CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA RADICULAR DE *ZEA MAYS* L. INOCULADAS COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES SOB ESTRESSE HÍDRICO

DANIEL LOPES COSTA[1], JOCIEL NASCIMENTO DE NORONHA[2], DAVID JANUÁRIO DE SOUSA[1], NIARA MOURA PORTO[1]

AFILIAÇÃO

[1]Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL – CCENT – R. Godofredo Viana, 1300 – Centro, Imperatriz – MA – 65900-000.

[2.] Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF – CCTA – Av. Alberto Lamego, 2000 – Parque Califórnia Campos dos Goytacazes - RJ CEP: 28013-602.

RESUMO

Dentre as principais culturas produzidas pela agricultura brasileira, destaca-se o milho (*Zea mays* L.). O milho é um dos cereais mais consumidos no mundo sendo importante para suprir as necessidades nutricionais humana e animal, sendo pertencente à família Poaceae, com origem nas américas, a qual o cultivo se dá a pelo menos cinco mil anos, pois tem grande valor nutritivo e potencial de produção Nesse cenário, destaca-se o uso de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) que fazem simbiose com o vegetal, há uma interação benéfica, pois, a planta transfere o carbono produzido através da fotossíntese para os FMA que por meio de sua rede de hifas, absorvem e transferem para a planta a água. O trabalho teve como objetivo realizar a caracterização radicular da variedade de milho híbrido (*Zea mays* L.), inoculada com fungos micorrízicos do gênero *Glomus* sp. e expostas ao estresse hídrico. O experimento foi conduzido na cidade de Imperatriz, nas estações do Centro de Difusão Tecnológica, o plantio foi realizado em vasos dispostos em casa de vegetação. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizados em esquema factorial 2 x 2 x 4 constituído de cinco repetições. As secções transversais foram realizadas à mão livre, com auxílio de uma lâmina cortante, posteriormente foram clarificadas com hipoclorito de sódio, neutralizado com ácido acético a 0,2%, lavadas com água destilada e coradas com uma solução de azul de astra e safranina. Os tratamentos T1, T2 e T3 apresentaram maior espessura da epiderme e endoderme quando comparados a T1. Nos tratamentos T4 e T2, houve um aumento significativo na espessura do floema quando comparados aos demais tratamentos. Foi verificada uma redução na espessura do xilema nos tratamentos com a presença de FMA. A inoculação de fungos micorrízicos promoveu modificações benéficas nas características anatômicas radiculares milho híbrido, tais mudanças estão relacionadas com a proteção e sobrevivência do vegetal a estresses abióticos e bióticos.

PALAVRAS-CHAVE: Milho; Anatomia Vegetal; Raiz.

INTRODUÇÃO

A maior parte da produção agrícola do Brasil é originária da cultura familiar e, entre as principais culturas produzidas pela agricultura familiar brasileira, destaca-se o milho (*Zea mays* L.), esse cereal é voltado para suprir as necessidades nutricionais humanas e animais. A estimativa do consumo mundial é de 487,9 milhões de toneladas de grãos, representando um crescimento de 6,4 milhões de toneladas e um aumento de 1,33% (Conab, 2018).

Zea mays L. é uma planta pertencente à família Poaceae, é uma gramínea anual, pertencente ao grupo de plantas de mecanismo fotossintético tipo C4 com ampla adaptação a diferentes condições de ambiente, apesar do seu elevado potencial produtivo, sua enorme distribuição geográfica e sua vasta capacidade adaptacional, ainda sim o milho apresenta grande sensibilidade aos estresses abióticos (Clemente, 2017).

O estresse causado pela baixa disponibilidade hídrica é o principal fator abiótico relacionado a perdas no desempenho produtivo de cultivos de milho. Essa baixa produtividade anual ocorre devido à seca e influenciam de forma negativa em torno de 15% do potencial de rendimento, os maiores prejuízos ocorrem em países tropicais que dependem de uma temporada de chuvas relativamente imprevisível para o crescimento da cultura (Abreu, 2013).

Nesse contexto, é notório a importância de medidas sustentáveis na produção agrícola para reduzir prejuízos econômicos para o setor do agronegócio. Nesse cenário, destaca-se o uso de fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Na simbiose entre as micorrizas e o vegetal, há uma interação benéfica, pois, a planta transfere o carbono produzido através da fotossíntese para os FMA que por meio de sua rede de hifas, absorvem e transferem para a planta a água, o fósforo (P), o cálcio (Ca), o zinco (Zn), o manganês (Mn) e outros elementos que possuem baixa mobilidade no solo e que são necessários para o crescimento e desenvolvimento dos vegetais. (Bagyaraj *et al*., 2015; 6 Salgado *et al*., 2016; Júnior *et al*., 2018).

A anatomia vegetal permite averiguar a relação entre alterações fisiológicas, morfoanatômicas e adaptações de plantas sob diferentes condições ambientais e sob variedades, tendo sido muito relevante nesses estudos, principalmente quando se deseja correlacionar condições ambientais às variedades e resistências a fatores adversos (Cunha, 2008). Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da micorrização arbuscular na organização anatômica radicular de planta.

METODOLOGIA

2.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido na cidade de Imperatriz, no estado do Maranhão, nas estações experimentais do Campus da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão. A classificação climática segundo Alvares (2013) caracteriza as regiões como tipo B1wA'a', úmido com moderada deficiência hídrica.

2.2 Preparação do solo

O solo para plantio foi autoclavado a 120ºC e 1,5 atm duas vezes por 1 hora, sendo repetido a cada 24 horas durante dois dias para esterilização do solo e posterior aplicação de fungos micorrizícos (*Glomus bareae*), disponibilizados pelo Laboratório de Microbiologia e Saúde, CCENT, UEMASUL.

2.3 Preparação do plantio

Utilizou-se uma linhagem de milho híbrido já utilizada pelos produtores da região. O plantio foi realizado manualmente em vasos dispostos em casa de vegetação, com o delineamento experimental em blocos casualizados com 04 tratamentos e 05 repetições (Quadro 1). O espaçamento entre os vasos foi de 0,60 m de comprimento com 0,40 m entre plantas; e os tratos culturais foram realizados seguindo as recomendações para a cultura. A colheita foi realizada manualmente dois meses após o plantio, período necessário para que ocorra a simbiose entre os fungos micorrízicos e a raiz.

Quadro 1: Descrição dos tratamentos para a cultura do milho.

Tratamento	• T1 • T2 • T3 • T4
Descrição	T1 Submetido a 40% ETc sem FMA T2 Submetido a 40% ETc + FMA T3 Submetido a 100% ETC sem FMA T4 Submetido a 100% ETC + FMA

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

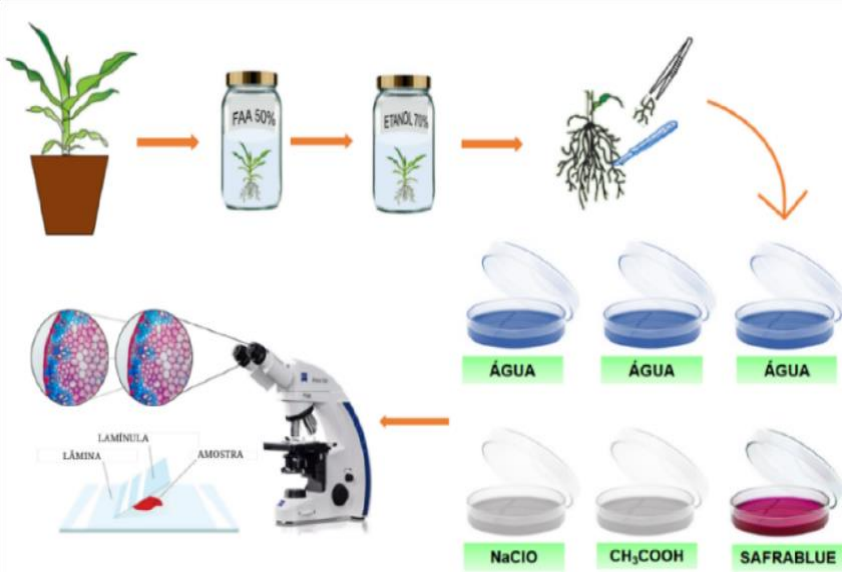
2.4 Análise anatômica

Parte das amostras coletadas das raízes foram fixadas em FAA50% (formalina 10%,

ácido acético 5% e etanol 5%) e conservadas em álcool a 70°GL para análises anatômicas. Para os cortes anatômicos em raízes, executou-se secções transversais à mão livre com auxílio de lâminas cortantes comerciais. As amostras de raízes foram seccionadas transversalmente, com auxílio de uma lâmina cortante, posteriormente, foram clarificadas com hipoclorito de sódio a 20%, neutralizadas com ácido acético a (0,2%), lavadas com água destilada e, por fim, coradas com uma solução de azul de astra e safranina e montadas com glicerina 50% (Kraus; Arduin, 1997). Para a observação da raiz, foi utilizado o microscópio óptico para verificação dos tecidos anatômicos radiculares e suas possíveis alterações, as quais podem ser causadas pelos tratamentos utilizados.

Para aferição dos tecidos anatômicos analisados no presente estudo (epiderme, endoderme, xilema e floema), foi utilizado a *software imageJ*, disponível gratuitamente via internet (http://rsbweb.nih.gov/ij/).

Figura 1. Processo de corte e coloração radicular de *Zea mays* L.



Fonte: Noronha (2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

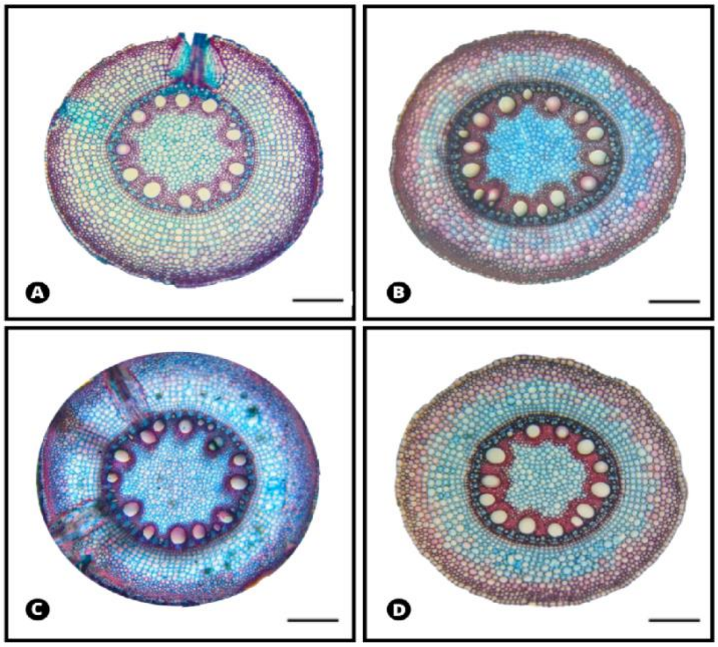
Em todos os tratamentos, a epiderme é uniestratificada, o tratamento T4 (Figura 2D) apresentou uma epiderme mais espessa com espessamento em “O” em relação aos demais tratamentos analisados. Nos genótipos T2 (Figura 2B) e T1 (Figura 2A) houve uma diferença significativa, quando comparado a T3 (Figura 2C), T2 apresentou maior espessura da epiderme radicular (Tabela 1). Segundo Souza *et al*. (2009), a epiderme apresenta essa adaptação anatômica, pois, assume o papel de barreira para dificultar a entrada de patógenos na raiz.

Tabela 1: Espessura (µm) dos tecidos anatômicos radiculares.

Tratamento	Epiderme	Endoderme	Floema	Xilema
T1	5.08a	2.48a	48.52a	81.92a
T2	5.96b	3.54b	52.80a	75.79a
T3	6.08b	3.78c	51.34ab	81.44b
T4	6.28c	4.16d	55.11b	73.28b

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 2. Cortes transversais de *Zea mays* mostrando as estruturas presentes na raiz. Observação em microscópio óptico 4X. A: T1 sem FMA a 40% da ETc. B: T2 com FMA a 40% da ETc. C: T3 sem FMA a 100% da ETc. D: T4 com FMA a 100% da ETc. Barra: 150 µm.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

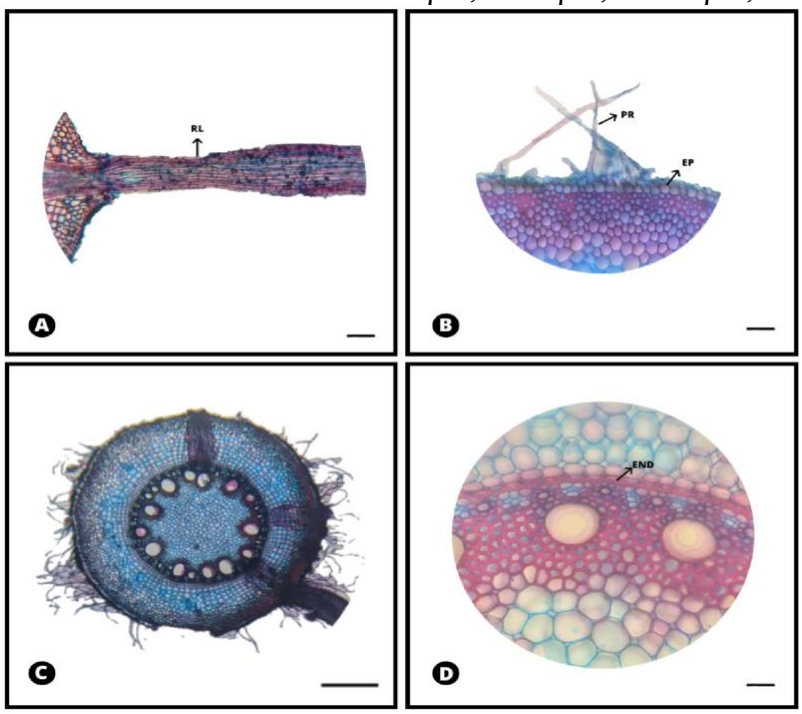
Nos tratamentos T2, T3 e T4 observou-se o cortéx com menor número de camadas, e menos espesso. De acordo com Pereira *et al*. (2008), afirmam que uma área cortical menor auxilia a condutividade hidráulica da raiz em detrimento à diminuição da distância necessária para a água chegar ao xilema. Outro estudo, Chimungu *et al*. (2015) relataram que a espessura menor do córtex ajuda em uma maior flexibilidade da raiz, facilitando o seu desdobramento e penetração em solos compactados/duros. Sugere-se que os tratamentos inoculados com FMA propiciaram a redução da área cortical, reduzindo o custo metabólico do vegetal para a exploração do solo, o que favorece um melhor desenvolvimento da planta sob estresse

abiótico.

De acordo com Evert (2006), os pelos radiculares são extensões de uma célula epidérmica, tipicamente unicelulares e não ramificados, sendo ramificados mais raros. No presente estudo, foram encontrados uma maior quantidade pêlos curtos e não ramificados (Figura 3B e 2A), porém T4 apresentou pêlos longos e ramificados (Figura 3C). Essa ramificação pode ser explicada como um recurso avançado e especializado para plantas que vivem em solos secos e essa expressão fenotípica em determinadas raízes ajuda na eficiência de absorção de água do vegetal (Medeiros, 2006).

Internamente ao córtex mediano, visualiza-se a endoderme (Figura 3D), uma barreira apoplástica que forma uma bainha em torno do cilindro vascular (Enstone *et al*., 2003). No tratamento T4 houve um aumento significativo na espessura da endoderme quando comparados aos demais do experimento, T2 e T3 também apresentaram maior espessura quando comparados a T1 (Tabela 1).

Figura 3. Cortes transversais de *Zea mays* L. com observação em microscópio óptico em 4x e 40x. A: Detalhe da raiz lateral; B: Epiderme com espessamento em "O"; C: Raiz principal T4 com 100% da ETc com FMA. Legenda: RL= Raiz Lateral; PR = Pêlos Radiculares; EP= Epiderme; D: END= Endoderme. Barra: A: 60µm; B: 60µm; C: 150µm; D: 60µm.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Sugere-se que na raiz do milho, os fungos micorrízicos estimularam o espessamento

dessa endoderme, contribuindo no cultivo desse vegetal. Souza et al. (2009), afirmaram que a endoderme radicular pode servir como uma barreira física contra a entrada de patógenos, deixando o vegetal mais sadio.

O tecido floemático é conspícuo em todos os tratamentos estudados. Em T2, T3 e T4 foi aferido uma maior espessura do floema que se alternam com o protoxilema. De acordo com Souza *et al*. (2009), o aumento na espessura do floema pode influenciar em um maior fluxo de carboidratos (seiva elaborada), propiciando mais substrato respiratório para plantas, sendo possível uma maior tolerância a estresse hídrico.

Nos tratamentos onde houve a inoculação de fungos micorrízicos, verificou-se uma redução na espessura do xilema (Tabela 1). Sugere-se que o FMA influenciou na relação hídrica do híbrido de milho, pois, segundo Souza *et al*. (2009) relataram que a redução no diâmetro dos vasos do xilema está relacionada com a diminuição do risco de embolismo e o aumento da resistência do fluxo de água, indicando uma maior condutividade hidráulica.

CONCLUSÕES

A inoculação de fungos micorrízicos promoveu modificações nas características anatômicas radiculares do milho híbrido. Tais mudanças estão relacionadas com a proteção e sobrevivência do vegetal a estresses abióticos e bióticos.

APOIO FINANCEIRO

Os pesquisadores agradecem ao financiamento da bolsa de Iniciação Científica ao órgão de fomento FAPEMA para a realização deste projeto e pela bolsa produtividade sênior concedida a profa. Dra. Niara Moura Porto pela Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, V. M. D. **Seleção indireta para tolerância a seca em milho por meio de características agronômicas e de sementes**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 96 p. 2013.

ALVARES, C. A. et al. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorol Z, Piracicaba, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BAGYARAJ, D. J.; SHARMA, M. P.; MAITI, D..Phosphorus nutrition of crops through arbuscular mycorrhizal fungi. **Currentscience**, [S.L], v. 108, n. 7, p. 1288-1293, jan./abr. 2015.

CHIMUNGU, J. G.; LOADES, K. W.; LYNCH, J. P. Root anatomical phenes predict root penetration ability and biomechanical properties in maize (Zea mays). **Journal of Experimental Botany**, April 22, 2015 online.

CLEMENTE, D. I. **Estresse hídrico sobre caracteres morfofisiológicos e agronômicos em populações de milho**. 2017. 114 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2017.

CONAB - Companhia nacional de abastecimento. Perspectiva para agropecuária. Brasília, v.6. Safra 2018-019. Nov. 2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/perspectivas-para-a-agropecuaria>. Acesso em: 25 julho. 2022.

CRUZ, J. C, et al. **Embrapa Milho e Sorgo**, sistemas de Produção, 2 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 6ª edição, set. 2016. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27037/1/Plantio.pdf. Acesso em: jul 2022.

CUNHA, K. P. V. **Silício como amenizante da fitotoxicidade de cádmio e zinco e tolerância de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivadas em solo contaminado**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 89f, Recife, 2008.

ENSTONE D. E.; PETERSON, A.; MA, F. Root endodermis and exodermis: structure, function, and responses to the environment. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.21, p.335–351, 2003.

EVERT, R.F. 2006. **Esau's Plant anatomy. meristems, cells, and tissues of the plant body - Their structure, function, and development**. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.

JÚNIOR, G. A. G. et al. Absorption of nutrients by soursop seedlings in response to mycorrhizal inoculation and addition of organic compost. **Pesq. Agropec. Trop**, [S.L], v. 48, n. 3, p. 287-294, jul./set. 2018.

KRAUS, J., ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Edur, Seropédia, Rio de Janeiro,1997.

MEDEIROS, J. D. 2006. **Pelos radiculares ramificados em Miconia albicans (Sw)**. Triana (Melastomataceae). INSULA 35: 85-94.

OLIVEIRA JÚNIOR, G.I.; et al. **Importância nutricional do milho**. In: BORÉM, A.; RIOS, S. de A. (Org.). Milho Biofortificado. 1ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011, v. 5, p. 107-124.

PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M.; SOUZA, T. C.; MAGALHÃES, P. C. Evolução da anatomia radicular do milho "Saracura" em ciclos de seleção sucessivos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 1649 – 1656, 2008.

SALGADO, F. H. M. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi and mycorrhizal stimulant affect dry matter and nutrient accumulation in beanandsoy bean plants. **Pesq. Agropec. Trop**, [S.L], v. 46, n. 4, p. 367-373, out./dez. 2016.

SOUZA, T.C.; CASTRO, E.M.; PEREIRA, F.J.; PARENTONI, S.N; MAGALHÃES, P.C. Morphoanatomical characterization of root in recurrent selection cycles for flood tolerance of maize (*Zea mays* L.). **Plant Soil and Environmental**, v. 55, p.504–510, 2009.