



Influência da Aplicação de Boro no Crescimento Inicial e no Manejo Nutricional do Amendoim (*Arachis Hypogaea* L.)

Alisson Rodolfo Leite

Professor Doutor, IFSP, Brasil
alisson.rodolfo@ifsp.edu.br
0000-0003-0838-4566

João Paulo Machado Mantovani

Professora Doutor, UNESP, Brasil
joao.mantovani@unesp.br
0000-0003-3083-8237

Leandro Calixto Tenório de Albuquerque

Professor Mestre, IFSP, Brasil
leandroalbuquerque@ifsp.edu.br
0009-0005-4654-5166

Camila Pires Cremasco Gabriel

Professora Doutora, UNESP, Brasil
camila.cremasco@unesp.br
0000-0003-2465-1361

Luís Roberto Almeida Gabriel Filho

Professor Doutor, UNESP, Brasil
gabriel.filho@unesp.br
0000-0002-7269-2806

Submissão: 21/09/2025

Aceite: 27/11/2025

LEITE, Alisson Rodolfo; MANTOVANI, João Paulo Machado; ALBUQUERQUE, Leandro Calixto Tenório de; GABRIEL, Camila Pires Cremasco; GABRIEL FILHO, Luís Roberto Almeida. Influência da Aplicação de Boro no Crescimento Inicial e no Manejo Nutricional do Amendoim (*Arachis Hypogaea* L.). **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S. l.], v. 21, n. 2, 2025. DOI: [10.17271/1980082721220256150](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/6150). Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/6150

Influência da Aplicação de Boro no Crescimento Inicial e no Manejo Nutricional do Amendoim (*Arachis Hypogaea* L.)

RESUMO

Objetivo - O presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de diferentes doses de ácido bórico no tratamento de sementes de amendoim (*Arachis Hypogaea* L.), com ênfase nos impactos sobre a germinação, o crescimento radicular e o desenvolvimento da parte aérea das plântulas.

Metodologia - A pesquisa foi conduzida com abordagem quantitativa, de natureza aplicada, por meio de experimento realizado no Laboratório de Botânica da UNESP – Campus Tupã/SP. Utilizou-se delineamento em blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de comparação de médias de Tukey, considerando-se um nível de significância de 5%.

Originalidade/relevância - O estudo preenche um gap relevante da literatura agrônoma ao investigar experimentalmente os limites entre a deficiência e a toxidez do boro na cultura do amendoim – tema ainda pouco explorado para essa espécie. A originalidade reside na avaliação integrada da germinação e do desenvolvimento vegetativo em resposta a doses crescentes de boro.

Resultados - Os resultados demonstraram que doses superiores a 60 mg de boro por quilo de semente comprometem a germinação. No entanto, essas doses também favoreceram o crescimento das raízes e da parte aérea nas plantas que emergiram. A dose de 60 mg/kg destacou-se como a mais eficiente, por equilibrar germinação viável e vigor das plântulas.

Contribuições teóricas/metodológicas - O estudo reforça a importância do manejo nutricional de precisão no tratamento de sementes, contribuindo teoricamente para a compreensão da resposta fisiológica do amendoim ao boro e metodologicamente para o aperfeiçoamento de práticas experimentais em sementes.

Contribuições sociais e ambientais - Os achados oferecem subsídios para o uso mais eficiente de micronutrientes, promovendo práticas agrícolas sustentáveis e tecnicamente fundamentadas, especialmente em regiões produtoras de amendoim como Tupã/SP. A adoção dessas práticas pode reduzir o desperdício de insumos, melhorar a produtividade e contribuir para a agricultura responsável.

PALAVRAS-CHAVE: Boro. Amendoim. Manejo.

Influence of Boron Application on the Early Growth and Nutritional Management of Peanut (*Arachis Hypogaea* L.)

Objective - This study aimed to evaluate the effects of different doses of boric acid applied to peanut seeds (*Arachis Hypogaea* L.), with emphasis on their impact on seed germination, root growth, and shoot development of seedlings.

Methodology - The research was conducted using a quantitative and applied approach, through an experiment carried out at the Botany Laboratory of UNESP – Campus Tupã/SP. A randomized block design was adopted, with six treatments and four replications. The data were subjected to analysis of variance (ANOVA) and Tukey's multiple comparison test, with a 5% significance level.

Originality/Relevance - This study addresses a relevant gap in agronomic literature by experimentally investigating the threshold between boron deficiency and toxicity in peanut crops—an area still underexplored for this species. Its originality lies in the integrated assessment of seed germination and vegetative development in response to increasing doses of boron.

Results - The results showed that doses exceeding 60 mg of boron per kilogram of seed negatively affected germination. However, these same doses promoted increased root and shoot growth in the seedlings that emerged. The 60 mg/kg dose stood out as the most effective, offering a balance between viable germination and seedling vigor.

Theoretical/Methodological Contributions - The study reinforces the importance of precision nutritional management in seed treatment, contributing theoretically to the understanding of the physiological responses of peanut plants to boron and methodologically to the refinement of experimental practices in seed analysis.

Social and Environmental Contributions - The findings provide technical support for more efficient use of micronutrients, promoting sustainable and evidence-based agricultural practices, especially in peanut-producing regions such as Tupã/SP. The implementation of such practices can reduce input waste, enhance productivity, and support responsible agriculture.

KEYWORDS: Boron. Peanut. Management.

Influencia de la Aplicación de Boro en el Crecimiento Inicial y en el Manejo Nutricional del Maní (*Arachis Hypogaea* L.)

Objetivo - El presente estudio tuvo como objetivo evaluar los efectos de diferentes dosis de ácido bórico aplicadas al tratamiento de semillas de maní (*Arachis Hypogaea* L.), con énfasis en su impacto sobre la germinación, el crecimiento radicular y el desarrollo de la parte aérea de las plántulas.

Metodología - La investigación se desarrolló con un enfoque cuantitativo, de carácter aplicado, mediante un experimento realizado en el Laboratorio de Botánica de la UNESP – Campus Tupã/SP. Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) y a la prueba de comparación de medias de Tukey, con un nivel de significancia del 5%.

Originalidad/Relevancia - Este estudio aborda una laguna relevante en la literatura agronómica al investigar experimentalmente el umbral entre la deficiencia y la toxicidad del boro en el cultivo del maní, una temática aún poco explorada en esta especie. La originalidad radica en la evaluación integrada de la germinación y el desarrollo vegetativo en respuesta a dosis crecientes de boro.

Resultados - Los resultados indicaron que dosis superiores a 60 mg de boro por kilogramo de semilla perjudicaron la germinación. No obstante, estas mismas dosis favorecieron el crecimiento de raíces y la parte aérea en las plántulas emergidas. La dosis de 60 mg/kg se destacó como la más eficiente, proporcionando un equilibrio entre germinación viable y vigor de plántulas.

Contribuciones teóricas/metodológicas - El estudio refuerza la importancia del manejo nutricional de precisión en el tratamiento de semillas, aportando teóricamente a la comprensión de las respuestas fisiológicas del maní al boro y metodológicamente al perfeccionamiento de prácticas experimentales en análisis de semillas.

Contribuciones sociales y ambientales - Los hallazgos ofrecen fundamentos técnicos para un uso más eficiente de micronutrientes, promoviendo prácticas agrícolas sustentables y basadas en evidencia, especialmente en regiones productoras de maní como Tupã/SP. La adopción de tales prácticas puede reducir el desperdicio de insumos, mejorar la productividad y contribuir a una agricultura responsable.

PALABRAS CLAVE: Boro. Maní. Manejo

1 INTRODUÇÃO

O amendoim (*Arachis Hypogaea* L.) destaca-se como um importante leguminoso cultivado mundialmente, ocupando cerca de 26 milhões de hectares e alcançando uma produção anual em torno de 45 milhões de toneladas (Patel *et al.*, 2022).

Economicamente, a cultura do amendoim possui grande relevância no Brasil, com destaque para o estado de São Paulo. Nos últimos anos, o Brasil firmou-se entre os maiores produtores e exportadores mundiais de amendoim, em 2019 respondeu por cerca de 7% do comércio global do produto, posicionando-se como quinto maior fornecedor internacional. A produção nacional está fortemente concentrada no território paulista, que responde por aproximadamente 90–97% do volume produzido e praticamente todo o amendoim exportado pelo país (Neves *et al.*, 2023).

Em 2020, por exemplo, o estado de São Paulo foi responsável por 97% das exportações brasileiras de amendoim, gerando US\$ 427,8 milhões em receitas. Dentro de São Paulo, sobressaem-se regiões tradicionais no cultivo do amendoim, dentre as quais a região de Tupã, no oeste do estado, tem papel de destaque. Apenas a microrregião de Tupã contribuiu com cerca de 20,7% do valor exportado de amendoim em 2020, liderando o ranking estadual, seguida por municípios como Borborema (13,5%) e Jaboticabal (12,7%) (Neves *et al.*, 2023).

Esse dinamismo reflete investimentos em tecnologia e expansão da cultura na região; nos últimos 15 anos houve inovações no manejo e melhoramento do amendoim que elevaram a produtividade e a qualidade do produto, impulsionando tanto o mercado interno quanto as exportações (Neves *et al.*, 2023). Além da geração de divisas externas, a cadeia produtiva do amendoim tem importância socioeconômica local, criando empregos no campo e na indústria de processamento, e integrando-se a outros setores (Neves *et al.*, 2023).

Seus grãos possuem elevado teor de óleo (aproximadamente 35–55%) e proteína (20–30%), além de fibras, vitaminas e minerais, o que confere alto valor nutricional. Além de amplamente utilizados para extração de óleo comestível, os grãos de amendoim são consumidos de diversas formas (tostados, cozidos, em pastas como manteiga de amendoim e doces), sendo considerados alimentos funcionais por conterem compostos bioativos benéficos à saúde humana, como fitoesteróis, polifenóis (resveratrol, flavonoides) e outros antioxidantes que auxiliam na prevenção de doenças cardiovasculares, diabetes tipo II e câncer (Çiftçi; Suna, 2022).

Do ponto de vista agrônômico, o amendoim apresenta vantagens por ser uma leguminosa fixadora de nitrogênio atmosférico em simbiose com rizóbios, contribuindo para a fertilidade do solo e reduzindo a necessidade de fertilizantes nitrogenados (Paudel *et al.*, 2023)

Com isso, sua inclusão em rotações de cultura (por exemplo, em renovação de canaviais) ajuda a restaurar nutrientes do solo e promover sistemas de produção mais sustentáveis (Neves *et al.*, 2023). Estudos regionais destacam a expansão para fins industriais e seus desdobramentos territoriais, evidenciando que a racionalização do sistema produtivo exige práticas capazes de preservar a qualidade do solo e sustentar a competitividade (De Oliveira Cruz; Marques de Magalhães, 2013; Oliveira; Lourenzani, 2011). Essa dupla aptidão – nutricional e agrônômica – torna o amendoim uma cultura de grande interesse tanto para a alimentação

humana quanto para os sistemas agrícolas, contudo, o amendoim se consolida não apenas como cultura de mercado, mas também como componente relevante em estratégias de diversificação e rotação, frequentemente associado a benefícios agrônômicos e operacionais.

Morfologicamente, o amendoim (*Arachis Hypogaea* L.) é uma planta herbácea anual, de porte baixo e hábito de crescimento predominantemente rasteiro ou semiprostrado, apresentando folhas compostas tetrifolioladas e flores pequenas, de coloração amarela, com predominância de autofecundação. Uma característica morfofisiológica singular da espécie é a geocarpia, fenômeno no qual, após a polinização, o ovário fecundado origina uma estrutura especializada denominado ginóforo (“peg”). Esse órgão alonga-se em direção ao solo, orientado por estímulos gravitropicos e hormonais, penetrando no substrato para que o desenvolvimento do fruto (vagem) ocorra em ambiente subterrâneo. Esse mecanismo reprodutivo particular confere proteção física às sementes, mas também torna o amendoim altamente dependente das condições físico-químicas do solo e da disponibilidade adequada de nutrientes durante as fases iniciais e reprodutivas, influenciando diretamente o rendimento e a qualidade final da produção (Cui *et al.*, 2024).

As fases iniciais do ciclo da cultura, compreendendo a germinação da semente e a emergência da plântula, são consideradas críticas para o estabelecimento da lavoura, pois determinam a uniformidade do estande e a capacidade inicial de exploração do solo pelo sistema radicular. Após essa etapa, segue-se o crescimento vegetativo, caracterizado pela expansão foliar e intensificação da atividade fotossintética, culminando, aproximadamente entre 30 e 40 dias após a emergência, no início da fase reprodutiva, marcada por florescimento contínuo. A frutificação ocorre à medida que os ginóforos se desenvolvem e penetram no solo, onde as vagens crescem e amadurecem subterraneamente por um período de cerca de 3 a 5 meses, variando conforme a cultivar, as condições ambientais e, de maneira decisiva, a disponibilidade de micronutrientes essenciais ao metabolismo vegetal.

O micronutriente boro (B) desempenha papel central no desenvolvimento das plantas, incluindo as leguminosas como o amendoim. Do ponto de vista fisiológico, o boro é fundamental para a formação e a estabilidade da parede celular, atuando principalmente na ligação cruzada de polissacarídeos pécticos, como o rhamnogalacturonano II, o que confere resistência mecânica e integridade estrutural às células vegetais. Além disso, o boro participa da manutenção da integridade das membranas celulares, do metabolismo de carboidratos, proteínas e ácidos nucleicos, bem como da regulação do transporte de açúcares e da sinalização hormonal associada ao crescimento (Vera-Maldonado, Cristóbal *et al.*, 2024; Vera-Maldonado, Peter *et al.*, 2024).

Em virtude dessas funções estruturais e metabólicas, a deficiência de boro manifesta-se, preferencialmente, em tecidos de rápido crescimento e alta atividade meristemática, como os ápices radiculares, brotações jovens, órgãos reprodutivos e sistemas vasculares. A limitação desse micronutriente compromete a divisão e o alongamento celular, reduz a eficiência do transporte de fotoassimilados e afeta negativamente a diferenciação dos tecidos condutores, podendo resultar em crescimento desuniforme e menor vigor das plantas. No amendoim, especificamente, a deficiência de boro está associada a deformações no desenvolvimento dos cotilédones e das vagens, levando à formação de amêndoas vazias ou malformadas, o que reduz significativamente a qualidade fisiológica das sementes e a produtividade da cultura. Esse efeito

decorre, em grande parte, da má formação do sistema vascular sob deficiência de boro, a qual limita o fluxo de assimilados das folhas para os órgãos de reserva em desenvolvimento e aumenta a sensibilidade das plantas a estresses hídrico (Cordeiro *et al.*, 2024).

Por outro lado, o excesso de boro também provoca efeitos adversos, uma vez que esse micronutriente apresenta uma faixa fisiológica estreita entre suficiência e toxidez. Doses elevadas podem induzir distúrbios fisiológicos, como redução da atividade fotossintética, danos às membranas celulares, acúmulo de compostos reativos e sintomas visuais de fitotoxidez, incluindo queima foliar. Em sementes, concentrações excessivas de boro podem comprometer a germinação e o vigor, afetando processos iniciais essenciais, como a reorganização das membranas durante a embebição e a mobilização de reservas energéticas. Assim, tanto a deficiência quanto o excesso de boro resultam em perdas no crescimento e na produtividade do amendoim, reforçando a necessidade de manejo criterioso desse micronutriente.

Portanto, o manejo adequado do boro é fundamental, uma vez que a manutenção de níveis ótimos desse micronutriente ao longo do ciclo do amendoim contribui para o desenvolvimento radicular vigoroso, a adequada formação dos tecidos reprodutivos (vagens e sementes) e o aumento da tolerância a estresses, resultando em plantas mais produtivas e sementes de elevado valor fisiológico (Camacho-Cristóbal; Rexach; González-Fontes, 2008; Cordeiro *et al.*, 2024).

Em suma, o boro, embora necessário em pequenas quantidades, é determinante para o sucesso da cultura do amendoim, devendo ser monitorado e equilibrado cuidadosamente para assegurar o pleno desempenho agrônomo e qualitativo desta leguminosa. Nesse trabalho demonstramos os efeitos de diferentes dosagens do boro para germinação e crescimento do amendoim nas suas fases iniciais tentando estabelecer parâmetros do micronutriente boro.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste estudo, foi adotada uma abordagem quantitativa de natureza aplicada, caracterizando-se como uma pesquisa de campo em função dos objetivos propostos e dos procedimentos utilizados. O experimento foi conduzido no Laboratório de Botânica da Faculdade de Engenharia e Ciências de Biosistemas da UNESP, campus de Tupã/SP, entre fevereiro e abril de 2023, período considerado adequado devido às condições climáticas favoráveis na região.

Para avaliar os efeitos do boro na germinação e desenvolvimento inicial das sementes de amendoim, foram utilizadas 24 bandejas preenchidas com areia previamente lavada e esterilizada para garantir uniformidade e evitar contaminações biológicas. Cada bandeja recebeu 80 sementes da cultivar IAC – 505, amplamente cultivada na região Alta Paulista devido à sua produtividade e adaptabilidade às condições climáticas locais. As sementes foram distribuídas nas bandejas, divididas em quatro repetições de 20 sementes cada, garantindo a precisão estatística necessária. Dessa forma, o experimento foi estruturado com seis tratamentos e quatro repetições por tratamento, totalizando 480 sementes.

Os tratamentos foram definidos com cinco diferentes doses de boro aplicadas diretamente nas sementes, utilizando ácido bórico como fonte, contendo 17% de boro em sua composição. Os tratamentos foram delineados da seguinte forma: T1 - Testemunha (sem

aplicação de boro); T2 - 20 mg B/kg de sementes; T3 - 40 mg B/kg de sementes; T4 - 60 mg B/kg de sementes; T5 - 80 mg B/kg de sementes e T6 - 100 mg B/kg de sementes.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, selecionado por permitir controle eficiente das variações ambientais e garantir maior precisão nas análises comparativas. Previamente ao tratamento com ácido bórico, as sementes receberam aplicação preventiva de proteção contra fungos e insetos com os fungicidas Sementhiran e Maxim XL, e com o inseticida Cruiser, utilizando-se uma mistura desses produtos na dosagem de 600 mL para cada 100 kg de sementes, conforme recomendação técnica específica para amendoim.

A pesagem precisa das sementes e dos produtos foi realizada com o auxílio de uma balança analítica digital da marca Bel, modelo M214AI, com capacidade máxima de 220 g e resolução de 0,0001 g, garantindo exatidão e reprodutibilidade das medições. O tratamento das sementes com ácido bórico foi realizado proporcionalmente utilizando micropipeta digital Olen, modelo K1-100C + K31-201Y, com capacidade volumétrica mínima de 0,1 mL, assegurando rigor e uniformidade nas dosagens.

Após o tratamento com ácido bórico, as sementes foram cuidadosamente plantadas nas bandejas com areia e expostas ao ambiente externo em condições controladas, recebendo irrigação padronizada intercalada a cada dois dias, com volume fixo de 2 litros de água por bandeja. Essa irrigação foi calculada de modo a manter a umidade adequada ao desenvolvimento inicial das plantas, evitando estresses hídricos que pudessem interferir nos resultados.

Passados 15 dias do plantio, foram realizadas avaliações detalhadas quanto à porcentagem de germinação, altura e peso fresco da parte aérea, além da altura e peso fresco das raízes das plantas emergidas. Para garantir precisão nas medições, foram utilizados instrumentos como régua graduada com precisão milimétrica, tesoura de poda para separação adequada das partes das plantas e balança de precisão digital para as determinações de massa.

Os dados coletados foram organizados e submetidos à análise estatística utilizando o software R versão 4.4.3 em conjunto com RStudio versão 2024.12.1+563 (R Core Team, 2025; RStudio Team, 2020). Primeiramente, foi realizada uma análise de variância (ANOVA) para verificar a existência de diferenças significativas entre os tratamentos aplicados. Posteriormente, aplicou-se o teste de comparação múltipla de médias de Tukey, adotando um nível de significância (α) de 5% para validar as hipóteses testadas em todas as análises realizadas, garantindo robustez e confiabilidade dos resultados obtidos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este estudo adotou uma abordagem quantitativa, caracterizando-se como pesquisa descritiva quanto aos objetivos e, em relação aos procedimentos, combinando pesquisa bibliográfica e pesquisa de campo. A análise estatística dos dados coletados foi realizada por meio do software R e RStudio, sendo adotado um nível de significância (α) de 5% para todos os testes efetuados (R Core Team, 2025; RStudio Team, 2020).

De acordo com os resultados obtidos pela análise de variância (ANOVA), observou-se que diferentes tratamentos com doses crescentes de boro provocaram alterações significativas na taxa de germinação das sementes de amendoim, conforme detalhado na Tabela 1. A análise

posterior, realizada pelo teste de Tukey, evidenciou agrupamentos específicos entre os tratamentos. Conforme ilustrado na Tabela 1, os tratamentos testemunha (0 mg de B/kg de sementes) e com 20 mg de B/kg de sementes não apresentaram diferenças significativas entre si, formando o grupo com maiores médias de germinação. Em outro agrupamento intermediário encontram-se os tratamentos de 40 mg e 60 mg de B/kg de sementes, enquanto os tratamentos com 80 mg e 100 mg de B/kg de sementes demonstraram-se significativamente distintos, formando agrupamentos isolados e apresentando as menores médias de germinação.

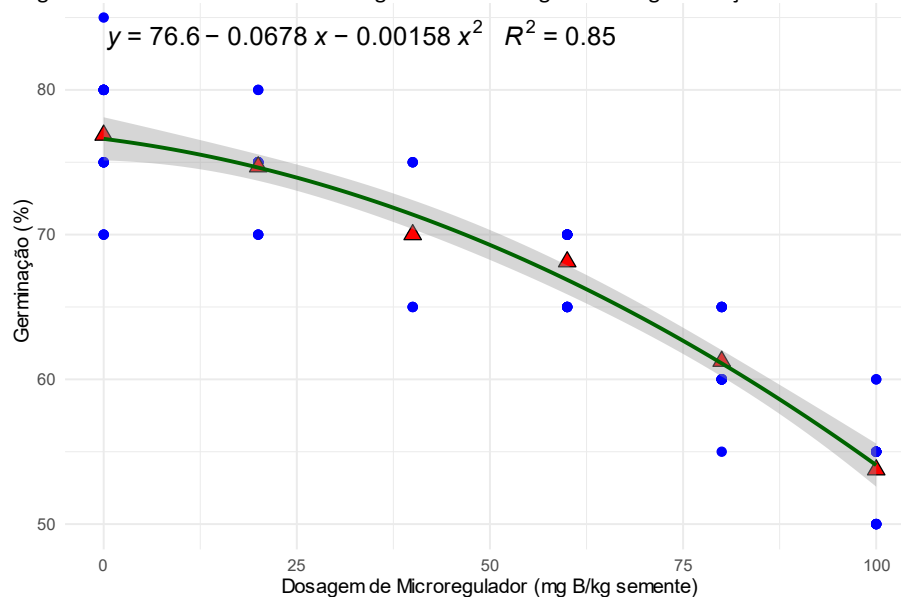
Tabela 1: Resumo dos Dados de Germinação

Nome	Tratamentos (mg/kg)	N	Média (#)	Desvio Padrão	Agrupamento
T1(testemunha)	0	16	15,375	0,885	A
T2	20	16	14,938	0,574	A
T3	40	16	14,000	0,632	B
T4	60	16	13,625	0,500	B
T5	80	16	12,250	0,577	C
T6	100	16	10,750	0,683	D

Fonte: Elaborado pelos autores usando R e RStudio (R Core Team, 2025; RStudio Team, 2020).

Os resultados apresentados sugerem uma clara relação inversamente proporcional entre a dosagem de ácido bórico e a capacidade germinativa das sementes. Essa tendência pode ser explicada pela acidificação progressiva do meio proporcionada pelo aumento das doses de ácido bórico, uma vez que ambientes com pH ácido são reconhecidamente desfavoráveis ao desenvolvimento inicial das sementes. Como destacado na Figura 1, o aumento das doses de ácido bórico conduz à redução significativa da germinação, refletindo as dificuldades impostas pela acidificação do substrato.

Figura 1 - Efeitos de diferentes dosagens de micro regulador na germinação do amendoim



Fonte: Elaborado pelos autores usando R e RStudio (R Core Team, 2025; RStudio Team, 2020)

A literatura técnica relacionada à produção agrícola reforça que o pH ideal para o desenvolvimento saudável das sementes e das plântulas de amendoim situa-se próximo à neutralidade (pH próximo de 7). Em condições práticas de campo, medidas corretivas, como a aplicação de calcário, são frequentemente recomendadas para neutralizar a acidez excessiva do solo, assegurando condições ótimas para germinação e desenvolvimento inicial das culturas. Portanto, a aplicação adequada e controlada de boro deve considerar não apenas as necessidades nutricionais específicas da planta, mas também o impacto do produto sobre as condições físico-químicas do substrato, reforçando a importância de avaliações precisas e monitoramento contínuo do pH durante o manejo nutricional das sementes.

Nesse contexto, considerando-se que o boro tem sido amplamente estudado devido às suas diversas funções essenciais no metabolismo vegetal, especialmente por influenciar positivamente a produtividade e qualidade das sementes, os resultados obtidos neste estudo estão alinhados às constatações apresentadas por Silva Berti et al.(2019). Esses autores observaram que, durante a aplicação de doses crescentes de boro na germinação de sementes de soja, houve uma progressiva acidificação do solo, o que consequentemente dificultou a germinação das sementes (Silva Berti *et al.*, 2019)

Ao analisar os resultados referentes ao peso das raízes após o período experimental de 15 dias, adotando procedimentos padronizados para todos os tratamentos e variando somente as dosagens de boro, foi possível verificar, através da análise de variância (ANOVA), que houve alterações significativas atribuídas às diferentes dosagens aplicadas. Conforme demonstrado na Tabela 2, os dados médios e respectivos desvios padrão indicam que, após a aplicação do teste de Tukey, houve a formação de agrupamentos entre tratamentos. Os tratamentos testemunha (0 mg) e 20 mg formaram um mesmo grupo, os tratamentos com 40 mg e 60 mg formaram outro agrupamento intermediário, com o tratamento de 60 mg demonstrando uma transição para o grupo seguinte com 80 mg. Já o tratamento com 100 mg apresentou-se claramente distinto de todos os demais, obtendo o maior valor médio.

Tabela 2 - Resumo de dados do peso das raízes

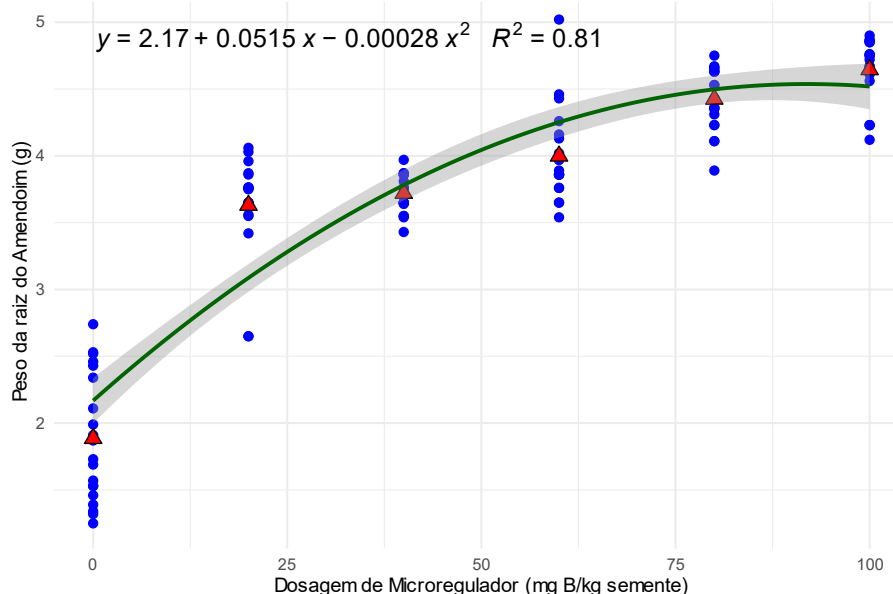
Nome	Tratamento(mg/kg)	Média(g)	Desvio Padrão	Agrupamento
T1(testemunha)	0	1,885	0,4760	A
T2	20	3,6306	0,3716	A
T3	40	3,7200	0,1413	B
T4	60	3,9985	0,3427	BC
T5	80	4,4245	0,2303	C
T6	100	4,6450	0,2458	D

Fonte: Elaborado pelos autores usando R e RStudio (R Core Team, 2025; RStudio Team, 2020)

Adicionalmente, o Figura 2 ilustra os dados da relação peso das raízes versus dosagens aplicadas, com ajuste por uma curva polinomial de segundo grau, a qual apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 81%, demonstrando bom ajuste dos dados observados. Observa-se claramente que as dosagens entre 80 mg e 100 mg proporcionaram os melhores resultados quanto ao desenvolvimento das raízes, indicando uma possível saturação e sugerindo que doses maiores poderiam não apenas estagnar como eventualmente reduzir esse crescimento. Como o boro é um micronutriente absorvido diretamente pelas raízes das plantas,

as doses incrementais resultaram em um aumento significativo do peso radicular, confirmando, assim, sua importância direta no desenvolvimento inicial das plantas de amendoim.

Figura 2 - Efeito de diferentes dosagens de micro regulador no peso da raiz do amendoim



Fonte: Elaborado pelos autores usando R e RStudio (R Core Team, 2025; RStudio Team, 2020)

A importância do boro no desenvolvimento radicular é sustentada pela literatura especializada, destacando seu papel crucial no metabolismo vegetal, incluindo a formação e estabilidade das paredes celulares, transporte eficiente de carboidratos, regulação hormonal e síntese proteica (Prado, 2020). Silva (2017) também enfatiza que a deficiência de boro pode comprometer significativamente o crescimento radicular, resultando em raízes curtas, finas e com menor eficiência na absorção de nutrientes e água. Por outro lado, a aplicação adequada de boro melhora a saúde e o vigor das raízes, potencializando sua capacidade exploratória e absorção eficiente de nutrientes essenciais do solo.

A análise dos resultados relativos ao comprimento das raízes confirmou novamente a influência significativa das doses aplicadas de boro (Tabela 3). Os testes estatísticos realizados mostraram agrupamentos claros entre tratamentos, sendo os grupos testemunha e 20 mg estatisticamente semelhantes, enquanto as doses intermediárias de 60 mg e 80 mg formaram um agrupamento distinto. As doses de 40 mg e 100 mg demonstraram comportamentos isolados, indicando uma resposta diferencial no desenvolvimento radicular.

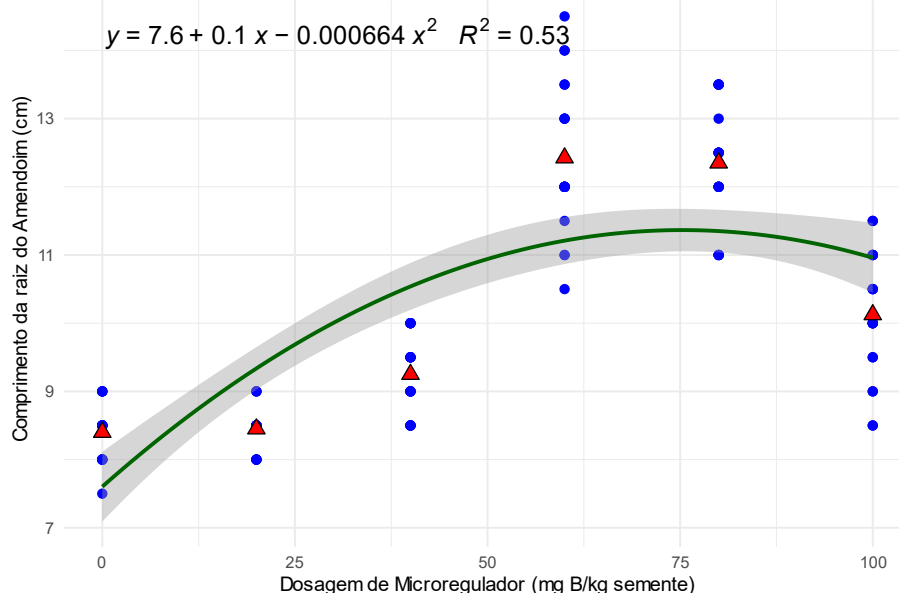
Tabela 3 - Resumo de dados do tamanho das raízes do amendoim

Nome	Tratamentos(mg)	N	Média(cm)	Desvio Padrão	Agrupamento
T1(testemunha)	0	20	8,40	0,416	A
T2	20	20	8,45	0,320	A
T3	40	20	9,25	0,574	B
T4	60	20	12,42	1,092	C
T5	80	20	12,35	0,890	C
T6	100	20	10,12	0,916	D

Fonte: Elaborado pelos autores usando R e RStudio (R Core Team, 2025; RStudio Team, 2020)

A Figura 3 apresenta os resultados obtidos referentes à relação entre o comprimento das raízes e as dosagens dos tratamentos aplicados, incluindo uma linha de tendência ajustada por equação polinomial de segundo grau. Observa-se claramente um pico no crescimento radicular próximo à dose de 60 mg B/kg de sementes, seguido por um declínio gradual em dosagens superiores. Este comportamento pode ser explicado pelo caráter ácido do boro, que, apesar de essencial ao metabolismo vegetal, exige aplicação precisa para evitar efeitos fitotóxicos em concentrações elevadas. Com base nos resultados deste estudo, conclui-se que uma dose em torno de 60 mg B/kg de sementes se apresenta como ideal, proporcionando desenvolvimento radicular máximo sem comprometer a saúde das plantas pela toxicidade associada ao excesso desse micronutriente.

Figura 3 - Efeito de diferentes dosagens de micro regulador no comprimento da raiz amendoim



Fonte: Elaborado pelos autores usando R e RStudio (R Core Team, 2025; RStudio Team, 2020)

Sobre esse aspecto, Bissoto (2022) destaca que, para um bom desenvolvimento das raízes, é essencial ajustar adequadamente as doses de ácido bórico por meio de manejo nutricional criterioso. O autor também menciona que existem diversos estudos na literatura sobre a aplicação do boro, especialmente na cultura da soja, apresentando resultados divergentes. Isso ressalta a importância de realizar novos estudos para aprofundar o entendimento sobre a aplicação coerente desse micronutriente em diferentes culturas.

A

Figura 4 apresenta visualmente o tamanho das raízes dos tratamentos T1 (testemunha) e T4 (60 mg), destacando o impacto positivo que a dose adequada de boro tem sobre o crescimento radicular.

Figura 4 - Comparativo entre T1 e T4



Fonte: Elaborado pelos autores

Também se faz necessário avaliar a parte aérea das plantas, considerando que essa estrutura desempenha papel fundamental na captação da luz solar e, consequentemente, na realização da fotossíntese. Ao medir a parte aérea e aplicar a análise de variância (ANOVA), constatou-se que os tratamentos influenciaram significativamente tanto o peso quanto o comprimento da parte aérea da espécie em estudo.

A Tabela 4 apresenta os valores médios, os desvios padrão e o agrupamento estatístico dos tratamentos com base no teste de Tukey para os dados de peso da parte aérea. Observa-se que apenas os tratamentos T1 (testemunha) e T4 (60 mg) apresentaram diferenças significativas entre si e em relação aos demais. Os outros tratamentos mostraram similaridade estatística: T2 agrupou-se com T5 e T6; T3 também compartilhou grupo com T5 e T6. Esses resultados sugerem que os efeitos do boro na parte aérea apresentam um comportamento mais estável entre as doses intermediárias e elevadas, sendo T5 (80 mg) e T6 (100 mg) estatisticamente equivalentes.

Tabela 4 - Resumo de dados do peso da parte aérea

Nome	Tratamentos(mg)	N	Média(g)	Desvio Padrão	Agrupamento
T1(testemunha)	0	20	0,8020	0,0939	D
T2	20	20	1,5042	0,1789	C
T3	40	20	1,6720	0,2425	B
T4	60	19	1,8789	0,2196	A
T5	80	20	1,5185	0,1355	BC
T6	100	20	1,5270	0,1080	BC

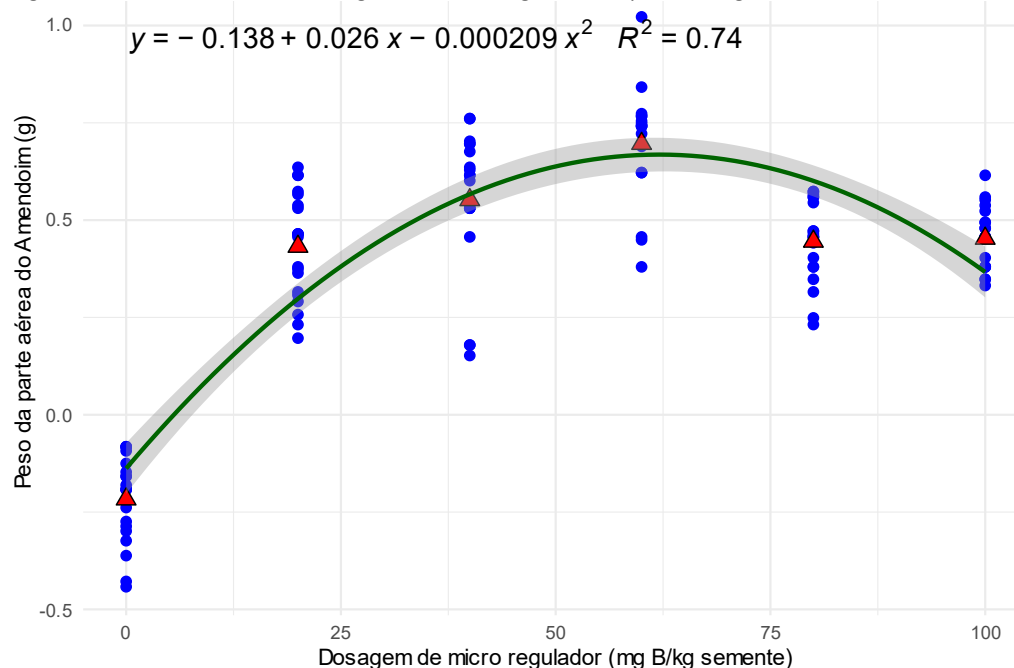
Fonte: Elaborado pelos autores usando R e RStudio (R Core Team, 2025; RStudio Team, 2020)

No que diz respeito à parte aérea, a relação entre o peso dessa estrutura e as diferentes dosagens de boro seguiu um padrão de curva polinomial de segundo grau, conforme evidenciado na Figura 6. O ponto máximo da curva ocorreu próximo à dosagem de 60 mg (T4), reforçando a tendência já observada nos resultados referentes ao desenvolvimento radicular. Esse comportamento indica que a dose de 60 mg de boro por quilo de semente não apenas

favorece o crescimento das raízes, mas também promove um maior acúmulo de biomassa na parte aérea da planta.

A Figura 6 ilustra as medidas obtidas e a curva de ajuste que expressa a tendência dos dados de peso da parte aérea, confirmando que a aplicação moderada de boro pode ser benéfica para o crescimento global da planta de amendoim, desde que controlada dentro de limites adequados para evitar efeitos tóxicos ou de inibição fisiológica.

Figura 5 - Efeito de diferentes dosagens de micro regulador no peso do seguimento aéreo do amendoim



Fonte: Elaborado pelos autores usando R e RStudio (R Core Team, 2025; RStudio Team, 2020)

Considerando que a aplicação de boro pode influenciar diretamente o desenvolvimento da parte aérea das plantas, em virtude de seu papel essencial na formação e alongamento celular, translocação de nutrientes, transporte de açúcares e síntese proteica, Souza e Roman (2018) apontam que, a partir de determinadas concentrações de ácido bórico, ocorre uma redução no crescimento e no peso da parte aérea em plantas de soja.

A aplicação adequada de boro, no entanto, é fundamental para promover o crescimento saudável da parte aérea, uma vez que esse micronutriente participa de diversos processos fisiológicos essenciais para a formação de tecidos vegetais e acúmulo de biomassa. Com níveis equilibrados de boro, as plantas tendem a apresentar maior absorção de nutrientes, maior eficiência na fotossíntese e na produção de energia, resultando em incremento do crescimento e no aumento do peso da parte aérea (FUJIYAMA, 2019).

Assim como nas raízes, o boro exerce influência direta sobre o desenvolvimento da parte aérea. Ferrari e Boiago (2022) ressaltam que doses elevadas de ácido bórico podem causar toxidez na cultura da soja, refletindo negativamente no crescimento das partes superiores da planta.

A Tabela 5 apresenta os valores médios de comprimento da parte aérea das plantas de amendoim, com seus respectivos desvios padrão e agrupamentos formados pelo teste de

Tukey. Verifica-se que os tratamentos T1 (testemunha) e T2 (20 mg) foram agrupados estatisticamente, assim como T5 (80 mg) e T6 (100 mg). Por outro lado, os tratamentos T3 (40 mg) e T4 (60 mg) se diferenciaram dos demais, sugerindo que essas doses apresentaram desempenho distinto no estímulo ao crescimento em altura da parte aérea.

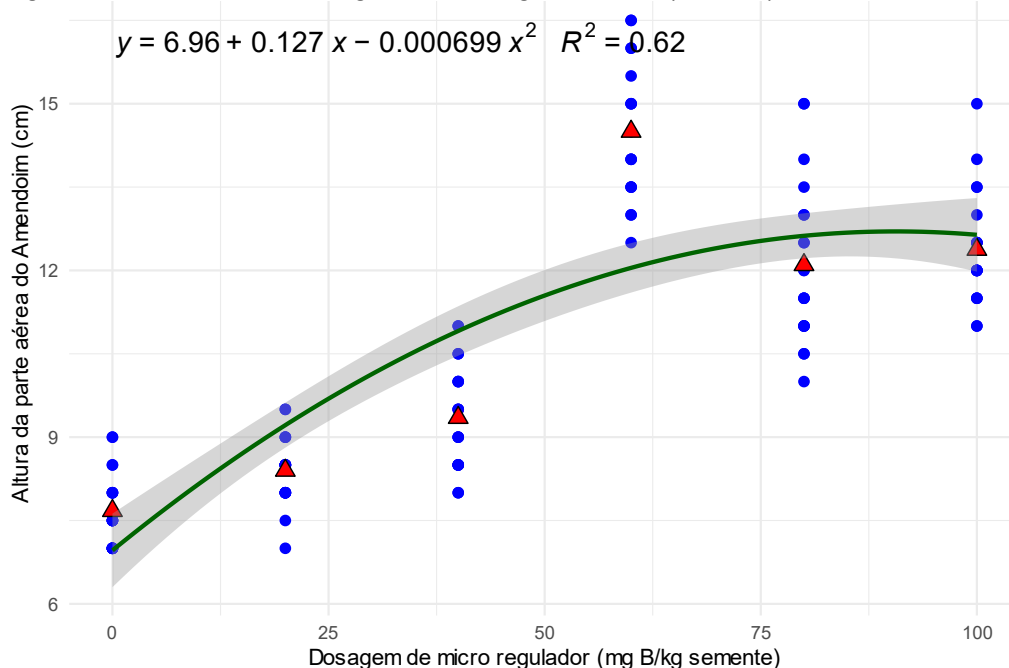
Tabela 5 - Resumo de dados do tamanho da parte aérea

Nome	Tratamentos(mg)	N	Média(cm)	Desvio Padrão	Agrupamento
T1(testemunha)	0	20	7,675	0,674	D
T2	20	20	8,400	0,620	D
T3	40	20	9,350	0,947	C
T4	60	20	14,500	1,181	A
T5	80	20	12,100	1,447	B
T6	100	20	12,375	1,011	B

Fonte: Elaborado pelos autores usando R e RStudio (R Core Team, 2025; RStudio Team, 2020)

A altura da parte aérea apresentou tendência semelhante à verificada na relação entre o comprimento das raízes e os tratamentos, com dose ideal identificada em 60 mg. O experimento demonstrou que, a partir dessa dosagem, há declínio no desenvolvimento das plantas, provavelmente associado à toxicidade provocada por excesso de boro. Apesar disso, as plantas que conseguiram se desenvolver sob essas condições apresentaram maior porte em comparação àquelas oriundas de sementes não tratadas com boro, tanto em relação à parte aérea quanto à raiz, como evidenciado na Figura 6.

Figura 6 - Efeito de diferentes dosagens de micro regulador no comprimento parte aérea do amendoim



Fonte: Elaborado pelos autores usando R e RStudio (R Core Team, 2025; RStudio Team, 2020)

A altura da parte aérea apresentou tendência semelhante à verificada na relação entre o comprimento das raízes e os tratamentos, com dose ideal identificada em 60 mg. O

experimento demonstrou que, a partir dessa dosagem, há declínio no desenvolvimento das plantas, provavelmente associado à toxicidade provocada por excesso de boro. Apesar disso, as plantas que conseguiram se desenvolver sob essas condições apresentaram maior porte em comparação àquelas oriundas de sementes não tratadas com boro, tanto em relação à parte aérea quanto à raiz.

De forma geral, a aplicação de boro em plantas afeta diretamente seu crescimento e altura, sendo os efeitos dependentes da espécie cultivada, das condições ambientais e da presença de deficiência ou excesso do micronutriente. Conforme Ascoli (2020), em situações de deficiência de boro, a aplicação correta promove um aumento considerável no crescimento e no alongamento dos tecidos vegetais, uma vez que o boro atua de maneira fundamental na divisão e expansão celular.

Entretanto, quando a aplicação excede a faixa ideal, os efeitos podem ser inversos. Ecco; Backes; Reuter (2022) evidenciaram que doses elevadas de ácido bórico causam redução significativa no desenvolvimento radicular e da parte aérea da soja, comprometendo a formação estrutural e funcional da planta. Esses achados são compatíveis com os resultados obtidos neste estudo com amendoim, demonstrando que, apesar de essencial, o boro exige um manejo equilibrado e tecnicamente embasado.

Desse modo, os dados aqui apresentados reforçam a importância da definição de doses adequadas de boro no tratamento de sementes, uma vez que a aplicação em níveis moderados, especialmente na faixa de 60 mg/kg, contribuiu significativamente para o incremento do desenvolvimento das raízes e da parte aérea do amendoim, sem provocar sintomas de toxidez. Valores superiores, embora tenham apresentado crescimento acentuado em alguns parâmetros, demonstraram tendência à saturação ou redução do desenvolvimento, sugerindo uma curva de resposta típica de micronutrientes.

Esses resultados fornecem subsídios técnicos relevantes para o manejo nutricional do amendoim e evidenciam a necessidade de estudos complementares que avaliem a interação do boro com outros nutrientes, bem como suas implicações ao longo do ciclo completo da cultura.

4 CONCLUSÃO

Conclui-se, portanto, que a aplicação de ácido bórico no tratamento de sementes de amendoim influencia diretamente os estágios iniciais do desenvolvimento vegetal. As doses mais elevadas prejudicaram a germinação, possivelmente devido à acidificação do meio, mas, paradoxalmente, proporcionaram maior desenvolvimento às plantas que conseguiram emergir. O tratamento com 60 mg de boro por quilo de semente (T4) destacou-se como o mais eficiente, promovendo resultados significativamente superior no crescimento das raízes e da parte aérea.

Esses achados indicam que o boro é um micronutriente de alto impacto fisiológico, cujo uso deve ser cuidadosamente planejado e ajustado conforme as necessidades específicas da cultura e as características do solo. Além disso, destaca-se a importância de novas pesquisas que ampliem o entendimento sobre o comportamento do boro em diferentes fases fenológicas do amendoim, considerando seu papel crítico não apenas na fase inicial, mas também no desenvolvimento reprodutivo e na produtividade final da cultura. Assim, o presente estudo

contribui para o avanço do conhecimento técnico-científico, servindo de base para práticas agrícolas mais sustentáveis e eficazes.

5 REFERÊNCIAS

ASCOLI, Alexandre de Araújo. **Doses e fontes de boro via foliar nas características agronômicas e composição e qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro**. 2020. - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, Ilha Solteira, SP, Brasil, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/194507>.

BISSOTO, Flávia Paschino. **Absorção foliar de boro (10B) proveniente de fontes complexadas e mobilidade do nutriente na soja**. 2022. 41 f. - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 2022. Disponível em: https://www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/repositorio/storage/teses_dissertacoes/pgiac/1050.pdf.

CAMACHO-CRISTÓBAL, Juan J.; REXACH, Jesús; GONZÁLEZ-FONTES, Agustín. Boron in Plants: Deficiency and Toxicity. **Journal of Integrative Plant Biology**, [s. l.], vol. 50, no 10, p. 1247–1255, 2008. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1744-7909.2008.00742.x>.

ÇİFTÇİ, Harun; SUNA, Serkan. Nutritional composition, health benefits, and allergenicity of peanut (*Arachis hypogaea* L.): An overview. **Current Research in Food Science**, [s. l.], vol. 5, p. 99–107, 2022.

CORDEIRO, Carlos Felipe dos Santos *et al.* Boron nutrition improves peanuts yield and seed quality in a low B sandy soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], vol. 48, 2024. Disponível em: <https://www.rbcjournal.org/article/boron-nutrition-improves-peanuts-yield-and-seed-quality-in-a-low-b-sandy-soil/>.

CUI, Yuanyuan *et al.* Single-nucleus RNA and ATAC sequencing analyses provide molecular insights into early pod development of peanut fruit. **Plant Communications**, [s. l.], vol. 5, no 8, p. 100979, 2024. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2590346224002876>.

DE OLIVEIRA CRUZ, Marcos Roberto; MARQUES DE MAGALHÃES, Marcelo. Rotação de culturas e efeito sobre os custos na reforma de canavial na região da alta paulista. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [s. l.], vol. 9, no 7, 2013.

ECCO, Martios; BACKES, Julio Cesar; REUTER, Rafael Felipe. Manejo de aplicação de boro no cultivo da soja. **Revista Científica Rural**, [s. l.], vol. 24, no 1, p. 12–25, 2022. Disponível em: <http://revista.urcamp.edu.br/index.php/RCR/article/view/3973/pdf>.

FERRARI, J C; BOIAGO, N P. Diferentes doses via foliar do micronutriente boro na cultura da soja. **Revista Cultivando o Saber**, [s. l.], vol. 15, p. 163–171, 2022. Disponível em: <https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/1151/1035>.

FUJIYAMA, Bruna Sayuri. **Boro melhora a fotossíntese, alivia os danos da restrição hídrica, promove o crescimento e produtividade em soja**. 2019. - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, Brasil, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/687>.

NEVES, Fabiano Pinto *et al.* The economic importance of the peanuts production chain. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, [s. l.], vol. 17, 2023. Disponível em: <https://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/1186>.

OLIVEIRA, Francislaine Amaral de; LOURENZANI, Ana Elisa Smith Bressan. Aspectos da expansão da cultura da cana para indústria no edr de tupã: 1999 A 2010. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [s. l.], vol. 7, no 7, 2011.

PATEL, Jinesh D. *et al.* Insights into the Genomic Architecture of Seed and Pod Quality Traits in the U.S. Peanut Mini-Core Diversity Panel. **Plants**, [s. l.], vol. 11, no 7, p. 837, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/7/837>.

PAUDEL, Dev *et al.* Elucidating the effects of organic vs. conventional cropping practice and rhizobia inoculation on rhizosphere microbial diversity and yield of peanut. *Environmental Microbiome*, [s. l.], vol. 18, no 1, p. 60, 2023. Disponível em: <https://environmentalmicrobiome.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40793-023-00517-6>.

PRADO, Renato de Mello. **Nutrição de plantas**. 2. ed. [s. l.]: UNESP, 2020. Disponível em: <https://editoraunesp.com.br/catalogo/9788539308248,nutricao-de-plantas-2-edicao>.

R CORE TEAM. R: **A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: [s. d.], 2025. Disponível em: <https://www.r-project.org/>.

RSTUDIO TEAM. RStudio: Integrated Development Environment for R. Boston, MA: [s. d.], 2020. Disponível em: <http://www.rstudio.com/>.

SILVA, Renan Cesar Dias da. **Nutrição com boro na soja em função de doses, modos, épocas de aplicação e disponibilidade de água no solo**. 2017. [s. l.], 2017. Disponível em: <http://www.bdt.d.ueg.br/handle/tede/451>.

SILVA BERTI, Mariana Pina da *et al.* Doses e épocas de aplicação de boro na qualidade de sementes de soja. **Cultura Agronômica: Revista de Ciências Agronômicas**, [s. l.], vol. 28, no 2, p. 123–137, 2019. Disponível em: <https://ojs.unesp.br/index.php/rculturaagronomica/article/view/2446-8355.2019v28n2p123-137>.

SOUZA, Eduardo Schanoski De; ROMAN, Matheus Da Silva. **Adubação Foliar Com Boro Em Diferentes Estádios Fenológicos Da Soja**. [s. l.], p. 35, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/2785>.

VERA-MALDONADO, Cristóbal *et al.* Boron nutrition and its role in plant development: A review of physiological mechanisms. **Journal of Plant Physiology**, [s. l.], vol. 291, p. 153303, 2024.

VERA-MALDONADO, Peter *et al.* Role of boron and its interaction with other elements in plants. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], vol. 15, 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2024.1332459/full>.

DECLARAÇÕES

CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

Ao descrever a participação de cada autor no manuscrito, utilize os seguintes critérios:

- **Concepção e Design do Estudo:** João Paulo Machado Mantovani, Alisson Rodolfo Leite.
 - **Curadoria de Dados:** Alisson Rodolfo Leite, Leandro Calixto Tenório De Albuquerque, Camila Pires Cremasco Gabriel
 - **Análise Formal:** ALISSON RODOLFO LEITE
 - **Aquisição de Financiamento:** João Paulo Machado Mantovani
 - **Investigação:** João Paulo Machado Mantovani, Alisson Rodolfo Leite
 - **Metodologia:** Todos
 - **Redação - Rascunho Inicial:** João Paulo Machado Mantovani.
 - **Redação - Revisão Crítica:** Todos
 - **Revisão E Edição Final:** Alisson Rodolfo Leite, Luís Roberto Almeida Gabriel Filho
 - **Supervisão:** Luís Roberto Almeida Gabriel Filho.
-

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, ALISSON RODOLFO LEITE, JOÃO PAULO MACHADO MANTOVANI, CAMILA PIRES CREMASCO GABRIEL, LEANDRO CALIXTO TENÓRIO DE ALBUQUERQUE E LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO, declaro(amos) que o manuscrito intitulado "**Estudo da estimulação por boro na germinação e no crescimento das plântulas do amendoim (*Arachis Hypogaea* L.)**":

1. **Vínculos Financeiros:** Não possui/possui vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou interpretação do trabalho. Nenhuma instituição ou entidade financiadora esteve envolvida no desenvolvimento deste estudo.
 2. **Relações Profissionais:** Não possui/possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados.
 3. **Conflitos Pessoais:** Não possui/possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito.
-