

Campus Ariquemes

Coordenação do Curso Bacharel em Agronomia

PALOMA VITORIA VALENTINO DA SILVA

**EFEITO DE FONTES E DOSES DE BORO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE
ALFACE AMERICANA *Lactuca sativa* L..**

PALOMA VITORIA VALENTINO DA SILVA

**EFEITO DE FONTES E DOSES DE BORO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE
ALFACE AMERICANA *Lactuca sativa* L..**

Artigo entregue como Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus* Ariquemes, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel, junto a Coordenação do Curso de Bacharelado em Agronomia, sob a orientação do professor Ueliton Oliveira de Almeida.

ARIQUEMES
2026

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO.

Silva, Paloma Vitoria Valentino da.
Efeitos de fontes e doses de boro sobre o desenvolvimento de
alface americana *Lactuca sativa* L.. / Paloma Vitoria Valentino da
Silva. - Ariquemes, 2026.
19 f. : il.

Orientador(a): Prof. Ueliton Oliveira de Almeida.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia -
IFRO, Ariquemes, 2026.

1. Adubação. 2. Nutrição de plantas. 3. Horticultura tropical. I.
Almeida, Ueliton Oliveira de (orient.). II. Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. III. Título.

Bibliotecário(a) Responsável: Renilce Silva Moraes, CRB-11/906

PALOMA VITORIA VALENTINO DA SILVA

**EFEITO DE FONTES E DOSES DE BORO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE
ALFACE AMERICANA *Lactuca sativa* L..**

Artigo entregue como Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus* Ariquemes, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel, junto a Coordenação do Curso de Bacharelado em Agronomia, sob a orientação do professor Ueliton Oliveira de Almeida.

Aprovado em: 22/06/2026 pela banca examinadora.

Documento assinado digitalmente
 REGINALDO ALMEIDA ANDRADE
Data: 03/07/2026 15:06:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro da Banca

Documento assinado digitalmente
 MATHEUS VINICIUS DA SILVA ARAUJO
Data: 03/07/2026 15:48:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro da Banca

Documento assinado digitalmente
 UELITON OLIVEIRA DE ALMEIDA
Data: 03/07/2026 09:49:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me proporcionado essa dádiva que é cursar o curso Bacharelado em agronomia, aos meus pais Vivaldo Valentino dos Santos e Vanusa Conceição Da Silva Santos e meus irmãos Olga Benaria Valentino Silva e Ernesto Valentino da Silva. Agradeço também aos meus amigos e colegas que tiveram me apoiando, meu orientador por ter colaborado comigo desempenhando tal função com dedicação e amizade;

Com muito carinho, meu muito OBRIGADO A TODOS...

EFEITO DE FONTES E DOSES DE BORO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE ALFACE AMERICANA *Lactuca sativa* L..

RESUMO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma das hortaliças mais consumidas no Brasil e no mundo, destacando-se pelo seu valor nutricional e versatilidade culinária. Entretanto, o cultivo da alface americana em regiões tropicais enfrenta limitações relacionadas às condições climáticas, tornando o manejo nutricional uma importante estratégia para favorecer o desenvolvimento das plantas. O boro (B) é um micronutriente essencial, atuando em processos fisiológicos como divisão celular, formação da parede celular e crescimento dos tecidos vegetais, influenciando a formação e fechamento das cabeças de alface. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes fontes e doses de boro sobre o desenvolvimento da alface americana, cultivar 'Grandes Lagos'. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, em um arranjo fatorial $2 \times 4 + 1$, que contempla duas fontes de B (ácido bórico e ulexita) e quatro doses (0,5, 1,0 e 2,0 e 3,0 mg de B kg⁻¹ de solo), além de um tratamento controle. Foram avaliadas variáveis de crescimento, incluindo massa fresca e seca, comprimento da parte aérea e das raízes, diâmetro e comprimento do caule e número de folhas. Os resultados indicaram ausência de efeito significativo das fontes e doses de boro sobre o acúmulo de biomassa. Em contrapartida, variáveis relacionadas ao crescimento em comprimento e ao número de folhas apresentaram maior sensibilidade às doses aplicadas, com respostas mais expressivas em níveis intermediários. O ácido bórico proporcionou respostas mais consistentes para algumas variáveis de crescimento, especialmente em doses 2,5 mg de B kg⁻¹ de solo, enquanto a ulexita apresentou comportamento menos consistente. Conclui-se que a adubação boratada influenciou principalmente o crescimento vegetativo da alface americana, sem promover alterações significativas no acúmulo de biomassa nas condições deste estudo.

Palavras-chave: Adubação boratada. Nutrição mineral. Hortaliças folhosas.

EFFECT OF SOURCES AND DOSES OF BORON ON THE DEVELOPMENT OF ICEBERG LETTUCE *Lactuca sativa* L..

ABSTRACT

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is one of the most consumed vegetables in Brazil and worldwide, standing out for its nutritional value and culinary versatility. However, the cultivation of iceberg lettuce in tropical regions faces limitations related to climatic conditions, making nutritional management an important strategy to promote plant development. Boron (B) is an essential micronutrient that acts in physiological processes such as cell division, cell wall formation, and the growth of plant tissues, influencing the formation and development of lettuce heads. Thus, this study aimed to evaluate the effect of different boron sources and doses on the development of iceberg lettuce, cultivar 'Great Lakes'. The experiment was conducted in a greenhouse using a randomized block design with four replications, arranged in a $2 \times 4 + 1$ factorial scheme, consisting of two boron sources (boric acid and ulexite), four doses (0.5, 1.0, 2.0, and 3.0 mg B kg⁻¹ of soil), and a control treatment. Growth variables were evaluated, including fresh and dry mass, shoot and root length, stem diameter and length, and number of leaves. The results showed no significant effect of boron sources and doses on biomass accumulation. In contrast, variables related to plant length and number of leaves were more sensitive to the applied doses, with more expressive responses at intermediate levels. Boric acid provided more consistent responses for some growth variables, especially at doses around 2.5 mg B kg⁻¹ of soil, whereas ulexite showed less consistent behavior. It was concluded that boron fertilization mainly influenced the vegetative growth of iceberg lettuce, without promoting significant changes in biomass accumulation under the conditions of this study.

Keywords: Boron fertilization; mineral nutrition; leafy vegetables.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 MATERIAL E MÉTODOS	11
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4 CONCLUSÃO.....	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

1 INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.), é uma das hortaliças mais consumidas no Brasil e no mundo, destacando-se como uma das principais folhosas pelo valor nutricional e versatilidade culinária (Filgueira, 2008). Cultivada em diferentes sistemas de produção, sua demanda tem crescido continuamente, impulsionada pelo consumo em lanchonetes, restaurantes e dietas saudáveis (Fontes, 2021). A China lidera a produção mundial, enquanto no Brasil, São Paulo se destaca como principal produtor. Rondônia, embora com menor expressão no cenário nacional, desempenha um papel relevante no fornecimento dessa hortaliça (FAO, 2021; IBGE, 2017).

Pertencente à família Asteraceae, a alface apresenta uma diversidade de cores e texturas, sendo que suas cultivares são classificadas em cinco grupos principais: Repolhuda Lisa, Repolhuda Crespa ou Americana, Solta Lisa, Solta Crespa ou Mimosa, e Tipo Romana (Henz; Suinaga, 2009). No Brasil, o grupo crespo predomina, mas a alface americana, pela formação de cabeças compactas, vem ganhando espaço devido à sua maior resistência ao transporte, durabilidade pós-colheita e popularidade em redes de fast-food e restaurantes (Costa; Sala, 2008; Fontes, 2021).

Apesar de seu potencial, o cultivo da alface americana enfrenta desafios em regiões tropicais, como no Norte do Brasil. Nessas áreas, entre as cultivares de alface americana adaptadas às condições tropicais, a cultivar Grandes Lagos se destaca por sua resistência a doenças, boa conservação pós-colheita e atributos sensoriais apreciados pelos consumidores. Todavia, ainda é suscetível a limitações climáticas típicas da região (Henz; Suinaga, 2009; Luengo *et al.*, 2007). Temperaturas acima de 20 °C e altos índices de luminosidade representam um obstáculo, comprometendo a qualidade do produto (Fontes, 2021). Estratégias como o cultivo protegido, sombreamento e manejo nutricional têm sido adotadas para superar esses obstáculos, sendo o manejo da adubação bórica uma prática promissora nesse contexto (Brzezinski *et al.*, 2017; Braz, 2019).

O boro (B) é um micronutriente essencial para as plantas, desempenhando papéis fundamentais na divisão celular, na formação da parede celular e no transporte e metabolismo de carboidratos (Malavolta, 2006; Braz, 2019). Sua deficiência pode impactar drasticamente o desenvolvimento da alface americana, causando redução no crescimento, deformações estruturais, menor formação de cabeças e queda significativa na produtividade. Em casos mais severos, a falta de B pode comprometer completamente a formação das cabeças comerciais, inviabilizando o aproveitamento da cultura (Braz, 2019).

Em áreas agrícolas, a principal fonte natural de B é a matéria orgânica encontrada no solo, a qual, após passar pelo processo de mineralização, disponibiliza o B anteriormente incorporado em moléculas orgânicas, na forma inorgânica para as plantas absorverem. A absorção de B pelas plantas nas condições de solos ácidos, caso da maior parte dos solos brasileiros, ocorre principalmente na forma de ácido bórico não dissociado (H_3BO_3) e de ânion borato (H_4BO_4^-), por meio de processo passivo por fluxo de massa (Raij *et al.*, 1996). Por se apresentar no solo em forma aniônica ou sem carga, o B é muito móvel na solução do solo e, conseqüentemente, altamente lixiviável, levando facilmente à uma situação de deficiência desse nutriente principalmente em solos arenosos (Prado, 2008).

Apesar de baixos valores de pH aumentarem a solubilidade do B, tornando-o mais disponível para absorção pelas plantas, solos ácidos com presença de óxidos na fração argila tendem a ter pouco B disponível por causa da sorção de B nas superfícies com ferro e óxido de alumínio dos minerais no solo (Raij *et al.*, 1996). Nessas condições, um dos fatores que causa a deficiência de B é o uso excessivo de calcário, especialmente em solos arenosos, pois aumenta a mobilidade do B e sua lixiviação para camadas mais profundas do solo (Cecílio; Prado, 2016).

O boro (B) é um micronutriente essencial, com elevada exigência em culturas dicotiledôneas, cujas concentrações variam entre 20 e 80 mg kg^{-1} de matéria seca, enquanto monocotiledôneas demandam entre 5 e 20 mg kg^{-1} (Malavolta *et al.*, 2006). Apesar de requerido em pequenas quantidades, seu manejo é crítico, pois tanto a deficiência quanto o excesso podem comprometer o desenvolvimento das plantas. A toxidez por B manifesta-se principalmente por necrose foliar e redução do crescimento radicular (Santos *et al.*, 2007), evidenciando a necessidade de equilíbrio na sua disponibilidade ao longo do ciclo da cultura.

Nesse contexto, a eficiência da adubação com B está diretamente relacionada à dinâmica do nutriente no solo, especialmente devido à sua mobilidade. A solubilidade das fontes utilizadas influencia sua disponibilidade às plantas. Fontes altamente solúveis proporcionam rápida absorção, porém podem aumentar o risco de perdas, enquanto fontes de menor solubilidade liberam o nutriente de forma gradual, favorecendo a nutrição ao longo do ciclo (Malavolta *et al.*, 2006; Prado, 2008).

Dessa forma, entre as principais fontes utilizadas na olericultura destacam-se o bórax ($\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) e o ácido bórico (H_3BO_3), ambos de alta solubilidade e rápida disponibilidade. Por outro lado, minerais como a colemanita e a ulexita apresentam menor

solubilidade, sendo alternativas para fornecimento gradual do nutriente (Malavolta *et al.*, 2006).

Além disso, devido à sua mobilidade na solução do solo, o B apresenta baixa persistência, o que exige aplicações em doses adequadas ao longo do ciclo, especialmente em culturas de ciclo curto e elevada exigência nutricional, como a alface. Dessa forma, o manejo adequado desse micronutriente é fundamental para garantir o desenvolvimento e a produtividade da cultura (Seixas, 2020).

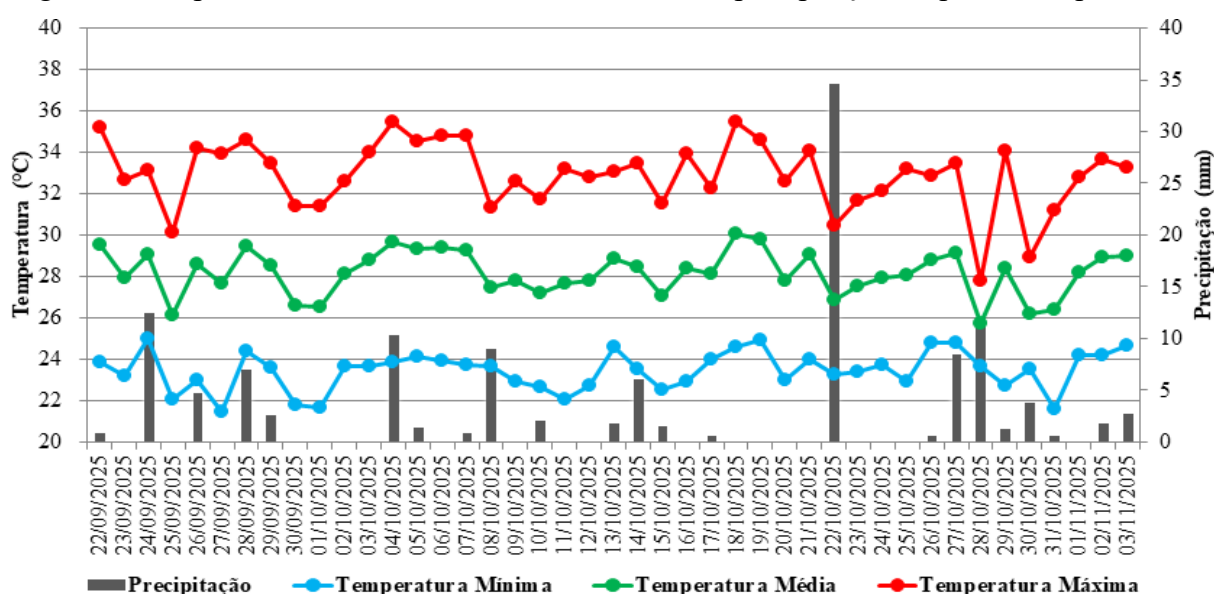
Por fim, apesar de sua importância, o manejo do B na cultura da alface americana, ainda existem lacunas de conhecimento relacionadas ao manejo desse micronutriente, especialmente nas condições edafoclimáticas da Amazônia. São escassos os estudos que comparam as diferentes fontes de boro, como o ácido bórico e a ulexita, bem como pesquisas voltadas ao cultivo protegido da alface nessa região. Além disso, a ausência de recomendações regionais quanto às fontes e doses adequadas de boro dificulta o estabelecimento de práticas de manejo mais eficientes para a cultura. Diante desse cenário, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes fontes e doses de boro sobre o desenvolvimento da alface americana, visando gerar informações que contribuam para o aprimoramento das recomendações de adubação e para o manejo nutricional da cultura nas condições amazônicas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na casa de vegetação no Instituto Federal de Rondônia, *Campus Ariquemes* (9°54'33"S, 63°2'18"O, 142 m), em Ariquemes-RO, entre 22 de setembro e 06 de novembro de 2025. Na região predominam os Latossolos Amarelos Distróficos (IBGE, 2001), e clima tipo Aw, conforme a classificação de Köppen-Geiger (Alvares *et al.*, 2013), com temperaturas médias de 24 a 31°C e precipitação anual entre 2000 e 2500 mm.

Os dados de temperatura e umidade durante período experimental (Figura 1), foram obtidos da Estação meteorológica, no Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (AGRITEMPO, 2025).

Figura 1. Temperatura mínima, média e máxima do ar e precipitação no período experimental.



Fonte: Silva, (2025).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com arranjo fatorial $2 \times 4 + 1$ (duas fontes, quatro doses, mais um tratamento controle), totalizando nove tratamentos. A formação dos blocos foi adotada para minimizar possíveis variações ambientais dentro da casa de vegetação, principalmente diferenças de luminosidade e temperatura ao longo do ambiente de cultivo. As fontes de B foram ácido bórico (17% de B) de alta solubilidade e ulexita (8% de B) com baixa solubilidade e liberação gradual do nutriente no solo, enquanto as doses de B (0,5, 1,0, 2,0 e 3,0 mg de B kg⁻¹ de solo), foram definidas com base em estudos prévios sobre a exigência da cultura da alface e na estreita faixa existente entre deficiência e toxidez desse micronutriente. O tratamento controle não recebeu adubação com B. Cada tratamento repetido quatro vezes, totalizando 36 unidades experimentais, sendo cada unidade representada por uma planta cultivada em vaso plástico de 5,0 L, preenchido com a proporção

de 0,5 kg de substrato comercial e 3,5 kg de solo, corrigido e adubado conforme recomendação para o cultivo de hortaliças (Raij *et al.*, 1996).

O substrato utilizado foi solo coletado na camada de 0-20 cm de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob vegetação nativa da região, característico de áreas de cultivo na Amazônia. Após a coleta, o material foi peneirado em uma malha de 4 mm e seco ao ar. Com os resultados foi realizado a correção do substrato com calcário dolomítico, para atingir uma saturação por bases de 80% (Raij *et al.*, 1996), e incubado por 30 dias antes do plantio. Na adubação básica de plantio utilizou-se a aplicação com nitrogênio, fósforo e potássio (nas formas N, P₂O₅ e K₂O) nas doses de 100, 250 e 100 mg kg⁻¹ de solo, respectivamente, utilizando ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio como fontes, de

acordo com a recomendação para alface americana (Filgueira, 2008).

Os tratamentos de adubação com B foram aplicados diretamente no substrato de cada vaso em aplicação única, imediatamente antes do transplante. Os fertilizantes foram misturados ao substrato para garantir uma distribuição homogênea e evitar concentrações localizadas que poderiam induzir toxidez.

A cultivar de alface americana utilizada para o experimento 'Grandes Lagos', adaptada às condições tropicais e conhecida por sua resistência ao transporte e durabilidade pós-colheita. As mudas de alface americana (cultivar 'Grandes Lagos') foram produzidas em bandejas de 200 células, preenchidas com substrato comercial. Após a emergência, as plântulas eram irrigadas diariamente, até atingirem 10 cm de altura e 4 a 5 folhas definitivas, o que ocorreu em 21 dias após a semeadura. Em cada vaso transplantou-se três mudas de alface. Após 10 dias realizou-se o desbaste para que se resta apenas uma planta por vaso, buscando padronização do cultivo.

A irrigação ocorreu individualmente para cada vaso, utilizando regador com frequência diária ou conforme a necessidade, com base nos estágios fenológicos e na umidade do substrato.

As avaliações aconteceram com 24 dias após o transplante, e para a obtenção dos dados expressos nesse artigo foram avaliadas a massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz, (MFR), massa fresca total (MFT), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento da raiz (CR), comprimento total (CT) comprimento do caule (CC), diâmetro do caule (DC), número de folha (NF), mensurando sua significância entre os fatores fontes e doses de Boro (B). buscando assim avaliar a viabilidade dos fatores empregados sobre o cultivo da Alface Americana.

Massa fresca e massa seca da parte aérea e das raízes: Após serem colhidas, lavadas e separadas a parte aérea e as raízes foram pesadas em balança analítica para determinação da

massa fresca. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para secagem em estufa de circulação de ar forçada a 60 °C até atingirem peso constante, por 72 horas. Após a secagem, as partes eram novamente pesadas para obtenção da massa seca.

Comprimento da parte aérea e das raízes: Com o uso de uma régua foi medido a parte aérea e das raízes e os resultados expressos em cm por partes, bem como, o comprimento total foi avaliado.

Diâmetro e altura do caule: O diâmetro do caule foi determinado na região do colo da planta, utilizando-se um paquímetro digital, com os resultados expressos em milímetros (mm).

Número de folhas: Foi realizada a contagem manual das folhas completamente desenvolvidas por planta, desconsiderando folhas senescentes ou não expandidas. As avaliações ocorreram na colheita, sendo os resultados expressos em número de folhas por planta e posteriormente calculada a média por unidade experimental.

Os efeitos principais das fontes e das doses de boro, bem como a interação entre esses fatores, foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p \leq 0,05$). Quando o fator fonte de boro apresentou efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para o fator quantitativo, representado pelas doses de boro, foram realizadas análises de regressão, ajustando-se modelos matemáticos de acordo com a significância dos coeficientes e o maior coeficiente de determinação (R^2). Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Sisvar.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância (Tabela 01) demonstrou que não houve efeito significativo a 5% ($p > 0,05$) das fontes e doses de boro, bem como da interação entre esses fatores, sobre as variáveis massa fresca da parte aérea, massa fresca de raízes, massa fresca total, massa seca da parte aérea, massa seca de raízes e massa seca total, respectivamente. A aplicação de boro não promoveu alterações expressivas no acúmulo de biomassa da alface americana, a ausência de resposta nas variáveis de biomassa indica que, nas condições avaliadas, a adubação boratada não promoveu incrementos significativos no acúmulo de matéria vegetal. Entretanto, como não foi determinado o teor inicial de boro no solo, não é possível afirmar se as plantas se encontravam em condição de deficiência ou suficiência desse micronutriente. Em contrapartida, as variáveis relacionadas ao crescimento em comprimento apresentaram respostas mais sensíveis aos tratamentos. O comprimento da parte aérea (CPA) (tabela 01, gráfico 03 A) foi influenciado significativamente apenas pela interação fonte $\times$ dose ($p \leq 0,05$), sendo esse efeito dependente da combinação entre a fonte utilizada e a dose aplicada, tornou-se interessante se repetir experimentos para observar se esses resultados permanecem ou se diferem.

Tabela 1 - Resumo da análise de variância para índice de comprimento da parte aérea (CPA), comprimento da raiz (CR), Comprimento total (CT), comprimento do caule (CC), diâmetro do caule (DC), número de folha (NF), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz, (MFR), massa fresca total (MFT), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST) de Alface em função de fontes e de doses de Boro.

Fontes De Variação	Fonte	Dose	Dose *Fonte	Média geral
	-----FV-----			
GL	4	1	4	
CPA	0,467 ^{ns}	0,114 ^{ns}	0,005 ^{**}	12.07
CR	0,062 ^{ns}	0,000 ^{**}	0,008 [*]	21.20
CT	0,193 ^{ns}	0,001 ^{**}	0,002 [*]	33.27
CC	0,666 ^{ns}	0,000 ^{**}	0,023 [*]	21.61
DC	0,823 ^{ns}	0,136 ^{ns}	0,886 ^{ns}	4.84
NF	0,997 ^{ns}	0,009 ^{**}	0,435 ^{ns}	7.05
MFPA	0,445 ^{ns}	0,251 ^{ns}	0,376 ^{ns}	4.63
MFR	0,096 ^{ns}	0,413 ^{ns}	0,820 ^{ns}	1.65
MFT	0,252 ^{ns}	0,367 ^{ns}	0,576 ^{ns}	6.28
MSPA	0,650 ^{ns}	0,225 ^{ns}	0,454 ^{ns}	0.43
MSR	0,578 ^{ns}	0,305 ^{ns}	0,532 ^{ns}	0.17
MST	0,858 ^{ns}	0,230 ^{ns}	0,440 ^{ns}	0.61
Resíduo		30		-

⁽¹⁾ GL: grau de liberdade. **, * e ^{ns}, significativo a 1, 5% e não-significativo, respectivamente, pelo Teste F.

Fonte: Silva, (2025).

Para o comprimento de raízes (CR) (tabela 01, gráfico 03 B), observou-se efeito significativo da dose a 1% ($p \leq 0,01$) e da interação dos fatores a 5% ($p \leq 0,05$), mostrando melhor resposta no desenvolvimento radicular às variações na disponibilidade de boro. De forma semelhante, o comprimento total foi significativamente influenciado pela dose ($p \leq 0,05$) e pela interação dos fatores ($p \leq 0,05$), assim como o comprimento do caule (gráfico 01) também apresentou efeito significativo para a dose ($p \leq 0,01$) e para a interação ($p \leq 0,05$), podendo relacionar esses resultados ao papel do boro na divisão celular e na manutenção dos meristemas, especialmente em tecidos jovens, como raízes. Além disso, esse micronutriente contribui para a estabilidade estrutural da parede celular, influenciando o alongamento e a expansão dos tecidos vegetais (Chu *et al.*, 2025).

Os resultados corroboram com Sahin, (2017) onde ao avaliar os efeitos da aplicação de boro na fisiologia e produtividade da alface em que o peso das raízes e da parte comercial da planta diminuiu com o aumento das doses de boro. Estudos comprovam que o ácido bórico se liga a polissacarídeos da parede celular, formando um complexo B-polissacarídeo, que é constituinte primário da parede celular (Cavalli *et al.*, 2014; Mazeau & Perez, 1998; Matoh *et al.*, 1993). Os resultados observados são compatíveis com o papel do boro na divisão celular e no desenvolvimento dos tecidos meristemáticos, justificando respostas em características de crescimento sem necessariamente promover aumento no acúmulo de biomassa.

Por outro lado, o diâmetro do caule (tabela 01) não apresentou resposta significativa aos tratamentos ($p > 0,05$), sendo um indicativo que essa característica é menos sensível às variações nas fontes e doses de boro nas condições avaliadas. De acordo com Ribeiro *et al.* (2022), a aplicação de diferentes fontes de boro, quando realizada de forma isolada, não resultou em aumentos expressivos no diâmetro do caule. Esse comportamento é semelhante ao observado por Silva (2016), que ao estudar a interação entre doses de nitrogênio e boro na cultura da alface verificou que o efeito positivo do boro sobre o diâmetro do caule ocorreu apenas quando associado à aplicação de 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Além disso, o aumento mencionado, não diferiu estatisticamente daquele obtido com a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio sem adição de boro.

Os resultados indicam que o diâmetro do caule apresentou baixa sensibilidade às fontes e doses de boro nas condições avaliadas. Dessa forma, são necessários estudos adicionais para melhor compreender a resposta dessa variável ao manejo do micronutriente.

Em relação ao número de folhas (tabela 01, gráfico 02), verificou-se efeito significativo apenas das doses de boro ($p \leq 0,01$), sugerindo que a disponibilidade desse micronutriente influencia diretamente a emissão foliar. Esse comportamento pode estar associado à função do boro no metabolismo e na expansão celular mencionado anteriormente, refletindo no desenvolvimento vegetativo da cultura, corroborando com o mencionado por Brdar-Jokanović (2020), que descreve a influência do boro nos processos fisiológicos relacionados à divisão celular, crescimento de tecidos jovens e desenvolvimento foliar, e por Taiz *et al* (2017) os quais relatam que o boro atua diretamente na estrutura da parede celular e no metabolismo vegetal, influenciando a expansão celular e, conseqüentemente, o crescimento vegetativo.

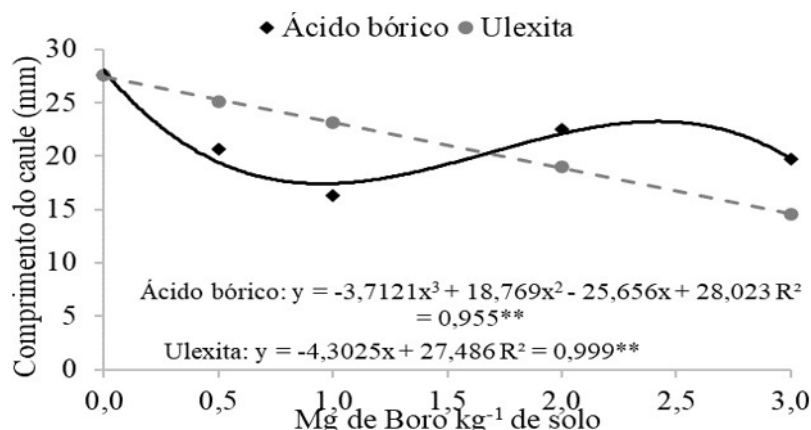
Os resultados demonstram que as variáveis de comprimento apresentaram maior sensibilidade aos tratamentos do que aquelas relacionadas ao acúmulo de biomassa. O boro tende a influenciar de forma mais evidente variáveis relacionadas ao crescimento em comprimento, como o alongamento de plântulas e raízes, enquanto o acúmulo de biomassa apresenta resposta menos consistente ou proporcional, refletindo diferentes níveis de sensibilidade entre os parâmetros de crescimento (Lima *et al.*, 2023).

Embora algumas variáveis de crescimento tenham apresentado respostas mais evidentes ao ácido bórico, essa tendência não foi observada para todas as características

avaliadas, especialmente aquelas relacionadas ao acúmulo de biomassa. Assim, os resultados não permitem afirmar superioridade agrônômica consistente entre as fontes. De acordo com Ribeiro, (2022), a aplicação de boro via solo não promoveu incremento significativo em massa fresca de parte aérea, massa seca de parte aérea e diâmetro de caule, independentemente da fonte de boro utilizado. Vale mencionar a necessidade de novos estudos envolvendo condições experimentais distintas para analisar se tais resultados permanecem ou diferem do mencionado neste artigo.

Os resultados para comprimento do caule da alface americana (gráfico 01) foi influenciado significativamente tanto pelas doses quanto pelas fontes de boro aplicadas.

Gráfico 1 - Variação do comprimento do caule por fontes e doses de Boro aplicados na Alface Americana.



Fonte: Silva, (2025).

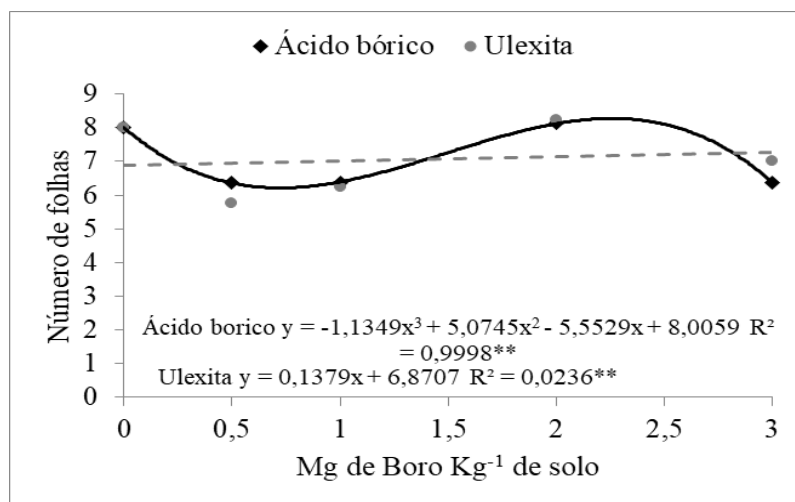
Para a fonte ácido bórico, observou-se ajuste a um modelo polinomial cúbico ($R^2 = 0,955$), apresentando comportamento não linear. Inicialmente, houve redução no comprimento do caule com o aumento das doses até aproximadamente $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de B, seguida por incremento até valores próximos de $2,0 - 2,5 \text{ mg kg}^{-1}$, e posterior tendência de queda em doses mais elevadas mostrando possível deficiência em baixas doses e indícios de toxidez em níveis mais elevados, indicando resposta diferenciada da variável às doses aplicadas. Nascimento *et al.* (2015) ao avaliarem doses e fontes de boro na couve flor notou incrementos significativos em massa seca da planta quando utilizou-se a fonte ácido bórico nas doses de $0,5$ a 2 mg.Kg^{-1} de solo.

A aplicação de ulexita apresentou ajuste linear negativo altamente significativo ($R^2 = 0,999$), indicando redução contínua no comprimento do caule à medida que se aumentaram as doses de boro. A redução observada no comprimento do caule com o aumento das doses de ulexita pode estar relacionada à dinâmica de disponibilidade dessa fonte no solo, nesse caso,

pode estar relacionado à menor solubilidade da ulexita e à liberação gradual do nutriente, o que pode ter limitado sua disponibilidade imediata ou, em doses mais altas, promovido acúmulo prejudicial ao desenvolvimento vegetativo. Entretanto, como não foram realizadas análises do teor de boro no solo ou nas plantas, essa hipótese não pode ser confirmada.

Para o número de folhas (gráfico 02), verificou-se comportamento semelhante ao das variáveis de crescimento, onde o número de folhas da alface americana apresentou resposta distinta em função das fontes e doses de boro aplicadas.

Gráfico 2 - Variação do número de folhas por fontes e doses de Boro aplicados em Alface Americana.



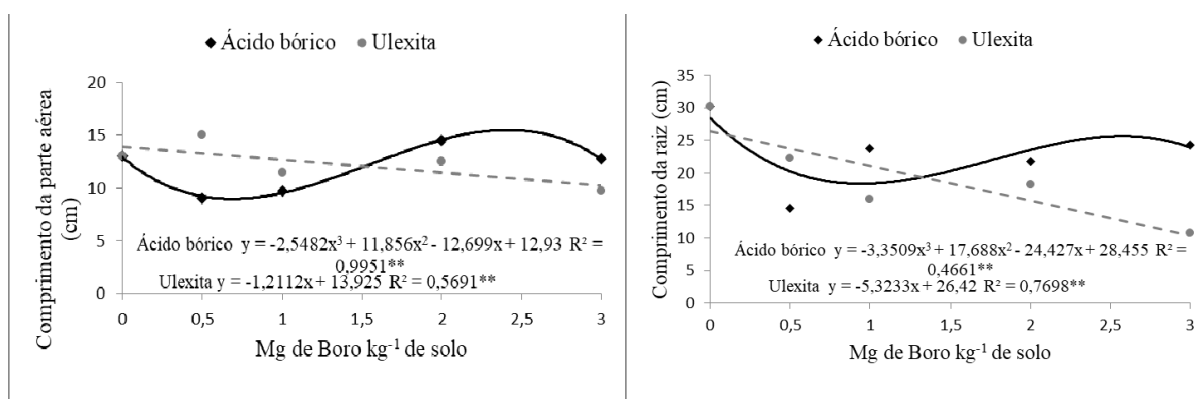
Fonte: Silva, (2025).

Para o ácido bórico, verificou-se ajuste significativo a modelo polinomial cúbico ($R^2 = 0,9998$), indicando comportamento não linear. Observa-se redução inicial no número de folhas até aproximadamente $0,5-1,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de B, seguida com ponto máximo próximo a $2,0-2,5 \text{ mg kg}^{-1}$, e posterior decréscimo em doses mais elevadas. Para a ulexita, o modelo linear ajustado apresentou baixo coeficiente de determinação ($R^2 = 0,0236$), indicando ausência de relação consistente entre as doses aplicadas e o número de folhas, logo, essa fonte não influenciou significativamente essa variável. Os resultados indicam que o número de folhas respondeu às doses aplicadas, comportamento compatível com a participação do boro no crescimento dos tecidos jovens. Taiz *et al*, (2017) relatam que o boro atua diretamente na formação e expansão foliar, uma vez que está envolvido na integridade da parede celular e no funcionamento dos tecidos meristemáticos.

Quando analisado o comprimento da parte aérea e do sistema radicular da alface (gráfico 3A e 3B) as respostas atuam de forma distinta às fontes e doses de boro aplicadas. Para o comprimento da parte aérea, o ácido bórico apresentou ajuste significativo a modelo

polinomial cúbico ($R^2 = 0,9951^{**}$), com resposta não linear ao incremento das doses. Inicialmente, há redução no crescimento em baixas doses, seguida por incremento até níveis intermediários e posterior decréscimo nas doses mais elevadas, indicando uma faixa ótima de disponibilidade de boro mesmo sendo estreita entre faixa de deficiência e toxidez, o que está de acordo com a literatura, que destaca a estreita faixa entre deficiência e toxicidade desse micronutriente (Marschner, 2012; Malavolta, 2006)

Gráfico 3 - Variação do comprimento da parte aérea (A) e comprimento da raiz (B) por fontes e doses de Boro aplicados na Alface Americana.



Fonte: Silva, (2025).

Resultados semelhantes foram observados em estudos com alface, nos quais doses moderadas de boro promoveram incremento no crescimento, enquanto níveis elevados ocasionaram efeitos negativos ou sintomas de toxidez, como redução no desenvolvimento vegetativo (Mchargue, 1932; Tilili *et al.*, 2023). Os resultados corroboram com Sahin, (2017), onde ao avaliar os efeitos da aplicação de boro na fisiologia e produtividade da alface observou-se que o peso das raízes e da parte comercial da planta diminuiu com o aumento das doses de boro. Esse padrão pode ser explicado pelo papel do boro em processos fisiológicos essenciais, como integridade da parede celular, metabolismo e divisão celular, sendo fator com influência direta ao crescimento adequado das plantas (Shireen, 2018; Pereira 2021).

Por outro lado, a menor solubilidade da ulexita (de liberação gradual (e/ou lenta) no solo apresentou comportamento linear decrescente ($R^2 = 0,5691^{**}$), indicando redução no comprimento da parte aérea com o aumento das doses, com possível redução da disponibilidade imediata para absorção pelas plantas.

Outras hipóteses podem explicar esse comportamento, como a ocorrência de excesso localizado de boro no pequeno volume de solo utilizado nos vasos, a condição inicial de suficiência do nutriente no solo ou limitações decorrentes do curto período de avaliação do experimento.

Resultados distintos foram relatados por Ribeiro *et al.* (2022) onde, o incremento observado na massa seca de raízes com o uso de ulexita associada a ácidos fúlvicos pode estar relacionado ao aumento da solubilidade desse fertilizante, decorrente da redução do pH do solo promovida pelos ácidos fúlvicos utilizado em seu trabalho. Isso ocorre porque a ulexita apresenta baixa solubilidade em água, porém maior solubilidade em meio ácido. Esse entendimento é reforçado por Correia *et al.* (2016), que, ao investigarem a solubilidade e a

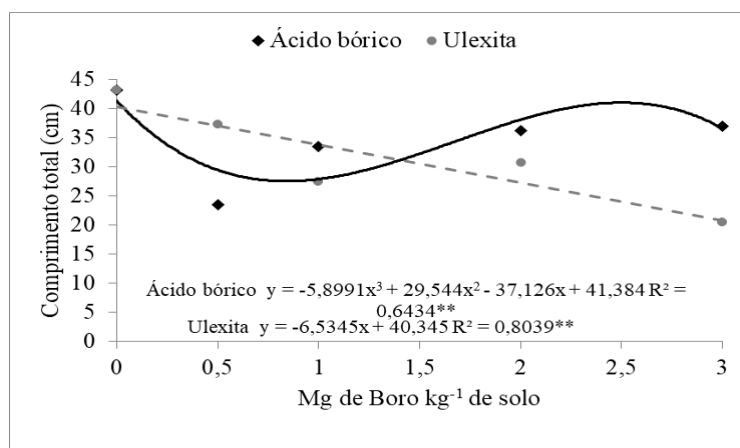
lixiviação de boro sob diferentes fontes e doses, verificaram que a aplicação de ulexita em conjunto com turfa elevou a disponibilidade do nutriente no solo, além de reduzir sua adsorção.

Em relação ao sistema radicular, o comprimento da raiz (gráfico 3B) também apresentou resposta ao ácido bórico, com comportamento não linear e melhor desenvolvimento em doses intermediárias. O boro, ao desempenhar papel na divisão celular e no crescimento das raízes, influencia diretamente a absorção de água e nutrientes Marschner, (2012). Dessa forma, desequilíbrios na disponibilidade de boro podem comprometer não apenas o crescimento radicular, mas também o desenvolvimento da planta como um todo.

A ulexita novamente apresentou tendência linear decrescente ($R^2 = 0,7698^{**}$), indicando efeito negativo do aumento das doses sobre o crescimento radicular. Esse resultado pode estar relacionado tanto à menor eficiência da fonte quanto ao possível acúmulo gradual do nutriente em níveis não ideais ao longo do tempo. Gupta, em (1993) explicou que a menor solubilidade da ulexita, promove liberação mais lenta do boro no solo, reduzindo sua disponibilidade imediata para absorção pelas plantas. Contudo, pesquisas devem ser feitas sobre o uso da ulexita, para observar se os resultados se repetem ou diferem em um período maior de avaliação, obtendo assim resultados mais consistentes.

Quando comparados o comprimento total (gráfico 4), o ácido bórico proporcionou maior variabilidade na resposta das plantas na dose 2 Mg de B, enquanto a ulexita resultou em efeito depressivo sobre o crescimento. Esses resultados podem ter relação com a forma química do boro que influencia diretamente sua dinâmica no solo e sua absorção pelas plantas, refletindo em respostas distintas no desenvolvimento morfológico da cultura. Corroborando com estudos em alface que demonstram que o fornecimento de valores próximos a 2 Mg de boro influencia diretamente o crescimento inicial das plantas, com respostas dependentes das doses aplicadas (Lima *et al.*, 2023).

Gráfico 4 - Variação do comprimento total por fontes e doses de Boro aplicados na Alface Americana.



Fonte: Silva, (2025).

De modo geral, a adubação boratada promoveu respostas mais evidentes nas variáveis relacionadas ao crescimento em comprimento do que nas variáveis associadas ao acúmulo de biomassa. Embora o ácido bórico tenha apresentado melhores respostas em algumas características de crescimento, os resultados não permitem afirmar uma superioridade agrônômica ampla dessa fonte em relação à ulexita, uma vez que grande parte das variáveis avaliadas não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos.

4 CONCLUSÃO

A adubação com boro influenciou principalmente o crescimento em comprimento da alface americana, sem efeitos significativos sobre o acúmulo de biomassa.

O ácido bórico é a fonte de boro mais indicada para o cultivo de alface americana nas condições avaliadas, por proporcionar maior desenvolvimento das plantas em comparação à ulexita. A dose de 2,0 mg de B kg⁻¹ de solo promoveu os melhores resultados para as variáveis de crescimento, sendo recomendada para a cultura nas condições de cultivo protegido. Doses superiores a 2,0 mg de B kg⁻¹ de solo tendem a reduzir o desenvolvimento das plantas, evidenciando a estreita faixa entre a adequada disponibilidade e o excesso de boro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRITEMPO. **Sistema de Monitoramento Agrometeorológico**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2025. Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br>. Acesso em: 27 abr. 2026.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.;
- SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p.711-728, 2013.
- BRAZ, T. K. S. **Efeito da aplicação de diferentes doses de boro na produtividade de alface americana em sistema hidropônico nas condições climáticas da cidade de Parauapebas-PA**. 2019. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Parauapebas, 2019.
- BRZEZINSKI, C. R.; ABATI, J.; GELLER, A.; WERNER, F.; ZUCARELI, C. **Produção de cultivares de alface americana sob dois sistemas de cultivo**. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 64, n. 1, p. 83-89, 2017.
- BRDAR-JOKANOVIĆ, M. **Boron toxicity and deficiency in agricultural plants**. *International Journal of Molecular Sciences*, Basel, v. 21, n. 4, p. 1424, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/21/4/1424>. Acesso em: 20 de abr. de 2026.
- CAVALLI, J.; ZANUZO, M. R.; RIBEIRO, L. M. *et al.* Desempenho agrônômico da couve-flor (cv. Cindy) sob diferentes doses de boro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2014, **Anais [...]**, Natal, RN: Sociedade brasileira de ciência do solo, 2014. Disponível em: <https://eventossilos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/1167.pdf>. Acesso em: 21 de abr. 2026.
- CORREIA, R. O. S. R.; TEIXEIRA, P. C.; MATTOS, B. B.; POLIDORO, J. C.; MENDONÇA, L. B. Solubilidade e mobilidade de fertilizantes boratados em condições controladas. In: SEMINÁRIO PIBIC EMBRAPA SOLOS, 2015 – 2016, **Anais [...]**, Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2015 – 2016.
- CHU, L.; LIU, X.; WANG, Y.; LI, Q.; SHEN, J. **Molecular mechanisms affected by boron deficiency in root and shoot meristems of plants**. *Journal of Experimental Botany*, 2025. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39873407/>. Acesso em: 27 abr. 2026.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Statistical Yearbook 2021**. Roma: FAO, 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/>. Acesso em: 01 abr. 2024.

FERREIRA, D. F. **Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs**. Revista Brasileira de Biometria, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>. Acesso em: 20 de nov. de 2025.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de Olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2008.

FONTES, P. C. R. **Olericultura**: teoria e prática. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2021.

GUPTA, U. C. **Boron and its role in crop production**. Boca Raton: CRC Press, 1993.

HENZ, G. P.; SUINAGA, F. **Tipos de alface cultivados no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de solos do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/brasil/solos.pdf. Acesso em: 28 jul. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/alface/br>. Acesso em: 01 abr. 2024.

LIMA, I. F. R.; SANTOS, D. M. A.; RAMOS, M. R.; PEREIRA, A. J. **Doses de boro enriquecidas com sulfato de zinco no crescimento inicial de mudas de alface (*Lactuca sativa* L.)**. Revista Agri-Environmental Sciences, Palmas-TO, v. 9, n. 2, e023024, 2023. Acesso em: <https://doi.org/10.36725/agries.v9i2.8673>. Acesso em: 27 abr. 2026.

LUENGO, R. F. A.; HENZ, G. P.; MORETTI, C. L.; CALBO, A. G. **Pós-colheita de hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2006.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Londres: Academic Press, 2012.

MATOH, T.; ISHIGAKE, K.; OHNO, K. *et al.* **Isolation and characterization of a boron polysaccharide complex from radish roots.** Plant Cell Physiology, Oxford, v. 34, n. 5, p. 639-642, 1993.

MAZEAU, K.; PÉREZ, S. **The preferred conformations of the four oligomeric fragments of rhamnogalacturonans II.** Carbohydrate Research, Amsterdam, v. 311, n. 1-2, p. 203-217, 1998.

McHARGUE, J. S.; CALFEE, R. K. **Effect of boron on the growth of lettuce.** Plant Physiology, Tocqueville, v. 7, n. 1, p. 161–164, 1932. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.7.1.161>. Acesso em: 27 abr. 2026.

NASCIMENTO, R.; MORAES, V. R.; SOUZA, J. A.; MOREIRA, A. Fontes e doses de boro no desenvolvimento vegetativo da couve flor. In: REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO, 2015, **Anais [...]**, Cascavel, PR: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1046153/1/Fontesedosesdeboronodesenvolvimento.pdf>. Acesso em: 21 de abr. 2026.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas.** São Paulo: Editora Unesp, 2008.

PEREIRA, G. L. *et al.* **Boron: More Than an Essential Element for Land Plants?.** Frontiers in Plant Science, v. 11, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.610307>. Acesso em: 27 abr. 2026.