

Potencial sinérgico da adubação nitrogenada e micro-organismos endofíticos no crescimento inicial de *Sorghum bicolor*

Synergistic potential of nitrogen fertilization and endophytic microorganisms on initial growth of Sorghum bicolor

Jéssica Silva Santos¹, Larissa de Souza Gois², Johny de Jesus Mendonça³,
Pedro Rabelo de Oliveira⁴, Regina Helena Marino⁵

RESUMO: Os micro-organismos endofíticos, como os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e os fungos “dark septate” (DSE), podem influenciar no desenvolvimento vegetal a depender da interação microbiana e da fertilidade do solo. Este trabalho teve como objetivo avaliar a interação de fungos micorrízicos arbusculares e da microbiota da semente no crescimento inicial do sorgo cultivado com níveis crescentes de nitrogênio, em estufa agrícola. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial de 4 x 4, correspondentes ao cultivo do sorgo em quatro tratamentos (Testemunha – sem inoculação fúngica e três isolados de fungos micorrízicos arbusculares: UFLA351 - *Rhizoglyphus clarum*, UFLA372 - *Claroideoglyphus etunicatum* e UFLA401 - *Acaulospora morrowiae*) com quatro níveis de nitrogênio (N): 0, 100, 300 e 600 mg.Kg⁻¹ de N. O adubo nitrogenado utilizado foi ureia com 45% de N. As sementes do sorgo apresentaram os fungos filamentosos *Rhizoctonia*, *Colletotrichum*, *Curvularia*, *Fusarium*, *Helminthosporium* e *Mucor*; e a bactéria *Bacillus subtilis*, os quais podem ter interferido no crescimento das plantas. Nos tratamentos UFLA351 e UFLA372, o aumento dos níveis de nitrogênio reduz o crescimento inicial do sorgo, mas não influencia na taxa de colonização dos fungos endofíticos DSE. O isolado UFLA401 favorece o crescimento inicial do sorgo, mas sem adubação nitrogenada. Os fungos endofíticos “dark septate” podem influenciar na taxa de colonização micorrízica e, portanto, no crescimento inicial do sorgo, a depender da interação microbiana.

Palavras-chave: Poaceae. Fungos micorrízicos arbusculares. Semente.

ABSTRACT: Endophytic microorganisms such as arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and dark septate fungi (DSF) may influence plant development according to soil microbial interaction and fertility. The purpose of the work was to evaluate the effect of nitrogen levels on the interaction of AMF and DSF on initial sorghum growth. The experimental design was completely randomized in a 4 x 4 factorial scheme, corresponding to sorghum cultivation in four treatments (Control - without inoculation of AMF and three mycorrhizal isolates: UFLA351 - *Rhizoglyphus clarum*, UFLA372 - *Claroideoglyphus etunicatum*, and UFLA401 - *Acaulospora morrowiae*) and four nitrogen levels (N): 0, 100, 300, and 600 mg Kg⁻¹ of N. The sorghum seeds presented the filamentous fungi *Rhizoctonia*, *Colletotrichum*, *Curvularia*, *Fusarium*, *Helminthosporium* and *Mucor*; and the bacterium *Bacillus subtilis*, which may have interfered with plant growth. In the UFLA351 and UFLA372 treatments, the increase in nitrogen levels reduces the initial growth of sorghum, but does not influence the colonization rate of endophytic fungi DSE. The UFLA401 isolate favors the initial growth of sorghum, but without nitrogen fertilization. The endophytic fungi “dark septate” can influence the rate of mycorrhizal colonization and, therefore, the initial growth of sorghum, depending on the microbial interaction.

Keywords: Poaceae. Arbuscular mycorrhizal fungi. Seed.

Autor correspondente: Regina Helena Marino
E-mail: rehmarino@hotmail.com

Recebido em: 29/04/2023
Aceito em: 09/08/2023

¹ Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agricultura e Biodiversidade (PPGAGRI) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão (SE), Brasil.

² Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agricultura e Biodiversidade (PPGAGRI) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão (SE), Brasil.

³ Doutorando do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo (PPGCS) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Faculdade de Agronomia, Porto Alegre (RS), Brasil.

⁴ Engenheiro Agrônomo da Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão (SE), Brasil.

⁵ Doutora em Biotecnologia e Docente permanente do Departamento de Engenharia Agrônoma da Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão (SE), Brasil.

INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é a quinta granífera de importância mundial depois do trigo, arroz, milho e cevada (Rashwan *et al.*, 2021) e consumido na alimentação humana e animal, bem como vem sendo empregada na geração de energia renovável (Kishor *et al.*, 2017). Dentre os fatores que podem influenciar na produção desta espécie vegetal pode-se citar o déficit hídrico, a salinidade e a baixa fertilidade do solo (Hadebe *et al.*, 2017; Lessa *et al.*, 2017), os quais podem ser minimizados pela associação das plantas com micro-organismos endofíticos, por contribuírem para a tolerância ou a resistência a fatores adversos a depender da interação planta *versus* microbiota (Teutscherova *et al.*, 2019; Yan *et al.*, 2015).

Nas plantas, os fungos endofíticos “dark septate” (DSE) podem ser caracterizados por apresentarem hifas septadas e melanizadas (Zubek *et al.*, 2022) ou hialinas (Ndinga-Muniania *et al.*, 2021), sendo encontrados no solo, nas sementes e nas plantas (Gois *et al.*, 2019; Pandey, 2019). Na interação DSE *versus* planta, estes micro-organismos podem inibir o crescimento de fitopatógenos (Santana-Santos *et al.*, 2022) e/ou influenciar no desenvolvimento das plantas colonizadas por fungos micorrízicos arbusculares (Mendonça *et al.*, 2019).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) também são micro-organismos endofíticos encontrados em diversas espécies vegetais de importância agrônômica e florestal (Mendonça *et al.*, 2019; Van Heijden *et al.*, 2015), pois podem se associar com mais de 86% das espécies vegetais, principalmente, da região dos trópicos (Van Heijden *et al.*, 2015). Estes micro-organismos promovem o aumento da área de absorção de água e de nutrientes pela planta hospedeira; o incremento no crescimento vegetal; a redução do consumo de fertilizantes e da incidência de patógenos e de pragas; a indução a resistência à salinidade e ao déficit hídrico; e a conservação do solo devido a formação de agregados (Symanczik *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2017).

As bactérias endofíticas também podem estimular o desenvolvimento da planta pelo aumento da disponibilização de nutrientes através da fixação biológica do nitrogênio e da solubilização de fósforo. Além disso, estas bactérias produzem fitohormônios, como o ácido indol-acético, capazes de favorecer a adaptação das plantas ao estresse hídrico (Mendonça *et al.*, 2020).

A associação de FMAs e outros micro-organismos endofíticos na produção agrícola é uma abordagem alternativa na produção sustentável de alimentos sob condições de baixa fertilidade, bem como minimizar o uso de adubos (Ehteshami *et al.*, 2018). Todavia, a microbiota nativa do solo pode interferir na interação microbiana com a planta hospedeira (Yan

et al., 2015), assim como o tratamento térmico do solo e/ou a desinfestação superficial da semente não eliminam a microbiota nativa (Pereira *et al.*, 2011).

Na literatura, os estudos correlacionados com a ação dos FMAs no desenvolvimento de plantas hospedeiras desconsideram a possível presença de outros micro-organismos endofíticos no solo, na planta ou nas sementes, os quais são capazes de favorecer ou não a simbiose dos FMAs e a espécie vegetal. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a interação de fungos micorrízicos arbusculares e da microbiota endofítica da semente no crescimento inicial do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivado com níveis de nitrogênio, em estufa agrícola.

2 MATERIAL E MÉTODOS

No período de 01 de agosto de 2016 a 31 de julho de 2017, no Laboratório de Microbiologia agrícola e ambiental (LMICRO), do Departamento de Engenharia Agrônômica, da Universidade Federal de Sergipe (DEA/UFS) foram conduzidos dois bioensaios, conforme descrito a seguir.

2.1 BIOENSAIO 1: GERMINAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS ENDOFÍTICOS EM SEMENTES DE SORGO

No teste de germinação e de identificação de micro-organismos endofíticos nas sementes do sorgo foram utilizadas 100 sementes, selecionadas ao acaso, e obtidas por doação do Laboratório de Forragicultura (LABFOR) pertencente ao Departamento de Zoocenia (DZO) da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

Em câmara asséptica, as sementes foram imersas em álcool a 70%, hipoclorito de sódio a 0,2% e submetidas a tríplice lavagem em água destilada autoclavada por 1 minuto em cada solução. Em seguida, as sementes foram transferidas para caixas plásticas tipo Gerbox contendo papel de filtro autoclavado e previamente umedecido com uma solução de sulfato de estreptomicina com auxílio de pinça flambada.

As variáveis analisadas foram: a taxa de germinação e presença de micro-organismos endofíticos nas sementes, após oito dias de incubação em BOD a 25 ± 1 °C sem fotoperíodo.

A taxa de germinação (G; em %) foi avaliada pela equação: $G = (\text{n. de sementes germinadas} / \text{n. de sementes utilizadas no bioensaio}) \times 100$.

Nas sementes, germinadas e não germinadas, os fungos observados foram identificados ao nível de gênero com base nas estruturas reprodutivas com auxílio do microscópio óptico com aumento de até 400x. As bactérias observadas nas sementes foram isoladas em meio de cultura batata-dextrose-ágar (BDA; 39,0 g.L⁻¹ da mistura comercial) e identificadas por sequenciamento da região 16S do ribossomo pela pesquisadora Dra. Mariangela Hungria, no Laboratório de Biotecnologia do Solo, Embrapa Soja, Londrina - Paraná.

2.2 BIOENSAIO 2: CRESCIMENTO INICIAL DO SORGO CULTIVADO COM NÍVEIS DE NITROGÊNIO E MICRO-ORGANISMOS ENDOFÍTICOS

Na avaliação do crescimento inicial das plantas de sorgo cultivado com níveis de nitrogênio e micro-organismos endofíticos foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado no esquema fatorial de 4 x 4 correspondente ao cultivo de plantas de sorgo em quatro tratamentos (Testemunha – sem inoculação com fúngica; e três isolados micorrízicos: UFLA351 - *Rhizoglosum clarum* Nicolson & Schenck, UFLA372 - *Claroideoglosum etunicatum* Becker & Gerdemann e UFLA401 - *Acaulospora morrowiae* Spain & Schenck) e quatro níveis de nitrogênio (N): 0, 100, 300 e 600 mg.Kg⁻¹ de N com quatro repetições.

Os isolados micorrízicos arbusculares foram obtidos por doação do Laboratório de Microbiologia do Solo pertencente à Universidade Federal de Lavras (UFLA). A multiplicação dos inoculantes micorrízicos foi realizada em solo Neossolo quartarênico autoclavado a 121 °C durante uma hora e repetido após 24h. Após o resfriamento do solo, o inóculo micorrízico foi adicionado entre duas camadas de solo e semeado o capim braquiária (*Brachiaria brizantha* ‘Marandú’). O cultivo da braquiária com o inóculo fúngico foi realizado em estufa agrícola com irrigação por aspersão durante 150 dias. Após este período, a parte aérea das plantas foi cortada e suspensa a irrigação por 20 dias, para estimular a formação de propágulos micorrízicos. O solo contendo os propágulos micorrízicos e os fragmentos radiculares do capim braquiária foram homogeneizado e usado como inoculante micorrízico.

Para obtenção das plântulas de sorgo, as sementes foram desinfestadas superficialmente através da imersão das mesmas em álcool a 70%, hipoclorito de sódio a 0,2% e submetidas à tríplice lavagem em água destilada autoclavada. Em seguida, as sementes foram semeadas em solo Neossolo quartarênico, previamente autoclavado (121 °C e a 1 atm durante uma hora e

repetido após 24 h), acondicionado em caixas do tipo Gerbox e umedecido com água destilada autoclavada. O cultivo foi realizado em BOD a 25 ± 1 °C sem fotoperíodo durante oito dias.

As plântulas de 2 cm de altura foram transplantadas para uma mistura do solo autoclavado: inoculante (2:1) previamente acondicionado em copos plásticos de 500 mL, conforme o tratamento. O solo utilizado foi o de textura Franco Arenoso suplementado com 100 mg.dm^{-3} de pó de rocha (15% P_2O_5) e os quatro níveis de nitrogênio (0, 100, 300 e 600 mg.Kg^{-1} de N). O adubo nitrogenado utilizado foi a ureia com 45% de N.

O solo utilizado foi caracterizado por apresentar pH 6,9, teor de matéria orgânica de 4,7 g.Kg^{-1} , CTC de 1,3 cmol.c.dm^{-3} , $V = 76,5\%$, potássio de 8,0 mg.Kg^{-1} e teor de fósforo de 8,0 mg.Kg^{-1} , cuja análise foi realizada no Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe.

No tratamento testemunha (sem inoculação fúngica) foi adicionado somente a mistura de solo com fósforo e os níveis de nitrogênio. Nos tratamentos fúngicos foram adicionados 50 g de inoculante do isolado de FMA, composto por solo contendo, em média, 100 esporos micorrízicos e fragmentos de raízes do capim braquiária colonizado pelos isolados fúngicos.

Após 15 dias do transplante e da inoculação foram realizadas adubações de cobertura e repetidas semanalmente até uma semana antes da colheita do bioensaio. Para tanto, adicionou-se 5,0 mL de uma solução preparada com 5,0 g.L^{-1} do adubo comercial, composto por 6% de nitrogênio (N), 18% de fósforo (P_2O_5), 12% de potássio (K_2O), 5% de enxofre (S), 2% de cálcio (Ca), 0,08% de magnésio (Mg), 2% de ferro (Fe), 0,2% de zinco (Zn), 0,08% de manganês (Mn), 0,06% de boro (B), 0,05% de cobre (Cu) e 0,005% de molibdênio (Mo).

As variáveis analisadas foram: taxa de colonização micorrízica e de estruturas micorrízicas (vesículas, arbúsculos e hifas); relação arbúsculo: vesícula; taxa de colonização por fungos endofíticos DSE, altura da planta, comprimento da raiz, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, massa seca total e dependência micorrízica, após 90 dias da inoculação.

A taxa de colonização e de estruturas micorrízicas foram avaliadas pelo método de intersecção desenvolvido por Giovannetti e Mosse (1980) e modificado por Mendonça *et al.* (2019). Para tanto, os fragmentos radiculares com 1 cm de comprimento foram distribuídos em lâminas previamente quadriculadas (5 x 5 mm) e analisado o número de fragmentos colonizados e não colonizados ao microscópio óptico. A porcentagem de colonização micorrízica (CM) foi calculada pela equação: $\text{CM} (\%) = [(A/B) \times 100]$, onde A = número total de fragmentos radiculares colonizados e B = número de fragmentos colonizados e não colonizados. A porcentagem de estruturas micorrízicas (EST) foi determinada pela equação: $\text{EST} (\%) = (C/D)$

x 100, onde EST = estrutura analisada (vesícula, arbúsculo ou hifas), C = número total de fragmentos radiculares colonizados pela estrutura em específico e D = número total de fragmentos colonizados. A relação arbúsculo/vesícula (AV) foi determinada pela equação: $AV = ARB/VES$, em que ARB = número de arbúsculos observados e VES = número de vesículas observadas por fragmento analisado.

A taxa colonização por fungos endofíticos “dark septate” (DSE) foi avaliada pela presença de hifas septadas e melanizadas e calculada pela equação: $DSE (\%) = (E/F) \times 100$, onde E = número de fragmentos radiculares colonizados por DSE e F = número total de fragmentos analisados (colonizados e não colonizados).

A altura da planta (ALT) e o comprimento da raiz (CR) foram mensurados com auxílio de uma régua milimetrada, cuja medição foi realizada a partir do colo da planta. A massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR) foram determinadas com auxílio de balança semi-analítica, após secagem da biomassa vegetal em estufa com circulação forçada de ar, a 60 °C até massa constante.

A dependência micorrízica (DM, em %) foi calculada segundo Machineski *et al.* (2011) pela equação: $DM (\%) = [(VM-VC)/VM] \times 100$, onde VM = valor da massa seca total na planta micorrizada e VC = valor da massa seca total na testemunha (sem inoculação fúngica e sem nitrogênio). A massa seca total da planta foi determinada pela somatória da massa seca da parte aérea e da raiz.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de *Tukey* a 5% de probabilidade. Na análise de correlação e de regressão das variáveis analisadas foi aplicado os testes de *F* e *t*, respectivamente, a 1 e 5% probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 BIOENSAIO 1: GERMINAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS ENDOFÍTICOS EM SEMENTES DE SORGO

As sementes de sorgo apresentaram taxa de germinação de 23% e foram colonizadas pelos fungos *Curvularia* (1%), *Rhizoctonia* (4%), *Colletotrichum* (3%) e pela bactéria *Bacillus subtilis* (4%). Nas sementes não germinadas foram identificados os fungos *Curvularia* (2%), *Rhizoctonia* (15%), *Fusarium* (1%), *Mucor* (1%), *Helminthosporium* (3%) e a bactéria *B. subtilis* (21%). Desta maneira, a presença destes gêneros de fungos pode ter influenciado na germinação das sementes do sorgo, pois são capazes de causar podridões em geral (Amorim *et*

al., 2018), mas também podem ser considerados DSE capazes de interferir no crescimento vegetal, conforme observado por Santana-Santos *et al.* (2022).

Os fungos *Rhizoctonia* sp. e *Colletotrichum* sp. de hifas hialinas observados nas sementes germinadas também podem ser considerados como DSE (Ndinga-Muniania *et al.*, 2021) e podem competir ou inibir o crescimento de outros micro-organismos nativos ou inoculados junto das sementes, tal como os FMAs (Gois *et al.*, 2019).

Nas sementes de sorgo, a ausência dos fungos *Mucor*, *Fusarium* e *Helminthosporium* nas sementes germinadas pode ter sido devido a presença da bactéria *B. subtilis*, que pode excretar metabólitos secundários antifúngicos (Caulier *et al.*, 2019).

A presença de fungos endofíticos e da bactéria endofítica *B. subtilis* nas sementes de sorgo demonstra que o processo de desinfestação superficial, não eliminou estes micro-organismos como observado também por Gois *et al.* (2019) em sementes de arroz. Neste resultado é importante considerar que Bamisile *et al.* (2018) e Mendonça *et al.* (2019) verificaram que os micro-organismos endofíticos podem influenciar no desenvolvimento das plantas a depender da interação com a microbiota. Entretanto, a presença deste micro-organismos em sementes vem sendo frequentemente desconsiderada nos trabalhos que descrevem a ação de fungos micorrízicos sobre o desenvolvimento de plantas hospedeiras.

3.2 BIOENSAIO 2: CRESCIMENTO INICIAL DO SORGO CULTIVADO COM NÍVEIS DE NITROGÊNIO E MICRO-ORGANISMOS ENDOFÍTICOS

Na literatura tem-se que os fungos endofíticos “dark septate” (DSE) e os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) podem estimular o desenvolvimento vegetal devido ao aumento da disponibilidade de nutrientes, da tolerância a fatores adversos, bem como inibir o crescimento de fitopatógenos, a depender da interação com a planta hospedeira (Santana-Santos *et al.*, 2022; Symanczik *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2017).

No sorgo, a taxa de colonização das plantas de sorgo por DSE foi observada em todos os tratamentos, com e sem inoculação dos isolados micorrízicos testados, provavelmente devido a presença de fungos endofíticos nas sementes, conforme discutido no item anterior. Não houve influência os níveis de nitrogênio na taxa de colonização por DSE, exceto no UFLA401 em que o uso de 600 mg.Kg⁻¹ de N favoreceu incremento significativo desta variável, cujos dados foram ajustados à regressão quadrática (Tabela 1).

Tabela 1. Colonização por fungos endofíticos “dark septate” (DSE) e por fungos micorrízicos (CM); estruturas micorrízicas: hifas (HIF), vesículas (VES), arbúsculos (ARB) e relação arbúsculos/vesículas observados em raízes de sorgo, por tratamento, após 90 dias de inoculação

Trat	N (mg Kg ⁻¹)	DSE (%)	CM (%)	H (%)	ARB (%)	VES (%)	ARB/ VES
Testemunha	0	0,0 a ¹	0,0 a	0,0 b	0,0 a	0,0 a	0,0 a
	100	0,5 a	3,3 a	46,7 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a
	300	0,0 a	3,4 a	51,3 a	0,0 a	2,3 a	0,0 a
	600	0,5 a	9,3 a	16,0 a	8,0 a	5,3 a	0,3 a
	Regressão R ²	Quadrática 0,39 ns ²	Linear 0,91** ²	Quadrática 1,0*	Linear 0,78ns	Linear 0,98 ns	Linear 0,78 ns
UFLA351	0	0,0 a	87,0 a	42,1 a	20,4 b	25,0 a	1,0 a
	100	0,0 a	84,1 a	33,0 a	25,8 b	20,0 a	2,4 a
	300	0,0 a	82,9 a	40,3 a	25,4 b	18,0 a	2,1 a
	600	0,4 a	73,2 a	32,2 a	40,9 a	18,3 a	2,8 a
	Regressão R ²	Linear 0,78 ns	Linear 0,93 ns	Linear 0,30 ns	Linear 0,88**	Quadrática 0,93*	Quadrática 0,63 ns
UFLA372	0	0,0 a	35,7 b	32,4 a	8,0 b	29,7 a	0,2 b
	100	0,4 a	29,2 b	24,2 a	17,7 b	12,6 b	1,1 b
	300	0,0 a	18,1 b	30,6 a	30,3 a	9,2 b	2,2 a
	600	0,0 a	60,7 a	23,3 a	43,6 a	24,7 a	2,1 a
	Regressão R ²	Quadrática 0,18 ns	Quadrática 0,97 ns	Linear 0,33 ns	Linear 0,98**	Quadrática 0,92 *	Linear 0,72 *
UFLA 401	0	0,0 b	78,3 a	40,7 a	20,8 b	32,4 a	0,7 b
	100	0,0 b	59,8 a	34,0 a	23,1 b	25,0 a	1,0 b
	300	0,0 b	34,0 b	40,1 a	24,7 b	17,1 b	1,4 b
	600	1,1 a	44,4 b	36,1 a	44,8 a	13,2 b	4,0 a
	Regressão R ²	Quadrática 0,99*	Quadrática 0,54*	Linear 0,06 ns	Linear 0,88 *	Linear 0,89 **	Linear 0,92**

¹Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo Teste de *Tukey* a 5% de probabilidade; ²ns = não significativo; (*) = significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$) e (**) = significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

No tratamento testemunha (sem inoculação com FMA), a taxa de colonização micorrízica variou de 3,3 a 9,3% com 100 e 600 mg.Kg⁻¹ de N, sem diferença significativa entre os níveis de nitrogênio testado pelo teste de *Tukey*. Todavia, os dados de colonização micorrízica foram ajustados à regressão linear com os níveis crescentes de nitrogênio. Neste tratamento, a colonização micorrízica apresentou 16 a 51,3% de hifas hialinas com 100 a 600 mg.Kg⁻¹ de N, valores estes significativamente superiores ao tratamento 0 mg.Kg⁻¹, cujos dados foram ajustados à regressão quadrática (Tabela 1).

Neste resultado deve-se considerar que a presença de hifas hialinas não garante que as mesmas sejam de fungos micorrízicos, pois Ndinga-Muniania *et al.* (2021) relataram que outros fungos endofíticos também podem apresentar hifas hialinas. Assim como, os fungos de hifas hialinas pertencentes aos gêneros *Rhizoctonia*, *Fusarium* e *Colletotrichum* observados no bioensaio 1 nas sementes do sorgo, podem ter ido considerados com FMAs devido a ausência das estruturas típicas micorrízicas para identificação do fungo.

Da mesma forma, o emprego do tratamento térmico do solo utilizado como substrato para produção das plantas de sorgo pode não ter eliminado os micro-organismos nativos, conforme descrito por Pereira *et al.* (2011). Portanto, as hifas hialinas observadas no tratamento testemunha com 100 a 600 mg.Kg⁻¹ de N podem ser dos fungos observados e identificados nas sementes e/ou também do substrato autoclavado, os quais podem influenciar no crescimento inicial do sorgo, a depender da interação planta *versus* microbiota nativa.

Neste sentido, deve-se ressaltar que na avaliação da eficiência dos isolados micorrízicos testados no crescimento inicial do sorgo foi adotado como referência os dados obtidos no tratamento testemunha com 0 mg.Kg⁻¹ de N, em que não foi observada a presença de colonização micorrízica e de DSE (Tabela 1), o que garante uma avaliação dos isolados micorrízicos testados sem interferência de outros micro-organismos.

Segundo Jalonen *et al.* (2013), os FMAs só influenciam no crescimento das plantas hospedeiras se ocorrer a formação de estruturas como arbúsculos, por serem responsáveis pela transferência de nutrientes entre os simbioses, e as vesículas por armazenarem energia (Mendonça *et al.*, 2020).

No tratamento testemunha, os arbúsculos foram observados somente com 600 mg.Kg⁻¹ de N e as vesículas com 300 e 600 mg.Kg⁻¹ de N, mas sem influência dos níveis de nitrogênio nestas variáveis (Tabela 1), tal como verificado por Gois *et al.* (2019) em plantas de arroz cultivadas com os mesmos isolados micorrízicos e níveis de nitrogênio.

A presença de arbúsculos e de vesículas, no tratamento testemunha, pode ser resultado da dispersão de esporos dos isolados fúngicos micorrízicos testados pela água da irrigação e/ou pelo vento na estufa agrícola, bem como pelos fungos micorrízicos arbusculares nativos podem não ter sido eliminados pelo processo de tratamento térmico do solo, conforme discutido anteriormente.

Na avaliação do efeito da colonização micorrízica sobre o crescimento vegetal, a relação arbúsculo por vesícula é um indicador da eficiência da interação FMA *versus* planta, cujos valores menores que 1,0 indicam competição por nutrientes entre os simbioses e podem influenciar negativamente no crescimento da planta hospedeira (Jalonen *et al.*, 2013).

A relação arbúsculo/ vesícula no tratamento testemunha variou de zero com 0 a 300 mg.Kg⁻¹ de N até 0,3 com 600 mg.Kg⁻¹ de N, sem influência dos níveis de nitrogênio. Neste resultado, deve-se considerar que os arbúsculos que são estruturas responsáveis pela simbiose propriamente dita com a planta hospedeira (Van Heijden *et al.*, 2015), não foram observados com 0 a 300 mg.Kg⁻¹ de N (Tabela 1), ou seja, pode não comprometer o crescimento do sorgo.

Nos tratamentos com UFLA351, UFLA372 e UFLA401, a taxa de colonização micorrízica média do sorgo foi 81,8%, 35,9% e 54,1%, respectivamente (Tabela 1). Comparativamente, os valores médios de colonização micorrízica do sorgo com UFLA 351 (*Rhizoglyphus clarum*) de 73,2 a 87,0% foram superiores aos 40% obtidos por Gomide *et al.* (2009) com sorgo cultivado com *Glomus clarum* (= *R. clarum*).

A adição da adubação nitrogenada com níveis crescentes não influenciaram a colonização do sorgo pelo isolado UFLA351. Enquanto no UFLA372, o emprego de 600 mg.Kg⁻¹ de N estimulou significativamente a colonização micorrízica do sorgo em comparação ao tratamento com 0 mg.Kg⁻¹ de N, porém os dados não foram ajustados a nenhum modelo de regressão (Tabela 1). Da mesma forma, Püschel *et al.* (2016) verificaram que as plantas de *Andropogon gerardii* colonizado por *Rhizophagus irregulares* e adubado com nitrogênio apresentaram aumento da taxa de colonização.

No tratamento UFLA 401, a adição de 300 e 600 mg.Kg⁻¹ de N reduziu significativamente a colonização micorrízica do sorgo em comparação com 0 e 100 mg.Kg⁻¹ de N, cujos dados foram ajustados à regressão quadrática (Tabela 1), tal como mencionado por Cobb *et al.* (2016) no sorgo colonizado por FMAs nativos do solo na presença de fertilizantes.

Outro fator que pode interferir na taxa de colonização micorrízica é a colonização por micro-organismos endofíticos (Yan *et al.*, 2015). Nos tratamentos testemunha, UFLA 372 e UFLA401 não houve correlação da colonização micorrízica (CM) com a colonização por DSE ($p > 0,05$), tal como obtido por Gois *et al.* (2019) em arroz com os mesmos isolados micorrízicos. No UFLA351 houve correlação negativa entre a colonização micorrízica e por DSE ($r = - 0,68$; $p < 0,01$), ao contrário do que foi mencionado por Santos *et al.* (2018a) no capim vetiver com o mesmo isolado micorrízico.

De forma geral, a taxa de colonização micorrízica do sorgo foi influenciada pelos níveis de nitrogênio e pela presença dos micro-organismos endofíticos DSE, a depender do isolado UFLA. Todavia, as bactérias endofíticas, observadas nas sementes, também podem influenciar na taxa de colonização micorrízica (Gois *et al.*, 2019).

Segundo Bernal *et al.* (2018), a colonização micorrízica ocorre com elevada porcentagem de hifas, seguido pela presença de arbúsculos e vesículas, conforme a espécie fúngica. Contudo, a adubação nitrogenada pode estimular a formação de hifas dos fungos micorrízicos arbusculares em poáceas (Mandyam; Jumpponen, 2008).

No sorgo cultivado com UFLA 351, UFLA 372 e UFLA 401, não houve influência dos níveis de nitrogênio na porcentagem de hifas, que variou de 23,3% a 42,1% (Tabela 1), mas

deve-se considerar que estas hifas podem ser dos fungos observados nas sementes e/ou da microbiota nativa do solo utilizado como substrato de cultivo, tal como discutido anteriormente.

Em relação às estruturas típicas micorrízicas, a porcentagem de arbúsculos no UFLA 351, no UFLA 372 e no UFLA 401 aumentou significativamente com os níveis crescentes de nitrogênio, cujos dados médios de 17,7 a 44,8% foram ajustados à regressão linear em todos os tratamentos com os FMAs (Tabela 1). Neste sentido, vale ressaltar que a presença dos arbúsculos poderá influenciar no crescimento inicial do sorgo, pois estas estruturas são responsáveis pela disponibilidade de nutrientes, como fósforo e nitrogênio às plantas hospedeiras, bem como poderá contribuir para a adaptação ao estresse hídrico e à baixa fertilidade (Van Heijden *et al.*, 2015).

No UFLA351, os níveis de nitrogênio não interferiram na formação de vesículas pelo teste de *Tukey*, mas os dados foram ajustados à regressão quadrática. No UFLA372, a adição de 100 e 300 mg.Kg⁻¹ de N reduziu significativamente a formação de vesículas, em comparação aos níveis de 0 e 600 mg.Kg⁻¹ de N, cujos dados foram ajustados à regressão quadrática. Para UFLA401, o uso de 300 a 600 mg.Kg⁻¹ de N reduziu significativamente a porcentagem de vesículas em relação aos níveis de 0 e 100 mg.Kg⁻¹ de N, cujos dados foram ajustados à regressão linear (Tabela 1).

Segundo Jalonen *et al.* (2013), valores da relação do número de arbúsculo/vesícula acima de 1,0 pode estimular o crescimento da planta. Neste contexto, no UFLA 351 esta relação variou de 1,0 a 2,8, sem influência dos níveis de nitrogênio pelo teste de *Tukey* e pela regressão (Tabela 1).

Por outro lado, a ocorrência da relação arbúsculo: vesícula menor 1,0 nos tratamentos UFLA 372 e UFLA 401 com 0 mg.Kg⁻¹ de N (Tabela 1) pode interferir negativamente no crescimento inicial das mudas. Uma vez que, valores baixos desta variável indica maior competição por nutrientes entre os simbiontes (Jalonen *et al.*, 2013). No UFLA372, o aumento dos níveis de nitrogênio de 0-100 para 300-600 mg.Kg⁻¹ favoreceu o incremento significativo da relação arbúsculo: vesículas de 0,2 a 1,1 para até 2,2, cujos dados foram ajustados à regressão linear. No UFLA 401, a relação arbúsculo/ vesículas aumentou significativamente de 0,7 a 1,4 (0 a 300 mg.Kg⁻¹ de N) para 4,0 (600 mg.Kg⁻¹ de N), cujos dados foram ajustados à regressão linear com os níveis crescentes de nitrogênio (Tabela 1).

Desta forma, a ocorrência de alta relação arbúsculo/vesícula com a adição de nitrogênio ao substrato de cultivo do sorgo demonstra uma possível interação positiva dos isolados fúngicos UFLAs testados e o sorgo. Entretanto, deve-se considerar que a taxa de colonização

micorrízica nem sempre garante maior eficiência da simbiose entre FMAs no crescimento da planta hospedeira (Santos *et al.*, 2018b) e que a época de cultivo pode influenciar na eficiência da simbiose (Lopes *et al.*, 2018), bem como a microbiota nativa pode interferir no crescimento vegetal (Santos *et al.*, 2018a).

Considerando as variáveis analisadas de altura da planta, de massa seca da parte aérea, comprimento da raiz e de massa seca da raiz, não houve aumento significativo dos níveis crescentes de nitrogênio na testemunha e com UFLA 351, UFLA372 e UFLA 401 pelo teste de *Tukey*, mas os dados do comprimento da raiz na testemunha e no UFLA 351 com o aumento do nível de nitrogênio foram ajustados à regressão linear (Tabela 2; Figura 1).

Tabela 2. Altura da planta (ALT), massa seca da parte aérea (MSPA), comprimento da raiz (CR) e massa seca da raiz (MSR) de plantas de sorgo cultivado com FMAs e níveis de nitrogênio (N), após 90 dias da inoculação

Trat	N (mg Kg ¹)	ALT (cm)	MSPA (g)	CR (cm)	MSR (g)
Testemunha	0	44,4 a	0,60 a	13,7 a	0,53 a
	100	44,2 a	0,60 a	12,5 a	0,49 a
	300	46,0 a	0,63 a	11,2 a	0,62 a
	600	47,3 a	0,82 a	11,1 a	0,98 a
	Regressão R ²	Linear 0,93 ns	Linear 0,87 ns	Linear 0,77 *	Linear 0,90 ns
UFLA351	0	50,3 a	0,70 a	12,5 a	0,49 a
	100	42,5 a	0,47 a	12,1 a	0,62 a
	300	50,4 a	0,74 a	11,3 a	0,56 a
	600	46,7 a	0,59 a	10,9 a	0,82 a
	Regressão R ²	Linear 0,01 ns	Linear 0,00 ns	Linear 0,93 *	Linear 0,78 ns
UFLA372	0	43,7 a	0,57 a	13,0 a	0,61 a
	100	46,7 a	0,68 a	12,5 a	0,58 a
	300	46,5 a	0,74 a	10,9 a	0,46 a
	600	47,7 a	0,63 a	11,7 a	0,52 a
	Regressão R ²	Linear 0,62 ns	Linear 0,05 ns	Linear 0,46 ns	Linear 0,43 ns
UFLA401	0	53,6 a	0,98 a	12,4 a	0,75 a
	100	47,5 a	0,64 a	10,9 a	0,61 a
	300	45,5 a	0,67 a	10,6 a	0,48 a
	600	46,5 a	0,61 a	10,6 a	0,88 a
	Regressão R ²	Linear 0,47 ns	Linear 0,48 ns	Linear 0,48 ns	Linear 0,15 ns

¹Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo Teste de *Tukey* a 5% de probabilidade; ² ns = não significativo; (*) = significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$) e (**) = significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

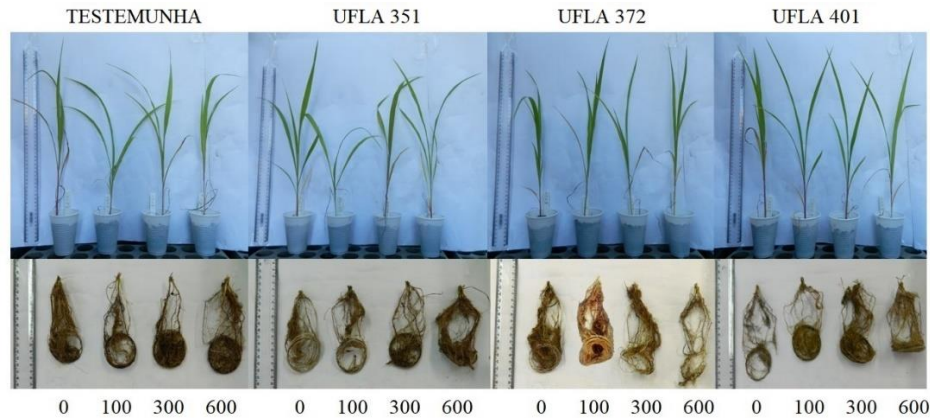


Figura 1. Plantas de sorgo cultivadas com isolados de fungos micorrízicos arbusculares e níveis de nitrogênio (0, 100, 300 e 600 mg Kg⁻¹ de N) após 90 dias de cultivo

Todas as variáveis de crescimento analisadas não foram correlacionadas com a colonização micorrízica pelos isolados UFLAs de FMAs e por DSE nativos ($p > 0,05$), ou seja, a maior colonização micorrízica do sorgo no tratamento UFLA351, não influenciou no crescimento inicial da planta, tal como também observado por Santos *et al.* (2018b) em gliricídia cultivada com este mesmo isolado micorrízico.

Segundo Machineski *et al.* (2011), plantas colonizadas por isolados micorrízicos arbusculares podem ser consideradas responsivas à inoculação fúngica quando apresentarem um incremento maior que 25% na biomassa em relação ao tratamento testemunha (sem inoculação micorrízica). Neste trabalho, a adição de 600 mg.Kg⁻¹ de N resultou em um incremento de 26,3% na massa seca total do sorgo na testemunha, quando comparado ao tratamento sem adubação nitrogenada (0 mg.Kg⁻¹ de N), ou seja, o sorgo foi responsivo à adubação nitrogenada à base de ureia (Tabela 3).

Tabela 3. Dependência micorrizica da massa seca total das plantas de sorgo colonizadas por isolados de FMAs e níveis de nitrogênio (0, 100, 300 e 600 mg.Kg⁻¹), após 90 dias de cultivo

Tratamentos	Dependência micorrízica por nível de nitrogênio (%)			
	0 mg.Kg ⁻¹ de N	100 mg.Kg ⁻¹ de N	300 mg.Kg ⁻¹ de N	600 mg.Kg ⁻¹ de N
Testemunha	- ¹	-10,2 ²	-4,9	26,3
UFLA 351	2,1	-15,4	12,9	9,5
UFLA 372	3,7	4,9	4,1	0,5
UFLA 401	32,4	7,4	-11,6	13,3

¹ Tratamento utilizado como referência para análise do crescimento micelial das plantas de sorgo cultivadas com níveis de nitrogênio e/ou inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares; ² Valores positivos de dependência micorrízica correspondem ao incremento de biomassa vegetal; e valores negativos representam redução da biomassa vegetal em relação ao tratamento referência (Testemunha, sem nitrogênio)

No tratamento testemunha com 600 mg.Kg⁻¹ de N deve-se considerar que houve a formação de arbúsculos e que estas estruturas são importantes na disponibilidade de nutrientes à planta hospedeira (Van Heijden *et al.*, 2015), principalmente de nitrogênio em poáceas (Nakmee *et al.*, 2016). E que o nitrogênio é um nutriente mineral essencial ao metabolismo vegetal, pois participa da síntese de proteínas, aminoácidos, enzimas, ácidos nucleicos e da clorofila e, conseqüentemente, a adição deste elemento promove o crescimento da planta, além de poder reduzir a incidência de doenças em condições de campo (Zhang *et al.*, 2017).

Por outro lado, a adição de 100 e de 300 mg.Kg⁻¹ de N não favoreceu o aumento da biomassa seca total do sorgo no tratamento testemunha, pois apresentou dependência micorrízica com valores negativos (Tabela 3), provavelmente devido a presença de hifas e vesículas, sem a formação de arbúsculos (Tabela 1). Desta forma, tem-se que o sorgo, sem inoculação micorrízica (testemunha) não respondeu à adubação nitrogenada e nem sofreu influência da taxa de colonização micorrízica.

Nos tratamentos UFLA351 e UFLA372, o sorgo não foi responsivo à inoculação fúngica e aos níveis de nitrogênio testados, pois apresentou dependência micorrízica de -15,4% a 12,9% na massa seca total. O sorgo foi responsivo ao UFLA401 com 0 mg Kg⁻¹ de N, pois apresentou dependência micorrízica de 32,4%, sendo considerada como moderada segundo Machineski *et al.* (2011). Entretanto, neste tratamento, o aumento dos níveis de nitrogênio reduziu a resposta do sorgo à inoculação micorrízica, ou seja, à dependência micorrízica (Tabela 3), tal como observado por Teutscherova *et al.* (2019).

O sorgo colonizado por UFLA401 (*Acaulosporoa morrowiae*) e sem adubação nitrogenada (0 mg Kg⁻¹ de N) representa uma economia no consumo de adubo. Pois, Qiao *et al.* (2022) mencionaram que a colonização micorrízica aumentou a absorção de nitrogênio e de fósforo, os quais são rapidamente imobilizados ao tecido vegetal, o que resulta no crescimento da planta (Symanczik *et al.*, 2018).

A interação do sorgo com o isolado UFLA 401, sem adição de adubo nitrogenado à base de uréia, pode representar um meio de sobrevivência das plantas em condições de campo desfavoráveis. E que na avaliação da interação dos isolados micorrízicos no desenvolvimento de planta hospedeiras é importante considerar que nas sementes utilizadas nos bioensaios podem conter micro-organismos endofíticos e/ou promotores de crescimento, os quais podem influenciar no crescimento vegetativo a depender da interação fungo-planta, tal como mencionado por Yan *et al.* (2015).

4 CONCLUSÕES

Nos tratamentos UFLA 351 e UFLA 372, o aumento dos níveis de nitrogênio reduz o crescimento inicial do sorgo, mas não influencia na taxa de colonização dos fungos endofíticos “*dark septate*”.

O isolado UFLA401 favorece o crescimento inicial do sorgo, mas sem adubação nitrogenada.

Os fungos endofíticos “*dark septate*” podem influenciar na taxa de colonização micorrízica e, portanto, no crescimento inicial do sorgo, a depender da interação microbiana. Desta forma, é importante que nos trabalhos que visem avaliar a interação de fungos micorrízicos e plantas hospedeiras levem em consideração que as sementes podem apresentar micro-organismos endofíticos que são capazes de interferir na eficiência da simbiose e, portanto, no desenvolvimento vegetal.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à pesquisadora Dra. Mariangela Hungria da Embrapa Soja, pela identificação da bactéria endofítica.

REFERÊNCIAS

AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; REZENDE, J. A. M. **Manual de Fitopatologia**. 5. ed. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2018.

BAMISILE, B. S.; DASH, C. K.; AKUTSE, K. S.; KEPPANAN, R.; Fungal Endophytes: Beyond Herbivore Management. **Frontier in Microbiology**, Lausana, v. 9, n. 544, p. 1-11, mar. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00544>.

BERNAOLA, L.; CANGE, G.; WAY, M. O.; GORE, J.; HARDKE, J.; STOUT, M. Natural colonization of rice by arbuscular mycorrhizal fungi in different production areas. **Rice Science**, Zhejiang, v. 25, n. 3, p. 169-174, mai. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2018.02.006>.

CAULIER, S.; NANNAN, C.; GILLIS, A.; LICCIARDI, F.; BRAGARD, C.; MAHILLON, J. Overview of the antimicrobial compounds produced by members of the *Bacillus subtilis* group. **Frontier in Microbiology**, Lausana, v. 10, n. 302, p. 1-19, fev. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00302>.

COBB, A. B.; WILSON, G. W. T.; GOAD, C. L.; BEAN, S. R., KAUFMAN, R. C.; HERALD, T. J.; WILSON, J. D. The role of arbuscular mycorrhizal fungi in grain production and nutrition of sorghum genotypes: Enhancing sustainability through plant-microbial

partnership. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 233, n. 1, p. 432-440, oct. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.024>.

EHTESHAMI, S. M. R.; KHAVAZI, K.; ASGHARZADEH, A. Forage sorghum quantity and quality as affected by biological phosphorous fertilization. **Grass and Forage Science**, Hoboken, v. 73, n. 4, p. 926–937, set. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12388>.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, Cambridge, v. 84, n. 3, p. 489-500, mar. 1980. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x>.

GOIS, L. S.; SANTOS, J. S.; SANTOS, J. F. S.; BARBOSA, A.V.G.; VIÉGAS, P. R. A.; MARINO, R. H. Endophytic microorganisms and nitrogen levels on rice plant growth. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 43, n. 2, p. 1-10, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054201943001519>.

GOMIDE, P. H. O.; SANTOS, J. G. D.; SIQUEIRA, O.; SOARES, C. R. F. S. Diversidade e função de fungos micorrízicos arbusculares em sucessão de espécies hospedeiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 11, p. 1483-1490, nov. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001100016>.

HADEBE, S. T.; MABHAUDHI, T.; MODI, A. Water use of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) in response to varying planting dates evaluated under rainfed conditions. **Water SA**, Gezina, v. 43, n. 1, p. 91-113, jan. 2017. DOI: <https://doi.org/10.4314/wsa.v43i1.12>.

JALONEN, R.; TIMONEN, S.; SIERRA, J.; NYGREN, P. Arbuscular mycorrhizal symbioses in a cut-and-carry forage production system of legume tree *Gliricidia sepium* and fodder grass *Dichanthium aristatum*. **Agroforest System**, Dordrecht-Netherlands, v. 87, n. 2, p. 319-330, jul. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9553-1>.

KISHOR, K.; KUMAR, Y. V.; GAUTAM, P.; CHUGH, A.; KAUSHAL, K. Effect of fertility levels on Yield and Yield attribute of different Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, New Delhi, v. 6, n. 4, p. 541–543, 2017. Disponível em: <https://www.phytojournal.com/archives/2017/vol6issue4/PartH/6-4-51-354.pdf>. Acesso em 08 ago. 2022.

LESSA, B. F. T.; DUTRA, A. S.; SILVA, T. M.; SANTOS, C. C.; SOUSA, W. N. Physiological maturation in seeds of sweet sorghum for foliar fertilization with silicate. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 3, p. 718–729, jul./sept. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n320rc>.

LOPES, L. J. O.; SANTOS, G. M.; SANTOS, J. S.; SANTOS, J. F. S.; MENDONÇA, J. J.; FAGUNDES, J. L.; MARINO, R. H. Produção de propágulos micorrízicos em sorgo e/ou em braquiária. **Scientia Plena**, São Cristóvão, v. 14, n. 8, p. 1-8, ago. 2018. DOI: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2018.086201>.

MACHINESKI, O.; BALOTA, E. L.; SOUZA, J. R. P. Resposta da mamoneira a fungos micorrízicos arbusculares e a níveis de fósforo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1855-1862, abr. 2011. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n4Sup1p1855>.

- MANDYAM, K.; JUMPPONEN, A. Seasonal and temporal dynamics of arbuscular mycorrhizal and dark septate endophytic fungi in a tallgrass prairie ecosystem are minimally affected by nitrogen enrichment. **Mycorrhiza**, Londres, v. 18, n. 1, p. 145-155, jan. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-008-0165-6>.
- MENDONÇA, J. J.; LIRA-JUNIOR, M. A.; CARVALHO, E. X.; FRACETTO, G. G. M.; FRACETTO, F. J. C.; ALVES, M. J. G.; OLIVEIRA, J. P. Diversidade, mecanismos de atuação e potencial agrícola de bactérias promotoras de crescimento de plantas, usando milho como cultura exemplo. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Recife, v. 25, n. 2, p. 1–10, jun./dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.12661/pap.2020.010>.
- MENDONÇA, J. J.; GOIS, L. S.; SANTOS, J. F. S.; SANTOS, T. A. C.; HOLANDA, F. S. R.; MARINO, R. H. Native microbiota and arbuscular mycorrhizal fungi on growth of *Paspalum millegrana* Schrad. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 2, p. 345-353, fev. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n207rc>.
- NAKMEE, P. S.; TECHAPINYAWAT, S.; NGAMPRASITC, S. Comparative potentials of native arbuscular mycorrhizal fungi to improve nutrient uptake and biomass of *Sorghum bicolor* Linn. **Agriculture and Natural Resources**, Amsterdam, v. 50, n. 3, p. 173-178, may. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anres.2016.06.004>.
- NDINGA-MUNIANIA, C.; MUELLER, R. C.; KUSKE, C. R.; PORRAS-ALFARO, A. Seasonal variation and potential roles of *dark septate* fungi in an arid grassland. **Mycologia**, Londres, v. 113, n. 6, p. 1181-1198, oct. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/00275514.2021.1965852>.
- PANDEY, A. Are dark septate endophytic bioindicators of climate in mountain ecosystems? **Rhizosphere**, Amsterdã, v. 9, n. 1, p. 110-111, mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2019.01.001>.
- PEREIRA, G. M. D.; RIBEIRO, K.G.; JÚNIOR, P. I. F.; VITAL, M. J. S.; KASUYA, M. C. M.; ZILLI, J. E. Ocorrência de fungos endofíticos “dark septate” em raízes de *Oryza glumaepatula* na Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 3, p. 331-334, mar. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000300015>.
- PÜSCHEL, D.; JANOUŠKOVÁ, M.; HUJSLOVÁ, M.; SLAVÍKOVÁ, R.; GRYNDLEROVÁ, H.; JANSÁ, J. Plant–fungus competition for nitrogen erases mycorrhizal growth benefits of *Andropogon gerardii* under limited nitrogen supply. **Ecology e Evolution**, Nova Jersey, v. 6, n. 13, p. 4332-4346, may. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.2207>.
- QIAO, Y.; BAI, Y.; SHE, W.; LIU, L.; MIAO, C.; ZHU, G.; QIN, S.; ZHANG, Y. Arbuscular mycorrhizal fungi outcompete fine roots in determining soil multifunctionality and microbial diversity in a desert ecosystem. **Applied Soil Ecology**, Amsterdã, v. 171, n. 1, p. 1-12, mar. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104323>.
- RASHWAN, A. K.; YONES, H. A.; KARIM, N.; TAHA, E. M.; CHEN, W. Potential processing technologies for developing sorghum-based food products: An update and comprehensive review. **Trends in Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 110, p. 168-182, apr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.087>.

SANTANA-SANTOS, I. V.; CHAVES-SILVA, N. E.; AMÂNCIO, L. H. S.; SANTOS, W. B.; VIÉGAS, P. R. A.; MARINO, R. H. Fungos comestíveis e microbiota nativa no controle do nematoide formador de galhas. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente – RAMA**, Maringá, v. 15, n. 2, e9086, abr./jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2022v15n2e9301>.

SANTOS, J. S.; SANTOS, J. F. S.; LOPES, L. J. O.; MENDONÇA, J. J.; HOLANDA, F. S. R.; MARINO, R. H. Arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytic fungi on the biomass development of vetiver grass. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 3, p. 602-611, mar. 2018a. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n308rc>.

SANTOS, T. A. C.; MENEZES, G. S.; SANTOS, J. S.; GOIS, L. S.; NASCIMENTO, S. L. M.; MARINO, R. H. Microbial Interactions in the development of biomass of gliricidia. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 3, p. 612-621, mar. 2018b. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n309rc>.

SYMANCZIK, S.; LEHMANN, M.; WIEMKEN, A.; BOLLER, T.; COUNTRY, P. Effects of two contrasted arbuscular mycorrhizal fungal isolates on nutrient uptake by *Sorghum bicolor* under drought. **Mycorrhiza**, Londres, v. 28, n. 8, p. 779-785, ago. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-018-0853-9>.

TEUTSCHEROVA, N.; VASQUEZ, E.; ARANGO, J.; AREVALO, A.; BENITO, M.; PULLEMAN, M. Native arbuscular mycorrhizal fungi increase the abundance of ammonia-oxidizing bacteria but suppress nitrous oxide emissions shortly after urea application. **Geoderma**, Amsterdã, v. 338, n. 1, p. 493-501, mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.023>.

VAN HEIJDEN, M. G. A.; MARIN, F. M.; SELOSSE, M. A.; SANDRES, I. R. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. **New Phytologist**, Cambridge, v. 205, n. 4, p. 406-1423, fev. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.13288>.

YAN, J. F.; BROUGHTON, S. J.; YANG, S. L.; GANGE, A. C. Do endophytic fungi grow through their hosts systemically? **Fungal Ecology**, Amsterdã, v. 13, n. 1, p. 53-59, fev. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2014.07.005>.

ZHANG, X.; WANG, L.; M. A. F.; YANG, J.; SU, M. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on carbon and nitrogen distribution and grain yield and nutritional quality in rice (*Oryza sativa* L.). **J. Science of Food and Agriculture**, Hoboken, v. 97, n. 9, p. 2919–2925, nov. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8129>.

ZUBEK, S.; KAPUSTA, P.; ROŽEK, K.; BŁASZKOWSKI, J.; GIELAS I.; NOBIS, M.; NOWAK, A. Fungal root colonization and arbuscular mycorrhizal fungi diversity in soils of grasslands with different mowing intensities. **Applied Soil Ecology**, Amsterdã, v. 172, n. 1, p. 1-10, apr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104358>.