

APLICAÇÃO FOLIAR DE BORO E BIOESTIMULANTE COMO ESTRATÉGIA PARA MITIGAR OS EFEITOS DO SOMBREAMENTO NO ALGODOEIRO

Leonardo Vesco Galdi; Gustavo Ricardo Aguiar Silva; Gilmar Santos Martins Júnior;
Murilo Gonçalves Xavier; Claudio Maticolli Costa; Henri Pedro Moreira Melo; Lucas
Facholi dos Santos; Fábio Rafael Echer

Unoeste – Universidade do Oeste Paulista

PROBLEMÁTICA

A radiação solar é essencial para a fotossíntese do algodoeiro, mas durante a estação chuvosa, períodos prolongados de nebulosidade reduzem a disponibilidade de luz e limitam as trocas gasosas. Esse cenário diminui a transpiração e pode comprometer a absorção de boro (B), nutriente fundamental para o crescimento radicular, crescimento do tubo polínico, retenção de frutos e produtividade. A auxina também influencia a retenção das estruturas reprodutivas pelo antagonismo ao etileno, e a aplicação de bioestimulantes a base de triptofano, aminoácido precursor da auxina, associado a aplicação foliar de boro podem mitigar a abscisão de botões florais e flores do algodoeiro. Investigar essa relação pode indicar estratégias para minimizar perdas de produtividade em condições de baixa radiação.

CONHECIMENTO PRÉVIO

A luminosidade é um fator determinante para o desenvolvimento e a produtividade do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.), que demanda elevada disponibilidade de luz e água para maximizar a fotossíntese e o acúmulo de biomassa (Chapepa et al., 2020). Em condições de baixa incidência de radiação solar, o algodoeiro tende a apresentar maior abscisão de estruturas reprodutivas, reduzindo o número de capulhos e, consequentemente, a produtividade (Echer e Rosolem, 2015).

Além da radiação solar, o algodoeiro apresenta elevada exigência nutricional em boro (B) (Zhao e Oosterhuis, 2002). Esse micronutriente é essencial para o crescimento e desenvolvimento da planta, com efeitos diretos sobre os órgãos reprodutivos (Durbak et al., 2014). A deficiência de B pode resultar em falhas no crescimento radicular, baixa retenção de frutos e menor rendimento da cultura.

A auxina, por sua vez, é um hormônio fundamental que regula processos-chave do desenvolvimento vegetal, incluindo crescimento radicular, dominância apical, embriogênese, diferenciação vascular e respostas a estímulos ambientais (Rakusova et al., 2015; Xi et al., 2016). Estudos sugerem que a deficiência de boro pode alterar o metabolismo do ácido indolacético (AIA), a principal auxina, cuja síntese ocorre em tecidos de crescimento ativo, como raízes, folhas jovens e sementes em formação (Martin-Rejano et al., 2011; Pop et al., 2011).

Nesse contexto, compreender a interação da aplicação de boro via foliar associada com a aplicação exógena de bioestimulante a base de triptofano, torna-se fundamental para a adoção de manejos que mitiguem os efeitos negativos do sombreamento sobre a produtividade do algodoeiro.

DESCRIÇÃO DA PESQUISA

Foram conduzidos quatro experimentos de campo durante a safra 2024/2025, em duas localidades do estado de São Paulo: Presidente Bernardes (solo de textura arenosa, com teor de $0,32 \text{ mg dm}^{-3}$ de B na camada de 0-20 cm) e Paranapanema (solo de textura arenosa, com teor de $0,77 \text{ mg dm}^{-3}$ de B na camada de 0-20 cm). Em cada localidade foram instalados dois experimentos: um em condições de luminosidade plena e outro sob redução de 50% da radiação solar, utilizando tela de sombreamento (sombrite) por 14 dias durante o florescimento (estádio F1). As condições climáticas foram monitoradas durante o ciclo do algodoeiro, contemplando as variáveis de temperatura do ar, precipitação e radiação solar global (Figura 1).

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, em arranjo fatorial 4×4 , com quatro repetições. Os tratamentos corresponderam às doses de P.A aplicadas no estágio de quarto botão floral (B4) (0, 15, 30 e 60 g ha^{-1} do produto comercial com $424,8 \text{ mg g}^{-1}$ de triptofano) combinadas a doses de B (0; 0,5; 1,0 e $2,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de B), fornecidas via ácido bórico (15% de B) e parceladas em quatro aplicações de B sendo do estágio B4 até F1, visando reduzir riscos de fitotoxicidade.

A cultivar utilizada em todos os experimentos foi FM 974GLT. Os tratos culturais e o manejo fitossanitário (monitoramento de pragas e doenças, controle químico de plantas daninhas e aplicações de inseticidas, fungicidas e fitorreguladores) foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para a cultura e as necessidades durante o ciclo.

A colheita foi realizada manualmente em dois metros de linha de cada unidade experimental para determinação da produtividade de algodão em caroço. Uma subamostra foi encaminhada ao laboratório para descaroçamento, a fim de determinar o rendimento de fibra e estimar a produtividade em fibra.

Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão, e, para efeitos significativos, as médias foram comparadas pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

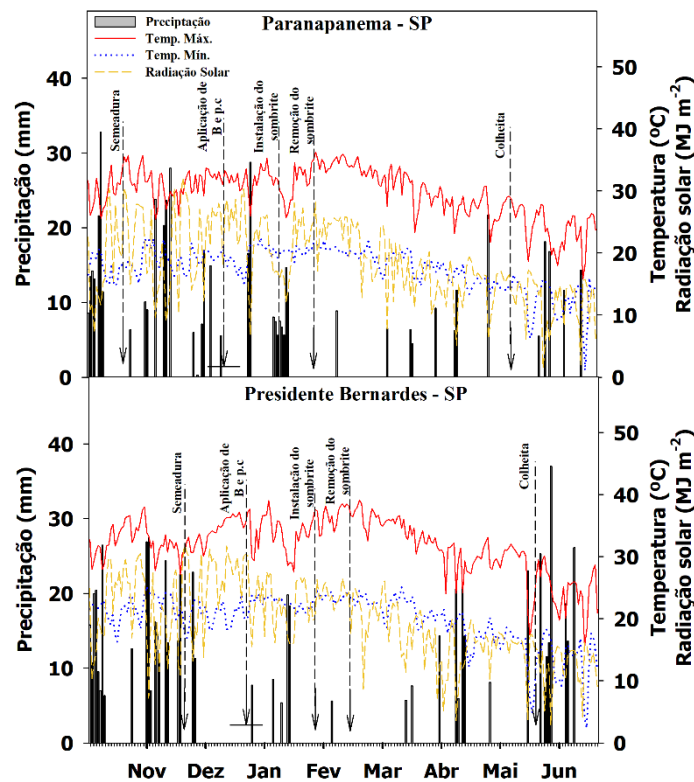


Figura 1. Variação diária de precipitação (mm), temperatura máxima e mínima (°C) e radiação solar global (MJ m^{-2}) durante o ciclo do algodoeiro nas localidades de Paranapanema – SP (superior) e Presidente Bernardes – SP (inferior), na safra 2024/2025. As setas indicam os principais eventos de manejo: semeadura, aplicação do precursor de auxina (P.A) e do boro (B), instalação do sombrite (50% de sombreamento no florescimento) e colheita.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em Paranapanema, o solo apresentou teor inicial adequado de boro ($0,77 \text{ mg dm}^{-3}$) (Figura 2), o que explica a ausência de significância (ns) para ambiente sem restrição luminosa (Figura 2a), indicando que a nutrição com B estava suprida e não houve ganhos produtivos adicionais com a aplicação foliar do nutriente, independentemente da dose de precursor de auxina utilizada.

Mesmo sob restrição luminosa de 50% no florescimento (Figura 2b), a cultura não mostrou maior sensibilidade, houve efeitos significativos em algumas combinações, mas no geral o controle se equivaleu mesmo frente a outras combinações, principalmente quando associado a dose $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de B; o que pode reforçar o papel da interação hormonal e nutricional em ambiente de menor luminosidade. Por outro lado, doses mais elevadas de precursor de auxina (60 g ha^{-1}) associadas às maiores doses de B demonstraram uma tendência de redução na produtividade em fibra, sugerindo desequilíbrio fisiológico em condições de estresse luminoso. Esses resultados, aliados ao padrão climático observado durante o ciclo (Figura 1), em que a radiação solar foi frequentemente reduzida pela nebulosidade, demonstram que, embora a disponibilidade de B no solo fosse suficiente, a interação entre triptofano e boro via foliar contribuiu para compensar as limitações impostas pela baixa luminosidade, favorecendo possivelmente a retenção de estruturas reprodutivas e a produtividade do algodoeiro.

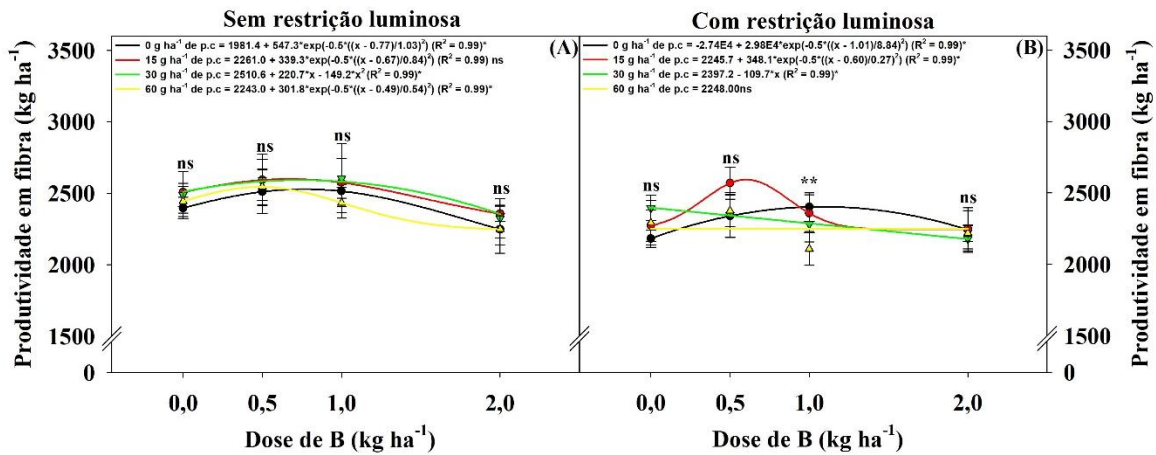


Figura 2. Produtividade de algodão em fibra (kg ha^{-1}) em função das doses de boro (B) via foliar e do precursor de auxina (P.A), em condição sem restrição luminosa (A) e com restrição luminosa de 50% no florescimento (B), no município de Paranapanema – SP, safra 2024/2025. ns = não significativo; * e ** = significativo a 5% e 1%, respectivamente.

Em Presidente Bernardes, com baixo teor inicial de B no solo ($0,32 \text{ mg dm}^{-3}$) (Figura 3), a produtividade do algodoeiro respondeu às aplicações foliares de B e P.A. Sem restrição luminosa (Figura 3a), as maiores produtividades foram observadas com doses intermediárias, em torno de 15 a 30 g ha^{-1} de P.A associadas a $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de B (em média 2.895 kg ha^{-1}), superando o controle (2.347 kg ha^{-1}) em 23%, enquanto 60 g ha^{-1} de P.A não promoveu incrementos de produtividade, e foi semelhante ao controle. Esse comportamento pode indicar que, sob plena radiação e temperaturas adequadas, o equilíbrio entre o fornecimento de B e o P.A., enquanto as doses mais alta de P.A. pode ter sido excessiva e provocado a redução da produtividade.

Sob restrição luminosa de 50% no florescimento (Figura 3b), os ganhos foram mais expressivos. As combinações de 30 g ha^{-1} de P.A com $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de B e de 60 g ha^{-1} de P.A com $0,5$ a $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de B resultaram em aumento médio da produtividade de 24% (2.699 kg ha^{-1}) em relação ao controle (2.165 kg ha^{-1}), o que pode estar relacionado ao melhor balanço entre auxina e etileno, que sob menor disponibilidade da radiação tende a favorecer o aumento do etileno e a formação da zona de abscisão no pedúnculo dos frutos, o que aumenta o abortamento de estruturas reprodutivas (Echer e Rosolem, 2015). Nesse cenário, as doses intermediárias parecem ter equilibrado estímulo hormonal e suprimento nutricional, enquanto as doses mais elevadas de P.A associadas a maiores quantidades de B possivelmente provocaram fitotoxidez, resultando em redução de produtividade em fibra.

De forma geral, em ambiente com menor disponibilidade inicial de B e sob variação de radiação, é possível que a suplementação foliar de B associada ao P.A tenha favorecido a retenção de estruturas reprodutivas e contribuído para sustentar a produtividade, principalmente quando fornecida em doses intermediárias e em condições de sombreamento.

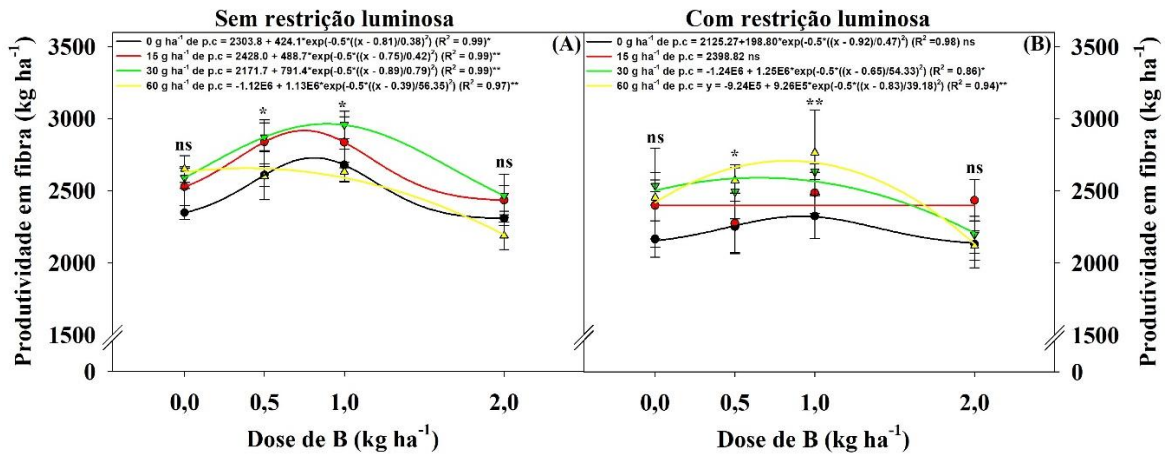


Figura 3. Produtividade de fibra de algodão (kg ha⁻¹) em função das doses de boro (B) via foliar e do precursor de auxina (P.A), em condição sem restrição luminosa (A) e com restrição luminosa de 50% no florescimento (B), no município de Presidente Bernardes – SP, safra 2024/2025. ns = não significativo; * e ** = significativo a 5% e 1%, respectivamente.

APLICAÇÃO PRÁTICA

Em solos com maior teor de B (0,77 mg dm⁻³) e sem sombreamento, não houve ganho de produtividade com as aplicações de P.A. e B via foliar. Nesses solos e sob sombreamento, é preciso cautela com doses mais altas (60 g ha⁻¹) de P.A. associadas a 2 kg ha⁻¹ de B, já que reduziram a produtividade.

Por outro lado, em solos com menor disponibilidade de B e sem sombreamento, os maiores ganhos foram observados com doses de 0,5 a 1,0 kg ha⁻¹ de B associadas a 15 ou 30 g ha⁻¹ de P.A. Nessas mesmas condições, mas sob sombreamento, as combinações mais eficientes foram de 30 a 60 g ha⁻¹ de P.A. associadas a 0,5 ou 1,0 kg ha⁻¹ de B. Assim, tal manejo pode favorecer a retenção de estruturas reprodutivas e reduzir perdas de produtividade em cenários adversos, desde que ajustada às condições locais de solo e radiação solar.

LITERATURA CITADA

CHAPEPA, B., MUDADA, N., & MAPURANGA, R. (2020). The impact of plant density and spatial arrangement on light interception on cotton crop and seed cotton yield: an overview. *Journal of Cotton Research*, 3(1), 1-6.

DURBAK, A. R., PHILLIPS, K. A., PIKE, S., O'NEILL, M. A., MARES, J., GALLAVOTTI, A., ... & MCSTEEN, P. (2014). Transport of boron by the tassel-less1 aquaporin is critical for vegetative and reproductive development in maize. *The Plant Cell*, 26(7), 2978-2995.

ECHER, F. R., & ROSOLEM, C. A. (2015). Cotton yield and fiber quality affected by row spacing and shading at different growth stages. *European Journal of Agronomy*, 65, 18-26.

Martín-Rejano EM, Camacho-Cristóbal JJ, Herrera-Rodríguez MB, Rexach J, Navarro-Gochicoa MT, González-Fontes A. Auxin and ethylene are involved in the responses of root system architecture to low boron supply in Arabidopsis seedlings. *Physiologia Plantarum*. 2011 Jun;142(2):170-8.



POP, T. I., PAMFIL, D. D., & BELLINI, C. C. (2011). Auxin control in the formation of adventitious roots. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanica Cluj-Napoca*, 39(1), 307-316.

RAKUSOVÁ, H., FENDRYCH, M., & FRIML, J. (2015). Intracellular trafficking and PIN-mediated cell polarity during tropic responses in plants. *Current opinion in plant biology*, 23, 116-123.

XI, W., GONG, X., YANG, Q., YU, H., & LIU, Y. C. (2016). Pin1At regulates PIN1 polar localization and root gravitropism. *Nat. Commun.* 7, 10430.

ZHAO, D., AND OOSTERHUIS, D.M. (2002). Cotton carbon exchange, nonstructural carbohydrates, and boron distribution in tissues during development of boron deficiency. *Field Crops Res.* 78:75-87.