

***Acaulospora longula* MULTIPLICADO EM SUBSTRATO COM ALTO FÓSFORO OTIMIZA A PRODUÇÃO DE FLAVONONAS EM FOLHAS DE *Zea mays*?**

Rita de Cássia Ribeiro da Luz^{1,2}, Fábio Sérgio Barbosa da Silva^{1,2}

¹Laboratório de Análises, Pesquisas e Estudos em Micorrizas – LAPEM, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil.
(rita.cassialuz@upe.br)

²Programa de Pós-graduação em Biologia Celular e Molecular Aplicada, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil.

Resumo: A multiplicação de isolados micorrízicos em meio com alto fósforo (P) pode ser uma forma de viabilizar o uso dessa agrobiotecnologia em sistemas de cultivo. O objetivo foi verificar o efeito de *Acaulospora longula* multiplicado em alto P (Al+) na produção de flavononas em folhas de *Zea mays* cultivada em meio com alta fertilidade fosfatada. O uso de Al+ não foi eficiente em otimizar a produção de flavononas nas folhas do milho cultivado em substrato suplementado com P.

Palavras-chave: Bioativos; fertilização inorgânica; folhas; fungos micorrízicos arbusculares; milho.

INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um macronutriente essencial nos sistemas agrícolas, que pode ser absorvido pelas plantas na forma de monohidrogenofosfato (HPO_4^{2-}) e de dihidrogenofosfato (H_2PO_4) (Fang et al., 2024). No entanto, o P pode reagir com óxidos de alumínio (Scherwies et al., 2025) e de ferro (Yang et al., 2024) no solo, tornando-o indisponível para as plantas. Assim, é necessária a aplicação excessiva de fertilizantes fosfatados para garantir a disponibilidade desse macronutriente para a produção vegetal. Nesse contexto, estima-se que o uso de P aumente em mais de 100 % nos próximos anos (Withers et al., 2018).

Além da importância para as plantas, o P também pode modular a atividade de microrganismos na rizosfera, em especial aqueles que estimulam o desenvolvimento vegetal, como fungos micorrízicos arbusculares (FMA) (Tavarini et al., 2020; Falcão et al., 2024). Quando associados ao hospedeiro, os FMA otimizam o crescimento vegetal (Luz et al., 2023), a produção de compostos bioativos e algumas bioatividades (Barreto et al., 2025 a,b; Falcão et al., 2025; Falcão et al., 2026; Muniz et al., 2025).

Apesar do potencial agrobiotecnológico dos FMA, a eficiência simbiótica pode ser modulada pela fertilidade fosfatada (Falcão et al., 2024). Nesse contexto, é necessária a definição de estratégias que viabilizem a utilização desses fungos em sistemas de produção agrícola, que apresentem elevados níveis de P edáfico. Por exemplo, a multiplicação de isolados

micorrízicos em substrato com alta disponibilidade de fósforo pode favorecer a produção de propágulos eficientes para serem empregados nos meios de produção vegetal que utilizam, frequentemente, fertilizantes fosfatados (Lucic-Mercy et al., 2024).

Nessa temática, poucos estudos sobre FMA adaptados à alta fertilidade fosfatada e seus benefícios para o crescimento vegetal e para a produção de compostos bioativos foram publicados (Bourles et al., 2020; Amir et al., 2021; Hazzoumi et al., 2022; Lucic-Mercy et al., 2024; Sahu et al., 2025). Apesar desses trabalhos, pouco está esclarecido sobre o potencial de isolados de *Acaulospora longula* adaptados à alta disponibilidade de P.

Nessa perspectiva, é relevante investigar o efeito de *A. longula* em otimizar a produção de biomoléculas promotoras de saúde em espécies com potencial medicinal, como *Zea mays* L., gramínea amplamente cultivada no Brasil (Erenstein et al., 2022) e que tem diversas propriedades medicinais atribuídas aos compostos fenólicos na fitomassa (Ratha et al., 2023; Roh et al., 2016).

Por isso, foi testada a hipótese de que *A. longula* multiplicado em condições de alto fósforo pode otimizar a produção de flavononas totais nas folhas de *Z. mays* cultivadas em solo suplementado com P. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de *A. longula*, multiplicado em meio com alta fertilidade fosfatada, na otimização da produção de flavononas foliares de *Zea mays* cultivada em substrato com 39 mg de P.

MATERIAL E MÉTODOS

Um experimento com *Z. mays* foi conduzido em telado experimental, localizado no Instituto de Ciências Biológicas do Campus Santo Amaro da Universidade de Pernambuco (UPE), em Recife - PE, e as avaliações foram realizadas no Laboratório de Análises, Pesquisas e Estudos em Micorrizas (LAPEM/UPE).

Multiplicação do isolado de *Acaulospora longula* Spain & N.C. Schenck em substrato com alta disponibilidade de P

O inóculo de *A. longula*, registrado no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen) sob o código ABC3019, foi multiplicado em substrato esterilizado (areia e vermiculita 1:1, v/v) e irrigado, em dias alternados, com solução nutritiva sem Tris-HCl (Silva et al., 2005), com dois níveis de fósforo (P): baixo (3 μM de KH_2PO_4) (Al) e alto (15 μM de KH_2PO_4) (Al+), utilizando-se *Panicum miliaceum* L. (painço) como hospedeiro. Após três meses em casa de vegetação (temperatura mínima de 23,1 °C e máxima de 34,8 °C e umidade relativa do ar mínima de 56 % e máxima de 97 %), os substratos foram coletados, as raízes fragmentadas em segmentos de aproximadamente 1 cm e homogeneizadas ao solo, resultando no solo-inóculo. Esse foi armazenado a 4 °C até o momento da inoculação (Figura 1). Os inóculos de *A. longula* (Al) e de *A. longula* (Al+) apresentaram, aproximadamente, 53 % e 34 % de infectividade, respectivamente, de acordo com o método de Percentagem Média de Infecção (MIP) (INVAM, 2026).

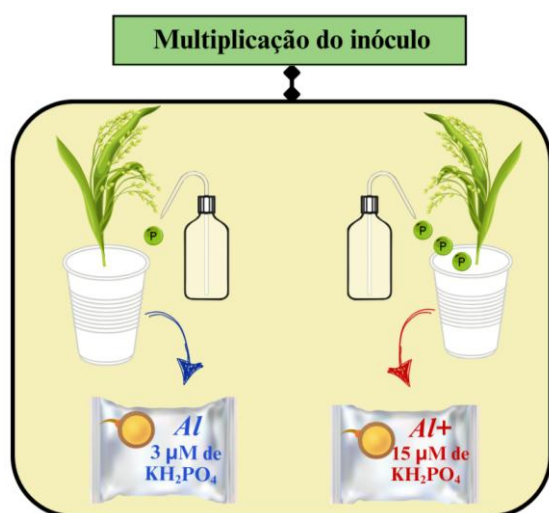


Figura 1. Multiplicação do isolado de *Acaulospora longula* Spain & N.C. Schenck em dois níveis de fósforo (P): 3 e 15 μM de KH_2PO_4 , utilizando *Panicum miliaceum* L. como hospedeiro. KH_2PO_4 = fosfato de potássio monobásico. Feito com Canva.com.

Substrato para cultivo de *Zea mays* L.

Para a produção de *Z. mays* foram utilizados potes com capacidade de 2 L preenchidos com 1,946 kg de uma mistura de areia (Granumix®, Brasil) e substrato para mudas (All Garden®, Brasil) (1:1, v/v), com ou sem a adição de 64 mg de superfosfato simples (Shopagro Agronegócios Ltda, Brasil). O substrato sem adição de P apresentou as seguintes características químicas: pH (H_2O , 1:2,5, v/v), 8,1; condutividade elétrica, 9,77 dS m^{-1} ; cálcio, 7,20 cmolc dm^{-3} ; magnésio, 1,80 cmolc dm^{-3} ; potássio, 0,34 cmolc dm^{-3} ; sódio, 3,72 cmolc dm^{-3} ; alumínio, 0,0 cmolc dm^{-3} ; fósforo, 22 mg dm^{-3} (Mehlich); matéria orgânica, 57,24 g kg^{-1} . Para os potes contendo substrato suplementado com P, o teor desse macronutriente foi de 39 mg dm^{-3} (Mehlich).

Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em arranjo fatorial de 2 x 3: 2 níveis de fósforo (22 ou 39 mg de P kg^{-1} substrato de cultivo) x 3 tratamentos de inoculação micorrízica (plantas inoculadas com *A. longula* multiplicado em baixa fertilidade fosfatada (Al), com *A. longula* multiplicado em alta fertilidade fosfatada (Al+) e plantas controle sem inoculação), em 5 repetições, totalizando 30 unidades experimentais (Figura 2).

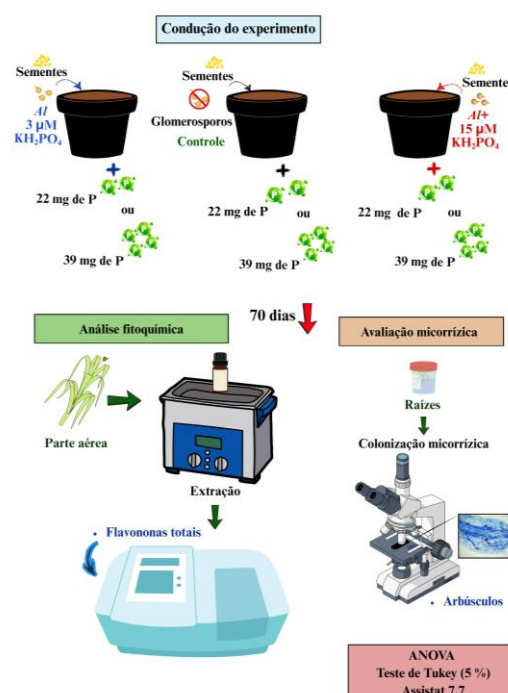


Figura 2. Delineamento experimental e análises fitoquímica e micorrízica em *Zea mays* L., inoculada ou não com *Acaulospora longula* Spain & N.C. Schenck multiplicado em alto P (Al+) e baixo P (Al) e cultivada em substrato com 39 mg de P ou 22 mg de P, após 70 dias em telado experimental. Feito com Canva.com.

Experimento de *Zea mays*

Sementes de *Z. mays* foram desinfestadas com NaClO (0,05 % / 2 minutos), lavadas com água destilada e colocadas para germinar nos respectivos potes. Nesse momento, o solo-inóculo, contendo 150 esporos, hifas e fragmentos de raízes colonizadas pelos FMA, foi depositado abaixo das sementes, exceto para o tratamento controle (Figura 2).

O experimento foi conduzido em telado experimental por 70 dias, em condições ambientais de temperatura mínima de 23,1 °C e máxima de 34,9 °C e umidade relativa do ar com mínima de 56 % e máxima de 97 %, e luminosidade. As plantas foram irrigadas com água filtrada de modo a manter 70 % do volume de poros do substrato preenchido com água (Vomocil, 1965) (Figura 3).

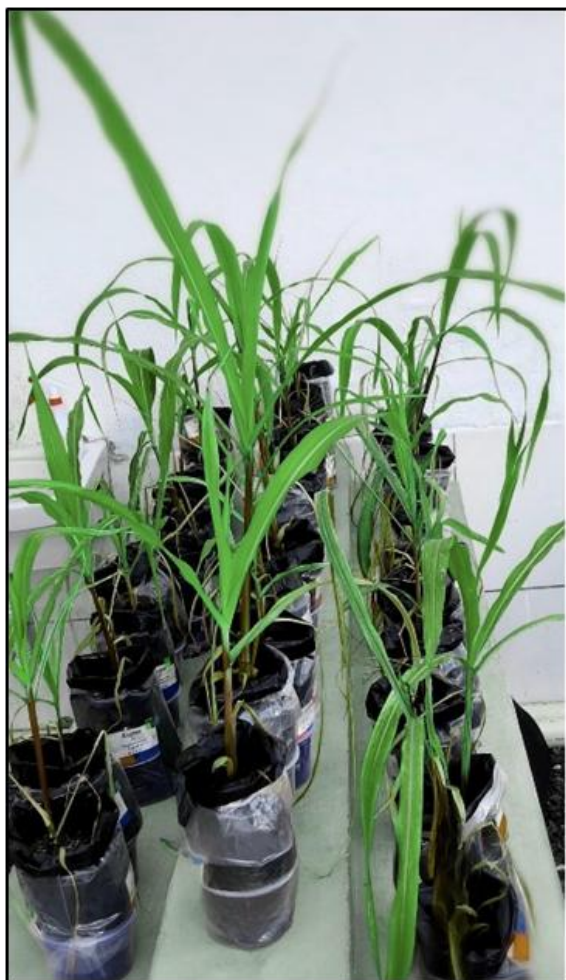


Figura 3. *Zea mays* L. não inoculada (controle) ou inoculadas com *Acaulospora longula* Spain & N.C. Schenck, multiplicado em alto P (*Al+*) e baixo P (*Al*) e cultivadas em substrato com 39 mg de P ou 22 mg de P, após 70 dias em telado experimental.

Coleta do experimento de *Zea mays*

Após 70 dias, a parte aérea e as raízes foram coletadas (Figura 3). As folhas foram estabilizadas termicamente (45 °C por 7 dias), picotadas e foram utilizados 100 mg para preparo dos extratos em etanol 70 % por extração assistida em banho ultrassônico (40 kHz, 100 W, 20 °C) (Goltz et al., 2018, adaptado). A partir dos extratos foram quantificadas as flavononas totais, de acordo com a metodologia descrita por Nagy e Grancai (1996) modificada por Popova et al. (2004). As raízes foram lavadas, clarificadas e coradas com azul de Trypan (Phillips e Hayman, 1970, modificado) para avaliação da colonização por arbúsculos (McGonigle et al., 1990) (Figura 2).

Análise estatística

Os dados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de *Tukey* (5 %), utilizando-se o programa Assistat versão 7.7. A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de *Shapiro-Wilk*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A hipótese deste estudo não foi confirmada, pois o isolado micorrízico produzido em substrato com alta fertilidade fosfatada (*Al+*) não foi eficiente em modular positivamente a biossíntese de flavononas totais foliares de *Z. mays* cultivada em substrato suplementado com 39 mg de P. A produção dessa biomolécula foi reduzida nas plantas associadas a *Al+* e cultivadas em solo fertilizado com P (5,01 mg g⁻¹ de folhas secas), em comparação às plantas não micorrizadas (7,08 mg g⁻¹ de folhas secas) (Figuras 4 e 5). O comportamento de *Al+* em substrato suplementado com P indica que, provavelmente, um ciclo de multiplicação do inóculo pode não ter sido suficiente para adaptá-lo a tal condição edáfica. Considerando FMA adaptados, Sahu et al. (2025) registraram a eficiência de *Glomus* Tul. & C. Tul. adaptado naturalmente ao P na otimização da produção de compostos fenólicos em hospedeiro cultivado em substrato suplementado com P. Essa resposta confirma que fungos adaptados ao P mantêm a funcionalidade simbiótica na mesma condição edáfica na qual foram produzidos, algo não registrado neste estudo, reforçando que os comportamentos dependem da espécie de FMA testada.

Por outro lado, a produção de flavononas foliares foi otimizada em quase 120 % nas plantas micorrizadas com *A. longula* multiplicado em meio com alta fertilidade fosfatada (*Al+*) e mantidas em substrato com menor quantidade de P (22 mg de P dm⁻³), quando comparadas ao controle (Figuras 4 e 5). Resultados contrários foram encontrados por Hazzoumi et al. (2022), os quais relataram maior produção de compostos fenólicos em *Triticum aestivum* L. inoculado com um isolado adaptado à alta

fertilidade fosfatada e cultivado em condição edáfica semelhante à de origem do inóculo, quando comparado às plantas mantidas em substrato não fertilizado com fósforo.

De forma mais expressiva, *A. longula* multiplicado em substrato com baixa fertilidade fosfatada (*Al*) otimizou em cerca de 120 % a produção de flavononas foliares de *Z. mays* cultivada em substrato sem suplementação de P, em comparação às plantas que não receberam FMA. Por outro lado, plantas mantidas em substrato fertilizado e inoculadas com *Al* tiveram redução de quase três vezes (2,49 mg g⁻¹ de folhas secas) na biossíntese desse bioativo, em relação ao registrado nas não micorrizadas (7,08 mg g⁻¹ de folhas secas) (Figuras 4 e 5).

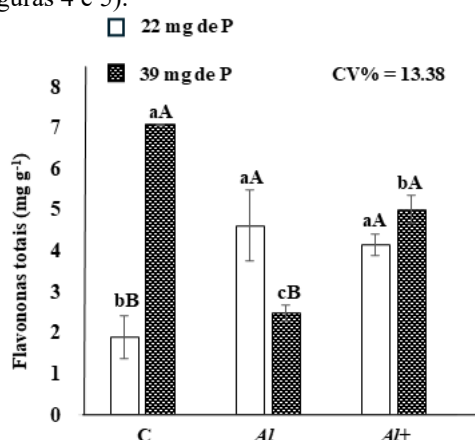


Figura 4. Concentração de flavononas totais (mg g⁻¹ folhas secas) nas folhas de *Zea mays* L. inoculada ou não com *Acaulospora longula* Spain & N.C. Schenck multiplicado em alto P (*Al+*) e baixo P (*Al*) e cultivada em substrato com 39 mg de P ou 22 mg de P, após 70 dias em telado experimental. Médias ($n=5$) seguidas pela mesma letra, minúsculas entre os tratamentos de inoculação e maiúsculas entre as doses de fósforo, não diferem segundo o teste de Tukey (5 %). CV % = Coeficiente de variação. Barras significam desvio padrão da média.

Além disso, a produção de arbúsculos no córtex radicular não explicou os resultados obtidos neste estudo, pois, mesmo com a maior produção dessas estruturas em plantas associadas a *A. longula* multiplicado em baixa fertilidade fosfatada (*Al*), em comparação às plantas do controle, essa ocupação do córtex não foi significativamente superior à observada em *Z. mays* colonizadas por *A. longula* multiplicado em alta fertilidade fosfatada (*Al+*) (Tabela 1). Nesse aspecto, Lucic-Mercy et al. (2024) observaram colonização micorrízica significativamente maior em plantas inoculadas com *Rhizophagus irregularis* (Blaszczak, Wubet, Renker & Buscot) C. Walker & A. Schüßler adaptado artificialmente ao P, em relação àquelas associadas ao mesmo isolado não adaptado a essa condição edáfica. Além disso, houve correlação positiva desse parâmetro micorrízico com a expressão

de genes transportadores de açúcares, sugerindo interação de troca mais eficiente entre os simbiontes. Nesse sentido, o melhor desempenho de *Al* na promoção da biossíntese de flavononas foliares pode ser atribuído ao maior percentual de infectividade, cerca de 53 %. No entanto, essa eficiência não se manteve em plantas cultivadas em substrato fertilizado com 39 mg de P.

Tabela 1. Colonização micorrízica (%) por arbúsculos em *Zea mays* L. não inoculada (C= controle) ou inoculada com *Acaulospora longula* Spain & N.C. Schenck, multiplicado em substrato com alto P (*Al+*) e baixo P (*Al*), independentemente do nível de P no substrato

Tratamentos de inoculação	Arbúsculos (%)
Controle	26,50 ± 12,3 b
<i>Acaulospora longula</i> (<i>Al</i>)	40,90 ± 1,80 a
<i>Acaulospora longula</i> (<i>Al+</i>)	30,70 ± 2,60 ab
CV %	23,83

Médias ($n=5$) seguidas da mesma letra não diferem segundo o teste de Tukey (5 %). CV % = Coeficiente de variação.

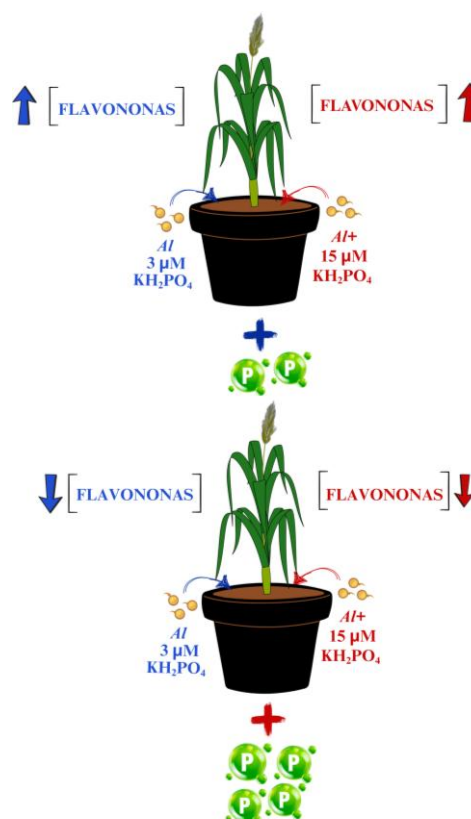


Figura 5. Resumo gráfico do desempenho do isolado de *Acaulospora longula* Spain & N.C. Schenck, multiplicado em alto P (15 μM de KH₂PO₄)



(Al⁺) ou baixo P (3 µM de KH₂PO₄) (Al), na produção de flavononas foliares de *Zea mays* L. cultivada em substrato com ou sem adição de fósforo. Feito com Canva.com.

CONCLUSÃO

A multiplicação do inóculo de *A. longula* em alta fertilidade fosfatada é dispensável para a produção otimizada de flavononas foliares de *Z. mays* cultivada em substrato com alta disponibilidade de P. Assim, os produtores podem utilizar solo-inóculo de Al para obter fitomassa dessa gramínea com maiores teores desse bioativo, investindo em doses menores de fertilizantes fosfatados. Mais pesquisas são necessárias para definir a quantidade de ciclos de multiplicação para adaptação dessa espécie micorrízica ao P.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de doutorado à Rita de Cássia Ribeiro da Luz (142234/2024-9) e de Produtividade em Pesquisa a Fábio Sérgio Barbosa da Silva (313859/2021-3) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- Amir, H., Gensous, S., Cavaloc, Y., Wantiez, L., Phosphorus fertilization of an ultramafic soil reduced effects of arbuscular mycorrhizal fungi but not mycorrhizal colonization. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 21, p. 3544-3554, 2021.
- Barreto, C. B., Barbalho-Neto, F., Bastos Filho, C. J. A., Wu, Q-S, Silva, M. D. C., Silva, F. S. B. Does mycorrhizal biotechnology modulate lectin accumulation in the stem of *Schinus terebinthifolia* Raddi seedlings? *ACS Omega*, v. 10, p. 43291-43299, 2025.
- Barreto, C. B., Kapoor, R., Wu, Q-S, Hijri, M., Alberton, O., Bastos-Filho, C. J. A., Silva, M. D. C., Silva, F. S. B. Bioactive plant secondary metabolite production enhanced by AMF choice in mixed inoculum. *Rhizosphere*, v. 36, p. 101198, 2025b.
- Bourles, A., Guentas, L., Charvis, C., Gensous, S., Majorel, C., Crossay, T., Amir, H. Co-inoculation with a bacterium and arbuscular mycorrhizal fungi improves root colonization, plant mineral nutrition, and plant growth of a *Cyperaceae* plant in an ultramafic soil. *Mycorrhiza*, v. 30, p. 121-131, 2020.
- Erenstein, O., Jaleta, M., Sonder, K., Mottaleb, K., Prasanna, B. M. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. *Food security*, v. 14, p. 1295-1319, 2022.
- Falcão, E. L., Barreto, C.B., Hijri, M., Bastos Filho, C. J. A., Silva, F. S. B. No synergy between P and AMF Inoculation to improve sun protection factor production in *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan leaves. *Rhizosphere*, v. 30, p. 100916, 2024.
- Falcão, E. L., Carvalho, J. G. L., Silva Almeida, J. R. G., Wu, Q. S., Silva, F. S. B. An overlooked synergy: arbuscular mycorrhizal fungi and increased accumulation of plant saponins. *Rhizosphere*, v. 37, p. 101274, 2026.
- Falcão, E. L., Silva, F. S. B. 24 years of cold storage of an AMF inoculant does not affect its symbiotic efficiency. *Rhizosphere*, v. 36, p. 101193, 2025.
- Fang, X., Yang, D., Deng, L., Zhang, Y., Lin, Z., Zhou, J., Ma, L. Phosphorus uptake, transport, and signaling in woody and model plants. *Forestry Research*, v. 4, p. e017, 2024.
- Goltz, C., Avila, S., Barbieri, J. B., Igarashi-Mafra, L., Mafra, M. R. Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Macela (Achyrocline satureioides)* extracts. *Industrial Crops and Products*, v. 115, p. 227-234, 2018.
- Hazzoumi, Z., Azaroual, S.E., El Mernissi, N., Zaroual, Y., Duponnois, R., Bouizgarne, B., Meftah Kadmiri, I. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi isolated from rock phosphate mine and agricultural soil on the improvement of wheat plant growth. *Frontiers in Microbiology*, v. 13, p. 881442, 2022.
- International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi – INVAM, 2019. Mean Infection Percentage (MIP) Method. <https://invam.wvu.edu/methods/infectivityassays/mean-infection-percentge-mip>. Acesso em 10 de fevereiro de 2026.
- Lucie-Mercy, E., Mercy, L., Jeschke, A., Schneider, C., Franken, P. Short-term artificial adaptation of *Rhizoglyphus irregularis* to high phosphate levels and its implications for fungal-plant interactions: phenotypic and transcriptomic insights. *Frontiers in Plant Science*, v. 15, p. 1385245, 2024.
- Luz, R.C.R., Wu, Q.S., Bastos-Filho, C.J.A., Silva, F.A., Silva, F.S.B. *Entrophospora etunicata*: A mycorrhizal biostimulant with the potential to enhance the production of bioactive health-promoting compounds in leaves of *Capsicum chinense* seedlings. *Rhizosphere*, v. 28, p. 100791, 2023.



- McGonigle, T. P., Miller, M. H., Evans, D. G., Fairchild, G. L., Swan, J. A. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular- arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, v. 115, p. 495-501, 1990.
- Muniz, B. C., Costa, C. A. R., Falcao, E. L., Almeida, J. R. G. S., Wu, Q-S, Bastos Filho, C. J. A., Silva, F. S. B. Anti-tyrosinase activity of *Hymenaea martiana* is increased by arbuscular mycorrhizal fungi inoculated into the rhizosphere. *Rhizosphere*, v. 35, p. 101134, 2025.
- Nagy, M., Grancai, D. Colorimetric determination of flavanones in propolis. *Pharmazie*, v. 51, p. 100-101, 1996.
- Phillips, J. M., Hayman, D. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, v. 48, p. 388. 1970.
- Popova, M., Bankova, V., Butovska, D., Petkov, V., Nikolova-Damyanova, B., Sabatini, A. G., Bogdanov, S. Validated methods for the quantification of biologically active constituents of poplar-type propolis. *Phytochemical Analysis*, v. 15, p. 235-240, 2004.
- Ratha, J., Yongram, C., Panyatip, P., Powijitkul, P., Siriparu, P., Datham, S., Puthongking, P. Polyphenol and tryptophan contents of purple corn (*Zea mays* L.) variety KND and butterfly pea (*Clitoria ternatea*) aqueous extracts: Insights into phytochemical profiles with antioxidant activities and PCA analysis. *Plants*, v. 12, p. 603, 2023.
- Roh, K. B., Kim, H., Shin, S., Kim, Y. S., Lee, J. A., Kim, M. O., Park, D. Anti-inflammatory effects of *Zea mays* L. husk extracts. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, v. 16, p. 298, 2016.
- Sahu, A., Kishore, K., Kumar, U., Selvakumar, G., Sahoo, S. C., Dash, S. N., Nayak, R. K. Effectiveness of mycorrhiza on soil enzyme activity, nutrient content and fruit quality of dragon fruit in acidic soil conditions. *Applied Fruit Science*, v. 67, p. 156, 2025.
- Scherwietes, E., Stein, M., Six, J., Bawen, T. K., Schaller, J. Phosphorus and Aluminium mobilisation in ferralsols: effects of local sediment amendments, liming and straw application in a lab study. *Frontiers in Environmental Science*, v. 13, p. 1628554, 2025.
- Silva, F. S. B., Yano-Melo, A. M., Brandão, J. A. C., Maia, L. C. Sporulation of arbuscular mycorrhizal fungi using Tris-HCl buffer in addition to nutrient solutions. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 36, p. 327-332, 2005.
- Tavarini, S., Clemente, C., Bender, C., Angelini, L. G. Health-promoting compounds in stevia: The effect of mycorrhizal symbiosis, phosphorus supply and harvest time. *Molecules*, v. 25, p. 5399, 2020.
- Vomocil, J.A. Porosity. *Methods of soil analysis: Part 1 physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*, v. 9, p. 299-314, 1965.
- Withers, P. J. A., Rodrigues, M., Soltangheisi, A., Carvalho, T. S., Guilherme, L. R., Benites, V. D. M. et al. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. *Scientific Reports*, v. 8, p. 1-13, 2018.
- Yang, X., Liu, C., Liang, C., Wang, T., Tian, J. The phosphorus-iron nexus: decoding the nutrients interaction in soil and plant. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 25, p. 6992, 2024.