

BORO EM MUDAS DO ABACAXIZEIRO 'PÉROLA'

MARIANA FERNANDES BARBOSA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES
AGOSTO - 2023

BORO EM MUDAS DO ABACAXIZEIRO 'PÉROLA'

MARIANA FERNANDES BARBOSA

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal”

Orientadora: Prof^a. Marta Simone Mendonça Freitas

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
AGOSTO - 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

B238

Barbosa, Mariana Fernandes.

BORO EM MUDAS DO ABACAXIZEIRO 'PÉROLA' / Mariana Fernandes Barbosa. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2024.

41 f. : il.

Inclui bibliografia.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2024.
Orientadora: Marta Simone Mendonça Freitas.

1. Micronutriente. 2. Toxidez. 3. Solução nutritiva. 4. *Ananas comosus* (L.) Merrill. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

BORO EM MUDAS DO ABACAXIZEIRO 'PÉROLA'

MARIANA FERNANDES BARBOSA

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal”

Aprovada em 02 de agosto de 2023

Comissão examinadora:

Dr. Paulo César dos Santos (D.Sc., Fruticultura) - PMCG

Dr^a Jéssica Morais Cunha (D.Sc., Nutrição de Plantas) - UENF

Prof. Dr. Almy Junior Cordeiro de Carvalho (D.Sc., Fruticultura Tropical) – UENF

Prof^a. Dr^a. Marta Simone Mendonça Freitas (D.Sc., Nutrição Mineral de Plantas) –
UENF
(Orientadora)

AGRADECIMENTOS

A Deus pela minha vida e por permitir que eu chegasse até aqui superando os obstáculos ao longo da caminhada;

Aos meus pais, Neila e Salvador, por todo incentivo e amor;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) –, código de financiamento 001, pela concessão da bolsa de estudos;

À minha orientadora, prof^a Dr^a Marta Simone pelos valiosos ensinamentos, compreensão, paciência e confiança que foram fundamentais nessa jornada;

Aos meus irmãos Tatiana e Marcos Paulo, à minha avó Carmen Fernandes, aos meus amados sobrinhos e a todos os familiares que acreditaram e torceram sempre pelo meu sucesso;

Aos amigos do Setor de Nutrição Mineral de Plantas, Júlia Vimercati, Liliane Machado, Alex Paulo, Luan Silva, Detony Petri, David Gomes, Joseph Pereira, João Neris e Lara Carvalho pelo apoio nas dificuldades em todos os momentos deste trabalho e por todos os momentos de descontração vividos durante a realização;

Aos professores do curso que contribuíram positivamente para a minha formação acadêmica e pela oportunidade de aprendizagem;

À minha amiga Júlia Vimercati por todo o convívio em laboratório, pela amizade, pelos sufocos passados em conjunto na realização dos trabalhos, por todo o incentivo que tem me dado e pelos momentos divertidos que vivenciamos;

Às minhas amigas de longa data, Milena Vargas, Júlia Almeida, Bruna Mendes, Luanna Gomes e Ingrid Diogo por todo incentivo, amizade e pelos diversos momentos de descontração compartilhados;

Aos amigos que a UENF me trouxe, Mateus Santana, Laila Brabo, Isis Góes, Danielle Marques, Vinícius Assunção, Andreza Sousa, Jéssica Martins, Lara Carvalho e Lailson Freitas por todo apoio e momentos divertidos que passamos juntos;

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF pela oportunidade de realizar o mestrado no Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal;

A todos que me ajudaram de forma direta ou indireta e que contribuíram para a execução deste trabalho.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo geral	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. Cultura do abacaxizeiro.....	4
3.1.1. Metabolismo do abacaxizeiro	5
3.1.2. Cultivar ‘Pérola’	5
3.1.3. Importância econômica e usos	6
3.2. Boro	7
3.3. Boro em plantas de abacaxizeiro	9
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
4.1. Caracterização da área de estudo	12
4.2. Delineamento experimental.....	12
4.3. Preparação das mudas e condições do experimento	12
4.4. Variáveis analisadas	13
4.4.1. Análises biométricas	13
4.4.2. Análises nutricionais na parte aérea	14
4.5. Análise estatística	14
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
5.1. Sintomas visuais em mudas do abacaxizeiro ‘Pérola’	15
5.2. Parâmetros biométricos das mudas do abacaxizeiro ‘Pérola’	17
5.3. Teores de macronutrientes e boro na parte aérea	22
6. CONCLUSÕES	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

RESUMO

BARBOSA, Mariana Fernandes; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Agosto de 2023; Boro em mudas do abacaxizeiro 'Pérola'; Orientadora: D.Sc. Marta Simone Mendonça Freitas.

Cultivado em cerca de 70 países, o abacaxizeiro (*Ananas comosus* (L.) Merrill), é uma frutífera encontrada em regiões de clima tropical e subtropical. A cultivar 'Pérola' é a mais produzida e apreciada no Brasil. O boro é um micronutriente que atua na formação da parede celular e membranas, auxiliando em suas estruturas e funcionamento, entretanto as espécies de plantas diferem nas necessidades de boro. O estudo objetivou avaliar o crescimento das mudas de abacaxizeiro 'Pérola' em função das doses de boro. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), sendo sete concentrações de boro (0; 6,25; 12,50; 25; 50; 100 e 150 $\mu\text{mol L}^{-1}$), aplicados via solução nutritiva descrita por Hoagland e Arnon (1950), modificado por Ramos (2006), com cinco repetições e duas mudas por unidade experimental. As mudas foram coletadas após 134 dias da aplicação dos tratamentos e foram avaliados o crescimento da parte aérea e de raízes e teores de nutrientes na parte aérea. Os resultados foram submetidos à análise de variância e regressão, a 5% de significância. O intervalo de doses de boro estudado provocou decréscimos lineares de 30, 28 e 25% na área foliar, massa fresca e seca da parte aérea do abacaxizeiro 'Pérola', respectivamente. Para as variáveis diâmetro total, volume total, massa fresca e seca de raiz, os decréscimos foram de 35, 40, 39 e 34%, com o aumento da concentração de boro na solução nutritiva, respectivamente. No período avaliado, os teores de macronutrientes não foram influenciados significativamente em função das diferentes doses de boro. O teor de boro foi 136% maior, na concentração de 150 $\mu\text{mol L}^{-1}$, em relação ao tratamento sem boro. Dessa forma, para o abacaxizeiro 'Pérola', cultivado em solução nutritiva, o aumento na concentração de boro proporcionou decréscimos no crescimento das mudas.

Palavras-chave: Micronutriente; Toxidez; Solução nutritiva; *Ananas comosus* (L.) Merrill

ABSTRACT

BARBOSA, Mariana Fernandes; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; August 2023; Boron in 'Pérola' pineapple seedlings; Advisor: D.Sc. Marta Simone Mendonça Freitas.

Cultivated in around 70 countries, the pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merrill) is a fruit tree found in regions with a tropical and subtropical climate. The 'Pérola' cultivar is the most produced and appreciated in Brazil. Boron is a micronutrient that acts in the formation of the cell wall and membranes, helping in their structures and functioning, however plant species differ in their boron needs. The study aimed to evaluate the growth of 'Pérola' pineapple seedlings as a function of boron doses. The experimental design was in randomized blocks (DBC), with seven concentrations of boron (0; 6.25; 12.50; 25; 50; 100 and 150 $\mu\text{mol L}^{-1}$), applied via nutrient solution described by Hoagland and Arnon (1950), modified by Ramos (2006), with five replications and two seedlings per experimental unit. The seedlings were collected after 134 days of application of the treatments and the growth of the aerial part and roots and nutrient content in the aerial part were evaluated. The results were subjected to analysis of variance and regression, at 5% significance. The range of boron doses studied caused linear decreases of 30, 28 and 25% in leaf area, fresh and dry mass of the aerial part of the 'Pérola' pineapple, respectively. For the variables total diameter, total volume, fresh and dry root mass, the decreases were 35, 40, 39 and 34%, with the increase in boron concentration in the nutrient solution, respectively. During the period evaluated, macronutrient levels were not significantly influenced due to the different doses of boron. The boron content was 136% higher, at a concentration of 150 $\mu\text{mol L}^{-1}$, compared to the treatment without boron. Thus, for the 'Pérola' pineapple, grown in nutrient solution, the increase in boron concentration led to decreases in seedling growth.

Keywords: Micronutrient; Toxicity; Nutrient solution; *Ananas comosus* (L.) Merrill

1. INTRODUÇÃO

Cultivado em cerca de 70 países, o abacaxizeiro (*Ananas comosus* (L.) Merrill) é uma planta pertencente à família Bromeliaceae. É uma frutífera encontrada em regiões de clima tropical e subtropical, sendo considerada originária do Brasil (Noronha et al., 2016; Pacheco et al., 2022). O país ocupa a quarta posição em relação a produção global da fruta, sendo que em 2021 chegou a produzir cerca de 2,4 milhões de toneladas de abacaxi (Lopes, 2023; FAO, 2023).

No mercado brasileiro, a produção da infrutescência fica atrás apenas da laranja e da banana. É cultivada em quase todos os estados, sendo que os maiores produtores são os estados do Pará e Paraíba. Na região sudeste, o Rio de Janeiro é o segundo maior produtor e, nacionalmente, é quarto maior (Lopes, 2023). As cultivares de abacaxizeiro mais conhecidas do mundo são classificadas em cinco grupos, sendo que as variedades 'Smooth Cayenne' e a 'Pérola' são as que possuem mais destaque nos cultivos comerciais brasileiros, sendo responsáveis por mais de 85% da produção total de abacaxi no país (Ponciano et al., 2006; Brito et al., 2019; Teixeira, 2020).

A cultivar 'Pérola', também conhecida como Pernambuco, é amplamente cultivada no Brasil. Quando maduro, a fruta apresenta casca amarelada, polpa branca e suculenta, altos teores de açúcares, reduzida acidez e excelente sabor, tornando agradável ao paladar brasileiro (Brito et al., 2019; Teixeira, 2020).

As plantas requerem macro e micronutrientes para que tenham um crescimento e desenvolvimento de maneira satisfatória. O boro é um micronutriente essencial para a nutrição das plantas, tendo um papel fundamental no metabolismo vegetal, pois está envolvido na parede celular e membrana, atuando em suas estruturas e no funcionamento, bem como no transporte de íons, hormônios e metabólitos, além de desempenhar um papel importante no período reprodutivo da planta, desde a germinação do pólen, formação do tubo polínico, produção de flores, frutos e sementes (Tomicioli et al., 2021). No entanto, o limiar entre deficiência e toxidez do boro é estreito, sendo que o fornecimento inadequado desse micronutriente leva a um efeito negativo na produtividade das plantas (Li et al., 2018; Brdar- Jkanović, 2020). Em relação a exigência de boro, as espécies de plantas possuem divergências, ou seja, o boro disponível no solo que é deficiente para uma cultura pode ser excessivo para outra cultura.

No Brasil o problema maior é a deficiência de boro, pois os solos brasileiros são deficientes desse micronutriente, nesse sentido a maioria dos estudos de boro na cultura do abacaxizeiro, mesmo sendo uma espécie que possui adaptações em ambientes sob estresses, estão relacionados a deficiência, como os trabalhos de Siebeneichler (2002), Siebeneichler et al. (2008a) com cultivar 'Pérola', Ramos et al. (2011) com a cultivar BRS Imperial e Cunha et al. (2019) com a cultivar 'Vitória'. Entretanto o uso excessivo de boro nas adubações pode tornar-se tóxico razão pela qual é necessário conhecer os teores adequados de boro na planta, para se fazer uma recomendação correta para cada cultura. No abacaxizeiro não foram encontrados trabalhos de sintomas de toxidez em mudas ou plantas adultas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar o efeito do boro em mudas de abacaxizeiro 'Pérola'.

2.2. Objetivos específicos

- Descrever os sintomas de deficiência e toxidez de boro nas mudas de abacaxizeiro 'Pérola';
- Determinar o efeito do boro no crescimento da parte aérea e do sistema radicular de mudas de abacaxizeiro 'Pérola';
- Determinar os teores de macronutrientes e boro das mudas de abacaxizeiro 'Pérola' em função das doses de boro.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Cultura do abacaxizeiro

O abacaxizeiro [*Ananas comosus* (L.) Merrill] é uma planta monocotiledônea, herbácea, perene, pertencente à família Bromeliaceae. É encontrada nas regiões de clima tropical e subtropical, sendo originária da América do Sul e descrita como uma espécie proveniente do Brasil. O fruto é conhecido como abacaxi ou ananás, palavras oriundas do tupi-guarani, significando “fruto que cheira” (Noronha et al., 2016; Pacheco et al., 2022).

Os abacaxizeiros estão distribuídos nos gêneros *Ananas* e *Pseudananas* (Bromeliaceae), sendo o *Ananas* o principal gênero, visto que a espécie *Ananas comosus* é a mais importante na economia, incluindo todas as cultivares (Almeida, 2019). O cultivo do abacaxi é realizado em quase todos os estados, sendo a cultivar ‘Pérola’ a mais produzida pelo Brasil (Pacheco et al., 2022).

O ciclo da cultura do abacaxi dura cerca de 12 a 30 meses, dividindo-se em três fases: vegetativa, reprodutiva e propagativa. A primeira fase é a vegetativa, durando do plantio até o dia da indução floral da planta, tempo esse que varia de 5 a 12 meses. Em seguida, tem-se a fase reprodutiva, a qual ocorre a formação do fruto, com duração de 5 a 6 meses. Por fim, tem-se a fase propagativa, onde ocorre a produção de mudas. Essa etapa tem a duração de 4 a 10 meses, produzindo mudas do tipo filhote e 2 a 6 meses para mudas do tipo rebentão (Silva et al., 2004; Gurgel, 2017).

O abacaxizeiro adulto apresenta porte baixo, podendo variar de 1,00 a 1,20 metros de altura e 0,80 a 1,50 metros de diâmetro. Suas folhas são revestidas por uma camada de cutícula e tricomas, estando dispostas em espiral ao redor do caule, apresentando formato de calha. O sistema radicular é do tipo fasciculado, sendo superficial e fibroso, podendo alcançar 0 a 30 centímetros de profundidade (Almeida, 2019).

A fruta ou infrutescência (sorose) é caracterizada por um aglomerado de gomos (ou frutinhos) arranjados em espiral ao redor do eixo central, sendo originados por partenocarpia. Apresenta coroa de folhas no topo e pode assumir variadas formas como cônica, cilíndrica e arredondada. Sua polpa é de coloração branca, amarela ou

laranja-avermelhada, sendo carnosa e possuindo um sabor bastante agradável (Noronha et al., 2016; Gurgel, 2017; Assis, 2018; Almeida, 2019).

3.1.1. Metabolismo do abacaxizeiro

O abacaxizeiro é uma planta inserida no grupo do metabolismo ácido das crassuláceas (CAM ou MAC), proporcionando uma melhor adaptação a ambientes quentes e áridos, alta radiação solar, temperatura do ar elevada, alta salinidade e baixa pluviosidade. As plantas que possuem este tipo de metabolismo, geralmente, apresentam características que reduzem a perda de água, como cutícula espessa, grandes vacúolos e estômatos com aberturas pequenas (Almeida, 2019).

Embora seu principal metabolismo seja do tipo CAM, o abacaxizeiro pode apresentar metabolismo C3 em condições favoráveis ao seu desenvolvimento. Quando a planta se encontra em ambientes com temperaturas reduzidas, menor radiação solar e boa disponibilidade de água ela se comporta como C3. Nesse contexto, o abacaxizeiro caracteriza-se como CAM facultativa, alterando seu metabolismo para o tipo C3 em condições ambientais ausentes de estresses abióticos, ou para o tipo CAM, quando em condições adversas (Gurgel, 2017; Assis, 2018; Almeida, 2019).

3.1.2. Cultivar 'Pérola'

A cultivar 'Pérola', também conhecida como Pernambuco, é cultivada amplamente no Brasil. É uma planta de porte médio e que possui crescimento ereto, apresentando folhas longas (cerca de 65 cm de comprimento) com espinhos nas bordas e pedúnculo longo (em torno de 30 cm). Pode produzir cerca de 8 a 15 filhotes presos ao pedúnculo, próximos da base do fruto, o qual possui forma cônica (pesando em torno de 1,0 a 1,5 kg) e uma grande coroa em seu topo. Além disso, apresenta casca amarelada (quando maduro), polpa branca e suculenta, alto teor de açúcares, reduzida acidez e excelente sabor, o que a torna agradável ao paladar brasileiro, sendo a cultivar mais consumida e responsável por mais de 80% da produção no país.

É uma cultivar suscetível à fusariose e à cochonilha, embora menos do que a 'Smooth Cayenne' (Cabral, 1999; Ponciano et al., 2006; Matos et al., 2006; Brito et al., 2019; Teixeira, 2020; Lopes, 2023).

3.1.3. Importância econômica e usos

O abacaxi é muito valorizado por seu sabor, suculência e aroma, principalmente nas regiões produtoras e nos países importadores, possuindo um bom equilíbrio entre acidez e doçura. Existem diversas variedades de abacaxi com diferentes tamanhos, formas, cores e sabores (Ali et al., 2020; Pacheco et al., 2022). Normalmente a fruta é consumida *in natura* ou na forma de doces, sorvetes, picolés, refrescos e sucos, enlatados, em calda, cristalizada e liofilizada. Além disso, pode ser empregada na fabricação de cremes, balas, bolos, xaropes, licores, vinhos, vinagre e aguardente, podendo ser aplicada como matéria-prima para produção de ração animal e extração de álcool (Crestanil, 2010; Alexandre et al., 2015; Pacheco et al., 2022).

As espécies da família Bromeliaceae apresentam um alto potencial de obtenção de biocompostos, tais como enzimas proteolíticas e metabólitos secundários de ação antioxidante, que são de interesse para as indústrias farmacêuticas e alimentícias. Apresenta um alto valor nutritivo, sendo uma fonte de vitaminas (A, C e do complexo B), açúcares solúveis e de minerais como fósforo, magnésio, potássio, sódio, cobre, cálcio, iodo, ferro e manganês. Além disso, o abacaxi contém grandes concentrações de Bromelina, uma enzima proteolítica agregada ao tratamento de distúrbios digestivos e à hidrólise de proteínas, auxiliando na digestão (França-Santos et al., 2009; Chaves et al., 2015; Vieira et al., 2020; Pacheco et al., 2022).

A bromelina é bastante utilizada na produção de medicamentos por ter ação diurética, depurativa e anti-inflamatória. Além disso, pode ser utilizada no amaciamento de carnes, clarificação de cervejas, fabricação de queijos, na indústria têxtil, tratamento do couro, tratamento da lã e seda, feridas e inflamações, entre outros (França-Santos et al., 2009; Sobrinho, 2014; Vieira et al., 2020; Pacheco et al., 2022).

3.2. Boro

As plantas requerem macro e micronutrientes essenciais para que tenham um crescimento e desenvolvimento de maneira satisfatória. Entretanto, quando o fornecimento de um nutriente é inadequado, o crescimento das plantas é afetado, resultando em perdas na produtividade e, conseqüentemente, baixa qualidade do produto colhido (Brdar-Jokanović, 2020).

O boro (B) é um elemento químico que pertence ao grupo 13 na tabela periódica. Apresenta propriedades metálicas e não metálicas, com capacidade de produzir ácidos e bases. Além disso, é a molécula não ionizada de maior mobilidade no solo, se encontrando na faixa de pH de 4 a 8. É um micronutriente essencial para a nutrição das plantas, sendo absorvido por elas via sistema radicular, principalmente na forma de ácido bórico. Esse elemento pode ser absorvido por diferentes mecanismos, podendo ocorrer por difusão passiva nas células através da bicamada fosfolipídica, quando em presença de alta disponibilidade de B, e na forma ativa através de transportadores específicos, quando em baixa disponibilidade de B (Tanaka e Fujiwara, 2008; Junior, 2018; Brdar-Jokanović, 2020).

Esse elemento possui um papel importante no metabolismo vegetal, estando envolvido na parede celular, garantindo uma melhor organização da lamela média e substâncias cimentantes como pectina, hemicelulose e precursores da lignina. Também atua na estruturação da membrana plasmática, bem como translocação de fotoassimilados, íons, hormônios e metabólitos. Desempenha um importante papel no período reprodutivo da planta, desde a germinação do pólen, formação do tubo polínico, produção de flores, frutos e sementes (Tomicioli et al., 2021).

No entanto, o limiar entre deficiência e toxidez do boro é estreito, sendo que o fornecimento inadequado desse micronutriente leva a um efeito negativo na produtividade das plantas. Em relação a exigência de boro, as espécies de plantas possuem divergências, ou seja, o boro disponível no solo que é deficiente para uma cultura pode ser excessivo para outra. A adubação pode solucionar o problema em relação a deficiência, enquanto a toxidez do boro no solo pode ser melhorada usando vários procedimentos, porém são caros e levam tempo, apresentando muitas vezes efeitos temporários (Li et al., 2018; Brdar-Jokanović, 2020). No Brasil o problema maior é a deficiência de boro, pois os solos brasileiros são deficientes desse micronutriente.

Os sintomas provenientes da deficiência de boro estão relacionados às lesões ou morte das gemas e do meristema apical, enrugamento foliar e aparecimento de pontos amarelados nas folhas mais novas, deformação do fruto, caules e pecíolos quebradiços, baixa formação e deformação das raízes laterais (Malavolta, 2006; Siebeneichler et al., 2008b; Boaretto et al., 2011). A falta desse nutriente afeta no funcionamento da enzima H^+ - ATPase no sistema radicular, resultando em danos na formação e composição da membrana plasmática. Conseqüentemente, afeta os processos de absorção de água e nutrientes, no crescimento e no desenvolvimento vegetal (Ferreira, 2014; Seth e Aery, 2017).

A mobilidade do boro ocorre por meio da ligação deste elemento a compostos que possui a configuração cis-diol. Estes compostos são os itóis (álcoois de açúcar), tais como sorbitol, manitol e dulcitol, sendo formados durante o processo fotossintético. São transportados pelo floema em plantas superiores, podendo ser utilizados na osmorregulação e na nutrição heterotrófica. A mobilidade do boro nas plantas é dada como imóvel ou pouco móvel no floema das plantas, sendo que sua mobilidade está de acordo com o metabolismo de cada espécie (Madore e Lucas, 1995; Furlani, 2004; Siebeneichler et al., 2005).

O abacaxizeiro é capaz de sintetizar manitol e sorbitol, sendo que de acordo com Siebeneichler et al. (2005), que trabalharam com mudas da cultivar 'Pérola' em solução nutritiva para confirmar a mobilidade do boro em abacaxizeiro, os autores observaram que o teor de boro acompanhou a variação da massa seca das plantas. O boro contido nas folhas mais novas proveio das folhas maduras, cujo teor diminuiu significativamente, sugerindo a mobilidade desse micronutriente no abacaxizeiro.

O boro, quando deficiente nas plantas em que não há remobilização do elemento, resulta em sintomas de deficiência nas regiões mais novas da planta. Bergmann (1986) estudando adubação com boro em plantas de girassol demonstrou que é uma planta que apresenta alta demanda de boro, pois o cultivo sem o micronutriente resultou em formação de folhas novas deformadas e morte do meristema apical. Por outro lado, em plantas que fazem o transporte de itóis no floema, ou seja, que possuem uma mobilidade, os sintomas de deficiência se encontram nas partes mais velhas da planta. Apenas em casos extremos esses sintomas se manifestam nas partes mais jovens (Siebeneichler et al., 2005).

É provável que o transporte do boro pelo floema seja possível em abacaxizeiros através dos complexos manitol-B-manitol e/ou sorbitol-B-sorbitol, já que

essas plantas possuem a capacidade de sintetizar sorbitol e manitol. A formação de novas folhas, reduções do conteúdo e teor de boro em folhas maduras, elevação do conteúdo nas folhas mais novas e a ausência dos sintomas de escassez do boro em plantas mantidas em solução nutritiva sem a presença desse elemento, mostram que esse micronutriente possa apresentar mobilidade em abacaxizeiros da variedade 'Pérola' (Brown e Shelp, 1997; Siebeneichler et al., 2005).

Os sintomas provenientes pelo excesso de boro variam entre as culturas. Geralmente, começam a partir das margens de folhas maduras, ficando cloróticas (folhas amareladas e/ou com manchas) e podendo sofrer necrose. Em espécies onde o boro é imóvel, os sintomas aparecem entre as nervuras laterais em direção à nervura central. Em dicotiledôneas, a toxidez se reflete ao redor das margens das folhas, enquanto nas gramíneas o efeito se desenvolve na ponta das folhas com aparecimento de manchas escuras. Isso ocorre pelo fato de que o boro é transportado em função da taxa transpiratória da folha, acumulando-se no final deste fluxo (Yau et al., 1995; Terra et al., 2007; Princi et al., 2016; Junior, 2018).

Uma característica primária que se pode observar da toxicidade de boro é a inibição do crescimento das raízes, juntamente com a redução do peso seco da planta como observado em culturas, tais como tomate (Cervilha et al., 2009) e trigo (Turan et al., 2009), que houve um decréscimo no crescimento radicular. No estudo de Liu et al (2000), o excesso de boro resultou na divisão celular anormal no meristema radicular da fava.

3.3. Boro em plantas de abacaxizeiro

A maioria dos trabalhos com abacaxizeiro e boro estão relacionados a deficiência, como os trabalhos de Siebeneichler (2002), Siebeneichler et al. (2008a) com a cultivar 'Pérola', Ramos et al. (2011) com a cultivar BRS Imperial e Cunha et al. (2019) com a cultivar 'Vitória'. Esses autores relatam que a deficiência de boro no abacaxizeiro contribui na deterioração do sistema vascular, tendo como consequência a morte do meristema apical. As folhas ficam mais espessas, com aspecto coriáceo e as folhas mais novas podem ser retorcidas. A forma e o tamanho da infrutescência também são afetados, resultando em rachaduras na superfície externa e tendo a presença de tecidos corticosos entre os frutinhos. No final do ciclo, de acordo com o

estudo de Siebeneichler et al. (2008a), os frutos atrofiados e com secreção de goma entre os frutinhos apresentaram grande infestação de cochonilhas e, provavelmente, doenças secundárias devido à presença dessas rachaduras.

Outro estudo relacionado com a qualidade do fruto é o de Wei et al. (2018), que estudaram doses de boro (0; 0,5; 1,0; 2,0 e 4,0 mg/kg) na qualidade do abacaxizeiro 'Comte de Paris' e observaram que houve efeito positivo da aplicação do boro na qualidade do abacaxi, resultando na melhoria da massa do fruto, nos teores de sólidos solúveis (SS), na relação SS/acidez, no teor de vitamina C e do aroma volátil.

Foi observado no estudo de Malézieux et al. (2003) a ausência de tricomas nos frutos jovens de abacaxizeiro sob condição de deficiência de boro, o que resultou em frutos menores, com aparência lisa e brilhante, presença de rachaduras entre os frutinhos e formação de tecidos corticosos. Souza (1999) observou que a formação de frutos menores e esféricos, com coroas múltiplas e, com base nas condições experimentais, pode-se inferir que a deficiência de boro contribuiu na formação de frutos ausentes de coroa.

Ramos et al. (2009) estudaram a caracterização dos sintomas visuais de deficiências de macronutrientes e de boro na cultivar Imperial em solução nutritiva, e observaram aos 12 meses após o plantio que a deficiência de boro resultou em frutos com coroa deformada, formação de excrescência corticosa e rachaduras entre os frutinhos, sendo os mesmos sintomas observados nos estudos anteriores. É provável que o surgimento desses sintomas em frutos do primeiro ciclo esteja relacionado com a indução de deficiência desse micronutriente em plantas bastante jovens. Esse efeito na morfologia dos frutos está ligado a ação do boro na estruturação da parede celular e na funcionalidade da membrana plasmática.

Sintomas similares também foram observados na cultivar Jupi no estudo de Ramos et al. (2014) quanto a caracterização de sintomas de deficiência de boro, e características físicas e na qualidade do fruto. Foram utilizados oito tratamentos (Completo, - N, - P, - K, - Ca, - Mg, - S e - B) e foi observado que a deficiência do boro resultou em efeitos negativos nas características morfológicas dos frutos como redução das massas, comprimento, diâmetro e do pedúnculo dos frutos.

É importante observar que as deficiências de elementos minerais afetam o desenvolvimento das plantas, alterando no crescimento e na qualidade dos frutos. No entanto, é importante ressaltar o limiar estreito existente entre deficiência e toxidez do

boro para a maioria das plantas. No abacaxizeiro não foram encontrados estudos com sintomas de toxidez em mudas ou plantas adultas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Unidade de Apoio à Pesquisa, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, na cidade de Campos dos Goytacazes (21°45'S e 41°17'W, 11 metros de altitude). Durante a condução do experimento foram registradas as temperaturas médias no interior da casa de vegetação com uso de registrador HOBO® pro v2 data logger, sendo elas: máxima de 33°C e mínima de 22°C, com umidade relativa do ar de 80%.

4.2. Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC), com a cultivar 'Pérola' e sete doses de boro (0; 6,25; 12,50; 25; 50; 100 e 150 $\mu\text{mol L}^{-1}$), aplicados via solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) modificada por Ramos (2006). Cada tratamento consistiu em cinco repetições e duas mudas por unidade experimental, totalizando 70 mudas.

4.3. Preparação das mudas e condições do experimento

Para a condução experimental, foram utilizadas mudas micropropagadas da cultivar de abacaxi 'Pérola', oriundas da empresa Clona – Gen Comércio de Mudanças de Plantas Ltda., Joinville (SC). Antes do início dos tratamentos, as mudas passaram por um período de aclimatação, inicialmente em solução de 50% de força e, mais tarde, aumentou-se a solução para 100%.

As mudas foram acomodadas em recipientes plásticos com capacidade para volume de dois litros. Cada recipiente foi envolvido por papel alumínio, para evitar a incidência de luminosidade na solução a fim de conter a proliferação de algas, bem como altas temperaturas da solução. As mudas foram fixadas em orifícios de uma

chapa de isopor, também envolvido por papel alumínio, e acopladas aos recipientes com solução de cultivo. A solução foi continuamente arejada com o auxílio de uma bomba para arejamento de aquário.

Em ambos os estudos foram utilizados o sistema de cultivo hidropônico DFT com solução nutritiva formulada por Hoagland e Arnon (1950) com modificações de Ramos (2006), composta por concentrações em mg L^{-1} : N = 115,5; P = 7,74; K = 156,40; S = 32,00; Ca = 80,00; Mg = 24,30; Cl = 1,77; B = 0,27; Mo = 0,06; Zn = 0,13; Cu = 0,03; Mn = 0,55 e Fe = 2,23. A solução nutritiva e os tratamentos aplicados foram trocados semanalmente e o pH ajustado a 5,6 – 5,8 ($\pm 0,1$) quando necessário, por meio de uma solução de HCl ou NaOH (1 M).

4.4. Variáveis analisadas

4.4.1. Análises biométricas

As análises biométricas foram realizadas antes da implantação do experimento a fim de se obter maior homogeneidade quanto aos seus tamanhos, no qual foram avaliadas as seguintes variáveis: comprimento da parte aérea (cm), massa fresca (g), diâmetro do coleto (mm), número de folhas e comprimento da raiz (cm), através de balança analítica, régua graduada e paquímetro.

As mudas foram avaliadas até atingirem um tamanho de cerca de 30 cm de comprimento, tamanho esse que o produtor leva para o campo para a realização do plantio. As mudas foram coletadas após 134 dias da aplicação dos tratamentos e foram avaliados na parte aérea: a área foliar (cm^2), a massa fresca (g), comprimento (cm), número de folhas e diâmetro do coleto (mm). As medições de área foliar ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) foram determinadas ao término dos estudos com a utilização do medidor de área foliar de bancada modelo LI3100 LICOR, Lincoln, NE, USA.

Os parâmetros biométricos determinados nas raízes foram o comprimento total (cm planta^{-1}), diâmetro total (mm), área superficial total ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) e o volume total ($\text{cm}^3 \text{ planta}^{-1}$), através do software WinRhizo Pro 2013 acoplado a um scanner EPSON Expression 11000XL equipado com luz adicional (TPU), com resolução de 400 dpi para a leitura biométrica de raízes.

Posteriormente, as partes vegetais de raízes e partes aéreas (folhas e caules) foram acondicionadas separadamente em sacos de papel e levados para secagem em estufa de ventilação de ar forçado a 65°C por 72 horas. Após a secagem, o material seco passou pela trituração através do moinho tipo Willey, utilizando peneira de 20 *mesh*, sendo posteriormente armazenado em frascos hermeticamente fechados. As massas obtidas foram expressas em grama (g) planta⁻¹ MS (massa seca).

4.4.2. Análises nutricionais na parte aérea

A determinação dos teores de nutrientes na parte aérea das mudas de abacaxizeiro foi realizada após a obtenção do material seco a 65°C e moídos em moinho tipo Willey.

Para a quantificação dos teores de nitrogênio amoniacal, as amostras foram submetidas à digestão sulfúrica e no extrato foram determinados os teores de Nitrogênio pelo método de Nessler (Jackson, 1958). Os demais nutrientes, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Enxofre e Boro, foram submetidos à digestão com HNO₃ concentrado e H₂O₂ em sistema de digestão aberta e quantificados em plasma (ICPE-9000) da marca Shimadzu® (Peters, 2005).

4.5. Análise estatística

Os pressupostos de normalidade dos dados e homogeneidade de variâncias foram avaliados a 5% de significância por meio do teste de Shapiro-Wilk (1965) e O'Neill e Mathews (2002), respectivamente. Após atendido os pressupostos, o comparativo dos efeitos, das concentrações sobre as variáveis respostas avaliadas foram analisadas através do estudo da ANOVA por meio de modelos de regressão. Para análise dos dados utilizou-se o software R 4.3.0 com auxílio do pacote ExpDes.pt. A elaboração dos gráficos foi realizada com uso do software SigmaPlot 14.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Sintomas visuais em mudas do abacaxizeiro 'Pérola'

Nas figuras 1A e 1B são ilustradas imagens das mudas da cultivar 'Pérola', cultivadas em doses crescentes de boro na solução nutritiva, em cultivo hidropônico. Aos 134 dias após a aplicação dos tratamentos os sintomas visuais de deficiência e toxidez não foram observados entre os diferentes tratamentos.

Para deficiência, é provável que a reserva de boro já existente nas mudas do abacaxizeiro foi suficiente para permitir o desenvolvimento sem o aparecimento dos sintomas visuais. Siebeneichler et al. (2005) confirmam que o boro é móvel em plantas de abacaxi 'Pérola', pois as plantas de abacaxizeiro cultivadas na ausência de boro, em solução nutritiva, proporcionou a formação de novas folhas, as reduções do teor e do conteúdo de B em folhas mais velhas, o aumento do conteúdo de boro nas folhas mais novas e a ausência de sintomas de deficiência. Silva e Silva (2013) sugerem que o boro já existente nas mudas da bananeira foi o suficiente para suprir as necessidades das plantas sem serem afetadas pela deficiência desse micronutriente.

Outro fator a ser considerado é o tempo experimental do presente estudo que pode ter influenciado nas respostas. Possivelmente se o período de condução do experimento fosse estendido os sintomas poderiam ser evidentes, como observado no estudo de Ramos et al. (2009) que relataram sintomas visuais de deficiência de boro em abacaxizeiro 'BRS Imperial' aos 12 meses após o plantio e sugeriram que esteja associado com a indução da deficiência desse micronutriente desde o início da fase vegetativa. Sintomas similares também foram relatados por Siebeneichler et al. (2008a) em mudas do tipo rebentão na fase reprodutiva da cultivar 'Pérola'.

Cunha et al. (2019), avaliando os efeitos da deficiência de macronutrientes e boro em abacaxizeiro 'Vitória', observaram que aos nove meses de plantio as plantas de todos os tratamentos, com exceção do nitrogênio, não apresentaram sintomas de deficiência aparentes nas folhas. Entretanto, a massa fresca dos frutos e da coroa foram menores quando comparadas com o tratamento completo. No tratamento com omissão de boro, o teor de vitamina C reduziu 23,6% em comparação ao tratamento com solução completa. Esse micronutriente está ligado a síntese de ácidos nucleicos, então a escassez dele compromete a produção dessa vitamina.

No estudo de Coelho et al. (2012), que objetivaram caracterizar os sintomas visuais de deficiência de macronutrientes e boro em gengibre ornamental, observaram que aos 71 dias os sintomas de deficiências foram aparentes, sendo caracterizados por malformação de folhas, encarquilhamento foliar, morte do meristema apical, superbrotção e algumas folhas não apresentavam limbo foliar.

Em relação a toxidez de boro, os sintomas visuais variam entre as culturas. Entretanto, relatos provenientes do excesso do boro em mudas ou plantas adultas de abacaxizeiro não são descritos na literatura. Sabe-se que esses sintomas manifestam inicialmente nas margens das folhas mais velhas, ficando amareladas e/ou com manchas, podendo evoluir para necrose (Princi et al., 2016; Junior, 2018). No estudo de Lima et al. (2007) foram observadas respostas semelhantes em milho (*Zea mays*) em resposta a diferentes doses de boro (0, 2, 4, 6 e 12 mg dm⁻³), principalmente nas maiores doses. Carneiro et al. (2009) observaram em mudas de bromélia imperial (*Alcantarea imperialis*) sintomas similares, onde constatou-se que a toxidez ocasionada pela aplicação de boro resultou em queimaduras e necroses na ponta das folhas, prejudicando o crescimento das plantas.

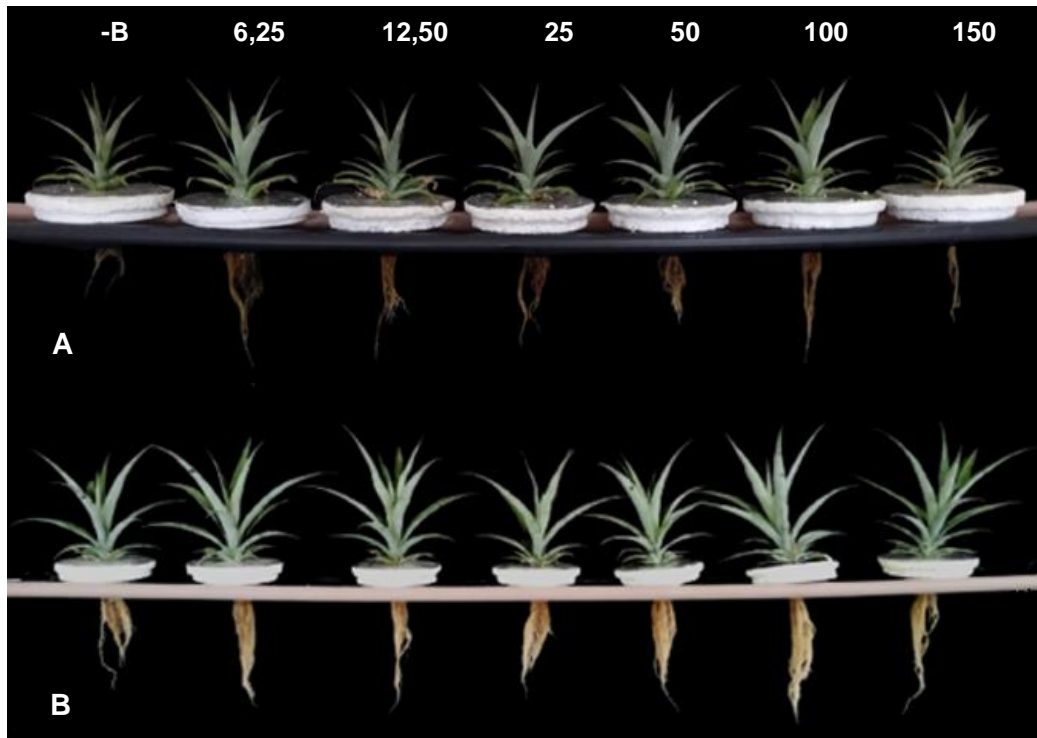


Figura 1: Mudas micropropagadas do abacaxizeiro 'Pérola' aos 48 dias (A) e 134 dias (B) após a aplicação das doses de boro ($\mu\text{mol L}^{-1}$) sob cultivo hidropônico em Campos dos Goytacazes. Fonte: Autoria própria (2022).

5.2. Parâmetros biométricos das mudas do abacaxizeiro 'Pérola'

As variáveis área foliar, massa fresca e massa seca da parte aérea foram influenciadas significativamente pelas diferentes concentrações de boro (Figura 2A, B e C). Para as variáveis comprimento da parte aérea, diâmetro do coleto e número de folhas não houve diferença significativa entre os tratamentos, no período avaliado, com média geral de $34,23 \text{ cm planta}^{-1}$, $13,20 \text{ mm planta}^{-1}$ e $35 \text{ unidades planta}^{-1}$, respectivamente (Tabela 1).

Em relação as raízes, as variáveis massa fresca, massa seca, diâmetro total e volume total foram influenciadas significativamente pelas diferentes concentrações de boro (Figura 3A, B, C e D). As variáveis área superficial total e comprimento total não foram influenciadas pelos tratamentos, com média geral de $999,24 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ e $6315,38 \text{ cm planta}^{-1}$, respectivamente (Tabela 1).

Observou-se para a variável área foliar um decréscimo linear de 30% na comparação do tratamento com omissão de boro para a dose de $150 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Figura 2A). A mesma tendência foi observada para as massas fresca e seca da parte aérea

com decréscimos lineares de 28% e 25%, respectivamente, em comparação ao tratamento com ausência de boro (Figura 2B e C), mostrando indícios de um possível início de resposta tóxica pelo excesso do boro. Isso se deve pelo excesso de boro afetar as proteínas que estão envolvidas nas reações de captação de luz e fixação de CO₂, conseqüentemente, os sintomas visuais podem ficar aparentes, além da área fotossintética ser afetada, reduzindo o conteúdo de clorofila e a taxa fotossintética (Princi et al., 2016).

Tabela 1: Análise de regressão da Área Foliar (AF), Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA), Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Comprimento da Parte Aérea (CPA), Número de Folhas (NF), Diâmetro do Coleto (DC), Massa Fresca de Raiz (MFR), Massa Seca de Raiz (MSR), Diâmetro Total de Raiz (DR), Área Superficial Total de Raiz (AR), Volume Total de Raiz (VR) e Comprimento Total de Raiz (CR) de mudas micropropagadas do abacaxizeiro 'Pérola' em função das doses de boro ($\mu\text{mol L}^{-1}$) sob cultivo hidropônico.

Variável	Equação	R ²	Pr>F	CV (%)
AF	$y = 848,686 - 1,697x^*$	0,79	0,00164	19,23
MFPA	$y = 115,438 - 0,214x^*$	0,58	0,00352	19,37
MSPA	$y = 13,883 - 0,023x^*$	0,58	0,00344	17,01
CPA	$y = 34,23^{\text{ns}}$	-	-	11,95
NF	$y = 35^{\text{ns}}$	-	-	7,86
DC	$y = 13,20^{\text{ns}}$	-	-	12,71
MFR	$y = 19,009 - 0,049x^*$	0,68	0,00003	17,72
MSR	$y = 0,894 - 0,002x^*$	0,53	0,00324	17,54
DR	$y = 2,142 - 0,005x^*$	0,64	0,00181	20,36
AR	$y = 999,24^{\text{ns}}$	-	-	27,00
VR	$y = 14,861 - 0,04x^*$	0,60	0,00306	29,35
CR	$y = 6315,38^{\text{ns}}$	-	-	27,37

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ^{ns} não significativo

A redução da área foliar e das massas na concentração de 150 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de boro na solução nutritiva, pode estar associada com a baixa mobilidade desse nutriente para os tecidos mais novos, podendo sua maior parte estar acumulada nos tecidos mais velhos, ou ainda, uma possível acumulação no sistema radicular (Hamada et al., 2022). A toxicidade do boro, semelhante sua deficiência promove efeitos adversos em vários processos metabólicos das plantas (García-Sánchez et al., 2020), levando geralmente a danos no processo de divisão celular,

consequentemente, menor crescimento da planta como observados nas mudas da cultivar 'Pérola'.

Segundo Martello (2016), as espécies monocotiledôneas apresentam menor exigência de boro e são mais sensíveis à toxidez desse micronutriente do que as plantas dicotiledôneas. Esta sensibilidade diferenciada pode ocorrer devido às diferenças na parede celular entre elas. A exigência de boro no tecido de cada espécie é determinada pela concentração de pectina na parede celular, o qual é menor nas plantas monocotiledôneas em relação às dicotiledôneas (Martello, 2016). Para Marschner (2012), os sintomas característicos de toxidez de boro são clorose marginal e/ou da ponta e necrose em folhas mais velhas estando relacionado ao fluxo de transpiração, o que reflete na distribuição desse micronutriente na parte aérea da planta.

No estudo de Hosseini et al. (2007), que avaliaram a interação de zinco e boro no crescimento e teores nutricionais em milho (*Zea mays* L.), observaram que o aumento das doses de boro reduziu significativamente a massa seca da parte aérea, tendo uma redução de 57,4% da altura na maior dose, assemelhando-se ao resultado do presente estudo, onde foi observado uma redução de 25% da massa seca das mudas em comparação a maior dose de boro. Da mesma forma, pode ser observado no estudo de Pavinato et al. (2009) uma redução da massa seca da parte aérea de duas cultivares de arroz (Caiapó e Talento) com a aplicação crescente de doses de boro, sendo as doses de 3,8 e 3,4 mg L⁻¹ consideradas limites de toxidez para essas plantas. Concentrações maiores poderiam acarretar baixa produtividade de grãos da cultura de arroz.

Avaliando os efeitos das deficiências de macronutrientes e boro no abacaxizeiro 'Vitória', Cunha et al. (2020) verificaram que os frutos provenientes de plantas que receberam o tratamento deficiente em boro reduziram 14% no comprimento e 11% no diâmetro do colete, também ocorrendo uma deformação deste último. Além disso, observaram reduções na espessura e comprimento da folha 'D' de 23% e 10%, respectivamente. Tais efeitos não foram observados nas mudas da cultivar 'Pérola' do presente estudo, pois na dose 0 de boro as mudas já tinham reserva de boro, com teores adequados para a cultura, no tempo em que foram avaliadas.

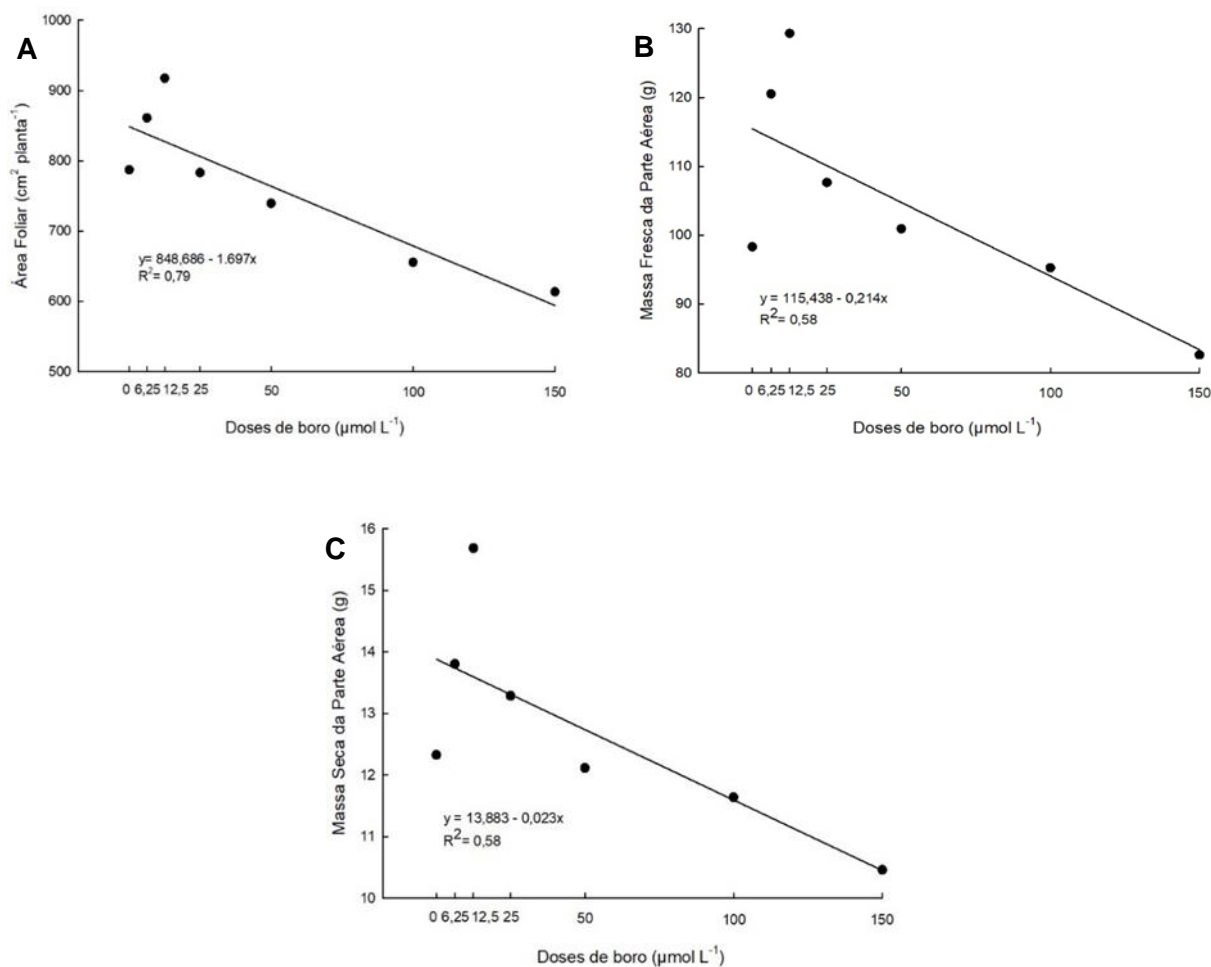


Figura 2: Área foliar (A), massa fresca (B) e massa seca (C) da parte aérea de mudas micropropagadas do abacaxizeiro ‘Pérola’ em função das doses de boro ($\mu\text{mol L}^{-1}$) sob cultivo hidropônico em Campos dos Goytacazes.

Para as variáveis de raiz, observou-se que o diâmetro total, volume total, massa fresca e massa seca decresceram linearmente com o aumento da concentração de boro na solução nutritiva, reduzindo em 35, 40, 39 e 34%, respectivamente, na comparação do tratamento com omissão de boro para a dose de $150 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Figura 3A, B, C e D), mostrando indícios de um possível início de resposta a toxidez.

O aumento do teor de boro nos tecidos radiculares e a inibição do crescimento são dois dos principais impactos acerca da toxidez pelo boro (Hamada et al., 2022). Liu et al. (2000) avaliaram os efeitos de diferentes concentrações de boro na fava (*Vicia faba* L.) e observaram que o excesso de boro acarretou na divisão celular anormal no meristema radicular da fava. Esse micronutriente estimula no crescimento das raízes, mas em concentrações elevadas o efeito é inibitório.

Souza et al. (2010) avaliaram o efeito de diferentes concentrações de boro (0,05; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 2,00 mg L⁻¹) em mudas micropropagadas de copo-de-leite em solução nutritiva e observaram que as plantas não manifestaram sintomas visuais de deficiência ou toxidez desse micronutriente. Entretanto, o sistema radicular das plantas cultivadas nas doses 0,05 e 2,00 mg L⁻¹ teve crescimento reduzido.

Pavinato et al. (2009) observaram que o comprimento, área e a massa seca das raízes de duas cultivares de arroz tiveram crescimento reduzido conforme o aumento das concentrações de boro, resultado semelhante ao encontrado nas mudas da cultivar 'Pérola' do presente estudo, sendo que a massa fresca e seca de raiz reduziram em 34 e 39%, respectivamente, com o aumento das doses desse micronutriente. Embora o comprimento total e a área superficial total não tenham sido significativos, possivelmente os resultados poderiam divergir se o tempo de condução experimental fosse maior.

Semelhanças também podem ser encontradas no estudo de Turan et al. (2009) que observaram que os sintomas provocados pela toxidez em plantas de trigo ocorreram nas maiores concentrações de boro. Além disso, o crescimento da parte aérea e do sistema radicular das plantas foi fortemente afetado e reduziu com a aplicação do boro.

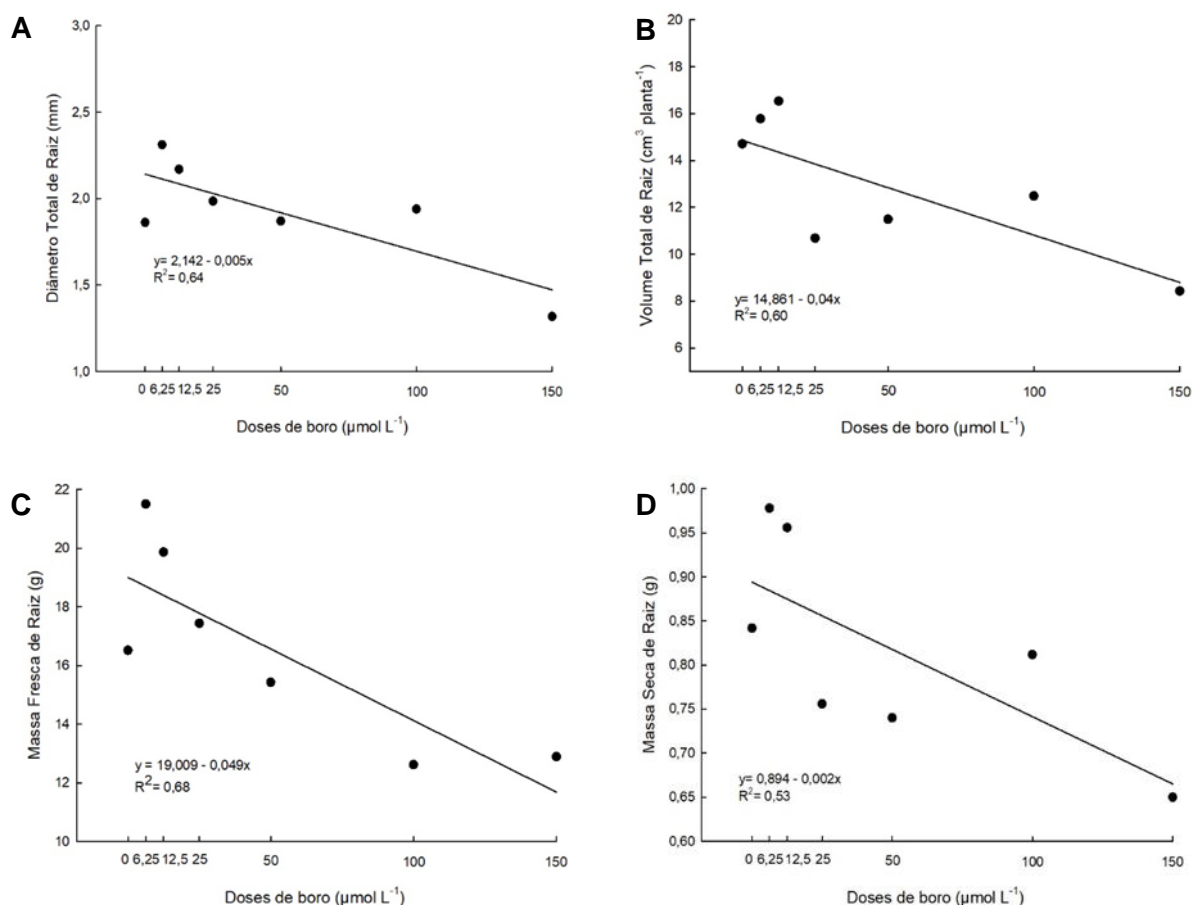


Figura 3: Diâmetro total (A), volume total (B), massa fresca (C) e massa seca (D) das raízes de mudas micropropagadas do abacaxizeiro ‘Pérola’ em função das doses de boro ($\mu\text{mol L}^{-1}$) sob cultivo hidropônico em Campos dos Goytacazes.

5.3. Teores de macronutrientes e boro na parte aérea

Os teores nutricionais não foram influenciados significativamente pelos diferentes tratamentos, com exceção do boro (Tabela 2). Os teores de boro se ajustaram ao modelo linear crescente, com incremento de 136% na maior dose de boro estudada (Figura 4).

Independente da dosagem de boro aplicada, os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, na parte aérea do abacaxizeiro ‘Pérola’ foram em média $22,68 \text{ g kg}^{-1}$, $4,56 \text{ g kg}^{-1}$, $45,28 \text{ g kg}^{-1}$, $4,88 \text{ g kg}^{-1}$, $2,92 \text{ g kg}^{-1}$ e $3,86 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente, no período de 134 dias de avaliação experimental.

Os teores foliares de N, P, K, Ca e Mg na folha D do abacaxizeiro ‘Pérola’, na época de indução floral, foram determinados por Rodrigues et al. (2013). Os teores médios encontrados por esses autores foram $11,2 \text{ g kg}^{-1}$ de nitrogênio, $1,11 \text{ g kg}^{-1}$ de

fósforo, 23,4 g kg⁻¹ de potássio, 1,36 g kg⁻¹ de cálcio e 2,09 g kg⁻¹ de magnésio, esses teores estão abaixo dos teores médios encontrados no presente trabalho e pode ser explicado, pois as determinações foram realizadas em parte diferentes, folha D e parte aérea, e também em estádios fenológicos diferentes. Sabe-se que quanto maior o estágio vegetativo da planta maior o efeito de diluição do nutriente e menor serão os teores nutricionais.

Mesmo sabendo que existe diferença nos teores foliares de macro e micronutrientes nas diferentes cultivares de abacaxizeiro (Silva et al., 2022), pode-se observar semelhanças nos teores de Ca e Mg no abacaxizeiro 'Imperial' encontrados por Ramos et al. (2011) aos cinco meses de avaliação, 4,30 g kg⁻¹ e 2,10 g kg⁻¹ de cálcio e magnésio, respectivamente, com os teores encontrados no presente trabalho.

Tabela 2: Análise de regressão dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e boro (B) na parte aérea de mudas micropropagadas do abacaxizeiro 'Pérola' em função das doses de boro ($\mu\text{mol L}^{-1}$) sob cultivo hidropônico

Variável	Equação	R ²	Pr>F	CV (%)
N	y= 22,68 ^{ns}	-	-	12,15
P	y= 4,56 ^{ns}	-	-	12,46
K	y= 45,28 ^{ns}	-	-	8,51
Ca	y= 4,88 ^{ns}	-	-	13,79
Mg	y= 2,92 ^{ns}	-	-	11,83
S	y= 3,86 ^{ns}	-	-	18,64
B	y= 16,199 + 0,147x*	0.95	0.00000	16,51

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ^{ns} não significativo

Os teores de boro aumentaram na parte aérea das mudas do abacaxizeiro 'Pérola' com o incremento desse micronutriente na solução nutritiva (Figura 4). O incremento foi de 136% na concentração de 150 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de boro na solução nutritiva, em relação a dose 0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de boro.

No presente estudo, os teores foliares de boro nas mudas da cultivar 'Pérola' variaram de 13,9 mg kg⁻¹, na dose 0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de boro, há 37,9 mg kg⁻¹, na dose de 150 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Siebeneichler et al., (2008b) relataram teores de boro em abacaxizeiro 'Pérola' com 10 meses de plantio, 10,5 mg kg⁻¹ no tratamento sem boro e 24,1 mg kg⁻¹ no tratamento com boro. Rodrigues et al. (2022) realizaram amostragem de folhas

do abacaxizeiro 'Perola', 12 meses após o plantio, e concluíram que os níveis críticos de boro foliar que promovem a máxima relação qualidade/rendimento pela derivação do índice CND foi 23 mg kg^{-1} de boro.

Pode-se observar que $37,9 \text{ mg kg}^{-1}$ de boro encontrada no presente trabalho proporcionou toxidez para a cultura do abacaxizeiro 'Perola' proporcionando menores área foliar, massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, diâmetro total de raiz, volume total de raiz, massa fresca e massa seca das raízes demonstrando uma possível toxidez por excesso de boro na solução nutritiva, mesmo sem sintoma visual de toxidez.

Resultados obtidos por Ramos et al. (2009), que avaliaram os sintomas de deficiência dos macronutrientes e boro em mudas micropropagadas da cultivar Imperial, mostraram que os sintomas provenientes da omissão de boro apareceram apenas aos nove meses após o cultivo e os teores de boro encontrados corresponderam a $5,8 \text{ mg kg}^{-1}$ de B, teores muito abaixo quando comparado com os encontrados no presente estudo que apresentaram $13,9 \text{ mg kg}^{-1}$ de boro na concentração de $0 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$.

Em relação à exigência de boro, as espécies de plantas possuem divergências, ou seja, o boro disponível no solo que é deficiente para uma cultura pode ser excessivo para outra cultura. Nesse sentido o trabalho de Furlani et al. (2003) com cultivares de trigo demonstra que o valor crítico de deficiência de boro no trigo foi de 25 mg kg^{-1} de boro e os teores críticos de toxidez variaram de 44 a 318 mg kg^{-1} de boro dependendo da cultivar estudada.

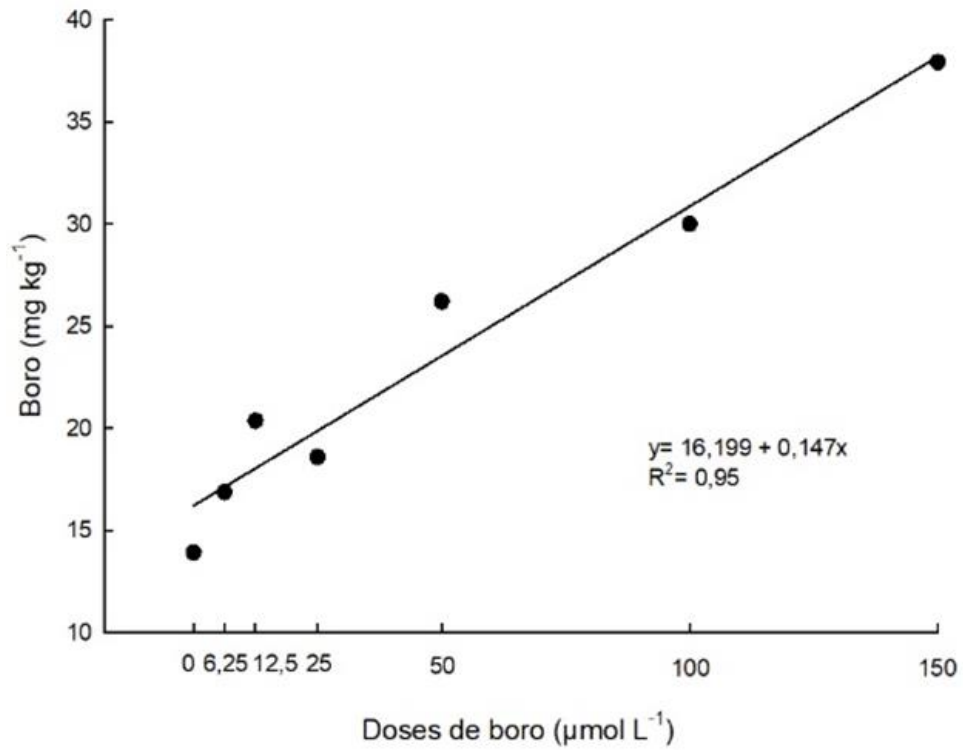


Figura 4: Teor de boro na parte aérea de mudas micropropagadas do abacaxizeiro 'Pérola' em função das doses de boro ($\mu\text{mol L}^{-1}$) sob cultivo hidropônico em Campos dos Goytacazes.

6. CONCLUSÕES

As principais conclusões foram:

- No período experimental, não foram observados sintomas visuais de deficiência ou toxidez de boro nas plantas de abacaxizeiro 'Pérola';
- A dose de $150 \mu\text{mol L}^{-1}$ proporcionou redução no crescimento nas mudas do abacaxizeiro 'Pérola';
- Os teores foliares de boro nas mudas da cultivar 'Pérola' variaram de $13,9 \text{ mg kg}^{-1}$, na dose $0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de boro e $37,9 \text{ mg kg}^{-1}$, na dose de $150 \mu\text{mol L}^{-1}$;
- No período avaliado, os teores de macronutrientes não foram influenciados significativamente em função das diferentes doses de boro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexandre, H. V., Silva, F. L. H., Gomes, J. P., Silva, O. S., Carvalho, J. P. (2015) Isotermas de dessecção de resíduos de abacaxi. *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, 1:3472-3479.
- Almeida, U. O. (2019) Desempenho agrônômico de abacaxizeiro BRS "RBO" em diferentes épocas de plantio com irrigação suplementar e sequeiro. Doutorado em Produção Vegetal – Universidade Federal do Acre – UFAC, Rio Branco – AC, 79p.
- Assis, E. D. (2018) Abacaxizeiro submetido a diferentes lâminas de irrigação no Cerrado. Mestrado em Irrigação no Cerrado – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – IF GOIANO, Ceres – GO, 37p.
- Bergmann, W. (1986) Farbatlas Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen: visuelle und analytische diagnose. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 150: 193.
- Boaretto, R. M., Quaggio, J. A., Mattos, J. D., Muraoka, T., Boaretto, A. E. (2011) Boron uptake and distribution in field grown citrus trees. *Journal of Plant Nutrition*, 34:839-849.
- Brdar-Jokanović, M. (2020) Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21:1424.
- Brito, G. N., Marques, N. S., Loyo, L. G., Morais, L. C., Mesquita, D. Z. (2019) Análise Econômica E Viabilidade Da Implantação Da Cultura Do Abacaxi, 3, Mato Grosso do Sul, 3: 1-5.
- Brown, P. H., Shelp, B. J. (1997) Boron mobility in plants. *Plant and soil*, 193:85-101.
- Cabral, J.R.S. (1999) Cultivares de abacaxi. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 33, 20p.
- Chaves, A. C. C., Yassin, L. S., Mendes, C. A. P., Borsato, A. V., Raupp, D. S. (2015) Development of light pineapple jam with própolis. *Journal of Health*, 14:70-88.
- Coelho, V. A. T., Rodas, C. L., Coelho, L. C., Carvalho, J. G., Almeida, E. F. A., Figueiredo, M. A. (2012) Caracterização de sintomas visuais de deficiências de macronutrientes de boro em plantas de gengibre ornamental. *Ornamental Horticulture*, 18:47-55.
- Crestani, M., Barbieri, R. L., Hawerrothl, F. J., Carvalho, F. I. F., Oliveira, A. C. (2010) Das Américas para o Mundo: origem, domesticação e dispersão do abacaxizeiro. *Ciência Rural*, 40:1473-1483.

Cunha, J. M., Freitas, M. S. M., Caetano, L. C. S., Carvalho, A. J. C., Peçanha, D. A., Santos, P. C. D. (2019) Fruit quality of pineapple 'Vitória' under macronutrients and boron deficiency. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 41:1-10.

Cunha, J. M., Freitas, M. S. M., Carvalho, A. J. C., Caetano, L. C. S., Pinto, L. P., Peçanha, D. A., Vieira, M. E., Lima, T. C., Santos, P. C. (2020) Foliar content and visual symptoms of nutritional deficiency in pineapple 'Vitória'. *Journal of Plant Nutrition*, 44:660-672.

FAO. (2023) Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crops and livestock products. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/em/#data/QCL/visualize>. Acesso em 06 de agosto de 2023.

Ferreira, G. A. (2014) Absorção de boro e potássio e relação com a atividade da H⁺ - ATPase de porta-enxerto de citros. Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical – Instituto Agrônômico – IAC, Campinas – SP, 61p.

França-Santos, A., Alves, R. S., Leite, N. S., Fernandes, R. P. M. (2009) Estudos bioquímicos da enzima bromelina do *Ananas comosus* (abacaxi). *Scientia Plena*, 5:1-6.

Furlani, A. M. C., Carvalho, C. P., Freitas, J. G. D., Verdial, M. F. (2003) Wheat cultivar tolerance to boron deficiency and toxicity in nutrient solution. *Scientia Agricola*, 60:359-370.

Furlani, A. M. C. (2004) Nutrição Mineral. *In*: Kerbauy, G. B. (ed) *Fisiologia Vegetal*. São Paulo: Guanabara Koogan, p. 40-75.

García-Sánchez, F., Simón-Grao, S., Martínez-Nicolás, J. J., Alfosea-Simón, M., Liu, C., Chatzissavidis, C., Pérez-Pérez, J. G., Cámara-Zapata, J. M. (2020) Multiple stresses occurring with boron toxicity and deficiency in plants. *Journal of Hazardous Materials*, 397:1-8.

Gurgel, G. B. (2017) Aspectos fisiológicos de plantas de abacaxi (*Ananas comosus* L. Merrill) sob cultivo hidropônico e convencional associado ao estudo molecular do florescimento. Mestrado em Fisiologia Vegetal – Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras – MG, 92p.

Hamada, A. M., Farghaly, F. A., Salam, H. K., Radi, A. A. (2022) Excess boron stress and alleviation of its toxicity in plants: mechanisms and strategies. *Journal of Plant Nutrition*, 46:2724-2746.

Hosseini, S. M., Maftoun, M., Karimian, N., Ronaghi, A., Emam, Y. (2007) Effect of Zinc x Boron interaction on plant growth and tissue nutrient concentration of corn. *Journal of Plant Nutrition*, 30:773-781.

Jackson, M. L. (1958) Soil chemical analysis prentice. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 85:251-252.

Junior, J. P. S. (2018) Silício como mitigador de deficiência e toxicidade de boro na cultura do algodão cultivado em solução nutritiva. Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal – SP, 60p.

Li, X., Li, Y., Mai, J., Tao, L., Qu, M., Liu, J., Shen, R., Xu, G., Feng, Y., Xiao, H., Wu, L., Shi, L., Guo, S., Liang, J., Zhu, Y., He, Y., Baluška, F., Shabala, S., Yu, M. (2018) Boron alleviates aluminum toxicity by promoting root alkalization in transition zone via polar auxin transport. *Plant Physiology*, 177:1254-1266.

Lima, J. C. P. S., Nascimento, C. W. A., Lima, J. G. C., Junior, M. A. L. (2007) Níveis críticos e tóxicos de boro em solos de Pernambuco determinado em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:73-79.

Liu, D., Jiang, W., Zhang, L., Lufang, L. (2000) Effects of boron ions on root growth and cell division of broadbean (*Vicia faba* L.). *Israel Journal of Plant Sciences*, 48:47-51.

Lopes, M. A. (2023) Abacaxi. *In: Brasil em 50 alimentos*. Brasília: Embrapa, p.7-11.

Madore, M. A., Lucas, W. J. (1995) Carbon partitioning and source-sink interactions in plants: proceedings. Annual Riverside Symposium in Plant Physiology, 17, University of California. Riverside: American Society of Plant Physiologists, 170-179p.

Malavolta, E. (ed) (2006) Manual de Nutrição de Plantas. São Paulo: Agronômica Ceres Ltda., 638p.

Malézieux, E., Bartholomew, D. P., Bartholomew, D. P., Paul, R., Rohrbach, K. G. (2003). The pineapple: botany, production and uses. *Plant nutrition*, 143-165p.

Marschner, P. (2012). Mineral Nutrition of Higher Plants. *In: Broadley, M., Brown. P., Cakmak, I., Rengel, Z., Zhao, Fangjie* 3. ed. *Function of Nutrients: Micronutrients*. London: Academic Press, p. 191-248.

Martello, J. M. (2016) Boro em cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva. Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual Paulista – UNESP, Botucatu – SP, 54p.

Matos, A. P., Reinhardt, D. H. R. C., Cunha, G. A. P., Cabral, J. R. S., Souza, L. F. S., Sanches, N. F., Almeida, O. A. (2006) A cultura do abacaxi. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 91p.

Noronha, A. D. S., Lemos, W. D. P., Fazolin, M., Sanches, N. F., Garcia, M. V. B. (2016) Abacaxi. *In*: Silva, N. M., Adaime, R., Zucchi, R. A. Pragas agrícolas e florestais na Amazônia. 1. ed. Brasília: Embrapa, p. 23-43.

Pacheco, N. I., Mendes, L. A. P. P. F., Carneiro, G. S., Lopes, D. C., Coutinho, I. V. L., Silva, A. K. A. P., Rodrigues, K. B. R., Deus, L. R. S., Silva, A. P., Sousa, T. Y. L. L. (2022) Caracterização do abacaxi e sua casca como alimento funcional: revisão narrativa. *Research Society and Development*, 11:1-22.

Pavinato, P. S., Aguiar, A., Castro, G. S. A., Crusciol, C. A. C. (2009) Boro em arroz de terras altas cultivado em solução nutritiva. *Bragantia*. 68:743-751.

Peters, J. B. (2007) Wisconsin procedures for soil testing, plant analysis and feed and forage analysis. University of Wisconsin-Madison, Soil and Plant Analysis Lab, 304p.

Ponciano, N. J., Constantino, C. O. R., Souza, P. M., Detmann, E. (2006) Avaliação econômica da produção de abacaxi (*Ananas comosus* L.) cultivar 'Pérola' na região Norte Fluminense. *Revista Caatinga*, 19:82-91.

Princi, M. P., Lupini, A., Araniti, F., Longo, C., Mauceri, A., Sunseri, F., Abenavoli, M. R. (2016) Boron toxicity and tolerance in plants: recent advances and future perspectives. *In*: Ahmad, P. (ed.) Plant metal interaction: Emerging Remediation Techniques. Srinagar: Elsevier, p. 115-147.

Ramos, M. J. M. (2006) Caracterização de sintomas de deficiência de macronutrientes e de boro em abacaxizeiro cultivar Imperial. Doutorado em Produção Vegetal – Universidade Federal do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes – RJ, 95p.

Ramos, M. J. M., Monnerat, P. H., Carvalho, A. J. C. D., Pinto, J. L. D. A., Silva, J. A. D. (2009) Sintomas visuais de deficiência de macronutrientes e de boro em abacaxizeiro 'Imperial'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 31:252-256.

Ramos, M. J. M., Monnerat, P. H., Pinho, L. G. D. R., Silva, J. A. D. (2011) Deficiência de macronutrientes e de boro em abacaxizeiro 'Imperial': composição mineral. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33:261-271.

Ramos, M. J. M., Rocha, L. G. P. (2014) Physical and quality characteristics of Jupi pineapple fruits on macronutrient and boron deficiency. *Natural Resources*, 5:359-366.

Reinhardt, D. H. R., Bartholomew, D. P., Souza, F. V. D., Carvalho, A. C. P. P. D., Pádua, T. R. P. D., Junghans, D. T., Matos, A. P. D. (2018) Advances in pineapple plant propagation. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40:1-22.

Rodrigues, A. A., Mendonça, R. M. N., Silva, A. P., Silva, S. M. (2013) Nutrição mineral e produção de abacaxizeiro 'Pérola', em função das relações K/N na adubação. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35:625-633.

Rodrigues, B. B., Silva, A. P., Rozane, D. E., Natale, W., Silva, S. M. (2022) Leaf reference values for 'Pérola' pineapple quality using composition nutriente diagnosis. *Journal of Plant Nutrition*, 45:3066-3079.

Seth, K., Aery, N. C. (2017) Boron induced changes in biochemical constituents, enzymatic activities, and growth performance of wheat. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39:244.

Siebeneichler, S. C., Monnerat, P. H., Carvalho, A. J. C. D., Silva, J. A. D. (2002) Composição mineral da folha em abacaxizeiro: efeito da parte da folha analisada. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24:194-198.

Siebeneichler, S. C., Monnerat, P. H., Carvalho, A. J. C. D., Silva, J. A. D., Martins, A. O. (2005) Mobilidade do boro em plantas de abacaxi. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 27:292-294.

Siebeneichler, S. C., Monnerat, P. H., Silva, J. A. D. (2008a) Deficiência de boro na cultura do abacaxi 'Pérola'. *Acta Amazonica*, 38:651-656.

Siebeneichler, S. C., Monnerat, P. H., Carvalho, A. J. C. D., Silva, J. A. D. (2008b) Boro em abacaxizeiro 'Pérola' no norte fluminense: teores, distribuição e características do fruto. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30:787-793.

Silva, S.E.L., Souza, A.G.C., Berni, R.F., Souza, M.G. (2004) A Cultura do Abacaxizeiro no Amazonas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 21, 6p.

Silva, D. C. O., Uchôa, S. C. P., Alves, J. M. A., Melo, V. F., Silva, A. J., Alves, L. N. A., Carvalho, L. B. (2022) Teores foliares de macro e micronutrientes em cultivares de abacaxizeiro submetidas à adubação foliar. *Iheringia*, 77:1-11.

Silva, I. P., Silva, J. T. A. (2013) Nitrogênio e boro em mudas de bananeira Prata Anã cultivadas em casa de vegetação. *Agrarian*, 6:51-59.

Sobrinho, I. S. B. (2014) Propriedades Nutricionais e Funcionais de resíduos de abacaxi, acerola e cajá oriundos da indústria produtora de polpas. Mestrado em Ciências Ambientais – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Itapetinga – BA, 165p.

Souza, L. F. S. (1999) Exigências edáficas e nutricionais. *In*: Cunha, G. A. P., Cabral, J. R. S., Souza, L. F. S., O abacaxizeiro: cultivo, agroindústria e economia. 1. ed. Brasília: Embrapa, p. 67-77.

Souza, R. R. D., Paiva, P. D. D. O., Carvalho, J. G. D., Almeida, E. F. A., Barbosa, J. C. V. (2010) Doses de boro no desenvolvimento de copo-de-leite em solução nutritiva. *Ciência e Agrotecnologia*, 34:1396-1403.

Tanaka, M., Fujiwara, T. (2008) Physiological roles and transport mechanisms of boron: perspectives from plants. *Pflügers Archiv-European Journal of Physiology*, 456:671-677.

Teixeira, C. A. D., Neto, C. R., Leônidas, F. C., Costa, J. N. M., Junior, J. R. V., Silva, F. A. C., Araújo, L. V., Costa, R. S. C., Alves, E. A., Cararo, D. C., Neto, R. C. A., Wadt, P. G. S. (2020) Sistema de produção para a cultura do abacaxi no estado de Rondônia. 1. ed. Porto Velho: Embrapa, 79p.

Terra, M. M., Pires, E. J. P., Botelho, R. V., Tecchio, M. A., Tucci, M. L. S. A. (2007) Toxicity from boron in 'Italia' (*Vitis vinifera* L.) Grapevines. *Ambiência*, 3:435-440.

Tomicioli, R. M., Leal, F. T., Coelho, A. P. (2021) Limitação da produtividade pela deficiência de boro nas culturas da soja, milho, feijão e café. *South American Sciences*, 2:1-24.

Turan, M. A., Taban, N., Taban, S. (2009) Effect of calcium on the alleviation of boron toxicity and localization of boron and calcium in cell wall of wheat. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 37:99-103.

Vieira, L. M., Martins da Silva, J. R., Oliveira, L. N., Souza, A. P. S., Morais, M. C. D. (2020) Bromelina extraída do abacaxi – uma revisão. *Revista Referências em Saúde*, 3:2596-3457.