Fungos micorrízicos arbusculares na melhoria das condições hídricas e fotossintéticas do milho sob déficit hídrico

Igor Siega Campos[1], Gabriela Antunes da Silva[2], Guynemer Schelini Neto[3], Renan Ramos da Rosa[4], Márcio Rosa[5], Juliana Silva Rodrigues Cabral[6]

[1]Graduando em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade de Rio Verde, Iniciação Científica – PIVIC.
[2]Graduando em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade de Rio Verde.
[3]Graduando em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade de Rio Verde, Iniciação Científica – PIVIC.
[4]Mestrando em Produção Vegetal, Universidade de Rio Verde.
[5]Professor Doutor, Faculdade de Agronomia, Univerisdade de Rio Verde.
[6]Professora Doutora, Faculdade de Agronomia, Universidade de Rio Verde, juliana.cabral@unirv.edu.br

.

Reitor:
Prof. Dr. Alberto Barella Netto

Pró-Reitor de Pesquisa e Inovação:
Prof. Dr. Carlos César E. de Menezes

Editor Geral:
Prof. Dra. Andrea Sayuri Silveira Dias Terada

Editores de Seção:
Profa. Dra. Ana Paula Fontana
Prof. Dr. Hidelberto Matos Silva
Prof. Dr. Fábio Henrique Baia
Pra. Dra. Muriel Amaral Jacob
Prof. Dr. Matheus de Freitas Souza
Prof. Dr. Warley Augusto Pereira

Fomento:
Programa PIBIC/PIVIC UniRV/CNPq 2023-2024

Resumo: O aumento da frequência e severidade das secas, intensificadas pelas mudanças climáticas, afeta diretamente a produção agrícola, especialmente em culturas como o milho (*Zea mays* L.), que possui alta demanda hídrica. Como alternativa para diminuir os prejuízos com a seca, os fungos micorrízicos arbusculares prologam o sistema radicular das plantas, maximizando a absorção de água. Com isto, objetivou-se com este trabalho investigar a eficácia da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) na melhora das condições hídricas e fotossintéticas do milho sob déficit hídrico. Sementes de milho foram cultivadas em casa de vegetação e inoculadas com fungo micorrízico arbuscular. As plantas foram mantidas irrigadas com 80% de teor de água da capacidade de campo (CC) da germinação até o V3 sendo submetidas ao 1º déficit hídrico por oito dias, posteriormente foram reirrigadas a 80% de CC. No estádio V8 foram submetidas ao 2º déficit hídrico por doze dias, fase em que foram realizadas as análises fisiológicas. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, em arranjo fatorial 2 x 2 (ausência e presença dos FMA x condição hídrica), com cinco repetições. Cada repetição, foi constituída por um vaso contendo 2 plantas. Os dados numéricos obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey (5 % de probabilidade), utilizando o software SISVAR 11. Conclui-se, que a presença dos FMA favorece o aumento do potencial hídrico, propiciando maior taxa fotossintética, tornando as plantas mais eficientes no uso da água em perídos de déficit hídrico.

Palavras-Chave: Micorriza. Seca. *Zea mays*.

Arbuscular mycorrhizal fungi in improving water and photosynthetic conditions of corn under water deficit

Abstract: *The increased frequency and severity of droughts, intensified by climate change, directly affects agricultural production, especially in crops such as corn (Zea mays L.), which has a high water demand. As an alternative to reduce losses due to drought, arbuscular mycorrhizal fungi prolong the root system of plants, maximizing water absorption. Therefore, the objective of this study was to investigate the effectiveness of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in improving the water and photosynthetic conditions of corn under water deficit. Corn seeds were grown in a greenhouse and inoculated with arbuscular mycorrhizal fungus. The plants were kept irrigated with 80% of water content of the field capacity (CC) from germination to V3 and subjected to the first water deficit for eight days, subsequently they were re-irrigated at 80% of CC. At the V8 stage, they were subjected to the second water deficit for twelve days, during which the physiological analyses were performed. The experimental design was completely randomized, in a 2 x 2 factorial arrangement (absence and presence of AMF x water condition), with five replicates. Each replicate consisted of a pot containing 2 plants. The numerical data obtained were subjected to analysis of variance and the means compared by the Tukey test (5% probability), using the SISVAR 11 software. It is concluded that the presence of AMF favors the increase in water potential, providing a higher photosynthetic rate, making the plants more efficient in water use in periods of water deficit.*

Keywords: *Mycorrhiza. drought. Zea mays.*

Introdução

A agricultura moderna enfrenta desafios climáticos significativos, como o déficit hídrico, especialmente em culturas de importância econômica como o milho (*Zea mays* L.). As mudanças climáticas têm intensificado a frequência e severidade das secas, tornando crucial vias alternativas para que as plantas possam tolerar a restrição hídrica. Segundo a FAO (2017), a variabilidade climática e ocorrência de secas causam grandes variações na produção anual de grãos, afetando preços e disponibilidade de alimentos. E o aquecimento global tem agravado o déficit hídrico, impactando negativamente a produtividade agrícola mundial (VURUKONDA et al., 2016).

O milho, uma cultura com alta necessidade hídrica, é particularmente sensível à seca, e sua estabilidade de produção está diretamente ligada à disponibilidade hídrica (HERNÁNDEZ et al., 2015). No Brasil, a cultura é essencial tanto para o consumo humano quanto para a alimentação animal, além de suas aplicações nas indústrias alimentícia e de biocombustíveis. Devido ao seu alto potencial produtivo, o milho requer grandes quantidades de água ao longo de seu ciclo, com a demanda hídrica podendo exceder 600 mm (CRUZ et al., 2010).

A falta de água afeta a fisiologia das plantas, iniciando com o fechamento dos estômatos para reduzir a perda de água por transpiração, o que limita a entrada de dióxido de carbono necessário para a fotossíntese e reduz a taxa fotossintética (TAIZ; ZEIGER et al., 2017). Estudos indicam que períodos de seca severa podem reduzir a produção de milho em até 50% (BERGAMASCHI et al., 2004; MAGALHÃES et al., 2002).

Uma estratégia promissora para mitigar os efeitos do déficit hídrico é a utilização de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), que atuam de forma simbiótica com as raízes das plantas, aumentando a absorção de nutrientes e a eficiência do transporte de água, ajudando as plantas a tolerarem a seca (HUMPHREYS et al., 2010). Esses fungos retardam o início do estresse hídrico, mantendo o equilíbrio entre a transpiração e os potenciais de água nas folhas, permitindo que as plantas sobrevivam a períodos prolongados de escassez hídrica (DAYNES et al., 2013). Essa associação micorrízica provoca um aumento da área de interceptação de água pelas raízes através das hifas fúngicas, proporcionando maior disponibilidade hídrica e capacidade de retenção de água (FOLLI-PEREIRA et al., 2012).

Neste contexto, objetivou-se com esse trabalho avaliar a eficácia dos fungos micorrízicos arbusculares na melhoria das condições hídricas e fotossintéticas de milho sob condições de déficit hídrico.

Material e Métodos

Sementes de milho (cultivar P3707VYH) foram germinadas em vasos de nove litros contendo solo e crescidas em casa de vegetação da Universidade de Rio Verde – Campus Rio Verde, sob condições naturais de luz, umidade relativa média de 50,88% e temperatura média de 24,15 ºC. O solo, coletado na área da Universidade de Rio Verde, foi corrigido com calcário filler (100% PRNT) para atingir a saturação por base recomendada para a cultura (80%).

Como inoculante de fungo micorrízico arbuscular, foi utilizado o produto comercial ENDOFUSE®, com formulação FS, composto por quatro espécies de fungos micorrízicos: *Glomus mosseae*, *Glomus aggregatum*, *Glomus intraradices* e *Glomus etunicatum*. O tratamento das sementes foi realizado no momento da semeadura, utilizando a dosagem comercial de 20 mL ha^{-1}.

Cada vaso foi pesado e preenchido com a mesma quantidade de solo. O controle do conteúdo de água foi realizado através de sensores de irrigação modelo 10 HS (METER Group, Inc. USA).

As plantas foram mantidas irrigadas com 80% do teor de água da capacidade de campo (CC) da germinação até o estádio V3 (três folhas), quando foram submetidas ao primeiro déficit hídrico por oito dias, seguido de reirrigação a 80% de CC. No estádio V8 (oito folhas), as plantas foram submetidas ao segundo déficit hídrico por doze dias, durante o qual foram realizadas as análises fisiológicas.

O potencial hídrico (Ψw) foi medido na antemanhã com uma bomba de Scholander, coletando folhas completamente expandidas e aplicando pressão até ocorrer a exsudação pelo corte no pecíolo, para a leitura da pressão aplicada (SCHOLANDER et al., 1965). A taxa fotossintética líquida (A, µmol CO2 m^{-2} s^{-1}) foi medida utilizando um sistema de determinação de concentração de gases no infravermelho (IRGA, Li-Cor – Li-6800), com irradiância constante de 1000 µmol m^{-2} s^{-1} durante todo o experimento. As medições foram realizadas das 8:00h às 11:00h.

O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, em arranjo fatorial 2 x 2 (ausência e presença dos FMA x condição hídrica), com cinco repetições, cada uma constituída por um vaso contendo duas plantas. Os dados numéricos obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey (5% de probabilidade), utilizando o software SISVAR 11 (FERREIRA, 2019).

Resultados e Discussão

Plantas de milho sem inoculação com FMA tiveram Ψw de -0,30 Mpa durante o déficit hídrico, enquanto as plantas inoculadas com FMA obtiveram Ψw de -0,21 Mpa, demonstrando uma associação benéfica. Em tratamentos com irrigação e FMA, a disponibilidade hídrica foi maior (Ψw -0,05 Mpa), que pode ser justificado devido à presença de hifas no solo, aumentando a superfície de contato com o solo e explorando áreas inacessíveis às raízes (Figura 1).

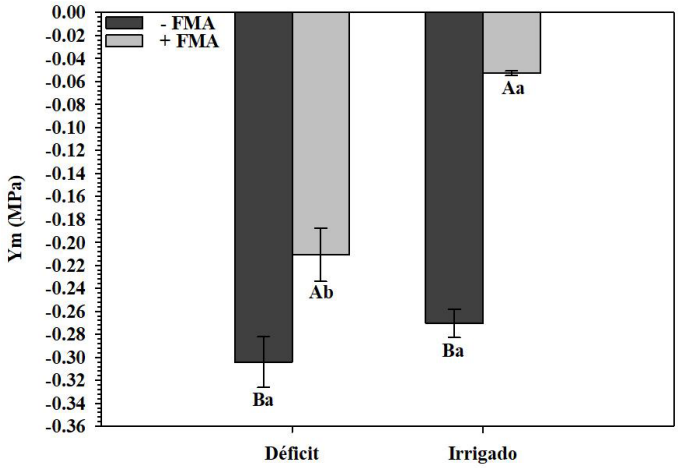

Figura 1 – Potencial hídrico de plantas de milho inoculadas com fungos micorrízicos sob diferentes regimes hídricos. ± Barra erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, entre os tratamentos de inoculação, e minúscula entre os regimes hídricos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.
Fonte: autoria própria

A falta de água ocasiona alterações fisiológicas, ativando mecanismos de sobrevivência que reduzem as atividades fotossintéticas, podendo levar à paralisação do crescimento (SANTOS et al., 2009). Enquanto, a associação micorrízica promove maior disponibilidade hídrica devido ao aumento da área de absorção e capacidade exploratória das hifas, proporcionando maior disponibilidade hídrica para a planta e resultando na redução do potencial hídrico, conforme observado neste estudo (SOARES, 2022).

A taxa fotossintética das plantas de milho sob déficit hídrico sem FMA foi de 16 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, enquanto nas plantas com FMA foi de 33 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. Em condições de irrigação, as plantas com FMA tiveram taxa fotossintética de 45 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, comparado a 16 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} sem FMA (Figura 2).

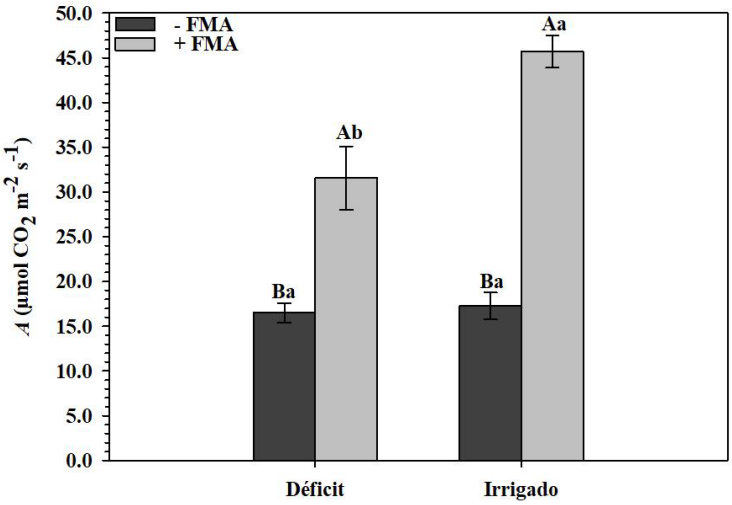

Figura 2 – Taxa fotossintética de plantas de milho inoculadas com fungos micorrízicos sob diferentes regimes hídricos. ± Barra erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, entre os tratamentos de inoculação, e minúscula entre os regimes hídricos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.
Fonte: autoria própria

O incremento na taxa fotossintética pela associação micorrízica deve-se à maior retenção e exploração de água pelas hifas fúngicas, oferecendo melhores condições hídricas. Oliveira (2018) afirmou que a associação com FMA melhora a capacidade da planta de resistir ao déficit hídrico. Santana (2021) observou maior tolerância ao déficit hídrico em plantas de soja inoculadas com *Glomus clarum*, resultando em melhor desempenho fotossintético e maior abertura estomática.

Zhou et al. (2015) destacaram que plantas de trigo inoculadas com FMA tiveram maiores taxas de fotossíntese, condutância estomática e transpiração em condições de seca, comparadas às plantas sem FMA. Cruz (2019) também observou maior taxa fotossintética, ajustamento osmótico e eficiência no uso da água em cafeeiros inoculados com FMA.

A associação com FMA tem benefícios que auxiliam as plantas a superarem condições de seca. A presença dos FMA favorece o aumento do potencial hídrico, propiciando maior taxa fotossintética, tornando as plantas mais eficientes no uso da água.

Conclusão

A presença dos FMA favorece o aumento do potencial hídrico, propiciando maior taxa fotossintética, tornando as plantas mais eficientes no uso da água em perídos de déficit hídrico.

Agradecimentos

Ao Programa de Iniciação Científica que chancelou a execução do projeto de pesquisa na modalidade PIVIC.

Referências Bibliográficas

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 831-839, 2004.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; DE OLIVEIRA, M. F.; MATRANGOLO, W. J. R.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. DE. Cultivo do Milho. **Embrapa Milho e Sorgo Sistemas de Produção**, v. 2, Versão Eletrônica - 6ª edição, 2010. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27037/1/Plantio.pdf. Acesso em: 27 de setembro de 2024.

CRUZ, R. de S. **Crescimento e respostas fisiológicas de coffea arabica inoculado com fungos micorrízicos arbusculares e adubado com fosfato de liberação lenta**. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal), Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2019.

DAYNES, C. N.; FIELD, D. J.; SALEEBA, J. A.; COLE, M. A.; MCGEE, P. A. Development and stabilisation of soil structure via interactions between organic matter, arbuscular mycorrhizal fungi and plant roots. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 57, p. 683–694, 2013.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um sistema de análise computadorizada para projetos do tipo split plot de efeitos fixos. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529–535, 2019.

FOLLI-PEREIRA, M. da S.; MEIRA-HADDAD, L. S.; BAZZOLLI, D. M. S.; KASUYA, M. C. M. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1663-1679, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS (FAO). **Tracking adaptation in agricultural sectors: Climate change adaptation indicators**. 2017. Disponível em: http://www.fao.org/3/ai8145e.pdf. Acesso em 12 jun. 2024.

HERNÁNDEZ, M.; ECHARTE, L.; DELLA MAGGIORA, A.; CAMBARERI, M.; BARBIERI, P.; CERRUDO, D. Maize water use efficiency and evapotranspiration response to N supply under contrasting soil water availability. **Field Crops Research**, v. 178, n. 1, p.8-15, 2015.

HUMPHREYS, C. P.; FRANKS, P. J.; REES, M.; BIDARTONDO, M. I.; LEAK, J. R.; BEERLING, D. V. Mutualistic mycorrhiza-like symbiosis in the most ancient group of land plants. **Nature Communications**, v. 1, n. 103, p. 1-7, 2010.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Sete Lagoas. circular técnica n 22, 2002.

OLIVEIRA, T. C. **Desempenho da soja associada com fungo micorrízico arbuscular Glomus clarum sob déficit hidrico.** Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias). Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2018.

SANTANA, L. R. **Fungos micorrízicos arbusculares associados com plantas de milho: uma estratégia biotecnológica durante a seca**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias). Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2021.

SCHOLANDER, P. E.; HAMMEL, H. T.; BRADSTREET, E. D.; HEMMINGSEN, E. A. Sap pressure in vascular plants. **Science**, v. 148, n. 3668, p. 339-46, 1965.

SOARES, D. da C. **Efeitos da aplicação de fungos micorrízicos arbusculares (fma) nos componentes de rendimento e resposta espectral da cultura da soja em ano de estresse hídrico** / Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, RS, 2022.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. A.; MURPHY, A. **Fisiologia vegetal**, 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

VURUKONDA, S. S. K. P.; VARDHARAJULA, S.; SHRIVASTAVA, M.; SKZ, A. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. **Microbiological Research**. v. 184, p. 13-24, 2016.

ZHOU, Q.; RAVNSKOV, S.; JIANG, D.; WOLLENWEBER, B. Changes in carbon and ZHU, J.; ANDRIEU, B.; JAN, V.; VAN DER WERF, W.; FOURNIER, C.; EVERS, J. B. Simulating maize plasticity in leaf appearance and size using regulation rules. Apresentado em: **7 th International Conference on Functional-Structural Plant Models**, p. 273-275, 2015.