

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

MARCELLO AUGUSTO ISQUIZATO PEREIRA

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NA AMENIZAÇÃO DO  
ESTRESSE DE FÓSFORO NO SORGO EM CULTIVO SUCESSIVO EM  
SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS**

MONTE CARMELO

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

MARCELLO AUGUSTO ISQUIZATO PEREIRA

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NA AMENIZAÇÃO DO ESTRESSE  
DE FÓSFORO NO SORGO EM CULTIVO SUCESSIVO EM SOLOS DE  
DIFERENTES TEXTURAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo - MG, como requisito necessário para a obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Douglas José Marques

MONTE CARMELO

2025

MARCELLO AUGUSTO ISQUIZATO PEREIRA

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NA AMENIZAÇÃO DO ESTRESSE  
DE FÓSFORO NO SORGO EM CULTIVO SUCESSIVO EM SOLOS DE  
DIFERENTES TEXTURAS**

---

Prof. Dr. Douglas José Marques  
Orientador

---

Prof. Dr. Bruno Sérgio Vieira  
Membro banca

---

Prof(a). Dr(a). Cinara Xavier de Almeida  
Membro banca

---

Prof. Dr. Enio Tarso de Souza Costa  
Coordenador do Curso

Monte Carmelo

2025

## **AGRADECIMENTOS**

Encerrando este Trabalho de Conclusão de Curso II gostaria de agradecer pessoas que contriuríram de forma direta e indireta na minha jornada profissional.

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por iluminar meus caminhos e me auxiliar nessa etapa da minha carreira.

A minha mãe Adriana, minha avó Maria Auxiliadora e a minha namorada Marcela, por todo o apoio, amor e incentivo nesses anos e por toda a paciência e compreensão.

Agradeço a todo o corpo docente e à Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo – MG pelos ensinamentos passados ao longo da minha graduação. Agradeço o apoio do Laboratório de Fitotecnia, e ao técnico Gustavo Moreira pela confiança e auxílio durante a condução do experimento.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Douglas José Marques por todo o incentivo depositado, além de toda atenção e cuidado durante a graduação.

.

## RESUMO

A adubação fosfatada aplicada via solo pode ter efeitos diferentes em função da textura do solo, e assim afetar o metabolismo e a produtividade do sorgo pela importância desse elemento para a cultura. Esse desafio está relacionado a variação no preço pago pelo fertilizante fosfatado, que está relacionado a flutuação no preço de venda do grão. Dessa forma, é importante criar uma alternativa para melhorar a eficiência no uso do fósforo (P). A hipótese da pesquisa foi que a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) melhora a absorção de fósforo no sorgo. Sendo assim, a pesquisa teve como objetivo investigar a amenização do estresse P na presença de FMA em diferentes tipos de solo e seus efeitos na produtividade do sorgo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial  $2 \times 2 \times 2$  com quatro repetições: o primeiro fator P-estresse (-P: 150 mg kg P e +P: 300 mg kg P) x segundo fator: fungos micorrízicos arbusculares (FMA) (+ FMA: presença e -FMA: ausência) x terceiro fator: solo LVd (latossolo vermelho distrófico) com textura argilosa e LaD (latossolo amarelo distrófico) com textura arenosa coletados em mata nativa na faixa do horizonte B na camada 0-20 cm de profundidade. Durante a pesquisa foram avaliados, massa seca das plantas (raiz, caule e folha), número de folhas, número de grãos, altura da panícula, altura da planta, diâmetro do caule, massa de cem grãos e massa seca dos grãos por planta. Concluiu-se com a pesquisa que o uso de fungos micorrízicos arbusculares oriundos do resíduo da cultura anterior amenizou o estresse de fósforo promovendo incremento no número de grãos, produtividade para os tipos de solo arenoso e argiloso.

**Keywords:** Metabolismo; Microrganismos; Produtividade.

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>RESUMO .....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>   | <b>9</b>  |
| 2.1 Importância econômica do sorgo granífero .....                             | 9         |
| 2.2 Influência da textura do solo na produtividade do sorgo granífero ....     | 10        |
| 2.3 Uso de fungos micorrízicos arbusculares no sorgo granífero.....            | 12        |
| 2.4 Influência da textura do solo, fmas e p no manejo da cultura do sorgo..... | 13        |
| <b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>  | <b>14</b> |
| 3.1 Local da pesquisa.....   | 14        |
| 3.2 Análise química e física do solo.....                                      | 15        |
| 3.3 Manejo da adubação.....  | 15        |
| 3.4 Manejo fitossanitário.....   | 15        |
| 3.5 Delineamento experimental.....   | 15        |
| 3.6 Avaliação agronomica.....  | 16        |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>  | <b>17</b> |
| <b>5 CONCLUSÃO .....</b>   | <b>23</b> |
| <b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                      | <b>23</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O fósforo é amplamente reconhecido como o nutriente mais problemático na agricultura brasileira. Há uma necessidade de pesquisas para compreender seu comportamento no solo e desenvolver práticas de manejo que garantam o uso eficiente dos fertilizantes, visando a maximização das produtividades agrícolas.

O sorgo (*Sorghum bicolor*), originário da África, destaca-se como o quarto cereal em área plantada mundialmente (DILLE et al., 2020; RASHWAN et al., 2021), devido a sua versatilidade, que permite o uso tanto como grão como forragem para a nutrição de ruminantes. Além disso, o sorgo é empregado na produção de álcool anidro e diversas bebidas alcoólicas. Cultivado predominantemente nas regiões tropicais e subtropicais do mundo, esse cereal é notável por sua tolerância à seca e às altas temperaturas, sendo particularmente adaptado a áreas propensas à escassez hídrica ou irregularidade de chuvas (CAMACHO et al., 2002; MAPA, 2006).

Sua relevância para o Brasil é imensa (OLIVEIRA et al., 2002), uma vez que pode substituir o milho (*Zea mays*) como um importante suplemento energético, trazendo consideráveis vantagens econômicas para os produtores. Atualmente, a demanda por grãos no Brasil tem crescido em função da expansão dos setores aviário, bovinocultura e suinocultura (MENEZES et al., 2014). A produção de milho, no entanto, demonstra dificuldades para atender a crescente demanda, o que torna a cultura do sorgo uma solução oportuna para suprir tal necessidade do mercado (FREITAS et al., 2016).

Na adubação fosfatada de manutenção para a cultura do sorgo, em solos com textura argilosa de 60 a 100 % será de 5,5 a 8,0 mg dm<sup>3</sup>, seguindo as recomendações de dosagem de acordo com a quantidade removida do produto colhido (JORHI et al., 2015).

A absorção do fósforo pelas raízes das plantas ocorre principalmente por meio de um processo que depende da difusão do fósforo no solo. No entanto, essa difusão acontece em uma taxa muito lenta, o que pode não ser suficiente para atender as demandas das plantas (NUNES et al., 2011). Nesse cenário, o micélio dos fungos micorrízicos arbusculares desempenha um papel crucial. Composto por um conjunto de hifas que se estendem além da zona onde as raízes esgotam os nutrientes, o micélio dos FMA é capaz de explorar um volume maior de solo e possui uma alta afinidade pelo íon de fosfato (JANSA et al., 2019).

O aumento na absorção de P pelo micélio extraradicular pode ser atribuído à sua habilidade de explorar mais eficientemente o volume do solo. Essa exploração permite que

fosfatos localizados em áreas antes inacessíveis às raízes se tornem disponíveis, além de reduzir a distância necessária para a difusão dos íons de fosfato (SMITH; READ., 2008).

Dessa forma, é importante criar uma alternativa para melhorar a eficiência no uso do P. A hipótese da pesquisa foi a inoculação FMA melhora a absorção de fósforo no sorgo. Sendo assim, objetivou-se com essa pesquisa investigar a amenização do estresse de P na presença de FMA em diferentes texturas do solo e seus efeitos na produtividade do sorgo.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Importância econômica do sorgo granífero**

O sorgo, um dos cereais mais cultivados no mundo, continua a ganhar espaço no Brasil, com a área plantada crescendo a cada safra. Atualmente, já são 1,5 milhões de hectares dedicados a essa cultura, que apresenta uma produtividade média de 3.225 kg por hectare (CONAB, 2024).

Provavelmente o sorgo tem sua origem na África Tropical, apesar de algumas evidências sugerirem que possa ter existido duas áreas de expansão independentes: África e Ásia. O grão é o alimento mais utilizado na alimentação básica da população de inúmeros países da África e Ásia. O sorgo é amplamente conhecido por sua capacidade de resistir a condições de déficit hídrico e ainda conseguir produzir com períodos de longas estiagens. (EMBRAPA, 2000).

Na primeira década do século XX, o sorgo foi amplamente cultivado nos Estados Unidos com a finalidade de produzir xarope e melaço. As variedades cultivadas na época eram de porte alto e tardias, apresentavam características fenotípicas semelhantes às dos atuais sorgos forrageiros destinados a silagem. Entretanto, o porte avantajado dessas cultivares dificultava sua utilização como plantas graníferas, uma vez que a colheita, mesmo quando realizada da forma manual, se mostrava desafiadora (EMBRAPA, 2000).

Com o mercado em plena expansão, o sorgo destaca-se por sua versatilidade, trazendo benefícios econômicos tanto para os agricultores quanto para o agronegócio brasileiro. A área cultiva de sorgo no Brasil está estimada em 1.491.7 mil hectares com uma produção média de 4.654.9 mil toneladas e produtividade média de 3.121 kg ha<sup>-1</sup>. O estado de Goiás lidera a produção nacional com 1.330.8 mil toneladas e produtividade entre 3.388 kg ha<sup>-1</sup>. Logo em seguida temos, o estado de Minas Gerais com produção média de 1.126.1 mil toneladas e produtividade entre 3.224 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2025).



## 2.2 Influência da textura do solo na produtividade do sorgo granífero

O sorgo (*Sorghum bicolor* L.moench) retrata uma excelente alternativa de cultivo para vários estados brasileiros, da qual possui produção principalmente destinada a rações, em uma alternativa ao milho. Além disso, representa papel fundamental no que se diz respeito a rotação de culturas e produção de biomassa no sistema de plantio direto, devido ao seu intenso e dinâmico sistema radicular, capaz de descompactar o solo e assim movimentar os nutrientes em diferentes camadas do substrato (EMBRAPA, 2022).

O sorgo é uma planta autógama, com baixo valor de fecundação cruzada. A planta de sorgo apresenta metabolismo C4, resposta fotoperiódica típica de dia curto e de altas taxas fotossintéticas (EMBRAPA, 2011). De forma geral, todas as cultivares comerciais disponíveis de sorgo requerem temperaturas superiores a 21°C para um bom crescimento e desenvolvimento (EMBRAPA, 2003). A planta de sorgo tolera o déficit hídrico e o excesso de umidade do solo, mais do que se comparada a demais cereais e pode ser cultivada numa ampla faixa de condições de solo. (Sharma, et al., 2005; Bibi, et al., 2010).

No caso do cultivo do sorgo granífero semeado em sucessão as culturas de verão, há muita divergência em relação a necessidade de adubação e correção do solo, sendo assim, inúmeras pesquisas sobre a adubação em sorgo granífero em sucessão a cultura da soja tem mostrado efeitos positivos na produção, mesmo em anos com alto déficit hídrico (Viana, et al., 1986).

Assim temos como base as recomendações sugeridas pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, para adubação fosfatada e potássica de manutenção para a cultura do sorgo, tendo como base os solos que detém os valores desses componentes “disponíveis”, deveram ser iguais ou até maiores que o limite superior da classe média (Tabela1).

**Tabela 1.** Classes de interpretação da disponibilidade para o fósforo, de acordo com o teor de argila do solo e para o potássio

| <b>Característica</b> | <b>Muito baixo</b>                               | <b>Baixo</b> | <b>Médio</b> | <b>Bom</b>  | <b>Muito bom</b> |
|-----------------------|--|--------------|--------------|-------------|------------------|
| <b>Argila (%)</b>     | -----( $\text{mg dm}^{-3}$ ) <sup>-1</sup> ----- |              |              |             |                  |
|                       | <b>Fósforo disponível (P)<sup>2</sup></b>        |              |              |             |                  |
| 60 - 100              | < 2,7  | 2,8 – 5,4    | 5,5 – 8,0    | 8,1 – 12,0  | > 12,0           |
| 35 - 60               | < 4,1  | 4,1 – 8,0    | 8,1 – 12,0   | 12,1 – 18,0 | >18,0            |
| 15 - 35               | < 6,7  | 6,7 – 12,0   | 12,1 – 20,0  | 20,1 – 30,0 | >30,0            |
| 0 - 15                | < 10,1   | 10,1 – 20,0  | 20,1 – 30,0  | 30,1 – 45,0 | >45,0            |
|                       | <b>Potássio disponível (K)<sup>2</sup></b>       |              |              |             |                  |
|                       | < 16,0   | 16 - 40      | 41 - 70      | 71 - 120    | >120             |

Fonte: Modificada de ALVAREZ V. et al., (1999).

Estimativas indicam que a exportação do fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) pela cultura do sorgo varia entre 8 e 10 kg por tonelada de grãos produzidos. Essa faixa de valores pode ser considerada uma referência adequada também para o cultivo de sorgo destinado a produção forrageira (Tabela 2). Isso se justifica pela similaridade na demanda e na alocação de fósforo entre as duas finalidades, uma vez que a maior parte do fósforo absorvido pela cultura (superior a 80%) concentra-se nos grãos, mesmo quando o objetivo é a produção de forragem.

Pensando em solos arenosos ou em situações em que a recomendação da adubação potássica seja superior a 80 kg por hectare, sugere-se que ao menos metade desse valor seja aplicado no plantio e a outra metade seja aplicada na cobertura, juntamente com a adubação nitrogenada (ALVES et al.,1999).

**Tabela 2.** Recomendação de doses de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, em kg ha<sup>-1</sup>, para sorgo granífero em função dos teores de P e K no solo e expectativas de produtividade.

| Produtividade<br>t ha <sup>-1</sup> | Dose N<br>Semeadura            | Teor de P no solo<br>(mg dm <sup>-3</sup> ) |       |     | Teor de K no<br>solo<br>(mg dm <sup>-3</sup> ) |       | Dose de N<br>cobertura |    |
|-------------------------------------|--------------------------------|---|-------|-----|--|-------|------------------------|----|
|                                     |                                | Baixo                                       | Médio | Bom | Baixo  | Médio | Bom                    |    |
| Grãos                               | -----kg ha <sup>-1</sup> ----- |   |       |     |  |       |                        |    |
| 4 - 6                               | 20 - 30                        | 70  | 50    | 30  | 50   | 40    | 20                     | 40 |
| 6 - 8                               | 20 - 30                        | 80  | 60    | 40  | 70   | 60    | 40                     | 80 |

Fonte: Modificada ALVES et al. (1999).

Por fim, tendo como base o zoneamento de riscos climáticos para a cultura do sorgo no estado de Minas Gerais em 2009/2010 divulgado pelo Ministério da Agricultura e Abastecimento através da Portaria Nº 146 de 22 de julho de 2009 (MAPA/BRASIL, 2010), tem-se que o zoneamento abrangeu solos com texturas argilosas, média e arenosas, tendo sido considerados todos os municípios do estado. Resumidamente, tem-se que, municípios localizados no sudoeste do estado apresentaram período apto para plantio maior em relação aos localizados no extremo nordeste do estado.

### 2.3 Uso de fungos micorrízicos arbusculares no sorgo granífero

Os FMA, pertencem ao filo *Glomeromycota* e à classe *Glomeromycetes*, e são micorrizas amplamente presentes em ecossistemas terrestres. Essa relação simbiótica é considerada a mais significativa entre os microrganismos e plantas (SANTOS et al., 2011).

A associação dos FMA ocorre em cerca de 80% das espécies vegetais, no entanto, algumas famílias como: *Brassicaceae* e *Cyperaceae*, perderam essa capacidade (NOVAIS et al., 2017). Como resultado, uma parte expressiva da biomassa microbiana do solo é composta por esses fungos (GOMIDE et al., 2009).

Os FMA são biotróficos obrigatórios, o que significa que se reproduzem apenas quando estão associados a uma planta viva. Todas as espécies de FMA dependem da raiz metabolicamente ativa da cultura hospedeira para sua alimentação e reprodução. A associação com as plantas é caracterizada pela colonização das células do córtex radicular, tanto de forma intercelular quanto intracelular, resultando na formação de arbúsculos, estruturas essas que

facilitam as trocas entre o fungo e o hospedeiro. Essa interação se dá por intermédio de hifas cenocíticas, esporos grandes e, em alguns gêneros, a formação de vesículas. Essas estruturas, no entanto, não causam alterações morfológicas visíveis nas raízes (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; NOVAIS et al., 2017).

As vesículas são estruturas globosas ricas em lipídeos, que se formam a partir de dilatações terminais nas hifas e funcionam como órgãos de reserva para os fungos, além de atuar como propágulos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Além de promoverem o crescimento e melhoria na produtividade das plantas, os FMA aumentam a absorção de água e nutrientes essenciais como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, manganês, zinco e cobre. Isso se deve a capacidade do micélio do fungo em se expandir em uma área de exploração do solo pelas raízes, alcançando poros que são inacessíveis a elas devido ao pequeno diâmetro das hifas (NOVAIS et al., 2017).

Os FMA proporcionam ainda outros benefícios as plantas hospedeiras, como maior tolerância ao estresse hídrico, aumento na produção de auxinas, citocininas, giberelinas e vitaminas, além de reduzir os danos causados por nematoide e fungos patogênicos nas raízes (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; NOVAIS et al., 2017).

Estudos demonstram que a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares no sorgo granífero resulta no aumento da matéria seca da parte aérea, do peso dos grãos, da produção geral e dos teores foliares de nutrientes, incluindo N, P, K, Zn e Cu (BRESSAN et al., 2001). A inoculação desses fungos na cultura do sorgo também contribui para o aumento na produção de massa seca radicular (PÉREZ et al., 2018).

## **2.4 Influência da textura do solo, FMAs e P no manejo da cultura do sorgo**

A composição granulométrica do solo afeta diretamente a retenção hídrica e a disponibilidade de nutrientes, sendo um fator determinante na produtividade agrícola (SANTOS, et al., 2019). O fósforo, essencial ao metabolismo vegetal, apresenta diferentes comportamentos conforme a textura do solo, sendo sua mobilidade reduzida em solos argilosos devido à elevada capacidade de adsorção (NOVAIS; SMITH, 1999). Em contrapartida, solos arenosos tendem a apresentar maior susceptibilidade à lixiviação do nutriente, influenciando sua eficiência no desenvolvimento das plantas (FERNANDES et al., 2020).

Os fungos micorrízicos arbusculares desempenham papel crucial na absorção de fósforo pelas plantas, especialmente em solos com baixa disponibilidade desse elemento. Segundo SMITH e READ (2008), a simbiose entre FMA e as raízes vegetais resulta no aumento da

absorção de P e na melhoria da estrutura radicular. Para culturas como o sorgo (*Sorghum bicolor* L.), essa interação pode ser determinante na adaptação de diferentes condições edáficas (OLIVEIRA et al., 2017).

No manejo do sorgo, práticas agrícolas que favoreçam a atividade biológica do solo e maximizem a disponibilidade de P são essenciais. A adubação fosfatada deve ser planejada conforme a textura do solo, considerando sua capacidade de adsorção e a presença de microrganismos benéficos (MENDES et al., 2015). Estratégias como a rotação de culturas e a inoculação de FMAs têm se mostrado eficazes na melhoria da adubação de P, refletindo diretamente no crescimento e produtividade da cultura (CARNEIRO et al., 2021).

Dessa forma, a relação entre textura de solo, FMA na absorção de fósforo deve ser levada em consideração no planejamento agrícola, visando otimizar o manejo da cultura do sorgo e garantir maior sustentabilidade e produtividade ao sistema agrícola.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Local da pesquisa**

A pesquisa foi realizada entre 01/09/2023 e 23/01/2024. O experimento foi conduzido em casa de vegetação (18°43'33.56"S, 47°31'29.46"O) localizada no Campo Demonstrativo e Experimental, na Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, na cidade de Monte Carmelo, Minas Gerais (altitude 908 m). A estrutura da estufa é de aço galvanizado, coberta por uma camada de plástico filme de polietileno de baixa densidade, tem 21 metros de comprimento, 7 metros de largura e 5,5 metros de altura, e está direcionada para a orientação Noroeste-Sudoeste. Dentro da estufa, o experimento contava com 32 parcelas (vasos de 12 dm<sup>3</sup>) que foram conduzidas sobre tijolos de cerâmica. O experimento foi conduzido em sucessão ao cultivo de feijoeiro comum e soja.

A cultivar escolhida de sorgo foi "AA227". Suas características são: ciclo precoce com florescimento entre 62 a 67 dias após a emergência, colheita em 130 dias, altura de 140 cm, Stay-green (corresponde a capacidade da planta em manter-se verde mesmo quando já houve emissão das peças florais) excelente, Dry-down (corresponde a característica da planta relacionada à taxa de secagem ou perda de água pelos grãos após a maturidade fisiológica) lento, raiz agressiva, tolerante a acamamento e destinado a produção de grãos.

### 3.2 Análise química e física do solo

Duas diferentes texturas de solo foram utilizadas na pesquisa (SANTOS et al., 2018): Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) com textura argilosa, coletado na mata nativa (18° 43'48,3" S, 47° 30'16,6" W) e Latossolo Amarelo Distrófico (LAd) com textura arenosa coletado em campo natural (18° 54'12,0" S, 47° 35'50,5" W). Foram coletados no horizonte B do perfil do solo na camada superficial correspondendo a profundidade 0-20 cm.

### 3.3 Manejo da adubação

As recomendações de adubação para macronutrientes e micronutrientes foram baseadas nas recomendações de NOVAIS et al. (1991) e adaptado por MARQUES et al. (2021).

### 3.3 Manejo fitossanitário

Visando a redução da interferência de insetos praga e patógenos foliares, foram realizadas aplicações de complexos de inseticidas e fungicidas durante o ciclo da cultura, quando observado necessidade durante os monitoramentos diários. Sendo que, para o manejo de insetos pragas recorrentes na cultura do sorgo, com foco para os pulgões-verdes (*Schizaphis graminum*), foi utilizado o inseticida a base de abamectina (72,0 g L<sup>-1</sup>), sendo efetuada uma única aplicação.

Para o manejo das doenças foliares foram realizadas aplicações de fungicidas da classe de triazol e estrobirulina (300 mL ha<sup>-1</sup>) em duas aplicações realizadas em 11/10/2023 e 27/10/2023 ambas para controle de ferrugem na cultura do sorgo.

### 3.5 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido sob o delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2×2×2 com quatro repetições: o primeiro fator (P-estresse: 150 mg P kg de solo e P-controle: 300 mg P kg de solo) X segundo fator fungos micorrízicos (presença e ausência) com quatro repetições. Foram usadas as espécies (*Gigaspora albida*, *Dentiscutata heterogama*, *Rhizophagus clarus*, *Rhizophagus intraradices*, *Acaulospora mellea*, *Acaulospora longula*) e o número de esporos de cada espécie de FMA do material de solo utilizado para inoculação foram (183, 227, 22, 152, 14, 144 esporos g<sup>-1</sup> solo), com um total de 742 esporos g<sup>-1</sup> solo. A inoculação

dos esporos foi realizada no primeiro cultivo, correspondendo as plantas de soja e seguiu-se utilizando o solo presente em cada parcela por mais um cultivo correspondendo a cultura do feijoeiro comum, que por fim foi utilizado no cultivo do sorgo.

### **3.6 Avaliação agronômica**

Durante a pesquisa foram avaliadas a massa seca do caule e folha, comprimento da panícula, diâmetro do colmo, número de folhas, número de grãos, altura das plantas, largura das panículas, massa de 100 grãos e massa seca dos grãos. Para análise biométrica das plantas, a altura das plantas foi medida com auxílio de uma trena, tomando como base o colo da planta até o ápice da planta. O número de folhas foi avaliado após o ponto de maturidade fisiológica da cultura.

A contagem dos ramos foi realizada de forma manualmente em cada um dos vasos.

Para a massa seca dos colmos e folhas, as plantas foram coletadas para a determinação da massa seca em estufa a 60°C, com ventilação forçada, até atingirem massa constante. As raízes foram separadas da parte aérea através de um corte no colo da planta, lavadas com água deionizada para retirar o excesso de solo aderido as raízes. A parte aérea das plantas também foi processada, segmentando as folhas e colmo e realizando a medição de sua massa correspondente.

Foram avaliados o número de grãos por panícula, peso dos grãos e peso de 100 grãos. A massa de grãos providas da colheita e beneficiamento dos grãos. Os resultados obtidos foram convertidos para sacas de 60 kg ha<sup>-1</sup> depois da correção da umidade para 14%, conforme demonstrado abaixo:

$$PF=PI*(100-UI/100-UF)$$

Onde:

PF: peso final da amostra;

PI: peso inicial da amostra;

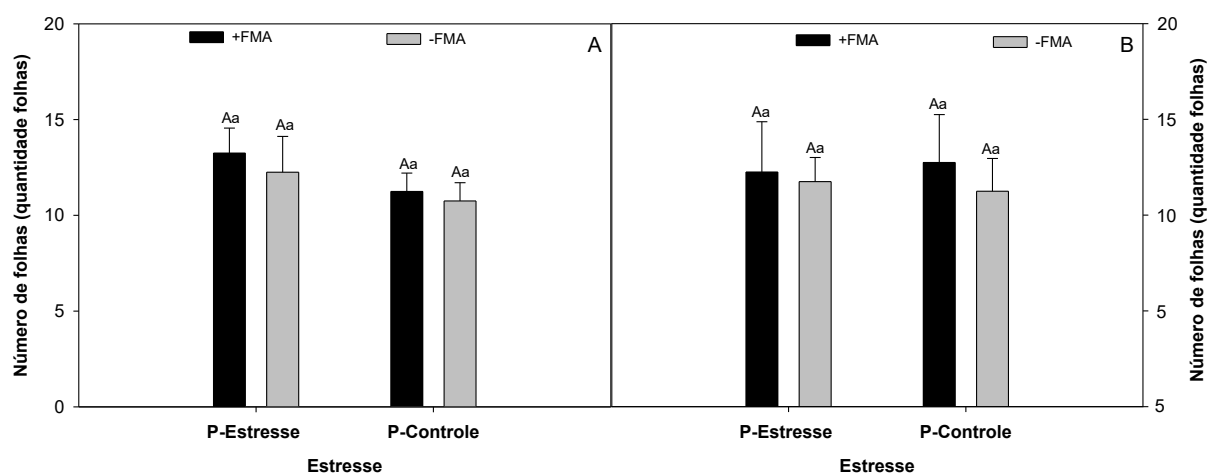
UI: umidade inicial da amostra;

UF: umidade final da amostra (14%).

Os resultados foram submetidos a análise de variância e quando houve diferença significativa foi aplicado os testes de médias mais adequados a cada variável (Scott-Knott) de acordo com o proposto por STEEL et al, (2006).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a variável número de folhas em função do P-estresse e P-controle e para os tipos de solo arenoso e argiloso (Figura 1 A e B) não houve diferença significativa. Nos experimentos realizados na cultura do sorgo por TEFERA et al. (2009) com inoculação de *Beauveria bassiana* não foram observadas diferenças significativas no crescimento vegetal. Para o número de folhas em relação a presença e ausência de FMA em função do P-estresse teve a média 13 folhas. Para o P-controle houve média igual a 11 folhas em solo arenoso. Para o número de folhas em relação a presença e ausência de FMA em função do P-estresse a média foi de 11 folhas, para o P-controle a média 12 folhas para o solo argiloso. Além disso, estudos realizados com sorgo a respeito do incremento médio da parte aérea após uso de FMA também apresentou resultados não favoráveis como vistos por (LÓPEZ-BUCIO et al., 2015). De acordo com a literatura o uso da inoculação de fungos micorrízicos favorece os aspectos agrônômicos das culturas de uma forma geral, visto que, há aumento na disponibilização dos nutrientes e água, favorecendo o pleno desenvolvimento das plantas (PARNISKE, 2008). Alguns outros trabalhos constataram que o uso dos fungos arbusculares propicia um acréscimo na produção vegetal (HODGE et al., 2000), verificado na massa total das raízes e comprimento das raízes (BRESSAN; VASCONCELOS, 2002).

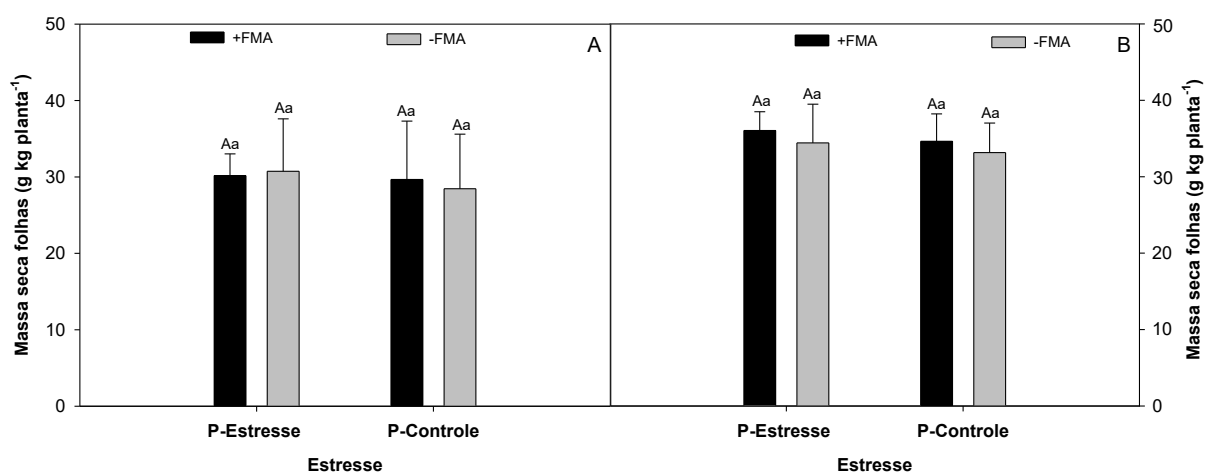


**Figura 1.** Folhas do sorgo em função na presença (+FMA) e ausência (-FMA) e P-estresse e P-controle em função dos tipos de solo arenoso (A) e argiloso (B). Letras maiúsculas nas colunas



de cores diferentes comparam entre P-estresse e P-controle e letras minúsculas mesma cor comparam a presença (+FMA) e ausência (-FMA) indicando diferenças significativas em relação ao teste de Scott-Knott ( $P < 05$ ). As colunas correspondem às médias de quatro repetições e desvios padrão.

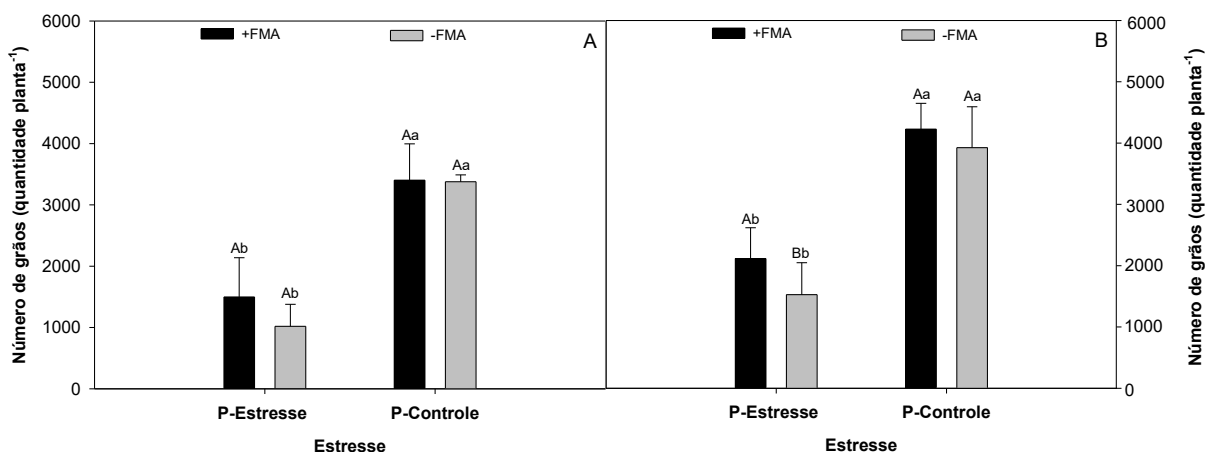
Para a massa seca de folhas em função do P-estresse e P-controle e para os tipos de solo arenoso e argiloso (Figura 2 A e B) não houve diferença significativa. Todavia em experimentos realizados por SANO e SOUZA et al. (1986), que conduziram experimentos apenas em um tipo de solo, verificaram que plantas de sorgo, inoculadas com FMA, forneciam produções de matéria seca significativamente superiores as não micorrizadas. Sendo assim, a variável massa seca de folhas em função do P-estresse e P-controle em solo arenoso apresentaram médias de produções iguais a  $30 \text{ g kg planta}^{-1}$ . Da mesma forma que, a variável massa seca de folhas em função do P-estresse e P-controle em solo argiloso apresentaram médias de produções similares a  $35 \text{ g kg planta}^{-1}$ . Segundo alguns estudos na cultura do milho visando seu desenvolvimento, foi verificado que o crescimento observado nas plantas inoculadas com FMA pode ser atribuído a mecanismos de ordem nutricional e não-nutricional. Os mecanismos nutricionais estão ligados à melhoria na absorção de nutrientes pelas plantas, especialmente do fósforo que é solubilizado pelos FMA quando presente em concentrações reduzidas no solo (SCHUBLER et al., 2001; SMITH; READ, 2008; GIANINAZZI et al., 2010). Já os fatores não-nutricionais consistem em modificações bioquímicas e fisiológicas que favorecem a relação entre a água e a planta, além de aumentar a síntese de hormônios vegetais, como as auxinas, giberelinas e citocininas. Vale ressaltar que vitaminas e compostos orgânicos bioativos podem contribuir para o aumento da resistência a estresses, que podem ter origem tanto em fatores bióticos como abióticos (VOS et al., 2012; BAUM et al., 2015).



**Figura 2.** Massa seca folhas do sorgo em função na presença (+FMA) e ausência (-FMA) e P-estresse e P-controle em função dos tipos de solo arenoso (A) e argiloso (B). Letras maiúsculas nas colunas de cores diferentes comparam entre P-estresse e P-controle e letras minúsculas mesma cor comparam a presença (+FMA) e ausência (-FMA) indicando diferenças significativas em relação ao teste de Scott-Knott ( $P < 05$ ). As colunas correspondem às médias de quatro repetições e desvios padrão.

Para a produção de grãos do sorgo em função do P-estresse e P-controle e para os tipos de solo arenoso e argiloso (Figura 3 A e B) houve diferença significativa. Tratando-se do solo arenoso primeiramente temos, a relação do número de grãos em função da presença e ausência de FMA em P-estresse, as plantas com presença FMA obtiveram resultados superiores. A diferença entre os valores foi próxima a 20%. Já para o número de grãos em função da presença e ausência de FMA em P-controle, não houve diferença significativa. Se comparadas as duas colunas sendo P-estresse e P-controle, as plantas sobre P-controle possuíam valores superiores as plantas sobre P-estresse, temos uma diferença superior a 50% de incremento no número de grãos, visto que o uso de FMA possibilita uma maior captura do P disponível no solo através das suas hifas presentes nos micélios, obtendo assim melhores valores no número de grãos. Tratando-se do solo argiloso também há a relação do número de grãos em função da presença e ausência de FMA em P-estresse, as plantas com presença obtiveram resultados superiores as com ausência de FMA, assim tendo diferença próxima aos 15%. Para o número de grãos em função da presença e ausência de FMA no P-controle, não houve diferença significativa. Se comparadas P-estresse e P-controle, as plantas sobre P-controle possuíam valores superiores as plantas sobre P-estresse, temos uma diferença superior aos 60% no incremento do número de grãos, visto que o uso de FMA possibilita uma maior captura do P disponível no solo através

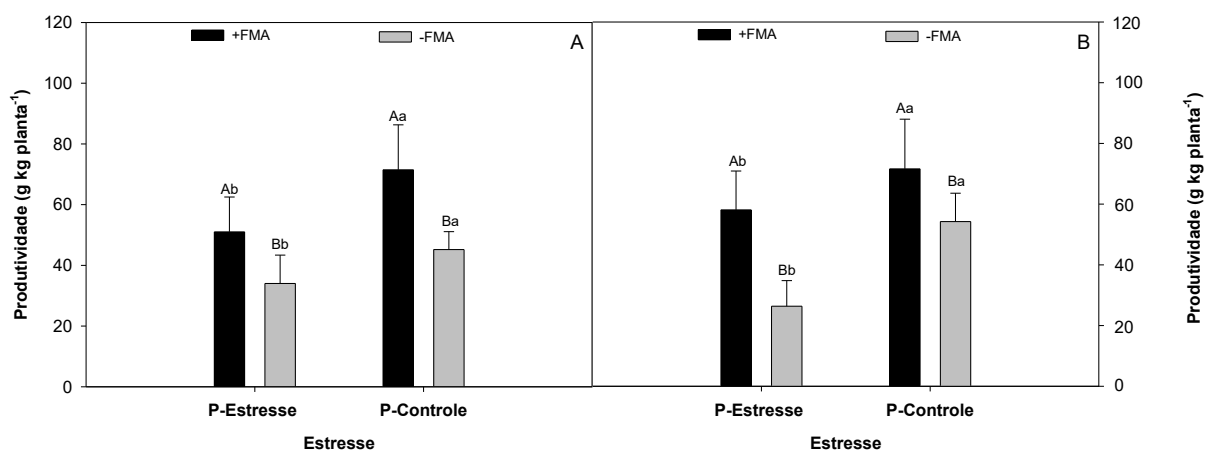
das suas hifas presentes nos micélios, obtendo assim melhores valores no número de grãos. De acordo com estudos utilizando FMA em solos de texturas diferentes sobre P-estresse e P-controle na cultura do feijão foi possível verificar que o elemento P contribui de forma significativa no aumento da produtividade da cultura (ARF et al., 2011). Segundo ZUCARELI et al. (2011) a produtividade do feijoeiro aumentou diretamente em função de doses de P aplicadas no solo, ou seja, quanto maior a dose de P disponível à planta, maior a massa de grãos. Dessa forma, a adubação fosfatada torna-se essencial para garantir uma boa produtividade.



**Figura 3.** Grãos do sorgo em função na presença (+FMA) e ausência (-FMA) e P-estresse e P-controle em função dos tipos de solo arenoso (A) e argiloso (B). Letras maiúsculas nas colunas de cores diferentes comparam entre P-estresse e P-controle e letras minúsculas mesma cor comparam a presença (+FMA) e ausência (-FMA) indicando diferenças significativas em relação ao teste de Scott-Knott ( $P < 0.05$ ). As colunas correspondem às médias de quatro repetições e desvios padrão.

Para a produtividade do sorgo em função do P-estresse e P-controle e para os tipos de solo arenoso e argiloso (Figura 4 A e B) houve diferença significativa. Tratando-se do solo arenoso primeiramente temos, a relação produtividade em função da presença e ausência de FMA em P-estresse, as plantas com presença obtiveram resultados superiores as com ausência de FMA, com 19,4 %. Já na relação produtividade em função da presença e ausência de FMA em P-controle, houve diferença significativa próxima de 25%. Se comparadas as duas colunas sendo P-estresse e P-controle, as plantas sobre P-controle possuíram valores superiores as plantas sobre P-estresse, temos uma diferença superior a 17% de incremento na produtividade, visto que o uso de FMA possibilita uma maior captura do P disponível no solo através das suas hifas

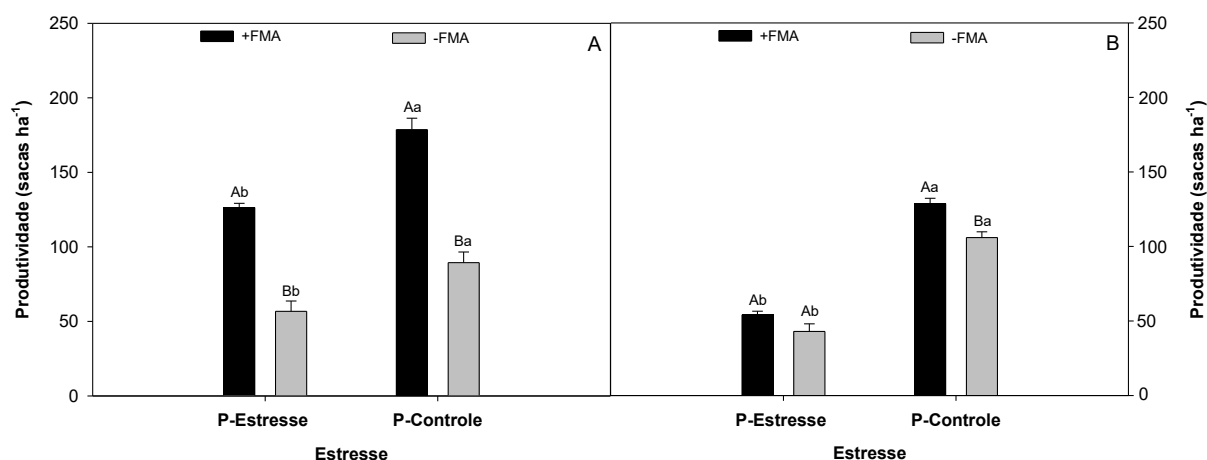
presentes nos micélios, obtendo assim melhores resultados na produtividade. Para o solo argiloso a produtividade do sorgo em função da presença e ausência de FMA em P-estresse, as plantas com presença obtiveram resultados superiores com ausência de FMA, assim tendo diferença próxima aos 20%. Na relação da produtividade em função da presença e ausência de FMA em P-controle, houve diferença significativa próxima a 30%. Quando comparado o P-estresse e P-controle, as plantas sobre P-controle possuíram valores superiores as plantas sobre P-estresse, temos uma diferença superior aos 25 % no incremento da produtividade. Esses resultados indicam que o solo argiloso apresentou melhor desempenho em ambas as condições de disponibilidade de fósforo, superando o solo arenoso em 5,6 pontos em P-estresse e quase 14 pontos sob P-controle. Em outros estudos á concordância com o descrito acima, visto que, solos argilosos, possuem maior capacidade de retenção de água e nutrientes, proporcionando assim condições mais favoráveis ao desenvolvimento radicular e à absorção de fósforo pelas plantas (OWIED et al., 2025). Além disso, o incremento percentual médio da produtividade entre P-estresse e P-controle foi de 19,4 % no solo arenoso e no solo argiloso foi igual a 27,7%, evidenciando maior resposta á adubação fosfatada esse último. A presença de FMA também desempenha papel crucial na eficiência de absorção de fósforo. Estudos demonstram que a inoculação de FMA melhora significativamente a absorção de nutrientes e o crescimento do sorgo, especialmente em solos com baixa disponibilidade de fósforo (MIRANDA; HARRIS, 1989).



**Figura 4.** Produtividade de sorgo em função na presença (+FMA) e ausência (-FMA) e P-estresse e P-controle em função dos tipos de solo arenoso (A) e argiloso (B). Letras maiúsculas nas colunas de cores diferentes comparam entre P-estresse e P-controle e letras minúsculas mesma cor comparam a presença (+FMA) e ausência (-FMA) indicando diferenças

significativas em relação ao teste de Scott-Knott ( $P < 05$ ). As colunas correspondem às médias de quatro repetições e desvios padrão.

Para a produtividade em sacas de sorgo em função do P-estresse e P-controle e para os tipos de solo arenoso e argiloso (Figura 5 A e B) houve diferença significativa. Tratando-se do solo arenoso primeiramente temos, a relação produtividade em sacas em função da presença e ausência de FMA em P-estresse, as plantas com presença obtiveram resultados superiores as com ausência de FMA. A diferença entre os valores foi para P-estresse e presença de FMA igual a 130 sacas  $ha^{-1}$  e para P-estresse com ausência de FMA igual a 70 sacas  $ha^{-1}$ , diferença próxima a 46%. Já na relação produtividade em sacas em função da presença e ausência de FMA em P-controle, houve diferença significativa em que para P-controle e presença de FMA igual a 180 sacas  $ha^{-1}$  e já para P-controle e ausência de FMA igual a 100 sacas  $ha^{-1}$ , diferença próxima a 44%. Se comparadas as duas colunas sendo P-estresse e P-controle, as plantas sobre P-controle possuíram valores superiores as plantas sobre P-estresse, temos uma diferença superior a 5% de incremento na produtividade. Para o solo argiloso há a relação produtividade em sacas em função da presença e ausência de FMA em P-estresse, as plantas com presença obtiveram resultados superiores as com ausência de FMA. A diferença entre os valores foi para P-estresse e presença de FMA igual a 80 sacas  $ha^{-1}$  e para P-estresse com ausência de FMA igual a 70 sacas  $ha^{-1}$ , diferença próxima a 12%. Já na relação produtividade em sacas em função da presença e ausência de FMA em P-controle, houve diferença significativa em que para P-controle e presença de FMA igual a 150 sacas  $ha^{-1}$  e já para P-controle e ausência de FMA igual a 130 sacas  $ha^{-1}$ , diferença próxima a 13%. Se comparadas as duas colunas sendo P-estresse e P-controle, as plantas sobre P-controle possuíram valores superiores as plantas sobre P-estresse, temos uma diferença superior a 2% de incremento na produtividade. STEINER, LARA E ZOZ (2016), verificaram que a inoculação com fungos solubilizadores de fosfato, apresentaram aumento significativo na absorção do fósforo e crescimento do sorgo corroborando com as informações apresentadas acima. Além disso, AFSHAR et al. (2014), observaram que a inoculação de FMA aliada a fertilização com fósforo melhorou a eficiência do uso da água e o rendimento de grãos de sorgo sob déficit hídrico. Por fim, CAMPOLINO et al. (2022), também destacaram que a fonte de fósforo irá influenciar na eficiência de absorção dos demais nutrientes.



**Figura 5.** Produtividade em sacas de sorgo em função na presença (+FMA) e ausência (-FMA) e P-estresse e P-controle em função dos tipos de solo arenoso (A) e argiloso (B). Letras maiúsculas nas colunas de cores diferentes comparam entre P-estresse e P-controle e letras minúsculas mesma cor comparam a presença (+FMA) e ausência (-FMA) indicando diferenças significativas em relação ao teste de Scott-Knott ( $P < 05$ ). As colunas correspondem às médias de quatro repetições e desvios padrão.

## 5 CONCLUSÃO

Concluiu-se que com a pesquisa que o uso de fungos micorrízicos arbusculares oriundos do resíduo da cultura anterior amenizou o estresse de fósforo promovendo incremento no número de grãos e produtividade da cultura do sorgo, para os tipos de solo arenoso e argiloso.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFSHAR, R.K.; BAYAT, H.; GHOLAMI, M. Influence of mycorrhizal inoculation on sorghum yield under water stress. **Journal of Arid Environments**, v. 106, p. 35–41, 2014.
- ALVAREZ V., V.H.; Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alves, V.M.C. **Interpretação dos resultados das análises de solo**. 5. ed. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.
- ALVES, V. M. C.; RODRIGUES, J. A. S.; SOUZA, A. A.; SANTOS, F. C. **Adubação do sorgo granífero**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 1999. 4 p. (Circular Técnica, 23).

BAUM, C.; EL-TOHAMY, W.; GRUDA, N. The role of mycorrhizae in plant nutrition and abiotic stress tolerance. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, v. 88, p. 136–141, 2015.

BRESSAN, W., SIQUEIRA, J. O.; VASCONCELLOS, C. A.; **Fungos micorrízicos e fósforo, no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção do sorgo e soja consorciados**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 36, n. 2, p. 315–323, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000200015>.

CAMACHO, R., M., E.; GUERRERO, A. J.; **Vegetative growth of grain sorghum in response to phosphorus nutrition**. Scientia Agricola, v. 59, n. 4, p. 771–776, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162002000400022>.

CAMPOLINO, F.F.; SILVA, L.A.; SOUZA, R.F.; PEREIRA, M.J. Phosphorus sources and nutrient uptake efficiency in sorghum. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, p. e0220015, 2022.

CARNEIRO, M. A. C., SIQUEIRA, J. O.; CURI, N.; **Efeitos da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares e da aplicação de fósforo no estabelecimento de forrageiras em solo degradado**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 34, n. 9, p. 1669–1677, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000900018>.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2024 – 12º Levantamento**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2024.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2025 – 4º Levantamento**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2025.

DAN, H. A., C., M. S.; C., D. F. **Desempenho de plantas sorgo granífero sobre condições de sombreamento**. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 32, n. 4, p. 675–679, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i4.5508>.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema de produção de sorgo granífero na região do Cerrado. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003**. (Sistema de Produção, 2). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/466823>.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 184 p. (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas; 15).

EMBRAPA. **Manual de manejo da cultura do sorgo**. 2. ed. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2022.

EMBRAPA. **Sorgo: tecnologias de produção**. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2000.

FERNANDES, R.B.; SANTOS, J.C.; RIBEIRO, F.C. **Dinâmica do fósforo em solos de diferentes texturas**. *Agrária*, v. 15, n. 3, p. 55–70, 2020.

FREITAS, R. E.; MENDONÇA, M. A. A.; Expansão Agrícola no Brasil e a Participação da Soja: 20 anos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 54, n. 3, p. 497–516, jul. 2016.

GIANINAZZI, S.; SCHÜEPP, H.; BAUMANN, K. **Agroecological benefits of arbuscular mycorrhizal fungi**. *Symbiosis*, v. 52, p. 1–17, 2010.

GOMIDE, P. H. O.; SANTOS, J. G. D.; SIQUEIRA, J. O.; **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://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001100016>.

HODGE, A.; BROWN, M.B.; ROBINSON, D. **Mycorrhizal fungi and nutrient transport**. *New Phytologist*, v. 147, p. 357–377, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00695.x>.

LEMOES, J. O., FREIRE, F. J.; **Phosphorus fractions in soils with distinct mineralogy and their relationship with phosphate buffer capacity indicators in Brazil**. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 44, p. e55148, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v44i1.55148>.

LOPES, S. J., BRUM, B., STORCK, L.; **Espaçamento entre plantas de sorgo granífero: produtividade de grãos e qualificação do modelo estatístico**. *Ciência Rural*, v. 39, n. 3, p. 649–656, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008005000095>.

LÓPEZ-BUCIO, J.; CRUZ-RAMÍREZ, A.; HERRERA-ESTRELLA, L. **The role of nutrient availability in regulating root architecture**. *Current Opinion in Plant Biology*, v. 27, p. 151–158, 2015.



MAPA/BRASIL. **Zoneamento agrícola de risco climático para a cultura do sorgo: safra 2009/2010**. Brasília: MAPA, 2010.

MARIN, R. S. F., BAHRY, C. A.; NARDINO, M.; Efeito da adubação fosfatada na produção de sementes de soja. **Revista Ceres**, v. 62, n. 3, p. 265–274, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562030006>.

MENDES, I.C.; REIS, V.M.; BALDANI, J.I. **Microorganismos promotores de crescimento de plantas**. Embrapa Agrobiologia Documentos, v. 172, p. 1–28, 2015.

MIRANDA, J.C.C.; HARRIS, G.H. Responses of sorghum to inoculation with mycorrhizal fungi under phosphorus stress. **Brazilian Journal of Agricultural Research**, v. 24, p. 231–238, 1989.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006

MOREIRA, S.; FRANÇA, A. C.; GRAZZIOTTI, P. H.; ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI AND PHOSPHORUS DOSES ON COFFEE GROWTH UNDER A NON-STERILE SOIL. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 1, p. 072–080, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n108rc>.

NOVAIS, C. B.; OLIVEIRA, C. A.; MELO, J. W. S.; OLIVEIRA, P. V. A. Fungos micorrízicos arbusculares: importância, diversidade e aplicação na agricultura. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v.11, n. 4, p. 302-310, 2017. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/agroambiente/article/view/4991>.

NUNES, R. S.; GOEDERT, W. J.; Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 877–888, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000300022>

OLIVEIRA, C.A.; LIMA, S.A.; PEREIRA, M.J. **Respostas do sorgo à adubação fosfatada e inoculação com FMAs**. Ciência e Agrotecnologia, v. 41, n. 4, p. 435–442, 2017.

OWIED, T.M.; HASSAN, W.A.; FARAG, R.S. Soil texture and its effect on phosphorus availability in arid lands. **Agricultural Research Journal**, v. 62, n. 1, p. 12–19, 2025.

PARNISKE, M. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. **Nature Reviews Microbiology**, v. 6, p. 763–775, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nrmicro1987>.

PARREIRA F., FERNANDES, E. A.; GUIMARÃES, R. F. M. Substituição do milho pelo sorgo sobre o desempenho zootécnico e na digestibilidade em coelhos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 72, n. 3, p. 993–999, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-11365>.

PÉREZ, M.L.; CORDERO, R.A.; NÚÑEZ, C. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on nutrient uptake in *Sorghum bicolor* under phosphorus stress. **Mycorrhiza**, v. 28, n. 3, p. 215–224, 2018.

SANO, S.M.; SOUZA, D.M.G. Micorrizas em plantas cultivadas no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 21, n. 9, p. 867–876, 1986.

SANTOS, F. E. F.; CARRENHO, R.; Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em remanescente florestal impactado (Parque Cinqüentenário - Maringá, Paraná, Brasil). **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 2, p. 508–516, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000200026>.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2019.

SCHÜBLER, A.; SCHWARZOTT, D.; WALKER, C. **A molecular phylogeny of the Glomeromycota**. *Mycological Research*, v. 105, p. 1413–1421, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0953756201005196>.

SILVA, F. A. M.; CAMPOS J, E. J. S.; N., J.M.; M., C., Sorgo granífero cultivado sob diferentes doses de fósforo. *Recital - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG*, v. 4, n. 3, p. 88–103, 2023. DOI:10.46636/recital.v4i3.327. Disponível em: <https://recital.almenara.ifnmg.edu.br/recital/article/view/327>. Acesso em: 23 abr. 2025.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. Academic press, 2010.

SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3. ed. London: Academic Press, 2008.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H.; DICKEY, D.A. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. New York: McGraw-Hill, 2006.

STEINER, F.; LARA, C.A.S.; ZOZ, T. Phosphorus solubilizing fungi improve sorghum growth. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 18, p. 1605–1610, 2016.

TEFERA, T.; PRINGLE, K.L.; MIDEGA, C.A.O.; KHAN, Z.R. **Effects of *Beauveria bassiana* on growth and yield of sorghum**. Crop Protection, v. 28, n. 7, p. 588–592, 2009.

VERGARA, C., ARAUJO, K. E. C.; SOUZA, S. R.; **Plant-mycorrhizal fungi interaction and response to inoculation with different growth-promoting fungi**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 54, p. e25140, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.25140>.

VOS, C.; CLAASSEN, N.; LAMBERS, H. **Plant strategies for phosphorus acquisition from low-P environments**. Functional Plant Biology, v. 39, p. 841–851, 2012.