



PHYSIOTEK
CROP SCIENCE

PHYSIOTEK LETTERS

É possível aumentar a eficiência de uso de fósforo pela nutrição com zinco em algodoeiro?

Elcio Ferreira dos Santos

Professor EBTT no Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS) – Campus Nova Andradina

Bacharel em Agronomia pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS-Aquidauana)

Mestre e Doutor em Ciências pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da Universidade de São Paulo (USP)

Revisão: Prof. Dr. André Rodrigues dos Reis (E-mail: andre.reis@unesp.br)

Edição: Maria Gabriela Dantas B. Lanza (E-mail: maria.dantas@unesp.br)

A produção agrícola de algodão no Brasil é limitada pela disponibilidade de fósforo (P). Os solos das maiores regiões produtoras de algodão, em sua maioria, apresentam altos teores de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, os quais podem adsorver o ânion fosfato na superfície das partículas. Em virtude da baixa recuperação do P pelas plantas, altas doses deste nutriente são anualmente aplicadas via fertilizante a fim de garantir uma produção adequada (RODRIGUES et al., 2016). Mesmo assim, as quantidades de P lábil no solo muitas vezes permanecem baixas, tornando o processo de adubação fosfatada caro e ineficiente (PAVINATO et al., 2017). Nesse sentido, o número de trabalhos buscando o uso eficiente de P em sistemas agrícolas vem aumentando de forma expressiva desde o início do século 21 (Figura 1).

As previsões de aumentos constantes nos custos de fertilizantes de P, ligados ao aumento da demanda global de P e declínio das reservas de rocha fosfática levantam uma série de preocupações sobre o uso eficiente de este recurso não renovável. Para reduzir a pressão crescente no mercado global, especialmente em economias emergentes como o Brasil, onde se espera que a demanda futura de P seja alta (WITHERS et al., 2018) Dessa forma, a busca pelo aumento da eficiência do uso de P nos sistemas de cultivo do Brasil e redução da dependência de altas taxas de fertilizantes é essencial para uma maior sustentabilidade na agricultura. Recentemente para o algodoeiro, por meio de estudos de interação nutricional, foi demonstrando que é possível o aumento da eficiência nutricional de P nessa espécie pela adubação com zinco (Zn) (SANTOS, 2018; SANTOS et al., 2019).

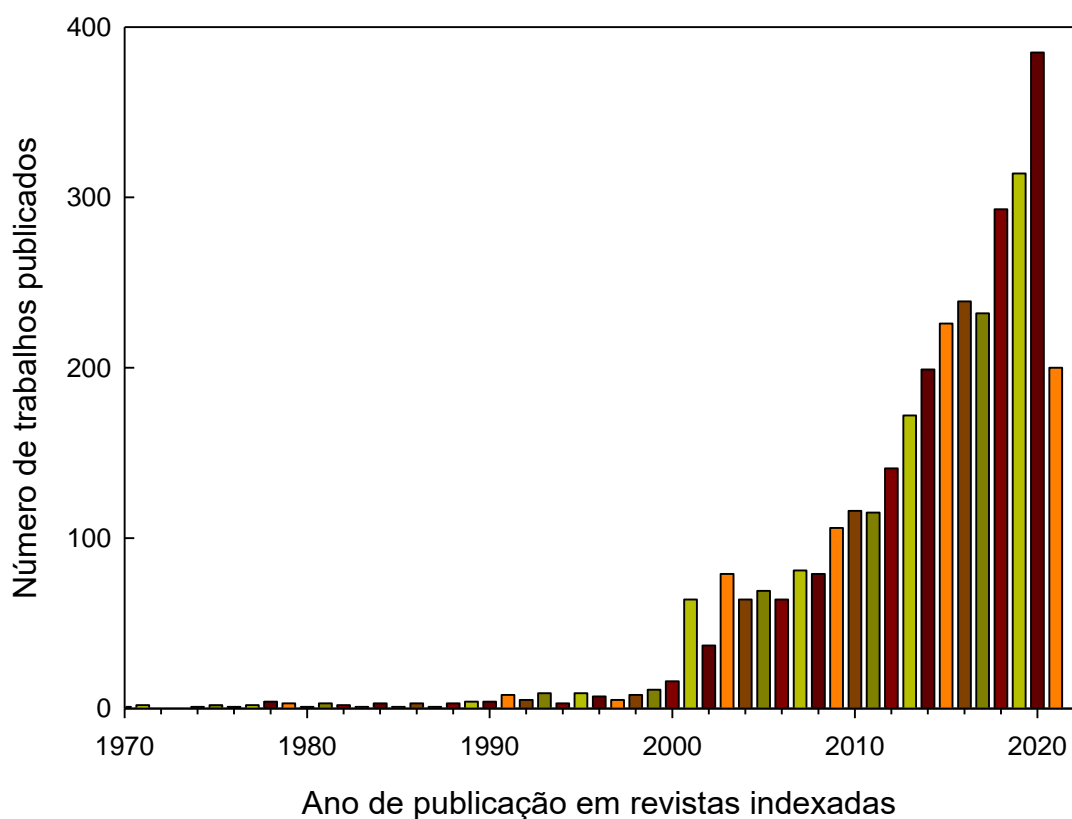


Figura 1. Trabalhos realizados desde 1970 explorando a eficiência nutricional de fósforo (P) em diferentes culturas agrícolas. Fonte: PubMed

A interação $P \times Zn$ vem sendo alvo de discussão por muitos anos. As particularidades das respostas genotípicas a essa interação têm fomentado uma série de discussões acerca dos fenômenos fisiológicos que envolvem a homeostase P-Zn no metabolismo vegetal. De uma maneira geral, os resultados descrevem mecanismos de regulação de absorção e uso desses nutrientes, sendo que a deficiência ou excesso de cada um deles modifica o balanço nutricional (BROADLEY et al., 2010; PONGRAC et al., 2018; SANTOS et al., 2019; PONGRAC et al., 2020). Contudo, Santos et al. (2019) demonstraram que a adequada concentração de Zn foliar no algodoeiro pode aumentar a eficiência nutricional de P. Foi observado que plantas de algodão deficientes em Zn reduzem seu controle na absorção de P, da mesma forma que uma nutrição adequada de Zn no algodoeiro aumenta a capacidade de absorção e uso de P em algodoeiro quando cultivado em condições de P limitante.

A deficiência de Zn no algodoeiro prejudica a absorção adequada de P no algodoeiro, podendo resultar em sintomas de toxicidade de P em condições hidropônicas (Figura 2). Do mesmo modo, pouco P disponível para absorção pela planta prejudica a absorção adequada de Zn, induzindo sintomas de toxicidade por Zn. Desta maneira, fica claro que o maior crescimento da planta de algodoeiro só é alcançado com alta disponibilidade de P e Zn conjunta, e a maior disponibilidade de apenas um desses nutrientes separadamente pode levar a deficiência ou toxicidade, resultando em baixa eficiência na assimilação de CO_2 , acarretando perda de produtividade.



Figura 2. Sintomas de toxicidade por P em folha diagnósticas de algodoeiro cultivado em solução nutritiva com altos teores de P (4 mM) e omissão de Zn em solução. Fonte: Modificado de Santos et al. (2019)

Destaca-se também que em condições de alta disponibilidade de P pode ser observado o efeito de diluição em relação ao Zn. Isso ocorre em função do alto crescimento da parte aérea que não acompanha o aumento da capacidade de absorção de Zn. Entretanto, deve-se ressaltar também que os resultados na literatura para a deficiência de Zn induzida pelo P poderiam raramente ser explicados somente pelo efeito de diluição, pois raramente também são relatadas as reduções das concentrações de outros micronutrientes (BOUAIN et al., 2014; ZHANG et al., 2012).

O desequilíbrio no suprimento de P e de Zn às plantas de algodão promove redução nas trocas gasosas, nas relações fotoquímicas e ineficiência do metabolismo antioxidativo. O desequilíbrio no suprimento de P e de Zn para o algodoeiro desregula uma série de eventos biológicos, resultando em deficiência por P ou Zn. A adequada nutrição por Zn em plantas de algodoeiro cultivadas com baixos teores de P, promove a atenuação do estresse oxidativo causado pela deficiência por P, pelo estímulo de enzimas relacionadas com o sistema

antioxidativo (SANTOS, 2018). Outro fator que explica o aumento da eficiência nutricional de P pela adequada nutrição por Zn em algodoeiro, é o incremento da atividade da fosfatase ácida – principal enzima relacionada a eficiência de uso de P no metabolismo vegetal.

Foi relatado que plantas com teores foliares de Zn adequados e deficientes em P demonstram uma maior atividade da fosfatase ácida maior do que plantas deficientes em P e Zn (SANTOS, 2018). A alta atividade da enzima fosfatase ácida como resposta adaptativa à baixa disponibilidade de P tem sido observada em diversas culturas. Em condições de baixa disponibilidade de P as plantas utilizam a fosfatase ácida para promover a desfosforilação de compostos orgânicos, disponibilizando P inorgânico para manutenção do metabolismo celular (ZEBROWSKA et al, 2011; ZAMBROSI et al., 2015). Portanto, os efeitos do Zn na eficiência nutricional de P pelo algodoeiro é resultado de um conjunto de modificações no metabolismo vegetal que se inicia a nível molecular.

Em condições normais sem estresses fisiológicos, a dinâmica nutricional de P é controlada por uma série de sinais moleculares. Contudo, a deficiência de Zn reduz a expressão de genes que codificam proteínas responsáveis pela absorção de P pelas raízes, como a expressão de genes da família PHT1 (HUANG et al., 2000; BOUAIN et al., 2014; KHAN et al., 2014).

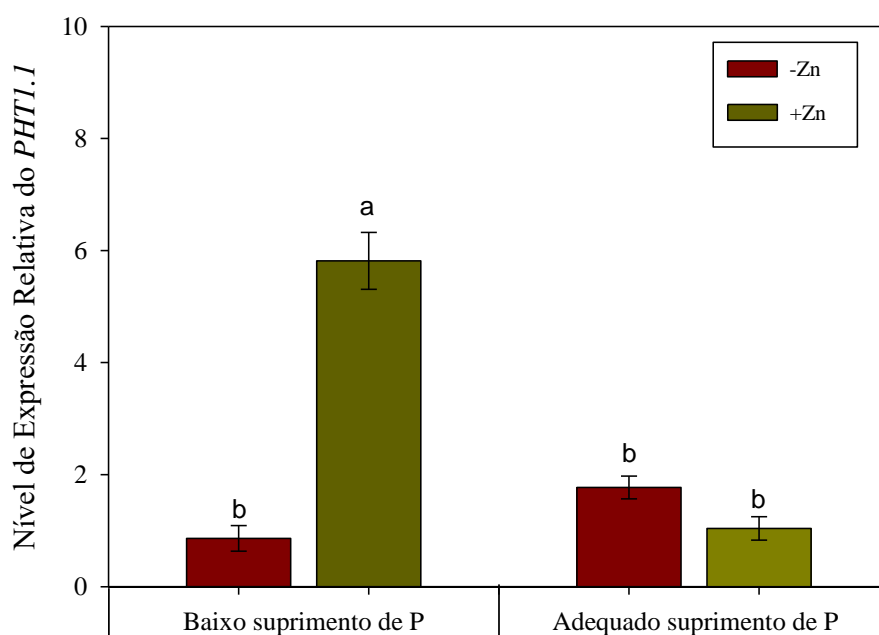


Figura 3. Comparação da expressão do gene PHT1.1 em raízes de algodoeiro não deficientes em zinco (+Zn/vermelho escuro) com plantas de algodão deficientes em Zn (-Zn/amarelo escuro), cultivadas em solução nutritiva com baixa concentração de P (0,5 mM). Fonte: SANTOS (2018)

O PHT1 está envolvido na absorção de P a nível celular, bem como envolvidos na sinalização de deficiência por P (MUCHHAL e RAGHOTHAMA, 1999; SECCO et al., 2010). Contudo, no algodoeiro a expressão de genes da família PHT1 em resposta a deficiência por P, só ocorre em plantas com suprimento

adequando de Zn (Figura 3). Isso indica claramente que a expressão de genes PHT1 é controlada não somente pelo status P, mas também pelas concentrações foliar de Zn em algodoeiro, provavelmente através de uma coordenação entre a sinalização da deficiência por P e uma adequada concentração de Zn foliar. Assim, sob deficiência de Zn, as plantas de algodoeiro perdem a capacidade de regular a expressão de alguns genes que codificam transportadores de P de alta afinidade nas raízes. Curiosamente, a interação P × Zn parece ser específica, uma vez que a expressão de transportadores de P não é induzido por outros macro ou micronutrientes testado em raízes de cevada (HUANG et al., 2000). No entanto, a regulação complexa da interação P × Zn ainda precisa ser investigada para indicar a sinalização de vias que são ativadas pela adequada concentração de Zn foliar.

As interações de P com outros nutrientes têm sido geralmente negligenciados no manejo de adubação. O uso do conhecimento de interações mais amplas de nutrientes deve ser utilizado para o aumento da eficiência de uso e absorção de P pelas culturas agrícolas. O fornecimento ideal de Zn é crucial para obtenção do efeito máximo das aplicações de fertilizantes fosfatados em algodoeiro. Assim, manejos nutricionais que se concentram na gestão equilibrada de nutrientes poderiam reduzir o uso de fertilizantes fosfatados, reduzindo a escassez futura de P.

REFERÊNCIAS

- BOUAIN, N.; SHAHZAD, Z.; ROUACHED, A.; KHAN, G.A.; BERTHOMIEU, P.; ABDELLEY, C.; POIRER, Y.; ROUACHED, H. 2014. Phosphate and zinc transport and signaling in plants: toward a better understanding of their homeostasis interaction. *Experimental Botany*, 30: 2-17.
- BROADLEY, M.R.; LOCHLAINN, S.O.; HAMMOND, J.P.; BOWEN, H.C.; CAKMAK, I.; EKER, S.; ERDEM, H.; KING, G.J.; WHITE P.J. 2010. Shoot zinc (Zn) concentration varies widely within *Brassica oleracea* L. and is affected by soil Zn and phosphorus (P) levels. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 85:375–380.
- HUANG, C.; BARKER, S.J.; LANGRIDGE, P.; SMITH, F.W.; GRAHAM, R.D. 2000. Zinc deficiency up-regulates expression of high-affinity phosphate transporter genes in both phosphate-sufficient and -deficient barley roots. *Plant Physiology*, 124:415–422.
- KHAN, G.A.; BOURAINE, S.; WEGE, S.; LI, Y.; CARBONNEL, M.; BERTHOMIEU, P.; POIRIER, Y.; ROUACHED, H. 2014. Coordination between zinc and phosphate homeostasis involves the transcription factor PHR1, the phosphate exporter PHO1, and its homologue PHO1;H3 in Arabidopsis. *Journal of Experimental Botany*, 65:871–884.
- MUCHHAL, U.S.; PARDO, J.M.; RAGHOTHAMA, K.G. 1996. Phosphate transporters from the higher plant *Arabidopsis thaliana*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 93: 10519-10523.
- PAVINATO, P.S.; RODRIGUES, M.; SOLTHANGHEISI, A.; SARTOR, L.R.; WITHERS, P.J.A. 2017. Effects of cover crops and phosphorus sources on maize yield, phosphorus uptake, and phosphorus use efficiency. *Agronomy Journal*, 109: 1039-1047.

PONGRAC, P.; FISCHER, S.; THOMPSON, J. A.; WRIGHT, G.; WHITE, P. J. 2020. Early Responses of Brassica oleracea Roots to Zinc Supply Under Sufficient and Sub-Optimal Phosphorus Supply. *Frontiers in Plant Science*, 10.

PONGRAC, P.; MCNICOL, J. W.; LILLY, A.; THOMPSON, J. A.; WRIGHT, G.; HILLIER, S.; WHITE, P. J. 2018. Mineral element composition of cabbage as affected by soil type and phosphorus and zinc fertilisation. *Plant and Soil*, 434(1–2), 151–165.

RODRIGUES, M.; PAVINATO, P.S.; WITHERS, P.J.A.; TELES, A.P.B.; HERRERA, W.F.B. 2016. Legacy phosphorus and no tillage agriculture in tropical oxisols of the Brazilian savanna. *Science of the Total Environment*, 542:1050-1061.

SANTOS, E. F. Mecanismos de interação fósforo- zinco no sistema solo-planta: disponibilidade no solo, avaliações fisiológicas e expressão de transportadores de fosfato. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro De Energia Nuclear Na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 124p. 2018.

SANTOS, E. F.; PONGRAC, P.; REIS, A. R.; WHITE, P. J.; LAVRES, J. 2019. Phosphorus–zinc interactions in cotton: consequences for biomass production and nutrient-use efficiency in photosynthesis. *Physiol. Plant*. 166, 996–1007.

SECCO, D.; BAUMANN, A.; POIRER, Y. 2010. Characterization of the Rice PHO1 Gene Family Reveals a Key Role for *OsPHO1;2* in Phosphate Homeostasis and the Evolution of a Distinct Clade in Dicotyledons. *Plant Physiology*, 152:1693-1704.

WITHERS, P. J. A.; RODRIGUES, M.; SOLTANGHEISI, A.; CARVALHO, T. S.; NUNES, R. D. S.; ROSOLEM, C. A.; ANDREOTE, F. D.; JR, A. D. O.; COUTINHO, E. L. M.; PAVINATO, P. S. 2018. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. September 2017, 1–13.

ZAMBROSI, F.C.B., RIBEIRO, R.V., MARCHIORI, P.E.R., CANTARELLA, H., LANDELL, M.G.A. 2015. Sugarcane performance under phosphorus deficiency: physiological responses and genotypic variation. *Plant Soil*, 386:273-283.

ZEBROWSKA, E., BUJNOWSKA, E., CIERESZKO, I. 2011. Differential responses of oat cultivars to phosphate deprivation: plant growth and acid phosphatase activities. *Acta Physiol. Plant*. 34:1251-1260.

ZHANG, Y.Q.; DENG, Y.; CHEN, R.Y.; CUI, Z.L.; CHEN, X.P.; YOST, R.; ZHANG, F.S.; ZOU, C.Q. 2012. The reduction in zinc concentration of wheat grain upon increased phosphorus-fertilization and its mitigation by foliar zinc application. *Plant and Soil*, 361, 143–152.

Citação: SANTOS, E.F. É possível aumentar a eficiência de uso de fósforo pela nutrição com zinco em algodoeiro?. *Physiotek Letters* volume 2, p. 14-19, 2021.