqzwYKTcLw6PtMM9cct3t/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 15 Fevereiro de 2023.

HUNGRIA, M. *et al.* Interação entre microrganismos do solo, feijoeiro e milho em monocultura ou consórcio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 8, p. 807-818, 1997.

LI, J. *et al.* Copper pollution decreases the resistance of soil microbial community to subsequent dry–rewetting disturbance. **Journal of Environmental Sciences**, v. 39, p. 155-164, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1001074215004441>. Acessado em: 13 Fevereiro 2023.

LINS, C. E. L. **Efeito do cobre sobre fungos micorrízicos e Trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.)**. 2006. Tese (Doutorado em biologia de fungos) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2006.

MERGULHÃO, A. C. E. S. *et al.* Hospedeiros e ciclos sucessivos de multiplicação afetam a detecção de fungos micorrízicos arbusculares em áreas impactadas por mineração gesseira. **Revista Árvore**, v. 33, n. 2, p. 227-236, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/dyRRGpRh7TRv5VjYJQr4ZWn/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 15 Fevereiro 2023.

MIRANDA, J. C. C. **Cerrado micorriza arbuscular manejo e ocorrência**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 169 p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras, MG: Editora UFLA, 2006. 729 p.

MOREIRA, F. T. A. *et al.* Ocorrência De Bactérias do Gênero *Azospirillum spp.* associadas a gramíneas forrageiras no Semiárido Nordestino. **Holos**, v. 3, p. 205-212, 2013. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1043>. Acesso em: 09 Abril 2023.

MOREIRA, R. C.; VALADÃO, F. C. A.; JÚNIOR, D. D. V. Desempenho agrônômico do milho em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, v. 62, 2019. Disponível em: <http://btcc.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/2865>. Acesso em: 26 Agosto 2022.

NOVAIS, C. B. *et al.* **Técnicas Básicas em Micorrizas Arbusculares**. 1. ed. Lavras, MG: Ed.UFLA, 2017. 132 p.

RODRIGUES, L. A.; BARROSO, D. G.; FIQUEIREDO, F. A. M. M. A. Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e na nutrição mineral de mudas de *Tectona grandis* LF. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 25-34, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/sYjg68QXYRNT7zNfZsgXqJF/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 28 Agosto 2022.

ROESCH, L. F. *et al.* Identificação de cultivares de milho eficientes na absorção de bactérias e na associação com bactérias diazotróficas. **Ciência Rural**, v. 35, n. 4, p. 924-927, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/3rnqFBWrWxKjpdH6qmYFLtB/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 19 Fevereiro 2023.

RONDINA, A. B. L. *et al.* Changes in root morphological traits in soybean co-inoculated with Bradyrhizobium spp. and *Azospirillum brasilense* or treated with *A. brasilense* exudates. **Biology and Fertility of Soils**, v. 56, n. 4, p. 537-549, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-020-01453-0>. Acesso em: 26 Agosto 2022.

RUSCITTI, M.; ARANGO, M.; BELTRANO, J. Improvement of copper stress tolerance in pepper plants (*Capsicum annuum* L.) by inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 29, n. 1, p. 37-49, 2017. Disponível: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40626-016-0081-7>. Acesso em: 13 Fevereiro 2023.

SANTANA, N. A. **Fitorremediação do cobre em vinhedos: efeito do fungo micorrízico arbuscular, minhocas e vermicomposto**. 2018. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS, L. C. **Efeito do cobre na população de bactérias e fungos do solo, associação ectomicorrízica e no desenvolvimento de mudas de eucalipto e canafístula**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo). – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2006.

SILVA, D. M. *et al.* Bactérias diazotróficas em solo cultivado com arroz irrigado (*Oryza sativa* L.). **Current Agricultural Science and Technology**, v. 10, n. 4, p. 467-474, 2004. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/view/1015>. Acesso em: 19 Fevereiro 2023.

SILVA, G. A. *et al.* Potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares oriundos de área de caatinga nativa e degradada por mineração, no Estado da Bahia, Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 24, n. 2, p. 135-143, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbb/a/KyfyysBzGZMSsfRjnYGsTM4t/?lang=pt#>. Acesso em: 15 Fevereiro 2023.

SILVA, I. C. *et al.* Growth of *Brachiaria decumbens* in Latosol contaminated with copper. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 2, p. 168-175, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/9kWdCgMGjrWgR7PYbG8BjTd/abstract/?lang=en>. Acesso em: 13 Fevereiro 2023.

SILVA, J. C. **O desenvolvimento e capacidade fitoextratora de plantas agrícolas cultivadas em solos com diferentes texturas e teores de cobre**. 2019. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, 2019.

TAVARES, G. G. **Alterações fisiológicas em plantas de soja submetidas a níveis de déficit hídrico e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias - Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, GO, 2020.

TURCHETTO, R. **Fungos micorrízicos e *Azospirillum* no desenvolvimento do trigo em solo contaminado com cobre**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, 2021.

VIDEIRA, S. S.; ARAÚJO, J. L. S.; BALDANI, V. L. D. **Metodologia para isolamento e posicionamento taxonômico de bactérias diazotróficas oriundas de plantas não leguminosas**. 1 ed. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 2007. 74 p.

VIDOTTI, M. S. *et al.* Additive and heterozygous (dis) advantage GWAS models reveal candidate genes involved in the genotypic variation of maize hybrids to *Azospirillum brasilense*. **Plos one**, v. 14, n. 9, p. 1-21, 2019. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0222788>. Acesso em: 01 Setembro 2022.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inoculação de *Azospirillum brasilense* em Poaceas é uma prática que vem se consolidando na agricultura brasileira. No primeiro capítulo desenvolvido nesta dissertação se evidenciou que a inoculação de *Azospirillum brasilense* no sorgo granífero cultivado nas doses de fertilizante aumentou o sistema radicular, NDVI, produtividade de grãos e teor de proteína dos grãos. O sistema radicular é o órgão preferencialmente modificado pela *Azospirillum*, em função da bactéria produzir fitohormônios especialmente o ácido indolacético e aumentar a disponibilidade de nitrogênio através da FBN, possibilitando aumento da absorção de minerais e de água pelas plantas (CASSÁN et al., 2020; MOREIRA; VALADÃO; JÚNIOR, 2019). A produtividade de grãos de cereais aumenta com inoculação de *Azospirillum brasilense*, devido a esse organismo melhorar o desenvolvimento das plantas e sua nutrição principalmente em relação ao nitrogênio, o que também aumenta do teor de proteína dos grãos (BARROS, 2022; CANEPELLE et al., 2019; CASSÁN et al., 2020; CAZETTA et al., 2008; DÍAZ-ZORITA et al., 2015).

No sorgo granífero se evidenciou que inoculação de *Azospirillum brasilense* possibilita as plantas cultivadas com 75% da dose de fertilizante produtividade de grãos e teor de proteína dos grãos equivalente às cultivadas com 100% da dose recomendada de fertilizante sem inoculação. A inoculação das culturas agrícolas com bactérias promotoras do crescimento de plantas, como *Azospirillum brasilense*, é uma técnica viável para aumentar a eficiência dos fertilizantes, bem como reduzir suas quantidades aplicadas às plantas (HUNGRIA, 2011).

No segundo capítulo desta dissertação se evidenciou que a inoculação dos fungos *Scutellospora pellucida* e *Acaulospora scrobiculata* no sorgo granífero aumentou o peso de mil grãos, produtividade de grãos e os teores de fósforo e potássio dos grãos, o fungo *Acaulospora scrobiculata* também aumentou altura, área foliar, clorofila, massa seca de panícula e comprimento de panícula do sorgo granífero. Já inoculação do fungo *Glomus formosanum* no sorgo granífero aumentou massa seca da parte aérea, área superficial específica, volume e comprimento da raiz. A melhor nutrição das plantas inoculadas com fungos micorrízicos ocasionada em função do micélio externo do fungo aumentar a sua capacidade de explorar o solo, aumenta o seu desenvolvimento e produtividade (FRANCO; RAMIREZ; CHÁIREZ, 2019; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; NOVAIS et al., 2017).

O segundo capítulo evidenciou também que as espécies de fungos micorrízicos arbusculares inoculadas no sorgo granífero foram eficientes em aumentar o teor de proteína dos grãos e o NDVI. A maior absorção de nitrogênio nas plantas, ocasionada pelos fungos micorrízicos, ocorre devido ha modificações no sistema radicular, que contribui para o aumento da proteína nos grãos e do NVDI (NOVAIS et al., 2017; PINNOW et al., 2013; POVH et al., 2008). A porcentagem de colonização micorrízica do sorgo granífero e o número de esporos no solo variaram entre espécies de FMAs e entre cultivares de sorgo, sendo a *Scutellospora pellucida* a mais indicada para BRS 310 e *Glomus formosanum* para BRS 330. A capacidade de esporular é própria de cada espécie de fungo micorrízico, assim como sua porcentagem de colonização (HUNGRIA et al., 1997; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Os fungos micorrízicos arbusculares e a bactéria *A. brasilense* surgem também como alternativa para melhorar o crescimento e desenvolvimento de plantas em áreas contaminadas por cobre, contudo o excesso do metal no solo pode mudar suas populações e afetar sua ocorrência (BARROS, 2022; SANTOS, 2006; SILVA et al., 2018). No terceiro capítulo desenvolvido nesta dissertação se evidenciou que contaminação do solo com 400 mg de cobre  $\text{kg}^{-1}$  reduziu o número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares no solo cultivado com sorgo granífero e trigo, porém não afetou o do fungo *Acaulospora scrobiculata* quando cultivado com milho. A população de *Azospirillum brasilense* existente no solo cultivado com sorgo granífero e milho também é reduzida com contaminação do solo com 400 mg de cobre  $\text{kg}^{-1}$ . O excesso de cobre no solo inibe a germinação dos esporos dos fungos micorrízicos arbusculares, o que afeta a sua sobrevivência e permanência no solo e, também, apresenta ação antimicrobiana nas bactérias do solo (ANTONIOLLI et al., 2010; LINS, 2006; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; SILVA et al., 2001).

A inoculação de outras espécies de fungos micorrízicos e de bactérias promotoras de crescimento vegetal nessas e em outras cultivares, é necessária na busca pela redução na utilização, ou aumento da eficiência dos fertilizantes inorgânicos aplicados no sorgo granífero. Para perspectivas futuras, sugere-se o desenvolvimento de estudos em condições de campo com as cultivares de sorgo granífero inoculadas com esses microrganismos a fim de verificar se os efeitos benéficos proporcionados pelos microrganismos a essas plantas se mantêm nessa condição de cultivo. Orienta-se ainda o desenvolvimento de estudos que possam investigar se outras concentrações de cobre no solo, principalmente acima do limite máximo permitido pela legislação brasileira para áreas agrícolas, afetam ocorrência dos fungos micorrízicos arbusculares e da bactéria *Azospirillum brasilense* no solo cultivado com culturas agrícolas.

## 7 CONCLUSÃO GERAL

A inoculação de *Azospirillum brasilense* possibilita as plantas cultivadas com 75% da dose de fertilizante inorgânico, produtividade e teor de proteína dos grãos equivalente às cultivadas com 100% da dose recomendada de fertilizante sem inoculação. Desse modo, a inoculação de *Azospirillum brasilense* possui a capacidade de substituir parcialmente o fertilizante inorgânico na cultura do sorgo granífero. A inoculação de *Azospirillum brasilense* também aumenta o sistema radicular e do NDVI do sorgo granífero.

As espécies de fungos micorrízicos arbusculares *Scutellospora pellucida* e *Acaulospora scrobiculata* são eficientes em aumentar a produtividade de grãos do sorgo granífero, o fungo *Acaulospora scrobiculata* também é eficiente em aumentar o seu desenvolvimento vegetativo assim como *Glomus formosanum*. A porcentagem de colonização micorrízica do sorgo granífero e o número de esporos no solo varia entre espécies de fungos micorrízicos arbusculares e entre cultivares de sorgo, sendo maior na cultivar BRS 310 com a inoculação de *Scutellospora pellucida* e na cultivar BRS 330 com de *Glomus formosanum*.

A contaminação do solo com 400 mg de cobre kg<sup>-1</sup> reduz o número de esporos dos fungos micorrízicos arbusculares no solo cultivado com sorgo granífero e trigo. Porém, não afeta o número de esporos do fungo *Acaulospora scrobiculata*, quando cultivado com milho. O excesso de cobre no solo reduz a população da bactéria diazotrófica *Azospirillum brasilense* presente no solo cultivado com sorgo granífero e milho.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. J. B.; MENEZES, C. B.; FREITAS, R. S. Origem, evolução e domesticação do sorgo. *In*: MENEZES, C. B. (ed). **Melhoramento Genético de Sorgo**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 59-80.

ANDRADE, A. F. *et al.* *Azospirillum brasilense* inoculation methods in corn and sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, p. 1-9, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/k4vz8CzT979GhDP45kd9MGK/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 25 Agosto 2022.

ANDREAZZA, R. *et al.* Biorremediação de áreas contaminadas com cobre. **Revista de ciências agrárias**, v. 36, n. 2, p. 127-136, 2013. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16290>. Acesso em: 13 Fevereiro 2023.

ANTONIOLLI, Z. I. *et al.* Efeito do cobre na população de bactérias e fungos do solo, na associação micorrízica e no cultivo de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Pinus elliottii* Engelm e *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 3, p. 419-428, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/cFm43PmYhwzYwCFCKGT4cVK/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 18 Fevereiro 2023.

BARROS, S. **Fungos Micorrízicos Arbusculares e *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento de sorgo e milho cultivados em solo contaminado com cobre**. 2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, 2022.

BIESDORF, E. M. *et al.* Efeito inibitório do sorgo granífero na cultura da soja semeada em sucessão. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 3, p. 445-459, 2018. Disponível em: <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/1029>. Acesso em: 24 Agosto 2022.

BORGES, I. D. *et al.* Acúmulo de macronutrientes na cultura do sorgo granífero na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 294-304, 2016. Disponível em: <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/692>. Acesso em: 24 Agosto 2022.

BRESSAN, W. *et al.* Fungos micorrízicos e fósforo, no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção do sorgo e soja consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 315-323, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/XsfyFJkgbMZfB5PsS94Fh6z/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 30 Agosto 2022.

CANEPELLE, E. *et al.* Propriedades reológicas e físico-químicas dos grãos de trigo produzidos com pó de rocha de basalto e *Azospirillum brasilense*. *In*: IX SIEPEX-IX Salão Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão. **Anais eletrônicos [...]**. Porto Alegre: UERGS, 2019. Disponível em: <http://conferencia.uergs.edu.br/index.php/IXSIEPEX/IXSIEPEX/paper/view/3409>. Acesso em: 01 Outubro 2022.



CASSÁN, F. *et al.* Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. **Biology and Fertility of Soils**, v. 56, n. 4, p. 461-479, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-020-01463-y>. Acesso em: 26 Agosto 2022.

CAZETTA, D. A. *et al.* Qualidade industrial de cultivares de trigo e triticale submetidos à adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. **Bragantia**, v. 67, n. 3, p. 741-750, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/Z7mRnQ389hzTQpMDqgGyzKx/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 30 Setembro 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Portal de informações agropecuárias. Produção agrícola: safras-estimativas-grãos**. 2023. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-estimativa-de-evolucao-graos.html>. Acesso em: 05 Janeiro 2023.

CORSINI, D. C. D. C. **Coberturas vegetais e modos de inoculação com *Azospirillum brasilense* em milho sobre três sistemas de preparo de solo**. 2018. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, SP, 2018.

DÍAZ-ZORITA, M. *et al.* Field evaluation of extensive crops inoculated with *Azospirillum* sp. In: CASSAN, F. D.; OKON, Y.; CREUS, C. M. (eds.). **Handbook for *Azospirillum* Technical issues and protocols**. Cham: Springer, 2015. p. 435–445. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-06542-7\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-319-06542-7_24). Acesso em: 01 Outubro 2022. Disponível em: <http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/709>. Acesso em: 19 Setembro de 2022.

DUARTE, D. C. F. *et al.* *Azospirillum* spp. en gramíneas y forrajeras - Revisión. **Revista mexicana de Ciencias Pecuarias**, v. 11, n. 1, p. 223-240, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v11n1/2448-6698-rmcp-11-01-223.pdf>. Acesso em: 26 Agosto 2022.

FERREIRA, N. S. *et al.* Reclassificação baseada no genoma de *Azospirillum brasilense* Sp245 como a cepa tipo de *Azospirillum baldaniorum* sp. **Revista Internacional de Microbiologia Sistemática e Evolutiva**, v. 70, n. 12, p. 6203-6212, 2020. Disponível em: <https://www.microbiologyresearch.org/content/journal/ijsem/10.1099/ijsem.0.004517#R3>. Acesso em: 26 Agosto 2022.

FILHO, O. F. **Indicação de folha índice para diagnose foliar em sorgo-sacarino**. 1. ed. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2020. 9 p.

FRANCO, A. D. *et al.* Características de planta, suelo y productividad entre sorgo fertilizado e inoculado con micorriza arbuscular. **Revista mexicana de ciencias agrícolas**, v. 5, n. 3, p. 379-390, 2014. Disponível em: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342014000300004&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342014000300004&script=sci_arttext). Acesso em: 25 Janeiro 2023.

FRANCO, A. D.; HERNÁNDEZ, C. J.; DEL RÍO, M. A. P. Productividad de sorgo en campo asociada con micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense*. **Universidad y ciencia**, v. 24, n. 3, p. 229-237, 2008. Disponível em:

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?Script=sci\\_arttext&pid=S0186-29792008000300007&lang=pt](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=S0186-29792008000300007&lang=pt). Acesso em: 29 Dezembro 2022.

FRANCO, A. D.; RAMIREZ, M. E.; CHÁIREZ, F. E. O. Reducción de la fertilización inorgánica mediante micorriza arbuscular en Sorgo. **Revista internacional de contaminación ambiental**, v. 35, n. 3, p. 683-692, 2019. Disponível em: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992019000300683&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992019000300683&script=sci_arttext). Acesso em: 30 Agosto 2022.

FREITAS, P. V. D. X. *et al.* Produção de gramíneas forrageiras inoculadas com *Azospirillum brasilense* associada a adubação nitrogenada. **Revista Científica Rural**, v. 21, p. 31-46, 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Paulo-Freitas-16/publication/334908376\\_PRODUCAO\\_DE\\_GRAMINEAS\\_FORRAGEIRAS\\_INOCULADAS\\_COM\\_AZOSPIRILLUM\\_BRASILENSE\\_ASSOCIADA\\_A\\_ADUBACAO\\_NITROGENADA/links/5d7f8a83458515fca16cac69/PRODUCAO-DE-GRAMINEAS-FORRAGEIRAS-INOCULADAS-COM-AZOSPIRILLUM-BRASILENSE-ASSOCIADA-A-ADUBACAO-NITROGENADA.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Paulo-Freitas-16/publication/334908376_PRODUCAO_DE_GRAMINEAS_FORRAGEIRAS_INOCULADAS_COM_AZOSPIRILLUM_BRASILENSE_ASSOCIADA_A_ADUBACAO_NITROGENADA/links/5d7f8a83458515fca16cac69/PRODUCAO-DE-GRAMINEAS-FORRAGEIRAS-INOCULADAS-COM-AZOSPIRILLUM-BRASILENSE-ASSOCIADA-A-ADUBACAO-NITROGENADA.pdf). Acesso em: 26 Agosto 2022.

GUIMARÃES, D. P. *et al.* **Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc) para o sorgo granífero no Brasil**. 1. ed. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 18 p.

HUNGRIA, M. *Azospirillum*: um velho novo aliado. *In*: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de plantas, 32.; Reunião Brasileira Sobre Micorrizas, 16.; Simpósio Brasileiro de Microbiologia do solo, 14.; Reunião Brasileira de Biologia do Solo, 11. 2016, Goiânia. **Anais eletrônicos** [...].Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1057259>. Acesso em: 26 Agosto 2022.

HUNGRIA, M. *et al.* Interação entre microrganismos do solo, feijoeiro e milho em monocultura ou consórcio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 8, p. 807-818, 1997.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. 1. ed. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2011. 36 p.

LI, J. *et al.* Copper pollution decreases the resistance of soil microbial community to subsequent dry–rewetting disturbance. **Journal of Environmental Sciences**, v. 39, p. 155-164, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1001074215004441>. Acessado em: 13 Fevereiro 2023.

LINS, C. E. L. **Efeito do cobre sobre fungos micorrízicos e Trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.)**. 2006. Tese (Doutorado em biologia de fungos) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2006.

MENEZES, C. B. *et al.* É Possível Aumentar a Produtividade de Sorgo Granífero no Brasil?. *In*: PAES, M. D. A; VINHO, R.G.; MOREIRA, S. G. (ed). **Livro de palestras: Soluções integradas para os sistemas de produção de milho e sorgo no Brasil**. Sete Lagoas, MG: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2018. p. 106-139.

MENEZES, C. B. *et al.* Importância do sorgo para o abastecimento de grãos, forragem e bioenergia no Brasil. *In:* MENEZES, C. B. (ed). **Melhoramento Genético de Sorgo**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 14-58.

MENEZES, C. B.; SILVA, K. J.; SANTOS, C. V. Melhoramento Genético de Sorgo Granífero. *In:* MENEZES, C.B. (ed). **Melhoramento Genético de Sorgo**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 216- 240.

MIRANDA, J. C. C. **Cerrado: micorriza arbuscular: ocorrência e manejo**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 169 p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras, MG: Editora UFLA, 2006. 729 p.

MOREIRA, R. C.; VALADÃO, F. C. A.; JÚNIOR, D. D. V. Desempenho agrônômico do milho em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, v. 62, 2019. Disponível em: <http://btcc.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/2865>. Acesso em: 26 Agosto 2022.

MORTATE, R. K. *et al.* Resposta de sorgo inoculado com *Azospirillum brasilense* a doses de nitrogênio em cobertura. **Revista Ciência Agrícola**, v. 18, n. 1, p. 65-72, 2020. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/revistacienciaagricola/article/view/7388>. Acesso em: 26 Agosto 2022.

NOVAIS, C. B. *et al.* **Técnicas Básicas em Micorrizas Arbusculares**. 1. ed. Lavras, MG: Ed.UFLA, 2017. 132 p.

PAIVA, A. P. L. *et al.* ***Azospirillum brasilense* para Mitigação do Estresse Hídrico no Sorgo BRS 332 Submetido a Diferentes Doses de Nitrogênio**. 1 ed. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 36p.

PÉREZ, Y. M.; RODRÍGUEZ, J. M. D. A.; SUÁREZ, K. F. Evaluación de la infectividad de *Glomus cubense* en formulación líquida sometida a diferentes presiones hidrostáticas. **Cultivos Tropicales**, v. 39, n. 4, p. 86-90, 2018. Disponível em: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362018000400012&lang=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362018000400012&lang=pt). Acesso em: 30 Agosto 2022.

PINNOW, C. *et al.* Qualidade industrial do trigo em resposta à adubação verde e doses de nitrogênio. **Bragantia**, v. 72, n. 1, p. 20-28, 2013. Disponível: <https://www.scielo.br/j/brag/a/cFnsJHFWHrxXXXJggHYWvKD/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 30 Setembro 2022.

POVH, F. P. *et al.* Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 8, p. 1075-1083, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/fxPgbgnrmFN9GjF8R497NSj/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 14 Setembro 2022.

RODRIGUES, L. A.; BARROSO, D. G.; FIQUEIREDO, F. A. M. M. A. Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e na nutrição mineral de mudas de *Tectona grandis* LF. **Ciência**

**Florestal**, v. 28, p. 25-34, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/sYjg68QXYRNT7zNfZsgXqJF/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 28 Agosto 2022.

RONDINA, A. B. L. *et al.* Alterações nas características morfológicas radiculares em soja coinoculada com *Bradyrhizobium* spp. e *Azospirillum brasilense* ou tratados com A. exsudatos brasileiros. **Biology and Fertility of Soils**, v. 56, n. 4, p. 537-549, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-020-01453-0>. Acesso em: 26 Agosto 2022.

SANTANA, N. A. **Fitorremediação do cobre em vinhedos: efeito do fungo micorrízico arbuscular, minhocas e vermicomposto**. 2018. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018.

SANTOS, L. C. **Efeito do cobre na população de bactérias e fungos do solo, associação ectomicorrízica e no desenvolvimento de mudas de eucalipto e canafístula**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo). – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2006.

SILVA, G. A. *et al.* Potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares oriundos de área de caatinga nativa e degradada por mineração, no Estado da Bahia, Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 24, n. 2, p. 135-143, 2001. Disponível: <https://www.scielo.br/j/rbb/a/KyfyfSBgZMSsfRjnYGsTM4t/?lang=pt#>. Acesso em: 15 Fevereiro 2023.

SILVA, I. C. *et al.* Growth of *Brachiaria decumbens* in Latosol contaminated with copper. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 2, p. 168-175, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/9kWdCgMGjrWgR7PYbG8BjTd/abstract/?lang=en>. Acesso em: 13 Fevereiro 2023.

SILVA, J. C. **O desenvolvimento e capacidade fitoextratora de plantas agrícolas cultivadas em solos com diferentes texturas e teores de cobre**. 2019. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, 2019.

SOARES, D. A. *et al.* Inoculation with *Azospirillum* combined with nitrogen fertilization in sorghum intercropped with Urochloa in off-season. **Revista Ceres**, v. 69, p. 227-235, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/JTtxtgtFvLrjRjk8cJRPkQpPP/abstract/?lang=en>. Acesso em: 25 Agosto 2022.

WRITZL, T. C. *et al.* Produção de milho pipoca com uso do pó de rocha de basalto associado à cama de frango em Latossolo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 2, p. 101-109, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/rbas/article/view/3077>. Acesso em: 20 Fevereiro 2023.