

Documentos

296

Campina Grande, PB / Março, 2024

Micorrizas

Da associação mutualística com algodoeiro aos benefícios

OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

12 CONSUMO E
PRODUÇÃO
RESPONSÁVEIS



Embrapa

Algodão

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Algodão
Ministério da Agricultura e Pecuária**

e-ISSN 2966-0343

Documentos 296

Março, 2024

Micorrizas

Da associação mutualística com
algodoeiro aos benefícios

Magna Maria Macedo Nunes Costa

Embrapa Algodão
Campina Grande, PB
2024

Embrapa Algodão

Rua Osvaldo Cruz, 1.143, Centenário
58428-095, Campina Grande, PB
www.embrapa.br/algodao
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Daniel da Silva Ferreira

Secretária-executiva

Magna Maria Macedo Nunes Costa

Membros

Francisco José Correia Farias

Luiz Paulo de Carvalho

Nair Helena Castro Arriel

Rita de Cássia Cunha Saboya

Geraldo Fernandes de Sousa Filho

Edição executiva

Geraldo Fernandes de Sousa Filho

Revisão de texto

Marcela Bravo Esteves

Normalização bibliográfica

Enyomara Lourenço Silva

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Geraldo Fernandes de Sousa Filho

Foto da capa

Rogério Sebastião Corrêa da Costa

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Algodão

Costa, Magna Maria Macedo Nunes.

Micorrizas : da associação mutualística com algodoeiro aos benefícios / Magna Maria
Macedo Nunes Costa. - Campina Grande : Embrapa Algodão, 2024.

PDF (32 p.) : il. color. – (Documentos / Embrapa Algodão, e-ISSN 2966-0343 ; 296)

1. Fungo I. 2. Nutrição de vegetal. 3. Algodão. 4. Raiz-Simbiose. I. Embrapa Algodão.
II. Título.

CDD (21. ed.) 575.1

Enyomara Lourenço Silva (CRB-4/1569)

© 2024 Embrapa

Autora

Magna Maria Macedo Nunes Costa

Engenheira-agrônoma, doutora em Nutrição Mineral de Plantas,
pesquisadora da Embrapa Algodão, Campina Grande, PB

Apresentação

A Revolução Industrial iniciada na Inglaterra no século XVIII foi aos poucos transformando os moldes da produção agrária, especialmente no que diz respeito à fertilidade do solo e à nutrição mineral das plantas. Antes a adubação, baseada em reciclagem dos restos culturais da agricultura e da pecuária, passou a ser química, com os nutrientes agora fornecidos na forma de compostos químicos inorgânicos, o que tornou mais eficiente a sua absorção pelas raízes, aumentando exponencialmente a produção de alimentos, fibras e energia. Entretanto, com o decorrer do tempo, acentuaram-se problemas como a degradação física e biológica do solo bem como a contaminação de lagos, rios, aquíferos e do próprio solo, por íons ativos. Daí, a partir da década de 1960, começaram a aparecer, em núcleos isolados em todo mundo, movimentos ambientalistas que contestavam a abordagem dada à adubação bem como à agricultura como um todo. Foi aí então que a pesquisa agropecuária começou a direcionar o seu foco nas formas naturais de fertilizar o solo e alimentar a planta. Nesse contexto, entre outros recursos naturais contidos no próprio solo para esse fim, destacam-se as micorrizas, que são fungos que se associam às raízes das plantas aumentando a superfície de absorção de água e nutrientes minerais, especialmente fósforo, além de melhorar as propriedades do solo.

Sendo o algodão a mais importante e mais cultivada fibra natural do mundo, infere-se que seja consumidora de uma boa proporção de todos os adubos e corretivos da acidez industrializados, os quais consomem, na sua produção, combustíveis fósseis não renováveis, contribuindo para a emissão de gases de efeito estufa e, conseqüentemente, para as mudanças climáticas. Dessa forma, são oportunas neste momento as pesquisas direcionadas ao fornecimento de nutrientes minerais para o algodoeiro via processos naturais como compostos orgânicos, biofertilizantes, bactérias fixadoras de N₂ e micorrizas. No Brasil, as pesquisas com micorrizas como promotoras do crescimento e da produção para as plantas cultivadas ainda estão

incipientes, inclusive na Embrapa, mas têm tido cada vez mais espaço no nosso portfólio. O objetivo desta publicação é conceituar, à luz da literatura científica, o que são micorrizas, descrever as principais pesquisas feitas até hoje na Embrapa sobre esses fungos e demonstrar o que se tem pesquisado no mundo em relação à influência das micorrizas na cultura do algodoeiro. A publicação está alinhada com a agenda 2030 por meio do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) nº 12 - Produção e Consumo Sustentáveis.

Nair Helena Castro Arriel
Chefe-Geral da Embrapa Algodão

Sumário

Introdução	9
Micorrizas	10
Pesquisas com micorrizas na Embrapa	15
Pesquisas com micorrizas no algodoeiro	19
Considerações finais	24
Referências	25

Introdução

O algodão (*Gossypium hirsutum* L.) é a fibra têxtil natural mais importante do mundo. É cultivada principalmente para obtenção de fibras, embora também se destaque como fonte de óleo e produtos alimentícios (Suassuna et al., 2021). O Brasil é o quarto maior produtor mundial de algodão, com uma produção de 5.849.412 t em 2021 – 11% da produção mundial –, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, China e Índia (IBGE, 2022). Por ser uma cultura de grande importância para a economia do país, é necessário que os fatores que viabilizem a eficiência da produção não sejam negligenciados, especialmente no que se refere à fertilidade do solo e à nutrição mineral (Zonta et al., 2014).

Para o crescimento, o desenvolvimento e a reprodução, o algodoeiro, assim como as demais plantas superiores, necessita retirar do solo 14 elementos minerais considerados essenciais – nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), ferro (Fe), cloro (Cl), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), molibdênio (Mo) e níquel (Ni) (Silva et al., 2016).

Desde os primórdios da agricultura no mundo, esses nutrientes têm sido supridos às plantas através de processos de reciclagem dos próprios cultivos. Entretanto, durante a segunda metade do século XX, com o aumento intensivo da população mundial e, conseqüentemente, da demanda por alimentos, fibras e energia, surgiu a necessidade de implantação de sistemas agrícolas voltados para o aumento a curto prazo na produção agropecuária. Nesse contexto, surgem os corretivos e adubos industrializados, os quais, se por um lado contribuíram para esse aumento da produção no campo, por outro, trouxeram vários problemas de ordem social e ambiental, tais como êxodo rural e contaminação do solo e das águas (Blakemore, 2020).

Devido aos problemas supracitados trazidos pela Revolução Verde, foi necessário uma nova mudança de paradigmas na produção agropecuária. Particularmente no que se refere à fertilidade do solo e à nutrição da planta, foi preciso mudar o foco das pesquisas

científicas, uma vez que corretivos e adubos solúveis traziam consigo a ideia de ‘alimentar a planta’ com elementos minerais, sendo o solo um mero suporte mecânico para as raízes. Dessa forma, para manter a sustentabilidade da produção vegetal, era necessário um novo conceito, pautado em ‘construção do solo’, com insumos que melhorassem a longo prazo as características químicas, físicas e biológicas do solo, a exemplo de adubação orgânica, adubação verde, bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico e micorrizas. Uma pesquisa desenvolvida por Nunes et al. (2019) no oeste da Bahia, Brasil, região de Cerrado, mostra que o solo onde se desenvolve o cultivo de algodão nos moldes orgânicos, de base familiar, desenvolve maior densidade e variação de espécies de micorrizas em relação àquele onde o algodão é cultivado nos moldes tradicionais.

O objetivo desta publicação é conceituar, à luz da literatura científica, o que são micorrizas, descrever as principais pesquisas feitas até hoje na Embrapa sobre esses fungos benéficos às culturas e apresentar algumas das pesquisas que se tem feito até hoje, no mundo, sobre a influência das micorrizas na cultura do algodoeiro.

Micorrizas

A palavra micorriza vem das palavras gregas *mykes* e *rhiza*, que significam, respectivamente, fungos e raiz. Daí, infere-se que as micorrizas são “fungos de raiz” (Wipf et al., 2019). As micorrizas foram descritas pela primeira vez entre os anos de 1879 e 1882 pelo botânico polonês Franciszek Kamieński, mas foi o botânico, patologista de plantas e micologista Albert Bernhard Frank quem definiu primeiramente o termo em 1885 através de estudos com árvores frutíferas (Souza et al., 2006). Em 1900, o francês Noël Bernard descreveu a importância das micorrizas na vida das orquídeas (Selosse et al., 2017). O primeiro artigo científico sobre micorrizas, *The Concept of*

Mycorhiza, foi publicado em 1931 na Revista *Mycologia* por Arthur Pierson Kelley (Kelley, 1931).

As micorrizas são associações mutualísticas, ou seja, uma relação ecológica entre dois indivíduos de espécies diferentes em que ambos são beneficiados: a planta e o fungo. Nessa simbiose, o fungo aumenta a superfície de absorção de água e nutrientes minerais, especialmente de fósforo (P), das raízes das plantas. Entretanto, a planta fornece ao fungo os carboidratos produzidos na fotossíntese.

Ocorrem na grande maioria das plantas vasculares, tanto selvagens como cultivadas. São encontradas em 100% das gimnospermas, 83% das dicotiledôneas e 79% das monocotiledôneas. Entretanto não são encontradas micorrizas nas seguintes famílias: Brassicáceas (couve, couve-flor, repolho, brócolis, couve-de-bruxelas, mostarda, rúcula, rabanete, nabo e agrião), Chenopodiáceas (beterraba, acelga e espinafre), Proteáceas (macadâmia) e Cyperáceas (juncos). Também não são encontradas micorrizas em todas as plantas aquáticas e naquelas cultivadas hidroponicamente. Em relação às condições do ambiente, essa simbiose não se forma em condições extremas, como em solos muito secos, alagados, salinos ou com extremos de fertilidade (Taiz; Zeiger, 2016). Solos frequentemente adubados com adubos solúveis tendem a não formar as associações micorrízicas com as raízes das plantas. Esse fato é mais um que contribui para que os sistemas agroecológicos de produção não aceitem esses insumos para aumentar a fertilidade do solo.

As micorrizas provavelmente tiveram uma grande importância na evolução das plantas vasculares, pois estudos com fósseis de plantas primitivas revelaram que as associações micorrízicas eram tão frequentes quanto são hoje em dia. Daí se infere que a simbiose entre esses fungos e as raízes das plantas pode ter representado um passo crítico na conquista do ambiente terrestre pelos vegetais, facilitando a absorção de P e outros nutrientes, dado o pobre desenvolvimento dos solos disponíveis à época das primeiras colonizações (Raven et al., 2014).

Os fungos micorrízicos são formados por filamentos tubulares finos, microscópicos, envolvidos por uma parede de quitina, chamados

de hifas. A quitina é um polissacarídeo encontrado também no exoesqueleto dos artrópodes. Por sua vez, a massa de hifas emaranhadas entre si que forma o corpo do fungo é chamada de micélio. Dentro das hifas estão o material genético dos fungos e elas podem ser cenocíticas ou septadas. As hifas cenocíticas não possuem septos, ou seja, paredes transversais, ficando os núcleos espalhados pelo citoplasma. Já as hifas septadas possuem compartimentos celulares delimitados pelos septos, onde cada compartimento pode ser monocariótico ou dicariótico, ou seja, com um ou dois núcleos, respectivamente. No entanto, essa compartimentação é incompleta porque os septos possuem poros que permitem comunicação (Zarrinfar et al., 2013).

Por serem as hifas mais finas e mais compridas do que as raízes das plantas, vão aumentar enormemente a superfície de absorção de água e nutrientes minerais, estendendo-se além da zona de depleção. Esse fato tem grande importância para os elementos que se movem no solo através da difusão, como é o caso do P (Dejana et al., 2022). Além disso, os micélios micorrízicos contribuem para a melhoria da estrutura do solo. Segundo Sánchez et al. (2022), eles produzem glomalina, uma glicoproteína hidrofóbica, termoestável e recalcitrante que contribui para a formação de agregados estáveis e sequestro de metais pesados, além de ser um reservatório de carbono e nitrogênio no solo.

As micorrizas são classificadas em ectomicorrizas e endomicorrizas. As ectomicorrizas não penetram as células das raízes e têm representantes nos filos *Ascomycota*, *Basidiomycota* e *Zygomycota*. As endomicorrizas penetram dentro das células e todos os seus representantes pertencem ao filo *Glomeromycota*. As duas classes são encontradas em gimnospermas e angiospermas, entretanto, no que se refere a ectomicorrizas, apenas vamos encontrar nas angiospermas lenhosas (Méndez et al., 2020). Existem ainda as ectoendomicorrizas, que têm características das duas classes anteriores (Souza et al., 2006).

Os fungos micorrízicos ectotróficos apresentam uma bainha grossa ou “manta” de micélio fúngico ao redor das raízes, sendo que parte desse micélio penetra entre as células corticais, que não são

penetradas pelas hifas dos fungos, em vez disso, são circundadas por uma rede de hifas denominada rede de Hartig. Na maior parte das vezes, a quantidade de micélio fúngico é tão extensa que sua massa total é comparável àquela das próprias raízes. O micélio fúngico também se estende para o solo, para longe de sua manta compacta, onde forma hifas individuais ou filamentos contendo corpos de frutificação. Essas hifas, muito mais finas que as raízes e podendo alcançar além da área de esgotamento de nutrientes do solo próximo ao sistema radicular, melhoram a capacidade de absorção dos elementos essenciais (Taiz; Zeiger, 2016). A absorção de fosfato é aumentada por essa simbiose. Além disso, essas micorrizas proliferam-se na matéria orgânica do solo, hidrolisando o P orgânico e transferindo-o às células das raízes (Shah et al., 2022).

As endomicorrizas mais importantes são os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), chamadas dessa forma por formarem arbúsculos dentro das células do parênquima cortical das raízes das plantas. Antes, eram denominadas de micorrizas vesículo-arbusculares (MVA), porque algumas delas, além dos arbúsculos, também formam vesículas, mas são a minoria; daí a mudança na denominação (Thangavel et al., 2022). Os FMAs são muito antigos, tendo surgido há aproximadamente 460 milhões de anos, e ocorrem em 80% das espécies de plantas (Costa et al., 2013). As hifas dos FMAs crescem em um arranjo menos denso em relação às ectomicorrizas, tanto dentro da própria raiz quanto ao estenderem-se para fora delas em direção ao solo circundante. A penetração nas células individuais do córtex se dá através da epiderme ou dos pelos radiculares. Dentro das células, as hifas formam estruturas ramificadas denominadas arbúsculos, que parecem ser os locais de transferência de nutrientes entre o fungo e a planta hospedeira. Também podem formar estruturas ovais chamadas de vesículas. Ademais, podem ficar entre as células, sem penetrá-las (Taiz; Zeiger, 2016).

Segundo o autor supracitado, fora da raiz, o micélio pode se estender vários centímetros e conter estruturas que sustentam esporos. Ao contrário das micorrizas ectotróficas, os FMAs formam apenas uma pequena massa de material fúngico, não excedendo 10% da

massa das raízes, entretanto, facilita a absorção de P e micronutrientes catiônicos por se estender além da zona de esgotamento desses nutrientes ao redor das raízes. De acordo com Berude et al. (2015), os FMAs podem aumentar em quatro vezes a absorção de fosfato pelas raízes das plantas.

Das micorrizas, os nutrientes são transferidos às raízes das plantas. No caso das ectomicorrizas, os elementos passam, por difusão simples, das hifas na rede de Hartig para as células corticais das raízes, onde são absorvidos. Nos FMAs, os nutrientes se difundem dos arbúsculos intactos para as células corticais, onde são absorvidos, ou, depois da morte e degradação dos arbúsculos e/ou das vesículas, os elementos são liberados diretamente dentro das células, local em que vão desempenhar as suas devidas funções (Valgaz et al., 2022).

A formação da simbiose entre as micorrizas e a planta hospedeira depende da fertilidade do solo. Assim, solos com baixa fertilidade tendem a facilitar a formação da associação micorrízica. Já em solos com alta fertilidade, notadamente os que receberam muitos adubos solúveis, a infecção é suprimida, inclusive a relação pode mudar de simbiótica para parasitária, na qual o fungo ainda obtém a seiva elaborada da planta, mas esta não mais se beneficia com o aumento da eficiência em água e nutrientes minerais. Sob tais condições, a planta passa a acionar os seus mecanismos de defesa como faz com outros fitopatógenos (George; Ray, 2023).

O conhecimento da diversidade total das micorrizas no solo e das espécies que efetivamente colonizam as raízes das plantas de interesse agrônomico possibilita delinear estratégias de manejo para que se maximizem os benefícios da simbiose. Tradicionalmente, a diversidade vem sendo estudada por classificação dos esporos por microscopia ótica; entretanto, essa técnica não permite identificar as espécies das hifas que colonizam as raízes. Nesse contexto, a biologia molecular tem se mostrado uma importante ferramenta, pois possibilita, após a extração do DNA da raiz contendo hifas, a detecção dos fungos que efetivamente colonizam as raízes (Hoffmann; Lucena, 2006).

Existem cerca de 350 espécies de FMAs descritas, no entanto, a formulação de inoculantes comerciais está baseada em poucas estirpes pertencentes a um número limitado de espécies. A disponibilização de novas estirpes de FMAs selecionadas para a promoção do crescimento vegetal e com potencial para produção de inóculo em condições assépticas é fundamental para ampliar a oferta de bioinsumos eficientes para uma ampla gama de sistemas de produção, culturas e condições edafológicas (Souza et al., 2021).

Pesquisas com micorrizas na Embrapa

Investimentos em pesquisas que possibilitam o uso de recursos biológicos na agricultura contribuem para uma produção mais sustentável e economicamente viável (Oliveira et al., 2020). Diante disso, a Embrapa vem trabalhando com o tema micorrizas nas mais variadas culturas e sistemas de produção. Avaliando o efeito do FMA *Rhizoglyphus clarum* no desenvolvimento de plântulas de milho, Oliveira et al. (2020) observaram que a simbiose proporcionou maiores áreas radiculares e comprimento da zona de alongação foliar. Fernandes et al. (2008) encontraram que o caupi apresenta alta variabilidade intraespecífica quanto à intensidade de colonização micorrízica. Souza et al. (2010) afirmam que gramíneas inoculadas com FMAs apresentam ganhos de produtividade e aumento da eficiência de aquisição de nutrientes, no entanto, as bases genéticas dessa simbiose ainda não estão totalmente elucidadas, sendo necessário o desenvolvimento de programas de melhoramento visando obter plantas mais eficientes na associação simbiótica com micorrizas.

No manejo de sistemas de produção, Miranda et al. (2007) recomendaram que todas as práticas agrícolas que permitam a manutenção e o funcionamento dos sistemas micorrízicos, como calagem e

adubação adequadas, adubação verde, rotação e consorciação de culturas e integração lavoura-pecuária, devem ser consideradas, garantindo, assim, os efeitos benéficos da simbiose no crescimento e na produtividade das plantas, além de se obter maiores retornos econômicos dos insumos utilizados, preservar as condições ambientais e garantir a sustentabilidade do solo. Segundo Fernandes et al. (2010), a população de FMAs relaciona-se com as espécies cultivadas e com as condições de fertilidade, sendo determinadas pelas culturas mais micotróficas e pelos baixos teores de nutrientes dos solos. Consórcios ou rotações envolvendo guandu, mandioca, milho e feijão são condições que favoreceram a ocorrência dos FMAs.

A comunidade de FMAs é baixa nos solos do Cerrado, mas aumenta gradualmente com os cultivos. Rotações de culturas e de sistemas de produção estimulam a propagação desses fungos, a formação de micorrizas e seus efeitos nas plantas. A integração lavoura-pecuária (ILP) é bem recomendada, pois os pastos favorecem a multiplicação dos esporos e as culturas aumentam o número de espécies de FMAs no solo. A contribuição das micorrizas no crescimento de soja e *Andropogon*, em um sistema integrado, foi de 50% e 90%, respectivamente. A ILP também permite benefícios ambientais, como o sequestro de carbono no solo através da produção de glomalina, e a recuperação de áreas degradadas, através do melhoramento quantitativo e qualitativo da comunidade micorrízica (Miranda et al., 2007).

Estudando a distribuição de esporos de FMAs em solos dos Cerrados sob diferentes sistemas de produção, Porto et al. (2003) concluíram que práticas agrícolas que possibilitam uma maior diversidade de espécies vegetais por área podem favorecer a sustentabilidade nesse bioma devido ao maior número de esporos. Costa et al. (2013) também concordam com esse resultado ao afirmarem que Sistemas Agroflorestais (SAF) como prática de cultivo favorecem o aumento do número de esporos no solo e uma menor variação desse número durante o ano todo, em relação a plantios solteiros. Entretanto, Porto et al. (2003) advertem que, como o número de esporos não é um parâmetro efetivo da ocorrência e potencial funcional das micorrizas, estudos complementares são necessários para confirmar o efeito de

diferentes sistemas de produção agropecuária na ocorrência e distribuição de fungos micorrízicos. Por sua vez, com relação à colonização radicular das plantas nos SAF, Costa et al. (2013) verificaram alta concentração de hifas e arbúsculos na época seca, período mais crítico para as culturas, um importante indicativo da funcionalidade da simbiose micorrízica na absorção de água e nutrientes.

Pesquisando os efeitos de usos alternativos do solo sobre a população de FMAs na Amazônia, Chu e Diekmann (2002) afirmaram que quanto maior a idade da capoeira não perturbada, menor o número de fungos; em curto prazo, o número de esporos não é alterado significativamente depois do preparo da terra; o uso de leguminosa como cobertura viva aumenta significativamente a contagem de esporos; e, a diversidade de espécies de FMAs no sistema de cultivo é semelhante ao da capoeira de três anos. Correia et al. (2004) afirmam que as micorrizas têm importante papel na composição das comunidades vegetais naturais sobre os solos do bioma Cerrado. Os autores encontraram que quanto mais distrófico o solo, maiores as densidades de morfotipos de fungos e de esporos.

A comunidade nativa de FMAs, presente em amostras de raiz e da rizosfera de 15 genótipos de milho contrastantes para eficiência no uso de P, foi avaliada pela técnica de eletroforese em gel de gradiente desnaturante por Gomes et al. (2010). Foram amplificados fragmentos do DNA ribossomal com primers específicos para as famílias *Acaulosporaceae* e *Glomeraceae*. Os primers para a família *Glomeraceae* foram eficientes em diferenciar a estrutura da população de fungos micorrízicos, indicando grande diversidade da comunidade entre os genótipos. Foram observadas bandas exclusivas nas linhagens eficientes L228-3 e L3, sob baixo teor de P, indicando uma associação preferencial entre os genótipos e os simbiossantes, que pode resultar em melhor eficiência na aquisição do nutriente. Além disso, a presença de *Glomus clarum* nessas duas linhagens, cultivadas sob baixo P, indica uma possível relação dessa espécie à tolerância ao déficit de P nesse solo. Com relação à família *Acaulosporaceae*, a técnica detectou pouca variação entre os genótipos cultivados em

baixo P, além de menor diversidade de fungos micorrízicos dessa família colonizando as raízes de milho.

Uma maior diversidade de espécies de micorrizas foi encontrada na rizosfera de milho sob plantio direto comparada ao cultivo tradicional nos solos ácidos do Cerrado, sugerindo que o primeiro sistema pode aumentar a eficiência no uso de P nesses tipos de solo (Oliveira et al., 2009). Objetivando estudar a diversidade genética da população de FMAs em quatro genótipos de milho e quatro de sorgo, em condições de campo, sob três fontes de P, totalmente solúvel (superfosfato triplo), parcialmente solúvel (fosfato reativo) e baixa solubilidade (fosfato de rocha) e três doses de P, 0, 50 e 100 Kg de P_2O_5 ha⁻¹, Campolino et al. (2018) coletaram amostras de solo rizosférico e não rizosférico durante o florescimento das plantas e encontraram que a dose de P foi o fator que mais influenciou a comunidade de FMAs, seguida pela fonte de P.

Avaliando a ação de FMAs na disponibilização de K de rochas silicatadas para plantas de soja, Andrade et al. (2011) encontraram que os fungos aumentaram significativamente a matéria seca total, o sistema radicular, as relações microbiológicas e o acúmulo de K. O efeito benéfico da micorriza na absorção do nutriente deverá ser considerado ao definir manejo de áreas agrícolas com o objetivo de aumentar a disponibilidade de K de fontes de solubilidade lenta, concluem os autores.

Com o objetivo de verificar o efeito tóxico de fungicidas na germinação de esporos dos FMAs *Scutellospora gilmorei* e *Scutellospora heterogama* e na micorrização de raízes de mudas de pimenteiro-reino, foram conduzidos ensaios *in vitro* e em casa de vegetação (Duarte et al., 2006). Os resultados mostraram que os fungicidas carbendazim, tiabendazol e tiofanato metílico inibiram completamente a germinação dos esporos. Na presença de tebuconazol, *S. gilmorei* germinou até a concentração de 20 ppm, enquanto *S. heterogama* só germinou à concentração de 1 ppm. Em mudas oriundas de estacas pré-tratadas com os fungicidas em substrato de casca de arroz carbonizada contendo solo-inóculo de *S. heterogama*, houve uma redução na taxa de micorrização em relação à testemunha, mas, aos seis

meses, houve um aumento significativo, sugerindo que, uma vez cessado o efeito dos fungicidas, o processo de colonização das raízes prossegue. Dessa forma, os benefícios da micorrização poderão ser utilizados pelos produtores se as mudas permanecerem no substrato inoculado por mais de três meses, concluem os autores.

As aplicações de caldas e de fungicidas foliares que contêm cobre (Cu), para o controle preventivo de doenças fúngicas em videiras (*Vitis* sp.), provocam o acúmulo do elemento-traço em solos de vinhedos, o que estimula a oxidação da matéria orgânica. A inoculação com FMAs beneficia o crescimento das raízes de plantas jovens dessa frutífera em solo com alto teor de Cu. Os isolados de *Rhizophagus clarus* e *Rhizophagus irregularis* possibilitaram elevada colonização micorrízica das raízes da videira com conseqüente melhoria da absorção de P em solo com alto teor de Cu. A inoculação dos FMAs aumentou a absorção de Cu pelas plantas jovens, porém a maior parte desse elemento ficou retido nas raízes micorrizadas, reduzindo a toxicidade na parte aérea (Melo et al., 2015).

Pesquisas com micorrizas no algodoeiro

O algodão é uma cultura econômica produtora de uma importante fibra natural que é matéria-prima em todo o mundo, proporcionando enormes benefícios à humanidade. Embora um grande número de pesquisas tenha confirmado que os FMAs podem melhorar o crescimento, a produção, a qualidade da fibra e a aquisição de P nas plantas, o efeito desses fungos simbiotes sobre as características agrônômicas e econômicas no algodoeiro ainda não é muito conhecido. Pesquisas anteriores sugerem que inoculantes micorrízicos podem diminuir a necessidade de fertilização fosfatada entre 25 e 50% sem qualquer queda no rendimento da cultura (Gao et al., 2020).

Alguns artigos científicos acerca do efeito das micorrizas sobre a cultura do algodoeiro têm sido publicados. Em um experimento para avaliar a influência da colonização micorrízica no desenvolvimento radicular, Torrissi et al. (1999) semearam algodão em vasos do tipo 'tubetes' contendo solo inoculado com isolado de *Glomus mosseae*, o que resultou na disseminação de micorrizas arbusculares por todo o conteúdo do solo, contribuindo para o alongamento das raízes e o aumento da densidade radicular. Jiang et al. (2020), estudando o efeito de um inóculo que continha nove tipos de esporos de FMAs – *Glomus aggregatum*, *Glomus etunicatum*, *Glomus clarum*, *Glomus deserticola*, *Glomus intraradices*, *Glomus monosporus*, *Glomus mosseae*, *Gigaspora margarita* and *Paraglomus brasilianum* –, veiculado na água de irrigação por gotejamento, constataram que as raízes do algodoeiro foram efetivamente colonizadas, aumentando o crescimento e o peso fresco.

Em um experimento conduzido em vasos durante a estação de verão no sudeste de Damasco, na Síria, Ibrahim (2017) estudou o efeito de FMAs indígenas – *Glomus intraradices*, *Glomus viscosum* e *Glomus mosseae* –, fosfógeno e composto orgânico no crescimento e absorção de P, K, Ca, Mn, Fe, Cu e Zn do algodoeiro. A biomassa seca da parte aérea, o rendimento de algodão em caroço e a absorção de todos os elementos estudados foram aumentados pela combinação desses três insumos sustentáveis.

Estudando o efeito do pousio durante 18 meses no leste da Austrália para posterior cultivo de algodão, Pattinson e McGee (1997) constataram que houve um bom desenvolvimento de micorrizas e que estas contribuíram significativamente para maior absorção de P nas plantas de algodoeiro. Os autores também verificaram que a perturbação mecânica durante esse período, bem como ciclos de molhamento e as duas técnicas juntas, diminuiu a densidade dos fungos micorrízicos. Mai et al. (2018) verificaram que, em solo bem irrigado cultivado com algodoeiro, há indução no crescimento de hifas, entretanto, com o aumento da concentração de fósforo, elas diminuem. A água do solo, de modo geral, exerceu mais influência sobre o crescimento de raízes e hifas do que o P, segundo os autores. Portanto,

otimizar a água e o P pode aumentar a produção de algodão e a absorção desse elemento ao maximizar a atividade das raízes e das micorrizas.

Pesquisando o efeito das simbioses micorrízicas em solos cultivados com algodão na Austrália, Eskandari et al. (2017) afirmam que os FMAs podem colonizar entre 50 a 90% do comprimento da raiz do algodoeiro e ajudam as plantas a combaterem as tensões impostas pelas restrições físicas e químicas do ambiente edáfico; entretanto, condições ambientais adversas podem restringir a associação entre o fungo e a planta, reduzindo a absorção de nutrientes e o crescimento vegetal. Segundo os autores, em solos sódicos, o estabelecimento, desenvolvimento e funcionamento de simbioses micorrízicas não são bem compreendidos. Ainda não está claro se as restrições impostas por altos níveis de Na, como, por exemplo, encharcamento, alta resistência, alto pH e alto teor de P, restringem a relação do fungo com as raízes do algodoeiro, levando à queda no crescimento e na produção. Para resolver esse problema, são sugeridos alguns temas para pesquisas futuras: rotação algodão-canola-algodão; espécies de micorrizas benéficas e eficientes para sobreviver em diferentes situações, como, por exemplo, pousio e rotação de culturas com algodão; sequenciamento genético de espécies de micorrizas de variados solos sódicos; e marcação isotópica e técnicas de medição de crescimento fúngico em solos sódicos.

Em uma pesquisa de campo conduzida na Universidade Azad Islâmica de Birjan, no Irã, para estudar as micorrizas como atenuadoras do estresse hídrico na cultura do algodão, Moosavi (2020) constatou que a presença da associação simbiótica aumentou significativamente a altura da planta, o diâmetro do caule, o número de ramos no caule principal, o rendimento de algodão em caroço, a eficiência no uso da água e a produção de biomassa nas plantas sob essa condição adversa de água no solo. Bilalis et al. (2011) conduziram um experimento de campo com algodoeiro em Karditsa, no centro da Grécia, ao norte de Atenas, para estudar os efeitos dos FMAs sobre os parâmetros de qualidade da fibra. Houve correlação positiva entre os FMAs e micronaire, maturação, comprimento, força e reflectância das fibras

de algodão. Os autores atribuíram esse resultado à influência positiva da simbiose na fisiologia da planta, particularmente na absorção de água, na fotossíntese e na translocação de fotoassimilados.

Estudando a influência dos FMAs sobre o crescimento, a produtividade, a qualidade da fibra e a regulação do P no algodoeiro, Gao et al. (2020) concluíram que, quando essas endomicorrizas e as raízes do algodoeiro estiveram em simbiose, a expressão dos genes específicos da família de transportadores de fosfato na membrana e a concentração de P na biomassa foram aumentadas. O mesmo ocorreu com a taxa de fotossíntese, o crescimento da planta, o número de capulhos por planta e a maturidade da fibra. A análise estatística mostrou um aumento altamente significativo no rendimento das parcelas inoculadas, em relação às não inoculadas, de 28,54%.

Uma pesquisa foi desenvolvida para determinar os efeitos dos fungos micorrízicos indígenas sobre o crescimento e a tolerância à salinidade em algodoeiro (Liu et al., 2016). Durante dois anos, ensaios de campo foram conduzidos em Xinjiang, noroeste da China, onde os autores criaram microcosmos de crescimento para mudas de algodoeiro constituídos por tubos de PVC e malhas de nylon de 30 µm de abertura, enterrados em mata nativa. Dentro dos tubos continha solo salino. Foram aplicados dois tratamentos: 'estático', em que a colonização por FMAs ocorria livremente, e 'vibratório', no qual a borda superior do núcleo era batida duas vezes por dia para quebrar qualquer hifa extrarradicular que pretendesse acessar o núcleo, reduzindo, dessa forma, a colonização por FMAs. A colonização micorrízica diminuiu significativamente no tratamento vibratório em relação ao estático. A absorção de P e a produção de biomassa foram significativamente maiores no tratamento estático. A comunidade fúngica nativa promoveu acúmulo de prolina foliar e uma relação K^+/Na^+ mais alta, via absorção seletiva. Esses resultados indicaram que a comunidade indígena de FMAs pode contribuir de forma satisfatória na tolerância à salinidade do algodoeiro. Salgado et al. (2017) verificaram que um estimulante de colonização (7-hidroxi, 4'-metoxi-isoflavona) promoveu maiores desenvolvimento de fungos micorrízicos e desenvolvimento inicial de plantas de algodão quando associado a FMAs indígenas.

Zhang et al. (2012) verificaram a possibilidade de a murcha-de-verticillium do algodoeiro, doença causada pelo fungo de solo *Verticillium dahliae* Klab., que limita a produção de algodão em todo o mundo, ser controlada por micorrizas arbusculares. Os autores encontraram que a simbiose fúngica diminuiu o índice da doença em 63,3% em relação ao controle, pela diminuição de ácidos fenólicos produzidos durante a doença. Um sistema de raiz dividida revelou que tal controle não foi apenas local, mas sistêmico, uma vez que os exsudatos radiculares produzidos do lado inoculado com micorrizas, na raiz, exerceu efeito do outro lado não inoculado. Segundo os autores, as micorrizas compensam os danos nas raízes causados pelo verticillium ao competir com estes pelos sítios de colonização e ativar mecanismos de defesa na planta. Esses resultados podem ser bastante úteis no desenvolvimento de técnicas para controlar a murcha-do-algodoeiro.

Zhang et al. (2018) avaliaram em casa de vegetação a eficiência simbiótica (ESA) de 17 variedades de algodoeiro ao FMA *Rhizophagus irregularis* CD1 e encontraram resultados variando entre 3 e 94%. A variedade que obteve o maior ESA – Lumian 1 – foi então selecionada para um experimento de campo de dois anos. Comparado ao algodão não inoculado, o inoculado aumentou significativamente a altura da planta, o diâmetro do caule, o número de pecíolos e o teor de P. Também a colonização FMA inibiu o desenvolvimento de sintomas de murcha-de-verticillium e elevou mais fortemente a expressão de genes relacionados à resistência ao *Verticillium dahliae* e à síntese de lignina. Curiosamente, os autores verificaram que o endossimbionte inibe diretamente o crescimento de fungos patogênicos, incluindo *V. Dahliae*, por liberar substâncias voláteis indefinidas que devem ser mais bem investigadas em pesquisas futuras.

Um estudo desenvolvido por Chen et al. (2017) investigou o impacto do algodão Bt, que expressa a proteína Cry1Ac, sobre vários aspectos do FMA *Funneliformis mosseae*. Os resultados mostraram que o algodoeiro Bt inibiu significativamente a germinação de esporos e o crescimento de hifas pré-simbióticas. A densidade de apressórios, a frequência de arbúsculos e a intensidade de colonização em raízes

Bt também foram diminuídas. Dessa forma os autores afirmam que a baixa interação entre os FMAs e o algodoeiro transgênico afeta a absorção, a translocação e a troca de nutrientes entre os simbioses. O mecanismo pelo qual isso acontece não foi identificado, mas pode envolver a ação direta das citotoxinas Cry ou a interferência delas na percepção do sinal entre as micorrizas e as raízes das plantas Bt. Independentemente do mecanismo, o efeito inibitório tem potencial impacto do algodão transgênico no ecossistema, concluem os autores.

Considerações finais

Como constatado, a associação simbiótica entre fungos micorrízicos e raízes de plantas cultivadas é uma importante ferramenta biológica quando se pensa em agricultura nos moldes sustentáveis. Ao aumentarem a superfície de absorção de água e nutrientes minerais, as micorrizas contribuem para melhor crescimento, desenvolvimento e produção vegetal, além do efeito benéfico das hifas sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, conforme comprovam os trabalhos científicos.

No entanto, para um melhor aproveitamento desse recurso natural na cotonicultura, é importante que sejam desenvolvidas pesquisas relacionadas a temas de relevância, como, por exemplo, (i) sistemas de produção de algodão mais propícios ao desenvolvimento de micorrizas no solo, (ii) a simbiose micorrízica como atenuadora de estresses ambientais tais como seca, altas temperaturas, acidez e salinidade do solo, (iii) identificação de fatores de crescimento vegetal produzidos pelos fungos micorrízicos, (iv) aumento da resistência a pragas e doenças em plantas de algodoeiro micorrizadas, (v) efeito das micorrizas sobre a supressão bioquímica de plantas daninhas, (vi) compatibilidade entre espécies de fungos micorrízicos e genótipos de algodão, (vii) estudo

da simbiose tripla algodão x micorriza x *Azospirillum*, (viii) e identificação de acessos de micorrizas mais adaptados às condições do Semiárido e do Cerrado.

Os ativos produzidos por essas pesquisas poderão contribuir significativamente para a redução de insumos industriais na produção de algodão no Cerrado brasileiro bem como potencializar o desenvolvimento da cultura na agricultura familiar e agroecológica do Semiárido nordestino.

Referências

ANDRADE, L. R. M. de; FALEIRO, A. S. G.; SOBRINHO, D. A. S.; NASCIMENTO, M. T. do; SOUZA, A. L. de. **Disponibilização de K de rochas silicáticas para plantas de soja inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2011. 21 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 303).

BERUDE, M. C.; ALMEIDA, D. S.; RIVA, M. M.; CABANÊZ, P. A.; AMARAL, A. A. Micorrizas e sua importância agroecológica. **Enciclopédia biosfera**, v. 11, n. 22, p. 132-146, 2015. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2015E/Micorrizas.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2023.

BILALIS, D.; PATSIALI, S.; KARKANIS, A.; PADALEON, K.; KONTOPOULOU, C-K. Effects of mycorrhiza on fiber quality parameters, root characteristics and yield of organic cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Bulletin UASVM Agriculture**, v. 68, n. 1, p. 51-57, 2011.

BLAKEMORE, E. How unintended consequences unraveled a legendary agricultural achievement. **The Washington post**, 2020. Disponível em: https://www.washingtonpost.com/science/how-unintended-consequences-unraveled-a-legendary-agricultural-achievement/2020/04/17/b62f0f04-7ff0-11ea-8013-1b6da0e4a2b7_story.html. Acesso em: 16 mar. 2023.

CAMPOLINO, M. L.; LANA, U. G. de P.; GOMES, E. A.; COELHO, A. M.; TINOCO, S. M. de S. **Diversidade genética da comunidade de microrganismos da rizosfera de genótipos de milho e sorgo cultivados em condições de campo sob diferentes fontes e níveis de fósforo.**

Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2018. 29 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 169).

CHEN, X.; ZHANG, R.; WANG, F. Transgenic Bt cotton inhibited arbuscular mycorrhizal fungus differentiation and colonization. **Plant, Soil and Environment**, v. 63, n. 2, p. 62-69, 2017.

CHU, E. Y.; DIEKMANN, U. **Efeitos de usos alternativos do solo sobre a população de fungos micorrízicos arbusculares na amazônia.** Belém, PA: Amazônia Oriental, 2002. 20 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 16).

CORREIA, C. R. M. de A.; REATTO, A.; MARTINS, E. de S.; SILVA, E. M. da; CALDAS, L. S.; FAGG, J. F. **Micorriza arbuscular: um bioindicador da fertilidade dos solos e da distribuição de árvores no bioma cerrado.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 38 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 132).

COSTA, R. S. C. da; MENDES, A. M.; RODRIGUES, V. G. S.; LEÔNIDAS, F. das C. **Micorrizas arbusculares em sistemas agroflorestais.** Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2013. 13 p. (Embrapa Rondônia. Documentos, 153).

DEJANA, L.; RAMÍREZ-SERRANO, B.; RIVERO, J.; GAMIR, J.; LÓPEZ-RÁEZ, J. A.; POZO, M. J. Phosphorus availability drives mycorrhiza induced resistance in tomato. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, e1060926, 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2022.1060926/full>. Acesso em: 17 mar. 2023.

DUARTE, M. de L. R.; CHU, E. Y.; TABARANÃ, M. G. F.; TREMACOLDI, C. R. **Efeito de fungicidas sistêmicos na micorrização de raízes de mudas de pimenteira-do-reino.** Belém, PA: Amazônia Oriental, 2006. 18 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 58).

ESKANDARI, S.; GUPPY, C. N.; KNOX, O. G. G.; BACKHOUSE, D.; RALING, R. E. Mycorrhizal symbioses of cotton grown on sodic soils: a review from an Australian perspective. **Pedosphere**, v. 27, n. 6, p. 1015-1026, 2017.

FERNANDES, M. F.; BARRETO, A. C.; FERNANDES, R. P. M.; ARAÚJO, J. K. S. de. **Fixação biológica do nitrogênio e colonização micorrízica em genótipos de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cultivados em solo de tabuleiros costeiros**. Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2008. 15 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros, Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 35).

FERNANDES, S. G.; MACHADO, C. T. de T.; LOPES, V.; VILELA, M. de F.; FERNANDES, L. A. **Fungos micorrízicos arbusculares em áreas de agricultores familiares da comunidade Água Boa 2, Rio Pardo de Minas, MG**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 28 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 296).

GAO, X.; GUO, H.; ZHANG, Q.; GUO, H.; ZHANG, L.; ZHANG, C.; GOU, Z.; LIU, Y.; WEI, J.; CHEN, A.; CHU, Z.; ZENG, F. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMf) enhanced the growth, yield, fiber quality and phosphorus regulation in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 2084, 2020.

GEORGE, N. P.; RAY, J. G. The inevitability of arbuscular mycorrhiza for sustainability in organic agriculture – a critical review. **Frontiers in sustainable food systems**, v. 7, 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2023.1124688/full>. Acesso em: 21 mar. 2023.

GOMES, E. A.; OLIVEIRA, F. A. S.; LANA, U. G. P.; SOUZA, F. A. de. **Análise molecular de fungos micorrízicos arbusculares em raízes de milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 21 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 29).

HOFFMANN, L. V.; LUCENA, V. S. **Para entender micorrizas arbusculares**. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2006. 22 p. (Embrapa Algodão. Documentos, 156).

IBGE. **Indicadores IBGE: Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: Estatística da Produção Agrícola**. Brasília, DF, 2022. 150 p. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2415/epag_2021_dez.pdf. Acesso em: 11 maio 2022.

IBRAHIM, M. Arbuscular mycorrhizal isolate and phosphogypsum effects on growth and nutrients acquisition of cotton (*Gossypium hirsutum* L.).

Advances in Horticultural Science, v. 30, n. 3, p. 121-128, 2017.

JIANG, H.; TIAN, Y.; CHEN, J.; ZHANG, Z.; XU, H. Enhanced uptake of drip-applied flonicamid by arbuscular mycorrhizal fungi and improved control of cotton aphid. **Pest Management Science**, v. 76, n. 12, p. 4222-4230, 2020.

KELLEY, A. P. The concept of mycorrhiza. **Mycologia**, v. 23, p. 147-151, 1931.

LIU, S.; GUO, X.; FENG, G.; MAIMAITIALI, B.; FAN, J.; HE, X. Indigenous arbuscular mycorrhizal fungi can alleviate salt stress and promote growth of cotton and maize in saline fields. **Plant and Soil**, v. 398, n. 1-2, p. 195-206, 2016.

MAI, W.; XUE, X.; FENG, G.; TIAN, C. Simultaneously maximizing root/mycorrhizal growth and phosphorus uptake by cotton plants by optimizing water and phosphorus management. **BMC Plant Biology**, v. 18, n. 1, p. 334, 2018.

MELO, G. W.; AMBROSINI, V. G.; VOGES, J. G.; CANTON, L.; COMIN, J. J.; BRUNETTO, G. **Uso de Fungos Micorrízicos Arbusculares em Videiras Jovens como Estratégia para Amenizar a Toxidez de Cobre**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2015. 5 p. (Embrapa Uva e Vinho. Comunicado técnico, 176).

MÉNDEZ, W. R.; CRUZ, Y. V.; DELGADO, A. L. C.; MESÉN, S. E. Wood Wide Web: communication through the mycorrhizal network. **Tecnología en Marcha**, v. 33, n. 4, p. 114-125, 2020.

MIRANDA, J. C. C. de; VILELA, L.; MIRANDA, L. N. de. **Manejo da micorriza arbuscular em sistemas integrados de lavoura e pastagens no Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 4 p. (Embrapa Cerrados. Comunicado técnico, 138).

MOOSAVI, S. G. Effect of humic acid and mycorrhiza application on morphological traits of cotton under drought stress. **Agricultural Science and Sustainable Production**, v. 30, n. 1, p. 121-139, 2020.

NUNES, H. B.; GOTO, B. T.; COIMBRA, J. L.; OLIVEIRA, J. S.; TAVARES, D. G.; ROCHA, M. S.; SILVA, F. L.; SOARES, A. C. F. Is arbuscular mycorrhizal

fungus species community affected by cotton growth management systems in the Brazilian Cerrado? **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, n. 4, e20180695, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/MqR4Jg9THcMCb6zmkdbGW8r/?lang=en> <https://www.scielo.br/j/aabc/a/MqR4Jg9THcMCb6zmkdbGW8r/?lang=en>. Acesso em: 17 mar. 2023.

OLIVEIRA, C. A.; GOMES, E. A.; MARRIEL, I. E.; GUIMARÃES, C. T.; SCHAFFERT, R. E.; LANA, U. G. P.; ALVES, V. M. C. **Análise da diversidade micorrizica na rizosfera de genótipos de milho (*Zea mays* L.) contrastantes para eficiência no uso de P utilizando eletroforese em gel de gradiente desnaturante (DGGE)**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 29 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 16).

OLIVEIRA, N. A. M. de; SOUZA, I. R. P. de; ALMEIDA, M. A.; SOUZA, F. A. de; MARRIEL, I. E.; LANA, U. G. de P.; OLIVEIRA, A. C. de; ANDRADE, C. de L. T. **Interação micorriza e rizobactérias no desenvolvimento radicular e no gradiente de alongação da folha de milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa milho e Sorgo, 2020. 21 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 220).

PATTINSON, G. S.; McGEE, P. A. High densities of arbuscular mycorrhizal fungi maintained during long fallows in soils used to grow cotton except when soils wetted periodically. **The New phytologist**, v. 136, n. 4, p. 571-580, 1997.

PORTO, A. L.; MIRANDA, C. H. B.; MACEDO, M. C. M. **Distribuição de esporos de fungos micorrízicos em solo dos cerrados sob diferentes sistemas de produção agropecuária**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2003. 23 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 138).

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. 876 p.

SALGADO, F. H. M.; MOREIRA, F. M. de S.; SIQUEIRA, J. O.; BARBOSA, R. H.; PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. C. Arbuscular mycorrhizal fungi and colonization stimulant in cotton and maize. **Ciência Rural**, v. 47, n. 6, e20151535, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/6H8sJT4tTf8CqRLGmFtkhfD/?lang=en>. Acesso em 17 mar. 2023.

SÁNCHEZ, L.; DAVID, J.; CANABAL, V. A. G.; INGE, A. Longitud del micelio y glomalina de micorrizas arbusculares: agregación del suelo en bosques y agroecosistemas andinos. **Acta Agronomía**, v. 71, n. 2, e101536, 2022. Disponível em: https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/101536. Acesso em: 17 mar. 2023.

SELOSSE, M-A; MINASIEWICZ, J.; BOULLARD, B. An annotated translation of Noël Bernard's 1899 article 'On the germination of *Neottia nidus-avis*'. **Mycorrhiza**, v. 27, n. 6, p. 611-618, 2017.

SHAH, C.; MALI, H.; MESARA, S.; DHAMELYIA, H.; SUBRAMANIAN, R. B. Combined inoculation of phosphate solubilizing bacteria with mycorrhizae to alleviate the phosphate deficiency in Banana. **Biológia**, v. 77, n. 9, p. 2657-2666, 2022.

SILVA, R. de A.; SANTOS, J. L.; OLIVEIRA, L. S.; SOARES, M. R. S.; SANTOS, S. M. S. dos. Biostimulants on mineral nutrition and fiber quality of cotton crop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 12, p. 1062-1066, 2016.

SOUZA, F. A. de; GOMES, E. A.; VASCONCELOS, M. J. V. de; SOUSA, S. M. de. **Micorrizas Arbusculares: Perspectivas para Aumento da Eficiência de Aquisição de Fósforo (P) em Poaceae – Gramíneas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 30 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 134).

SOUZA, F. A. de; MACENA, L. H. S.; GOMES-JUNIOR, C. C.; MEDEIROS, K. M. R.; CARNEIRO, A. A. **Fungo micorrízico arbuscular com potencial para o desenvolvimento de inoculante para a cultura do milho e para a produção de mudas florestais**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 16 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 276).

SOUZA, V. C. de; SILVA, R. A. da; CARDOSO, G. D.; BARRETO, A. F. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 612-618, 2006.

SUASSUNA, N. D.; MORELLO, C. de L.; PERINA, F. J.; SILVA FILHO, J. L. da S.; PEDROSA, M. B.; MAGALHÃES, F. O. da C.; SOFIATTI, V.; LAMAS, F. M.; CHITARRA, L. G.; FARIAS, F. J. C.; RODRIGUES DO O, W. C. R. BRS 500 B2RF: transgenic cotton cultivar expressing Cry1Ac, Cry2Ab, and CP4-EPSPS with multiple disease resistance. **Crop Breeding and Applied**

Biotechnology, v.21, n. 2, e35012127, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cbab/a/35ckJvrrRcPQr43CnCRhswR/?lang=en>. Acesso em: 17 mar. 2023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2016. 888 p.

THANGAVEL, P.; ANJUM, N. A.; MUTHUKUMAR, T.; SRIDEVI, G.; VASUDHEVAN, P.; MARUTHUPANDIAN, A. Arbuscular mycorrhizae: natural modulators of plant–nutrient relation and growth in stressful environments. **Archives of Microbiology**, v. 204, n. 5, e264, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35430692/>. Acesso em: 21 mar. 2023.

TORRISI, V.; PATTINSON, G. S.; MCGEE, P. A. Localized elongation of roots of cotton follows establishment of arbuscular mycorrhizas. **The New Phytologist**, v. 142, n. 1, p. 103-112, 1999.

VALGAZ, A. P. F. de; BARCOS-ARIAS, M.; NARANJO-MORÁN, J.; PEÑA, D. T.; MOREIRA-GOMÉZ, R. Ericaceous plants: A review for the bioprospecting of ericoid mycorrhizae from Ecuador. **Diversity**, v. 14, n. 8, e648, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-2818/14/8/648>. Acesso em: 21 mar. 2023.

WIPF, D.; KRAJINSKY, F.; VAN TUINEN, D.; RECORBET, G.; COURT, P.-E. Trading on the arbuscular mycorrhiza market: from arbuscules to common mycorrhizal networks. **New Phytologist**, v. 223, n. 3, p. 1127-1142, 2019.

ZARRINFAR, H.; MIRHENDI, H.; MAKIMURA, K.; SATOH, K.; KHODADADI, H.; PAKNEJAD, O. Use of mycological, nested PCR, and real-time PCR methods on BAL fluids for detection of *Aspergillus fumigatus* and *A. flavus* in solid organ transplant recipients. **Mycopathologia**, v. 176, n. 5-6, p. 377-385, 2013.

ZHANG, G.; RAZA, W.; WANG, X.; RAN, W.; SHEN, Q. Systemic modification of cotton root exudates induced by arbuscular mycorrhizal fungi and *Bacillus vallismortis* HJ-5 and their effects on *Verticillium* wilt disease. **Applied Soil Ecology**, v. 61, p. 85-91, 2012.

ZHANG, Q.; GAO, X.; REN, Y.; DING, X.; QIU, J.; LI, N.; ZENG, F.; CHU, Z. **Improvement of *Verticillium* wilt resistance by applying Arbuscular**

Mycorrhizal Fungi to a cotton variety with high symbiotic efficiency under field conditions. International Journal of Molecular Sciences, v. 19, n. 1, p. 241, 2018.

ZONTA, J. H.; BRANDÃO, Z. N.; MEDEIROS, J. da C.; SANA, R. S.; SOFIATTI, V. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com algodoeiro no Cerrado do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 6, p. 595-602, 2014.

