

**EFIÊNCIA SIMBIÓTICA DE FUNGOS MICORRÍZICOS  
ARBUSCULARES NATIVOS DE PASTAGENS DO CERRADO  
MARENHENSE ASSOCIADO A CULTURA DE MILHO (*Zea mays* L.)**

**SYMBIOTIC EFFICIENCY OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI NATIVE  
TO PASTURES OF THE MARANHENSE CERRADO ASSOCIATED WITH MAIZE  
(*Zea mays* L.) CULTIVATION**

**EFICIENCIA SIMBIÓTICA DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES  
NATIVOS DE PASTIZALES DEL CERRADO MARANHENSE ASOCIADOS AL  
CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.)**

**Brunna Silva de Almeida Leite<sup>1</sup>, Ivaneide de Oliveira Nascimento<sup>2</sup>, Bruno Sousa Silva<sup>3</sup>,  
Wanderson Lima Cunha<sup>4</sup>, Maria Rita da Silva Andrade Leonel<sup>5</sup>, Jorge Diniz de Oliveira<sup>6</sup>**

DOI: 10.54899/dcs.v23i87.4396

Recibido: 29/01/2026 | Aceptado: 02/02/2026 | Publicación en línea: 18/02/2026.

**RESUMO**

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) constituem uma alternativa sustentável na agricultura por favorecerem o crescimento vegetal e a absorção de água e nutrientes. A associação desses fungos ao milho (*Zea mays* L.) é promissora, considerando a importância econômica e a ampla utilização dessa cultura. O objetivo deste estudo foi avaliar a simbiose de FMAs provenientes de solo do Cerrado maranhense sob pastagem com o milho, identificar as espécies associadas e verificar sua eficiência na absorção de fósforo. O experimento foi conduzido em esquema fatorial, com duas linhagens de milho (V1 – Híbrido e V2 – Caboclo), 12 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos incluíram testemunhas sem inoculação, solo com adubação fosfatada, inoculação com *Glomus glomerulatum*, *Rhizophagus intraradices*, FMAs nativos e o produto comercial Rootella BR®. As variáveis número de folhas, massa seca da parte aérea e teor de fósforo foliar não apresentaram diferenças significativas entre as variedades. Os maiores índices de clorofila foram observados na variedade híbrida aos 30 dias após o plantio com *R. intraradices* e aos 45 dias com *G. glomerulatum*. Aos 15 dias após o plantio, houve interação significativa entre variedade e tratamento para altura de plantas, com maiores médias no milho

<sup>1</sup> Mestranda em Ciências Ambientais, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Imperatriz, Maranhão, Brasil. E-mail: brunnaalmeida2809@gmail.com  
Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-9041-9410>

<sup>2</sup> Doutora em Agroecologia, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Imperatriz, Maranhão, Brasil. E-mail: ivaneide@uemasul.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7095-7092>

<sup>3</sup> Graduando em Engenharia Agrônoma, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Imperatriz, Maranhão, Brasil. E-mail: brunosilva.20200002791@uemasul.edu.br  
Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-4957-9071>

<sup>4</sup> Doutorando em Biologia Vegetal, Universidade Estadual de Campinas, Campinas (UNICAMP), São Paulo, Brasil. E-mail: lwanderson8c@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5639-5377>

<sup>5</sup> Doutoranda em Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), São Luís, Maranhão, Brasil. E-mail: ritinha.27sv@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5681-8499>

<sup>6</sup> Doutor em Química, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Imperatriz, Maranhão, Brasil. E-mail: jorgediniz@uemasul.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9421-0524>

híbrido inoculado com Rootella BR®. Aos 30 dias, os FMAs nativos promoveram maior crescimento em altura. O tratamento com Rootella BR® apresentou a maior taxa de colonização radicular em ambas as linhagens. A identificação morfológica indicou que os FMAs nativos pertencem aos gêneros *Glomus*, *Paraglomus* e *Gigaspora*.

**Palavras-chave:** Agricultura Sustentável. Cerrado. Meio Ambiente. Fungos Micorrízicos Arbusculares.

## ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) constitute a sustainable alternative in agriculture by promoting plant growth and enhancing water and nutrient uptake. The association of these fungi with maize (*Zea mays* L.) is promising, considering the economic importance and widespread cultivation of this crop. This study aimed to evaluate the symbiosis of AMF originating from Cerrado soils under pasture in Maranhão state with maize, to identify the associated species, and to assess their efficiency in phosphorus uptake. The experiment was conducted in a factorial design with two maize varieties (V1 – hybrid and V2 – landrace), 12 treatments, and four replicates. Treatments included non-inoculated controls, soil with phosphorus fertilization, inoculation with *Glomus glomerulatum*, *Rhizophagus intraradices*, native AMF, and the commercial product Rootella BR®. The variables number of leaves, shoot dry mass, and leaf phosphorus content did not show significant differences between varieties. The highest chlorophyll indices were observed in the hybrid variety at 30 days after planting with *R. intraradices* and at 45 days with *G. glomerulatum*. At 15 days after planting, a significant interaction between variety and treatment was observed for plant height, with the highest means recorded for hybrid maize inoculated with Rootella BR®. At 30 days, native AMF promoted greater plant height. The Rootella BR® treatment showed the highest rate of root colonization in both maize varieties. Morphological identification indicated that native AMF belonged to the genera *Glomus*, *Paraglomus*, and *Gigaspora*.

**Keywords:** Sustainable Agriculture. Cerrado. Environment. Arbuscular Mycorrhizal Fungi.

## RESUMEN

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) constituyen una alternativa sostenible en la agricultura, ya que favorecen el crecimiento vegetal y la absorción de agua y nutrientes. La asociación de estos hongos con el maíz (*Zea mays* L.) es prometedora, considerando la importancia económica y el amplio uso de este cultivo. El objetivo de este estudio fue evaluar la simbiosis de HMA provenientes de suelos del Cerrado maranhense bajo pastizales con el maíz, identificar las especies asociadas y verificar su eficiencia en la absorción de fósforo. El experimento se llevó a cabo en un diseño factorial, con dos variedades de maíz (V1 – híbrido y V2 – criollo), 12 tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos incluyeron testigos sin inoculación, suelo con fertilización fosfatada, inoculación con *Glomus glomerulatum*, *Rhizophagus intraradices*, HMA nativos y el producto comercial Rootella BR®. Las variables número de hojas, masa seca de la parte aérea y contenido de fósforo foliar no presentaron diferencias significativas entre las variedades. Los mayores índices de clorofila se observaron en la variedad híbrida a los 30 días después de la siembra con *R. intraradices* y a los 45 días con *G. glomerulatum*. A los 15 días después de la siembra, se observó una interacción significativa entre variedad y tratamiento para la altura de las plantas, con los mayores valores en el maíz híbrido

inoculado con Rootella BR®. A los 30 días, los HMA nativos promovieron un mayor crecimiento en altura. El tratamiento con Rootella BR® presentó la mayor tasa de colonización radicular en ambas variedades. La identificación morfológica indicó que los HMA nativos pertenecen a los géneros *Glomus*, *Paraglomus* y *Gigaspora*.

**Palabras clave:** Agricultura Sostenible. Cerrado. Medio Ambiente. Hongos Micorrízicos Arbusculares.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

---

## INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é o componente essencial para segurança alimentar global, pois é utilizado como alimento básico por milhões de pessoas (Begum *et al.*, 2019). No Brasil, a área cultivada com milho na safra 2023/2024 foi estimada em 20,9 milhões de hectares. Somando as três safras do cereal em toda a temporada, a produção total do milho foi projetada em 115,9 milhões de toneladas (Conab, 2023).

Um aumento na demanda de alimento, corroboram para um aumento na exportação, e Segundo Conab (2023), a estimativa para a safra de grãos na temporada 2024/2025, aponta para uma produção de 322,47 milhões de toneladas. O volume representa um crescimento de 8,3% ao obtido em 2023/24), no que se refere ao estado do Maranhão estima-se 2.706,5 milhões de toneladas para safra 2024/2025. Nesta perspectiva, o Maranhão possui território ocupado por 65% de Cerrado (IBGE, 2013), esse bioma é considerado como um *host-spots* em biodiversidade (Brasil, 2022).

Nesse contexto, alternativas sustentáveis que aumentem a produtividade agrícola, mas que não agridam o meio ambiente se fazem necessárias. Levando-os a utilização de mecanismo que sejam de baixo custo e que melhorem o nível da produtividade, destacando assim, o uso dos fungos micorrízicos. Dentre os quais, os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), filo Glomeromycota (Tedersoo *et al.*, 2018), os quais associam-se com cerca de 71 das espécies vegetais conhecidas (Brundrett; Tedersoo, 2018).

Na simbiose micorrízica a planta transfere carbono produzido através da fotossíntese para os FMA que através de sua rede de hifas absorvem e transferem para a planta água, Fósforo (P), Cálcio (Ca), Zinco (Zn), Manganês (Mn) dentre outros elementos pouco móveis no solo e

necessários para o crescimento e desenvolvimento dos vegetais (Bagyaraj *et al.*, 2015; Salgado *et al.*, 2016; Júnior *et al.*, 2018).

A simbiose micorrízica é fundamental para aumentar a absorção de nutrientes pelas plantas, beneficiando culturas como o milho ao promover maior vigor e produtividade. Identificar as espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) associadas a essas culturas é essencial para o desenvolvimento de inoculantes específicos. Contudo, a produção de inóculos enfrenta limitações, já que os FMAs dependem de plantas hospedeiras para multiplicação, o que torna o processo caro e inviável em larga escala. A implementação de tecnologias acessíveis para a propagação desses fungos é crucial para ampliar sua aplicação em sistemas agrícolas, especialmente em solos de baixa fertilidade, promovendo a sustentabilidade e reduzindo a dependência de fertilizantes químicos (Hunke *et al.*, 2015; Moura *et al.*, 2017).

O potencial de uso dos FMA em cultivos agrícolas é relatado em diversos estudos. Costa *et al.* (2020) observaram que a inoculação com as espécies *Rhizoglossus clarum*, *Claroideoglossus etunicatum* e *Acaulospora morrowiae* resultou em altas taxas de colonização micorrízica em milho crioulo, influenciando positivamente a emissão de inflorescências. Em outro estudo, Salgado (2014) avaliou o impacto de diferentes espécies de FMA no desenvolvimento do milho e constatou que *Claroideoglossus etunicatum* incrementou a absorção de cálcio, zinco e fósforo, aumentando a matéria seca da parte aérea e das raízes.

Já existe no Brasil, o inoculante comercial a base de fungos micorrízicos da espécie *Rhizophagus intraradices* criado pela empresa NovaTero, o primeiro e único inoculante micorrízico com registro comercial definitivo no Brasil, o Rootella BR®. De acordo com Groundwork (2019) o desempenho do Rootella BR® foi excepcionalmente bom, aumentando as colheitas em mais de 11% para cada e qualquer tratamento, tanto para soja, quanto para o milho sob todos os regimes de fertilização e em todos os locais.

Assim, considerando o aumento da população e o consequente aumento na demanda por alimentos serão necessárias alternativas para aumentar a produção de grãos, o uso de fungos micorrízicos arbusculares pode ser uma estratégia importante para o aumento da produtividade do milho. Essa prática de inoculação do milho com fungos micorrízicos, ainda é recente, necessitando ser estudada, avaliada e difundida, sobretudo a agricultores com baixa incorporação tecnológica.

## **METODOLOGIA**

### **Área de Estudo**

Os ensaios foram realizados em casa de vegetação na Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, no município de Imperatriz – MA.

As amostras de solo para o bioensaio e obtenção de FMAs nativos foram coletadas de forma aleatória em uma área de pastagem do Cerrado maranhense, localizada no município de Governador Edson Lobão (5°74' S e 47°36' W). A escolha do local foi motivada pela elevada diversidade de espécies característica do Cerrado e pela escassez de estudos sobre as comunidades de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) nesse bioma.

### **Seleção das Linhagens de Milho**

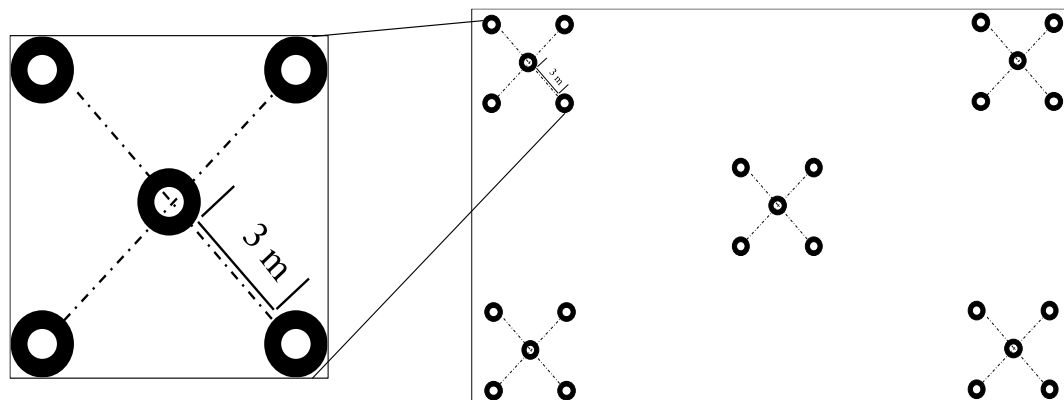
Foram selecionadas duas linhagens de milho, determinadas após levantamento junto aos produtores locais, uma linhagem eficiente, híbrida e outra ineficiente no uso de P, linhagem caboclo. Foi dada preferência às linhagens já utilizadas por produtores da região.

### **Extração e Identificação dos Esporos**

As amostras de solo para a avaliação comunidade nativa de FMA foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, com auxílio de um trado. De cada área pegou-se cinco amostras compostas formadas por cinco sub-amostras, retiradas em pontos aleatórios da área. Cada amostra de solo composta foi homogeneizada, seca à sombra, peneirada e individualmente acondicionada em saco plástico e mantida refrigerada a 4° C até o momento da extração de esporos. Uma porção de cada amostra seca foi empregada nas análises químicas do solo.

## Figura 1

*Esquema de coleta do solo de 5 amostras compostas, formadas por cinco subamostras simples com 3m de distância, para as áreas de mata e pasto.*



Fonte: Leonel (2019).

Os esporos de FMA foram extraídos do solo segundo metodologia de peneiramento úmido (Gedermann & Nicolson, 1963) e centrifugação com sacarose (Jenkins, 1964), para executá-la, duas peneiras, de 710  $\mu\text{m}$  e 53  $\mu\text{m}$ , foram acopladas em ordem decrescente. A amostra de solo foi homogeneizada com aproximadamente 700 mL de água comum, numa centrífuga durante três minutos, a uma rotação de três mil rotações por minuto para decantar o material mais pesado do solo de modo que os esporos leves entrem em suspensão com a matéria orgânica do solo. Em seguida, a suspensão foi despejada vagarosamente sobre as peneiras, restando-se o material pesado no fundo do Becker. Adicionou-se novamente 700 mL de água sobre o material retido no béquer e o processo é repetido por mais quatro vezes, descartando-se finalmente o resíduo.

O material retido nas peneiras foi lavado com um jato natural controlado, com as peneiras sempre sobrepostas. Na peneira de 710  $\mu\text{m}$ , as raízes foram recuperadas com auxílio de uma pinça, e posteriormente congeladas *in natura* para análise posterior da colonização radicular, e armazenada em álcool 50% até o momento da etapa de coloração. O restante do material na peneira de 710  $\mu\text{m}$  é eliminado. E o material retido na peneira de 53  $\mu\text{m}$  foi recolhido com água destilada e transferido e armazenado em álcool 50% até o momento da etapa de coloração para a observação e contagem de esporos em placa Petri com auxílio de estereomicroscópio.

Os esporos extraídos e contados foram montados em lâminas sob resina polivinil álcool glicerol (PVLG) e PVLG+Reagente de Melzer (1:1) e tiveram suas características morfológicas avaliadas. Foi verificada a forma, tipo e número de paredes, presença ou ausência de cicatrizes e hifas de sustentação, presença e forma do bulbo suspensor, número de hifas no glomerosporo,

estruturas de germinação (placas germinativas e orbs) e reação ao Melzer. Os dados obtidos foram comparados com a descrição das espécies no manual de Schenck e Pérez (1988) e no site da *International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (Invam 2001).

## Bioensaio

O bioensaio foi realizado em vasos com capacidade de 3 L, em um delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial com 2 linhagens, 6 tratamentos e 4 repetições, para cada cultura (Figura 2).

### Figura 2

*Descrição dos tratamentos para a cultura do milho.*

| Tratamento | Descrição                                                                                      |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| V1T1       | Testemunha Solo + milho híbrido                                                                |
| V1T2       | Solo não inoculado + Adubação fosfatada                                                        |
| V1T3       | Solo inoculado com <i>G. glomerulatum</i>                                                      |
| V1T4       | Solo inoculado com <i>R. intraradices</i>                                                      |
| V1T5       | Solo inoculado com FMA nativos ( <i>Gigaspora</i> sp, <i>Glomus</i> sp e <i>Paraglomus</i> sp) |
| V1T6       | Solo inoculado com Rootella BR®                                                                |
| V2T1       | Testemunha solo + milho caboclo                                                                |
| V2T2       | Solo não inoculado + Adubação fosfatada                                                        |
| V2T3       | Solo inoculado com <i>G. glomerulatum</i>                                                      |
| V2T4       | Solo inoculado com <i>R. intraradices</i>                                                      |
| V2T5       | Solo inoculado com FMA nativos                                                                 |
| V2T6       | Solo inoculado com Rootella BR®                                                                |

V1= milho híbrido; V2= milho caboclo

Para a formação do substrato o solo foi seco, peneirado e misturado com areia lavada em uma proporção de 1:1 (v:v) e autoclavado a uma temperatura de 121°C e pressão de 1,5 atm, por uma hora, duas vezes, com intervalo de um dia. Para os tratamentos T3, T4, T5 foram adicionados aos substratos 50 g de solo contendo o inóculo de FMA, onde avaliou-se o potencial de inóculo do FMA presente na amostra.

No tratamento T2, a correção com adubação fosfatada foi realizada a partir da análise química do solo (Tabela 1). Para o tratamento T6, com o produto comercial Rootella, utilizou-se a recomendação de 120 g do produto para 12 kg de sementes de milho.

**Tabela 1**

*Análise química e física do solo utilizado para plantio do milho em casa de vegetação.*

| pH                | MO   | P                  |      | K    | Ca   | Mg   | Al                    | H + Al | SB     | CTC  |
|-------------------|------|--------------------|------|------|------|------|-----------------------|--------|--------|------|
| CaCl <sub>2</sub> | g/Kg | mg/dm <sup>3</sup> |      |      |      |      | cmol/ dm <sup>3</sup> |        |        |      |
| 4,7               | 12,2 | 12,4               |      | 0,09 | 2,71 | 0,64 | 0,00                  | 2,48   | 3,44   | 5,92 |
| V                 | M    | Ca                 | Mg   | K    |      |      | Areia                 | Silte  | Argila |      |
|                   |      |                    |      |      | %    |      |                       |        |        |      |
| 58,1              | 0,0  | 45,8               | 10,8 | 1,5  |      |      | 74                    | 11     | 15     |      |

Fonte: Laboratório Terra Brasileira, 2022

A semeadura foi realizada com 5 sementes por vaso e após 15 dias fez-se o desbaste deixando apenas uma planta por vaso. Antes da semeadura as sementes foram higienizadas com hipoclorito de sódio (1%) por 3 minutos e lavadas abundantemente em água destilada.

O ensaio foi conduzido até a época de floração das culturas, em seguida as plantas foram coletadas e a parte aérea foi separada da parte radicular. As amostras (raiz e parte aérea) foram armazenadas em sacos de papel e secas em estufa de ar forçado a 60°C, até peso constante, para determinação da massa seca e o P acumulado na parte aérea (Tedesco *et al.*, 1995). Antes de ser levada a estufa, uma subamostra da raiz foi retirada, higienizada com água destilada e armazenada em álcool 50% para posterior verificação da colonização micorrízica. O peso da matéria seca foi utilizado para calcular a eficiência das comunidades de FMA para promover o desenvolvimento das plantas de acordo com metodologia descrita por Hungria e Araújo (1994).

### **Avaliação das Plantas em Casa de Vegetação**

Para avaliar a eficiência dos FMAs na promoção do crescimento das plantas, a cada 15 dias eram realizadas medições da altura da planta, número de folhas e quantificação do índice de clorofila em cinco folhas de milho por tratamento, nos horários das 7:30 h às 9:30 h, através do aparelho SPAD (*Soil Plant Analysis Development*)-502 Plus. Nas folhas mais verdes, as leituras foram realizadas em quatro pontos de cada folha, adotando-se a média das leituras.

Aos 60 dias após o plantio, as plantas foram coletadas e os seguintes parâmetros foram avaliados: massa seca da parte aérea, teor de fósforo na planta e colonização radicular.

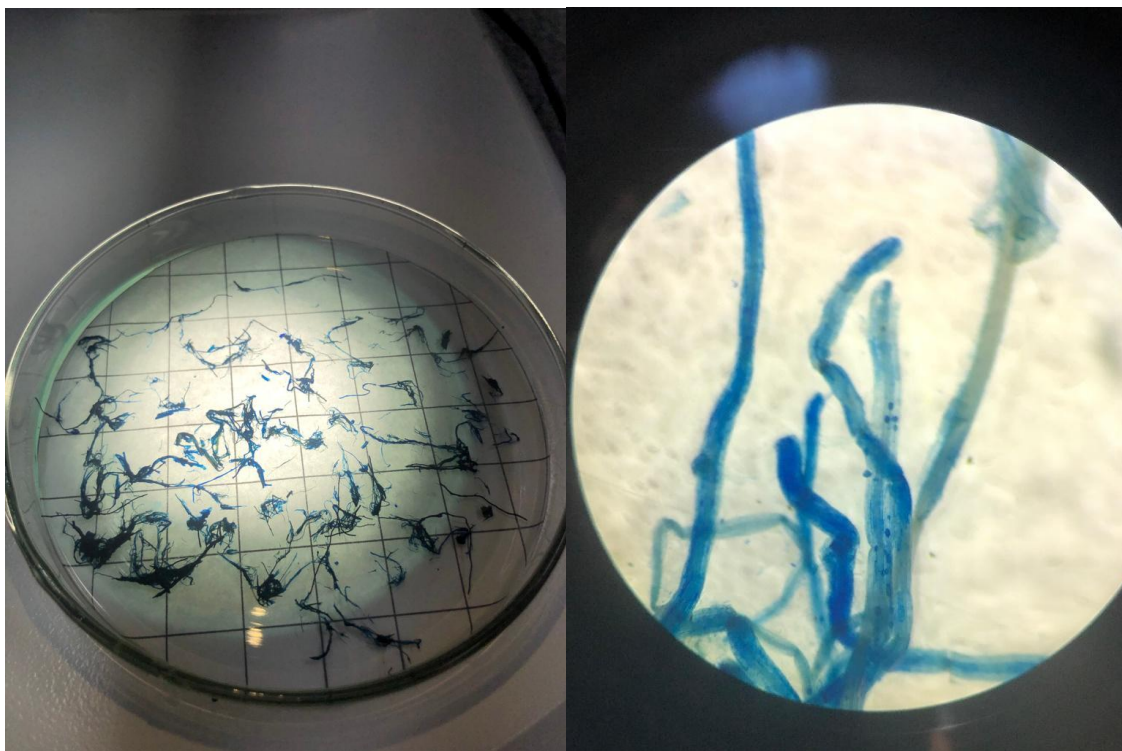
### **Coloração e Contagem de Raízes Colonizadas**

A colonização radicular foi determinada de acordo com metodologia descrita por Phillips

e Hayman (1970). Após coleta das raízes estas foram higienizadas para retirada de resíduos sólidos e em seguida, clareadas com KOH 5%, e coloridas com azul de triptan 0,05% e a colonização micorrízica foi determinada pelo método de interseção em placas quadriculadas, de acordo com metodologia descrita por Giovanetti e Mosse (1980) (Figura 3).

### Figura 3

*Raízes coradas na placa de petri para determinação de colonização micorrízica pelo método de interseção em placas quadriculadas.*



### Análise de Fósforo Total no Tecido Vegetal

O material vegetal foi submetido a secagem em estufa de circulação de ar forçado a 60°C até peso constante, após a secagem realizou-se a moagem do material em moinho tipo “Willey”. Em seguida o material foi peneirado em peneira de 30 *mesh* (nº de malha/ cm<sup>2</sup>), e armazenado em frasco de plástico para posterior análise.

O fósforo (P) foi extraído conforme o método descrito por Tedesco *et al.* (1995) em que se utiliza 1g da amostra na proporção de 1:10 e 10 ml da solução extratora Mehlich-1. As amostras foram agitadas por 5 min em agitador horizontal com 120 oscilações por minuto e decantadas por

16 h. A determinação do fósforo deu-se através de kits comerciais (Labtest(r) Diagnóstica SA, Belo Horizonte, Brasil) Uma alíquota de 2,5 mL da solução estoque, é utilizada para determinação de fosforo total por espectrofotometria a partir de um ensaio colorimétrico baseado na reação de molibdênio em meio ácido, formando um complexo, reduzido pelo ácido ascórbico, resultando em um composto de coloração azul, cuja absorção espectrofotômica é de 650 nm (Macedo 2001).

A concentração de fósforo foi determinada através de uma curva analítica preparada com uma solução de fosfato de potássio (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), utilizando espectrofotometria. Para a obtenção da massa de P absorvida pela planta foi utilizada a seguinte fórmula:

$$\text{Massa de P (mg)} = \frac{\text{Absorbância} - 0,1652}{0,00361} \times 0,4 \quad (1)$$

## RESULTADOS

Os FMAs nativos coletados em área de pastagem no Cerrado maranhense, foram identificados morfológicamente como sendo pertencentes aos gêneros *Glomus sp*, *Paraglomus sp* e *Gigaspora Sp*.

Não foi observada interação significativa entre os fatores variedade e tratamento para o índice de clorofila em nenhum dos tempos analisados (P= 0,2779; P= 0,1881; P= 0,1727; P= 1,0000, respectivamente). Isso indica que o efeito do tratamento do solo sobre o índice de clorofila foi independente da variedade de milho.

Diante da ausência de interação significativa entre os fatores, os tratamentos foram avaliados separadamente em cada variedade. No milho híbrido (Variedade 1), a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) aumentou significativamente o índice de clorofila. Aos 30 dias, o solo inoculado com *Rizophagus intraradices* apresentou melhor desempenho (P=0,00397) e, aos 45 dias, o solo inoculado com *Glomus glomerulatum* superando o tratamento com adubação fosfatada (P=0,0203). Já no milho caboclo (Variedade 2), não houve diferença significativa entre os tratamentos em nenhum dos tempos analisados (P>0,05), indicando que a inoculação não influenciou essa variedade (Tabela 2).

**Tabela 2**

Média do índice de clorofila em duas variedades de milho (*Zea mays*) cultivado em solo inoculado e não inoculado com fungo micorrízico arbuscular no período de 15 a 60 dias após o plantio.

| Tratamento | 15 dias | 30 dias  | 45 dias  | 60 dias |
|------------|---------|----------|----------|---------|
| V1 T1      | 32,73 a | 34,2 ab  | 26,55 ab | 16,45 a |
| V1 T2      | 35,27 a | 30,55 b  | 23,13 b  | 19,10 a |
| V1 T3      | 32,95 a | 32,90 ab | 29,87 a  | 21,42 a |
| V1 T4      | 38,30 a | 39,30 a  | 24,23ab  | 27,15 a |
| V1 T5      | 35,90 a | 36,55 ab | 29,33 ab | 25,65 a |
| V1 T6      | 35,70 a | 32,90 ab | 25,50 ab | 16,95 a |
| CV (%)     | 8,57    | 10,45    | 10,88    | 25,72   |
| P          | 0,1442  | 0,00397  | 0,0203   | 0,0534  |
| V2 T1      | 36,20 a | 34,60 a  | 23,60 a  | 23,07 a |
| V2 T2      | 35,60 a | 33,07 a  | 24,30a   | 23,57 a |
| V2 T3      | 33,33 a | 34,47 a  | 25,85a   | 17,60 a |
| V2 T4      | 35,07 a | 31,45 a  | 23,87 a  | 19,10 a |
| V2 T5      | 36,80 a | 31,87 a  | 22,33 a  | 20,50 a |
| V2 T6      | 38,03 a | 31,27 a  | 28,10 a  | 18,35 a |
| CV (%)     | 10,59   | 16,80    | 19,28    | 25,58   |
| P          | 0,6237  | 0,9103   | 0,6123   | 0,4945  |

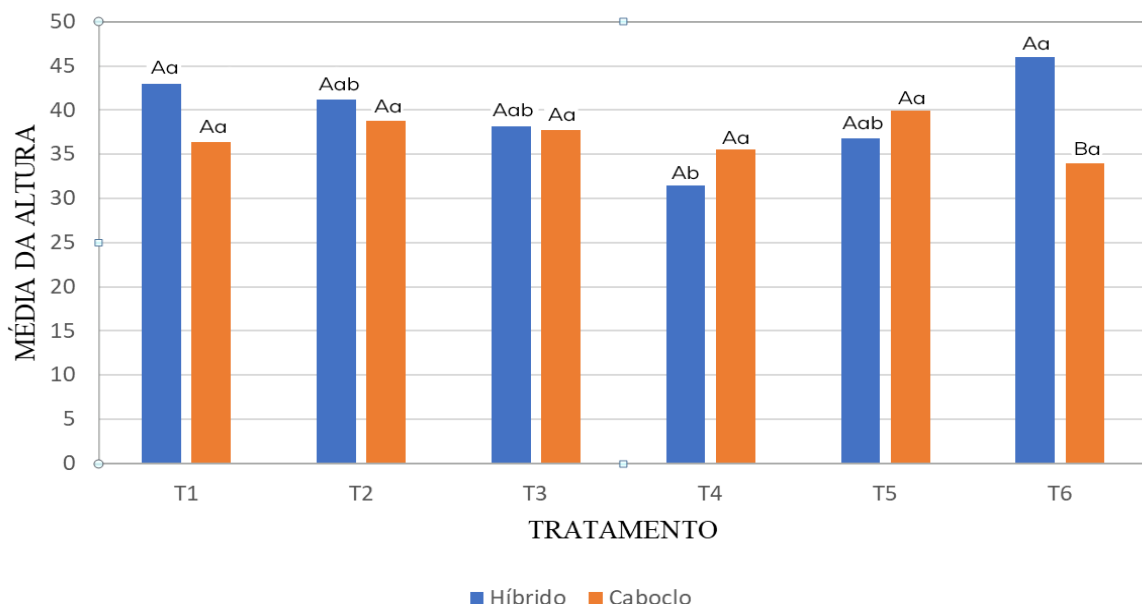
Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). V1 = milho (*Zea mays*) var. Híbrido; V2 = milho (*Zea mays*) var. Caboclo; T1 = Tratamento testemunha; T2 = Tratamento com adubação fosfatada; T3 = Tratamento com inóculo de *Glomus glomerulatum*; T4 = Tratamento com inóculo de *Rhizophagus intraradices*; T5 = Tratamento com inóculo de Fungos Micorrízicos Arbusculares nativos; T6 = Tratamento com o inóculo comercial Rootella BR®; CV = Coeficiente de variação; P = Significância.

Em relação à altura da planta de milho ( $P = 0,028$ ), aos 15 dias após o plantio, houve interação significativa entre os fatores variedade (milho híbrido e milho caboclo) e tratamento (solo inoculado e não inoculado com fungos micorrízicos arbusculares) (Tabela 3).

É possível constatar no desdobramento (Gráfico 1) que para a variedade de milho Híbrido, a maior média de altura foi obtida com o tratamento 6, no qual o solo foi inoculado com o produto comercial Rootella BR®, proporcionando maior altura, superando a adubação fosfatada. Quanto a variedade de milho caboclo, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

**Figura 4**

*Média da altura em duas variedades de milho (Zea mays) cultivado em solo inoculado e não inoculado com fungo micorrízico arbuscular aos 15 dias após o plantio.*



Médias seguidas de mesma letra maiúscula dentro de cada variedade e mesma letra minúscula entre variedades, dentro de um mesmo tratamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). T1 = Tratamento testemunha; T2 = Tratamento com adubação fosfatada; T3 = Tratamento com inóculo de *Glomus glomerulatum*; T4 = Tratamento com inóculo de *Rhizophagus intraradices*; T5 = Tratamento com inóculo de Fungos Micorrízicos Arbusculares nativos; T6 = Tratamento com o inóculo comercial Rootella BR®.

Ao comparar os tratamentos (solo inoculado e não inoculado com fungos micorrízicos arbusculares - FMAs) dentro de cada variedade, foi identificada uma diferença significativa na altura das plantas para a variedade 1 (milho híbrido) aos 30 dias após o plantio ( $P = 0,0028$ ). Os maiores valores médios de altura foram observados nos tratamentos com inoculação de FMAs nativos e com adubação fosfatada. Por outro lado, para a variedade 2 (milho caboclo), não foram observadas diferenças significativas na altura das plantas aos 30, 45 e 60 dias após o plantio (Tabela 3).

**Tabela 3**

*Média da altura de planta em duas variedades de milho cultivado em solo inoculado e não inoculado com fungo micorrízico arbuscular aos 30, 45 e 60 dias após o plantio.*

| Tratamento | 30 dias  | 45 dias | 60 dias             |
|------------|----------|---------|---------------------|
| V1 T1      | 72,78 ab | 84,63 a | 94,58 a             |
| V1 T2      | 79,05 a  | 92,47 a | 95,35 a             |
| V1 T3      | 56,67 b  | 83,33 a | 94,73a              |
| V1 T4      | 72,40 ab | 91,03 a | 93,85 a             |
| V1 T5      | 79,87 a  | 90,47 a | 97,20 a             |
| V1 T6      | 58,80 b  | 84,20 a | 100,80 <sup>a</sup> |
| CV (%)     | 11,38    | 16,02   | 11,86               |
| P          | 0,0028   | 0,8858  | 0,9565              |
| V2 T1      | 69,5 a   | 78,65 a | 82,1 a              |
| V2 T2      | 56,9 a   | 68,5a   | 73,77a              |
| V2 T3      | 62 a     | 72 a    | 77,97 a             |
| V2 T4      | 76,22 a  | 83,47 a | 84,77 a             |
| V2 T5      | 67,1 a   | 79,87 a | 83,65 a             |
| V2 T6      | 68,4 a   | 73,82 a | 82,5 a              |
| CV (%)     | 15,06    | 15,17   | 9,64                |
| P          | 0,1765   | 0,4843  | 0,3797              |

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). V1 = milho (*Zea mays*) var. híbrido; V2 = milho (*Zea mays*) var. caboclo T1 = Tratamento testemunha; T2 = Tratamento com adubação fosfatada; T3 = Tratamento com inóculo de *Glomus glomerulatum*; T4 = Tratamento com inóculo de *Rhizophagus intraradices*; T5 = Tratamento com inóculo de Fungos Micorrizicos Arbusculares nativos; T6 = Tratamento com o inóculo comercial Rootella BR®; CV = Coeficiente de variação; P = Significância.

Não houve interação significativa entre os fatores variedade (milho híbrido e milho caboclo) e tratamento (solo inoculado e não inoculado com fungos micorrízicos arbusculares) aos 15, 30, 45 e 60 dias após o plantio, para a variável número de folhas ( $P > 0,05$ ).

Ao se comparar os tratamentos (solo inoculado e não inoculado com FMA) dentro de cada variedade, observa-se que não houve diferença significativa ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey entre os tratamentos, para as variedades 1 (milho híbrido) e variedade 2 (milho caboclo), em relação ao número médio de folhas nas plantas ( $P = 0,3825$ ;  $P = 0,8772$ ;  $P = 0,0524$ ;  $P = 0,8168$ ;  $P = 0,5801$ ;  $P = 0,2422$ ;  $P = 0,0524$ ;  $P = 0,8168$ ) aos 15, 30, 45 e 60 dias após o plantio, respectivamente (Tabela 4).

**Tabela 4**

*Média do número de folhas em duas variedades de milho (Zea mays) cultivado em solo inoculado e não inoculado com fungo micorrízico arbuscular aos 15,30,45 e 60 dias após o plantio.*

| Tratamento | 15 dias | 30 dias | 45 dias | 60 dias |
|------------|---------|---------|---------|---------|
| V1 T1      | 4,75 a  | 5,25 a  | 5,00 a  | 13,00 a |
| V1 T2      | 5,00 a  | 5,25 a  | 5,00 a  | 12,75 a |
| V1 T3      | 4,50 a  | 5,50 a  | 5,00 a  | 12,00 a |
| V1 T4      | 4,25 a  | 5,75 a  | 5,00 a  | 11,75 a |
| V1 T5      | 5,25 a  | 5,00 a  | 5,25 a  | 13,00 a |
| V1 T6      | 4,75 a  | 5,50 a  | 4,50 a  | 12,00 a |
| CV (%)     | 14,04   | 16,55   | 17,63   | 8,38    |
| P          | 0,3825  | 0,8772  | 0,8966  | 0,3621  |
| V2 T1      | 5,50 a  | 6,50 a  | 4,00a   | 14,00 a |
| V2 T2      | 5,25 a  | 6,50 a  | 5,50 a  | 14,75 a |
| V2 T3      | 4,75 a  | 5,25 a  | 5,00 a  | 14,25 a |
| V2 T4      | 5,25 a  | 6,75 a  | 4,50 a  | 14,25 a |
| V2 T5      | 5,00 a  | 6,50 a  | 5,50 a  | 15,50 a |
| V2 T6      | 6,50 a  | 6,00 a  | 5,00 a  | 14,00 a |
| CV (%)     | 25,66   | 14,36   | 14,38 a | 12,12   |
| P          | 0,5801  | 0,2422  | 0,0524  | 0,8168  |

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). V1 = milho (*Zea mays*) var. Híbrido; V2 = milho (*Zea mays*) var. Caboclo; T1 = Tratamento testemunha; T2 = Tratamento com adubação fosfatada; T3 = Tratamento com inóculo de *Glomus glomerulatum*; T4 = Tratamento com inóculo de *Rhizophagus intraradices*; T5 = Tratamento com inóculo de Fungos Micorrízicos Arbusculares nativos; T6 = Tratamento com o inóculo comercial Rootella BR®; CV = Coeficiente de variação; P = Significância.

Não houve interação significativa entre os fatores variedade (milho híbrido e milho caboclo) e tratamento (solo inoculado e não inoculado com fungos micorrízicos arbusculares) aos 60 dias após o plantio, para as variáveis índice de colonização radicular, massa seca da parte aérea e teor de fósforo.

Comparando-se os tratamentos (solo inoculado e não inoculado com FMA) dentro de cada variedade, observa-se que não houve diferença significativa ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey entre os tratamentos, para as variedades milho híbrido e milho caboclo, em relação a massa seca da parte aérea (Tabela 5).

Quanto o teor de fósforo nas plantas, embora tenha apresentado resultado significativo ( $P=0,0344$ ), as médias observadas entre os tratamentos foram muito próximas, não evidenciando uma diferença relevante entre elas (Tabela 5).

Quanto a colonização radicular houve diferença significativa entre os tratamentos, observa-se que para a variedade milho híbrido a maior colonização de raízes ocorreu com a inoculação no solo do produto comercial Rootella BR®, a base de *Rhizophagus intraradices* ( $P=0,0003$ ). O mesmo se observa para a variedade milho caboclo, a maior taxa de colonização é

observada no solo inoculado com o produto Rootela BR® (P=0,0022) (Tabela 5).

**Tabela 5**

*Média da colonização radicular, massa seca da parte aérea e teor de fósforo em folhas de milho (Zea mays L.) aos 60 dias após o plantio, cultivado em solo inoculado e não inoculado com fungos micorrízicos arbusculares.*

| Tratamento | COLONIZAÇÃO RADICULAR (%) | MSPA (g) | Teor de P (mg) em folhas |
|------------|---------------------------|----------|--------------------------|
| V1 T1      | 0,001 c                   | 5,36 a   | 1,33 a                   |
| V1 T2      | 0,001c                    | 5,50 a   | 1,70 a                   |
| V1 T3      | 12,25ab                   | 4,27 a   | 1,01 a                   |
| V1 T4      | 5,00 bc                   | 4,57 a   | 1,64 a                   |
| V1 T5      | 11,75 ab                  | 5,25 a   | 1,13 a                   |
| V1 T6      | 20,00 a                   | 5,16 a   | 1,42 a                   |
| CV (%)     | 32,16                     | 26,1     | 22,86                    |
| P          | 0,0003                    | 0,7178   | 0,0344                   |
| V2 T1      | 0,001b                    | 4,057 a  | 1,33 a                   |
| V2 T2      | 0,001 b                   | 5,150 a  | 1,71 a                   |
| V2 T3      | 3,658 ab                  | 4,517 a  | 1,01 a                   |
| V2 T4      | 4,4098 a                  | 4,160 a  | 1,64 a                   |
| V2 T5      | 4,5824 a                  | 4,295 a  | 1,13 a                   |
| V2 T6      | 5,0060 a                  | 4,853 a  | 1,42 a                   |
| CV (%)     | 45,74                     | 26,12    | 22,86                    |
| P          | 0,0022                    | 0,7578   | 0,0344                   |

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).MSPA = Massa seca da parte aérea, F = Fósforo, V1 = Variedade 1, V2 = Variedade 2, T1 = Testemunha, T2 = Adubação fosfatada, T3 = *Glomus glomerulatum*, T4 = *Rhizophagus intraradices*, T5 = FMA Nativos, T6 = Rootela BR®, CV = Coeficiente de variação, P = Significância.

## DISCUSSÃO

Os efeitos dos tratamentos (solo inoculado e não inoculado com FMA) dentro de cada variedade promoveram incremento no índice de clorofila. Para a variedade milho híbrido, aos 30 dias o tratamento solo inoculado com *Rizophagus intraradices* e aos 45 dias o tratamento solo inoculado com *Glomus glomerulatum*, proporcionaram maiores índice de clorofila, acima do tratamento com aplicação de adubação fosfatada. Já, para a variedade milho caboclo, não houve diferença significativa entre os tratamentos solo inoculada e não inoculado com FMA para o índice de clorofila.

Os resultados deste trabalho estão em concordância com os dados apresentados por Gomes Júnior *et al.* (2018), que relataram maior eficiência no teor de clorofila em genótipos de milho inoculados com *Rhizoglonus amazonenses*, em comparação aos tratamentos sem

inoculação. De forma semelhante, Ribeiro (2021) observou um aumento significativo no teor de clorofila em plantas de milho inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). O autor atribuiu os resultados à maior absorção de nutrientes proporcionada pelo aumento da área superficial das raízes, promovido pelas hifas fúngicas. Esses achados reforçam o papel dos FMAs na melhoria da nutrição e no desempenho fisiológico das plantas.

Quanto à altura das plantas, houve interação significativa entre os fatores variedade e tratamento aos 15 dias para a variedade de milho Híbrido, a maior média de altura foi obtida com o tratamento, solo inoculado com o produto comercial Rootella BR®, proporcionando maior altura, superando o tratamento com adubação fosfatada. Avaliando também a altura separadamente dentro de cada variedade, houve diferença significativa aos 30 dias no tratamento inoculado com Rootella BR®.

Esse resultado vai de encontro com os que foram encontrados por Campos *et al.* (2015) em que a altura das plantas dos diferentes genótipos de milho híbrido em casa de vegetação, submetidos à inoculação e sem inoculação de FMA, revelou diferenças significativas na avaliação realizada no 15º dia após a emergência das plantas. O autor cita que a inoculação de FMA, acarreta incremento na produtividade de forma diferenciada entre os genótipos do milho. Ele ainda cita que colonização micorrízica é uma característica que pode ser afetada por inúmeros fatores, como a espécie vegetal, a idade da planta, a densidade de raízes, dos propágulos de FMA no solo, a eficiência de colonização de FMA e o manejo do solo, dentre outros.

Para as variedades milho híbrido e milho caboclo, em relação ao número de folhas e à massa seca da parte aérea, a inoculação de fungos micorrízicos no solo não apresentou diferença significativa. Resultados semelhantes foram relatados por Costa *et al.* (2020), que não encontrou diferenças significativas no número de folhas em milho crioulo. O autor atribuiu esse resultado ao uso de solo arenoso autoclavado e ao volume reduzido de substrato, que podem ter limitado o desenvolvimento das plantas e a interação entre FMAs e as raízes. Além disso, Costa *et al.* (2020) confirmaram que, apesar da colonização micorrízica ser significativa, não houve alterações relevantes na biomassa aérea, sugerindo que as condições experimentais podem influenciar a resposta das plantas aos tratamentos com FMAs.

Os resultados dos teores de fósforo obtidos no estudo em questão, podem indicar que o período de coleta não foi ideal para observar as diferenças no acúmulo de fósforo, uma vez que, como sugerido por Menezes *et al.* (2018), o maior acúmulo ocorre durante o período reprodutivo, quando as plantas exigem mais desse nutriente. Assim, prolongar o experimento para incluir a

fase reprodutiva poderia revelar diferenças mais pronunciadas entre os tratamentos.

A colonização radicular apresentou diferença significativa entre os tratamentos, sendo que, para a variedade milho híbrido, a maior colonização das raízes foi observada com a inoculação do produto comercial Rootela BR®, formulado à base de *Rhizophagus intraradices*. Essa espécie de fungo micorrízico arbuscular (FMA) é conhecida pelo rápido estabelecimento da colonização micorrízica e pela rápida multiplicação de seus propágulos (Invam, 2021).

Conforme constato por Stoffel (2023), a utilização do inoculante comercial, que possui alta concentração de propágulos e elevado potencial infectivo, contribuiu significativamente para esses resultados. Em um experimento utilizando o Rottela na produtividade do cultivo do milho, o autor observou que a espécie se estabeleceu em todas as plantas aos 26 dias após a emergência.

Além disso, a colonização micorrízica é uma característica que pode ser afetada por inúmeros fatores, como a espécie vegetal, a idade da planta, a densidade de raízes, dos propágulos de FMA no solo, a eficiência de colonização de FMA e o manejo do solo, dentre outros (AFEK *et al.*, 1990).

## CONCLUSÃO

A inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em solo do Cerrado maranhense sob pastagem promoveu incrementos significativos no índice de clorofila, altura de plantas e colonização radicular, especialmente na variedade de milho híbrido, superando, em alguns casos, a adubação fosfatada. Destacou-se o uso de *Rizophagus intraradices*, tanto em inoculante comercial quanto em FMAs nativos, com maior eficiência na colonização radicular. Entretanto, não foram observados efeitos sobre número de folhas, massa seca da parte aérea e teor de fósforo foliar. Assim, os FMAs apresentam potencial como estratégia sustentável no manejo do milho em solos de baixa fertilidade do Cerrado, embora estudos em condições de campo sejam necessários para confirmar sua aplicabilidade agrônômica.

## REFERÊNCIAS

- Afek, U., *et al.* (1990). Mycorrhizal inoculum influence colonization of cotton, onion and pepper seedlings. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 115(6), 938–942.
- Bagyaraj, D., Sharma, M. P., & Maiti, D. (2015). Phosphorus nutrition of crops through arbuscular mycorrhizal fungi. **Current Science**, 108(7), 1288–1293.

- Begum, N., Ahanger, M. A., Su, Y., Lei, Y., Mustafa, N. S. A., Ahmad, P., & Zhang, L. (2019). Improved drought tolerance by AMF inoculation in maize (*Zea mays*) involves physiological and biochemical implications. **Plants**, 8(12), 579.
- Brasil, Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. (2022, January 28). **Cerrado**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/biomas/cerrado>. Acesso em : 28 jan. 2026.
- Brundrett, M. C., & Tedersoo, L. (2018). Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. **New Phytologist**, 220, 1108–1115.
- Campos, A. A. B., *et al.* (2015). Fungos micorrízicos arbusculares em dois sistemas de cultivo de milho. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, 5(1), 137–142.
- Costa, F. M., *et al.* (2020). Crescimento de milho crioulo cultivado com fungos micorrízicos arbusculares. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, 13(3), 983–1000.
- Costa, M. D., & Lovato, P. E. (2011). Micorrizas arbusculares e a supressão de patógenos. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 6, 119–139.
- Conab – Companhia Nacional de Abastecimento. (2023). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Safra 2023/24** (v. 11, n. 2). Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 28 jan. 2026.
- Gerdemann, J. W., & Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, 46(2), 235–244.
- Giovannetti, M., & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection on roots. **New Phytologist**, 84(3), 489–500.
- Gomes Júnior, C. C. (2018). **Alterações morfofisiológicas em dois genótipos de milho (*Zea mays* L.) em resposta à inoculação com fungos micorrízicos arbusculares** (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Alfenas.
- Groundwork BioAg. (2019). **Rootella for your farm**. Disponível em: <https://groundworkbioag.com>. Acesso em : 28 jan. 2026.
- Hungria, M., & Araújo, R. S. (1994). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Embrapa-SPI.
- Hunke, P., *et al.* (2015). The Brazilian Cerrado: Assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use. **Ecohydrology**, 8(6), 1154–1180.
- IBGE. (2013). **Mapa de biomas do Brasil e mapa de vegetação do Brasil**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br>. Acesso em: 28 jan. 2026.
- International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM). (2001). **Species descriptions and reference cultures**. West Virginia University. Disponível em: <http://invam.wvu.edu>. Acesso em: 28 jan. 2026.

- International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM). (2021). **Rhizophagus intraradices** (reference accession UT126). Disponível em: <https://invam.ku.edu>. Acesso em: 28 jan. 2026.
- Jenkins, W. R. (1964). A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, 48(9), 692.
- Júnior, G. A. G., *et al.* (2018). Absorption of nutrients by soursop seedlings in response to mycorrhizal inoculation and addition of organic compost. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 48(3), 287–294.
- Macedo, J. A. B. (2001). **Águas & águas: Métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas**. Ed. J.A.B. de Macêdo.
- Menezes, J. F. S., *et al.* (2018). Extração e exportação de nitrogênio, fósforo e potássio pelo milho adubado com dejetos de suínos. **Revista de Agricultura Neotropical**, 5(3), 55–59.
- Moura, J. B., *et al.* (2016). Taxa de colonização micorrízica sob diferentes sistemas de cultivo no cerrado em cana-de-açúcar. **Revista Diálogos & Ciência**, 2(40), 60–66.
- Phillips, J. M., & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of the British Mycological Society**, 55(1), 158–161.
- Salgado, F. H. M., *et al.* (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi and mycorrhizal stimulant affect dry matter and nutrient accumulation in bean and soybean plants. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 46(4), 367–373.
- Salgado, F. H. M. (2014). **Fungos micorrízicos arbusculares e estimulante da colonização micorrízica em culturas agrícolas em solo de cerrado** (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Goiás.
- Schenck, N. C., & Pérez, Y. (1988). **Manual for the identification of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi** (2nd ed.). University of Florida.
- Stoffel, S. C. G. (2023). **Inoculante micorrízico à base de *Rhizophagus intraradices* na colonização micorrízica e rendimento do milho** (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina.
- Tedesco, M. J., *et al.* (1995). **Análise de solo, plantas e outros minerais** (2nd ed.). UFRGS.
- Tedersoo, L., *et al.* (2018). High-level classification of the fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. **Springer**, 90, 135–159.