UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

MARCOS DE OLIVEIRA

FERTILIZAÇÃO BORATADA VIA ESTIPE EM COQUEIRO ANÃO-VERDE: ESTADO NUTRICIONAL, PRODUTIVIDADE E QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA DE COCO

RECIFE

2023

MARCOS DE OLIVEIRA
ENGENHEIRO AGRÔNOMO

Fertilização boratada via estipe em coqueiro anão-verde: estado nutricional, produtividade e qualidade físico-química da água de coco

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Orientador: Fernando José Freire

Recife
2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

048f de Oliveira, Marcos
FERTILIZAÇÃO BORATADA VIA ESTIPE EM COQUEIRO ANÃO-VERDE: ESTADO NUTRICIONAL, PRODUTIVIDADE E QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA DE COCO / Marcos de Oliveira. - 2023.
103 f. : il.

Orientador: Fernando Jose Freire.
Inclui referências.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Recife, 2023.

1. Atributos fisiológicos. 2. Atributos bioquímicos. 3. Nutrição com boro. 4. Níveis críticos de B. 5. Fertilização com boro via solo. I. Freire, Fernando Jose, orient. II. Título

CDD 631.4

MARCOS DE OLIVEIRA

Fertilização boratada via estipe em coqueiro anão-verde: estado nutricional, produtividade e qualidade físico-química da água de coco

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Aprovado em 06 de julho de 2023

_____

Prof. Dr. Fernando José Freire

Orientador

Universidade Federal Rural de Pernambuco

BANCA EXAMINADORA

_____

Dr. Eduardo César Medeiros Saldanha

U.S. BÓRAX/Grupo Rio Tinto

_____

Prof. Dr. Renato Lemos dos Santos (IFPE)

Instituto Federal de Pernambuco

_____

Prof. Dr. Dr. Mácio Farias de Moura

Universidade Federal do Agreste de Pernanbuco

_____

Dr. Fernando Bruno Vieira da Silva

Universidade Federal Rural de Pernambuco

A minha esposa, Renata Mendes dos Santos Oliveira, e a todos os familiares. DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado força, saúde e coragem para vencer as grandes barreiras de dificuldades, e ter me ensinado que é possível sonhar e alcançar meus sonhos independentemente das circunstâncias. Enfim agradeço por tudo, porque dEle, e por meio dEle, e para Ele são todas as coisas.

A minha querida esposa, Renata Oliveira e família, não apenas pelo apoio e incentivo, mas pela contribuição nas coletas de material de pesquisa em campo e laboratório e por ter acreditado na realização desse sonho. Em especial minhas tias, Jeizane Oliveira e Débora Oliveira, pela disponibilização da sua residência para pernoitar nos momentos de viagem a campo, e auxílio nas coletas em campo.

Ao meu orientador, Prof. Fernando José Freire, por ter me norteado durante todas as etapas deste trabalho e jornada acadêmica, com seus ensinamentos e experiências.

Aos estagiários, colegas e amigos que cooperaram na realização das atividades de campo e laboratório, Gerciane Sotero, Débora Sales, Hilton José, Adria Samara, Thiago Andrezo, Elãne Sabino, Marcondes Sá, Daniel Pereira, Elizabeth, Carlos Thomaz e Jeconias.

A Fazenda União Fruticultura, na pessoa do Sr. Clovis Sobral Neto por ter disponibilizado a área de produção e os funcionários Sr. Manoel, Alisson e Fabrício por todo suporte na coleta de material.

Aos Laboratórios: Interação Inseto-Tóxico, PlantSoil e Química do solo.

À minha chefia, Prof. Herbet Siqueira por toda contribuição com suas orientações no desenvolvimento da pesquisa e disponibilização de reagentes.

Aos membros da banca que aceitaram contribuir com suas experiências na melhoria desse trabalho.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade e formação profissional.

À CAPES pelos oito meses de concessão da bolsa de doutorado.

À YARA FERTILIZANTES e VITACAULE pelo apoio financeiro na realização deste trabalho.

Em suma, a todos, que contribuíram para concretização deste trabalho, meus sinceros votos de agradecimentos

Não tenho palavras

Para agradecer tua bondade

Dia após dia, me cercas com fidelidade

Nunca me deixes esquecer:

Que tudo o que tenho

Tudo o que sou, o que vier a ser

Vem de Ti, Senhor

Ana Paula Valadão

Fertilização boratada via estipe em coqueiro: estado nutricional, produtividade e qualidade físico-química da água de coco

RESUMO

A produtividade do coqueiro em solos arenosos tem sido limitada pela deficiência de B. Essa deficiência vem sendo corrigida pela aplicação de B via solo ou axila foliar. Todavia, a aplicação via solo tem promovido elevadas perdas por lixiviação, sobretudo em períodos de alta pluviosidade. Por outro lado, a aplicação via axila em fase de produção, é operacionalmente impraticável. Nesta perspectiva, o emprego da técnica da endoterapia pode ser uma alternativa promissora. Para tanto, é necessário quantificar doses adequadas e conhecer que fontes de B podem ser utilizadas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento de atributos fisiológicos e bioquímicos e a nutrição boratada de plantas de coqueiro fertilizadas com quantidades crescentes de diferentes fontes de B via estipe e solo, além de avaliar a produtividade e a qualidade físico-química da água do fruto. A pesquisa foi desenvolvida em uma fazenda produtora de coco, na região do Platô de Neópolis – SE, utilizando-se B MEA (monoetanolamida) como uma das fontes de B, duas formas de aplicação (via estipe e solo) e três testemunhas adicionais (sem aplicação de B; aplicação de B como ácido bórico via solo e aplicação de B como ácido bórico via estipe). Foram estudadas cinco doses de B utilizando como fonte o B MEA (2; 4; 6; 8 e 10 g planta^{-1}). A aplicação de ácido bórico foi realizada em dose única de 5 g planta^{-1}. As doses foram parceladas em três aplicações anuais. A nutrição boratada foi avaliada pela mensuração dos teores de B na folha diagnóstica aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após cada aplicação de B, além da determinação do nível crítico de B na folha e na água de coco, bem como o incremento do teor de B com a aplicação das doses nas diferentes fontes de B utilizadas; avaliou-se atributos fisiológicos e bioquímicos, como: teores de clorofila a, b, relação clorofila a/b, carotenoides, extravasamento de eletrólitos, concentração de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica; avaliou-se também componentes de produção, como: número de folhas, abortamento de frutos, peso do fruto, número frutos por cacho, volume de água de coco, produtividade em litros de água por planta ano^{-1}, produtividade em número de frutos por planta ano^{-1}; e, finalmente, avaliou-se também a condutividade elétrica, pH, acidez total titulável, teores de sólidos solúveis totais, relação entre teores de sólidos solúveis totais e acidez titulável e teores de B na água de coco. A aplicação de B via estipe promoveu incremento nos teores de clorofila *a* e, redução do extravasamento de eletrólitos, espécies reativas de oxigênio (H_2O_2) e danos de peroxidação lipídica. Além disso, proporcionou maior período residual de B na folha ao longo do tempo, sendo a forma mais eficiente na absorção desse nutriente. O nível crítico de B na folha e na água de coco foi de 33,48 mg kg^{-1} e 465,44 µg L$^{-1,}$ respectivamente, para um nível de produtividade 315 de frutos por planta ano^{-1}. A dose de 7,9 g planta^{-1} aplicada via estipe proporcionou a máxima produtividade de frutos. A aplicação de B via solo utilizando como fonte o B MEA (10 g planta^{-1}) e ácido bórico (5 g planta^{-1}) é insuficiente para promover aumento na produtividade de frutos. Assim, doses maiores devem ser utilizadas. A aplicação de B via estipe utilizando como fonte o B MEA promoveu aumento dos teores de sólidos solúveis totais (SST), acidez total (ATT) e na relação SST/ATT e nos teores de B. Aplicação de B via estipe, independentemente da fonte promoveu necrose dos tecidos internos do coqueiro. Portanto, as próximas pesquisas devem buscar soluções nutricionais específica, empregando o B MEA para aplicação via estipe, com enfoque na reação no sistema vascular do coqueiro, visando dar sustentabilidade a essa técnica a médio e longo prazo. Sugere-se que, esses estudos, se iniciem reduzindo o pH e CE desta fonte de B.

Palavras-chave: Atributos fisiológicos. Atributos bioquímicos. Nutrição com boro. Níveis críticos de B; Fertilização com boro via solo. Endoterapia.

Borate fertilization via stipe in coconut tree: nutritional status, productivity and physical-chemical quality of coconut water

ABSTRACT

Coconut productivity in sandy soils has been limited by B deficiency. This deficiency has been corrected by applying B via soil or leaf axil. However, soil application has promoted high losses by leaching, especially in periods of high rainfall. On the other hand, application via the armpit in the production phase is operationally impractical. In this perspective, the use of the endotherapy technique can be a promising alternative. Therefore, it is necessary to quantify adequate doses and know which sources of B can be used. Thus, the objective of this work was to evaluate the behavior of physiological and biochemical attributes and the borate nutrition of coconut palm plants fertilized with increasing amounts of different sources of B via stipe and soil, in addition to evaluating the productivity and physical-chemical quality of the water of the fruit. The research was carried out in a coconut farm, in the region of Platô de Neópolis - SE, using B MEA (monoethanolamide) as one of the sources of B, two forms of application (via stipe and soil) and three additional controls (without application of B; application of B as boric acid via soil and application of B as boric acid via stem). Five doses of B were studied using B MEA (2; 4; 6; 8 and 10 g plant^{-1}) as source. Boric acid was applied in a single dose of 5 g plant^{-1}. The doses were divided into three annual applications. Boratized nutrition was evaluated by measuring the B content in the diagnostic leaf at 15, 30, 60, 90 and 120 days after each B application, in addition to determining the critical level of B in the leaf and coconut water, as well as the increment of the B content with the application of the doses in the different sources of B used; physiological and biochemical attributes were evaluated, such as: chlorophyll a, b, chlorophyll a/b ratio, carotenoids, electrolyte leakage, hydrogen peroxide concentration and lipid peroxidation; production components were also evaluated, such as: number of leaves, fruit abortion, fruit weight, number of fruits per bunch, volume of coconut water, productivity in liters of water per plant year^{-1}, productivity in number of fruits per plant year^{-1}; and, finally, electrical conductivity, pH, total titratable acidity, total soluble solids content, relationship between total soluble solids and titratable acidity and B content in coconut water were also evaluated. The application of B via the stipe promoted an increase in the levels of chlorophyll a e, reduction of electrolyte leakage, reactive oxygen species (H_2O_2) and lipid peroxidation damage. In addition, it provided a longer residual period of B in the leaf over time, being the most efficient way to absorb this nutrient. The critical level of B in the leaf and coconut water was 33.48 mg kg^{-1} and 465.44 µg L^{-1}, respectively, for a productivity level of 315 fruits per plant year^{-1}. The dose of 7.9 g plant^{-1} applied via stem provided maximum fruit yield. The application of B via the soil using B MEA (10 g plant^{-1}) and boric acid (5 g plant^{-1}) as a source is insufficient to promote an increase in fruit productivity. Therefore, larger doses should be used. The application of B via stipe using B MEA as a source promoted an increase in total soluble solids (TSS), total acidity (ATT) and TSS/ATT ratio and B levels. Application of B via stipe, regardless of the source promoted necrosis of the internal tissues of the coconut tree. Therefore, future research should look for specific nutritional solutions, using B MEA for application via the stem, with a focus on the reaction in the vascular system of the coconut palm, aiming to make this technique sustainable in the medium and long term. It is suggested that these studies begin by reducing the pH and EC of this source of B.

Keywords: Physiological attributes. Biochemical attributes. Boron nutrition. Critical levels of B; Fertilization with boron via soil. Endotherapy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Precipitação média (2021 a 2023) da Fazenda União Fruticultura (A) mensurada com pluviômetro instalado na própria fazenda, sendo a temperatura média (B) e nebulosidade da região (C) obtidas, conforme informações meteorológicas do INMET (2023)..... 27

Figura 2 - Instalação do cateter comercial no estipe do coqueiro, sendo demonstrada as fases de perfuração do estipe (A), colocação do cateter (B); acomodação e ajustamento do cateter (C); e fechamento do cateter (D).....28

Figura 3. Procedimentos realizados no coqueiro para controle e aplicação dos fertilizantes via estipe, sendo demonstrada a coleta da seiva bruta (A), aplicação do B MEA ou ácido bórico via estipe (B) e avaliação da necrose nos tecidos meristemáticos (C).....29

Figura 4 – Superfície de resposta com regressão múltipla do teor de B na folha diagnóstica de plantas de coqueiro em função das doses de B aplicadas via estipe (A) e via solo (B) e do tempo para que essas doses exercessem seus efeitos, bem como cortes nessa superfície de resposta mostrando o teor de B em função da dose aplicada via estipe (A1) e via solo (B1) e do tempo para que essas doses exercessem seus efeitos, quando o B foi aplicado via estipe (A2) e via solo (B2).....39

Figura 5 – Superfície de resposta com regressão múltipla do teor de B na folha diagnóstica de plantas de coqueiro em função das doses de B aplicadas via estipe (C) e via solo (D) e do tempo para que essas doses exercessem seus efeitos, bem como cortes nessa superfície de resposta mostrando o teor de B em função da dose aplicada via estipe (C1) e via solo (D1) e do tempo para que essas doses exercessem seus efeitos, quando o B foi aplicado via estipe (C2) e via solo (D2).....43

Figura 6 – Superfície de resposta com regressão múltipla do teor de B na folha diagnóstica de plantas de coqueiro em função das doses de B aplicadas via estipe (E) e do tempo para que essas doses exercessem seus efeitos, bem como cortes nessa superfície de resposta mostrando o teor de B em função da dose aplicada via estipe (E1) e do tempo para que essas doses exercessem seus efeitos, quando o B foi aplicado via estipe (E2). 53

Figura 7 – Evolução da necrose dos tecidos internos do estipe do coqueiro após a aplicação de doses crescentes de B.....55

Figura 8 – Teores de clorofila *a* em função da aplicação de B via estipe em plantas de coqueiro.....59

Figura 9 - Extravasamento de eletrólitos em função da aplicação de B via estipe em plantas de coqueiro.....60
Figura 10 - Concentração de H2O2 e peroxidação lipídica (MDA) em função da aplicação de B via estipe em plantas de coqueiro.....61
Figura 11- Atividade específica de superoxido dismutase (SOD) e ascorbato de peroxidase (APX) em função da aplicação de B via estipe em plantas de coqueiro.....64
Figura 12 - Peso médio, abortamento e número de frutos por cacho em função da aplicação de doses crescentes de B via solo e via estipe em coqueiro.....71
Figura 13 - Produtividade em litros de água por planta ano^{-1} e em número de frutos por planta ano^{-1} em função da aplicação de doses crescentes de B via solo. 72
Figura 14 – pH e acidez total titulável da água de coco em função da aplicação de doses crescentes de B via solo e via estipe em coqueiro.....79
Figura 15 – Teores de B, sólidos solúveis totais (SST) e relação SST/acidez total titulável (ATT) da água de coco em função da aplicação de doses crescentes de B via solo e via estipe em coqueiro.....80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química e análise granulométrica do solo da área experimental.....26
Tabela 2 – Teores de B na folha diagnóstica de coqueiros em função de diferentes formas de aplicação do nutriente aos 0, 15, 30, 60, 90 e 120 dias após três períodos de aplicação de B.....36
Tabela 3 – Teores de B na folha aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias em plantas de coqueiro em função da aplicação de B via solo e estipe nos diferentes períodos após a aplicação, comparativamente à testemunha sem aplicação de B.....46
Tabela 4 – Teores de B na folha aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias em plantas de coqueiro em função da aplicação de B via solo e estipe nos diferentes períodos após a aplicação, comparativamente à testemunha onde se aplicou B como ácido bórico via solo.....50
Tabela 5 – Teores de B na folha aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias em plantas de coqueiro em função da aplicação de B via solo e estipe nos diferentes períodos após a aplicação, comparativamente à testemunha onde se aplicou B como ácido bórico via estipe.....52
Tabela 6 – Incremento do teor de B na folha diagnóstica de plantas de coqueiro em função da aplicação de B via estipe utilizando como fontes o B MEA e ácido bórico no primeiro e segundo períodos após a aplicação de B, comparativamente nos anos 2021 e 2022.....54
Tabela 7 – Níveis críticos de B na folha diagnóstica e na água de coco em plantas de coqueiro referente aos períodos de agosto a novembro (primeiro período), dezembro a março (segundo período) e abril a julho (terceiro período) após aplicação das doses de B.....56
Tabela 8 – Clorofila *a*, clorofila *b*, carotenoides, extravasamento de eletrólitos, peróxido de hidrogênio, peroxidação lipídica em função da forma de aplicação de B (via solo e estipe) em plantas de coqueiro.....58
Tabela 9 - Teores de clorofila *a*, clorofila *b*, carotenoides, extravasamento de eletrólitos, concentração de H_2O_2 e peroxidação lipídica (MDA) em plantas de coqueiro em função da aplicação de B via solo e estipe, comparativamente à testemunha sem aplicação de B.....66

Tabela 10 - Teores de clorofila *a*, clorofila *b*, carotenoides, extravasamento de eletrólitos, concentração de H_2O_2 e peroxidação lipídica (MDA) em plantas de coqueiro em função da aplicação de B via solo e estipe, comparativamente à testemunha onde se aplicou B como ácido bórico via solo.....67
Tabela 11 - Número de folhas, número médio de frutos por cacho, peso de fruto, volume de agua, produtividade em litros de água e em número de frutos por planta por ano em função da forma de aplicação de B (via solo e estipe).....68
Tabela 12 - Número de folhas, número de frutos médio por cacho, peso de fruto, volume de água, produtividade em litros de água e produtividade em número de frutos por planta ano^{-1} em plantas de coqueiro em função da aplicação de B via solo e estipe, comparativamente à testemunha sem aplicação de B.....74
Tabela 13 - Número de folhas, número de frutos médio por cacho, peso de fruto, volume de água, produtividade em litros de água e produtividade em número de frutos por planta ano^{-1} em plantas de coqueiro em função da aplicação de B via solo e estipe, comparativamente à testemunha onde se aplicou B como ácido bórico via solo.....75
Tabela 14 - Número de folhas, número de frutos médio por cacho, peso de fruto, volume de água, produtividade em litros de água e produtividade em número de frutos por planta ano^{-1} em plantas de coqueiro em função da aplicação de B via solo e estipe, comparativamente à testemunha onde se aplicou B como ácido bórico via estipe.....76
Tabela 15 - Teor de B, condutividade elétrica, sólidos solúveis, pH, acidez titulável total e relação sólidos solúveis/acidez titulável total da água de coco em função da forma de aplicação de B (via solo e via estipe).....78
Tabela 16 - Condutividade elétrica, teor de B, sólidos solúveis totais, pH, acidez total titulável, e relação sólidos solúveis totais/acidez titulável total de água de coco em função da aplicação de B via solo e estipe, comparativamente à testemunha sem aplicação de B.....82
Tabela 17 - Condutividade elétrica, teor de B, sólidos solúveis totais, pH, acidez total titulável, e relação sólidos solúveis totais/acidez titulável total de água de coco em função da aplicação de B via solo e estipe, comparativamente à testemunha onde se aplicou B como ácido bórico via solo.....83

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14
1.1 Hipóteses 16
1.2 Objetivos 16
1.2.1 Objetivo Geral 16
1.2.2 Objetivos Específicos 16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 17
2.1 Boro no solo e na planta 17
2.1 Deficiência de Boro nas culturas 18
2.3 Fertilização via estipe/caule em plantas 20
3 MATERIAL E MÉTODOS 26
3.1 Área de estudo 26
3.2 Tratamentos e delineamento experimental 27
3.3 Avaliações 29
3.4 Análise dos dados 34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 35
4.1 Nutrição boratada em função da forma de aplicação de B em plantas de coqueiro 35
4.2 Nutrição boratada em função de doses, tempo e forma de aplicação de B em coqueiro 37
4.3 Nutrição boratada em função das doses e forma de aplicação de B comparativamente as testemunhas: sem aplicação e B aplicado via solo e via estipe na forma de ácido bórico 45
4.4 Incremento do teor de B na folha dignóstica 54
4.5 Nível crítico de B 56
4.6 Atributos fisiológicos e bioquímicos em função da forma de aplicação de B em coqueiro 57
4.7 Atributos fisiológicos e bioquímicos em função da aplicação de doses de B em plantas de coqueiro 58
4.8 Atributos fisiológicos e bioquímicos em função das doses e forma de aplicação de B comparativamente as testemunhas: sem aplicação e B aplicado via solo na forma de ácido bórico 65
4.9 Componentes de produção e produtividade do coqueiro anão-verde 68
4.10 Qualidade físico-química da água do coqueiro 76
5. CONCLUSÃO 84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 85

1 INTRODUÇÃO

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é uma cultura de grande importância socioeconômica, sendo bastante cultivada a variedade anão-verde, responsável pela produção de coco seco e seus derivados, e consumo *in natura*. É cultivado em quase todo o Brasil, com área superior a 187 mil há com produção de 1,6 bilhão de frutos. A região Nordeste apresenta 80,9% da área colhida de coco do País e 73,5% de sua produção, sendo que o estado de Sergipe contém uma produção de 166 milhões de frutos, porém tem apresentado baixo rendimento, com cerca de 7.036 frutos ha^{-1} (BRAINER, 2021). A produtividade desta cultura tem sido limitada, sobretudo por fatores nutricionais, decorrente da baixa fertilidade dos solos arenosos, onde o coco é mais cultivado (PORTELA et al., 2015).

Neste contexto, a deficiência de B é um dos fatores limitantes na produção do coqueiral, porque a deficiência de B em solos arenosos é muito comum. A deficiência de B em coqueiro prejudica, desde a formação de tecidos meristemáticos radiculares e caulinares até a floração, frutificação e produção (PINHO et al., 2008; PARTNUDE; NELSON, 2012; MOURA et al., 2013; NAIR, 2021). Para corrigir essa deficiência vem sendo utilizada aplicação de B via solo ou na axila foliar. No entanto, com a aplicação de fertilizante na axila, apenas as plantas jovens são contempladas. Quando em fase de produção, devido ao porte elevado das plantas, essa forma de aplicação é operacionalmente inviável. Por outro lado, aplicação no solo eleva as perdas desse nutriente por lixiviação, haja vista que na faixa de pH, em que o coqueiro é cultivado, a forma de B presente na solução do solo é, principalmente, H_3BO_3 (forma não dissociada neutra), que pode migrar ao longo do perfil do solo (SOARES et al., 2008: PRADO, 2021), para profundidades fora do alcance das raízes, sobretudo em solos arenosos no período chuvoso (AHMAD et al., 2012; PORTELA et al., 2015; LINDOLFO et al., 2020). Isso induz a utilização de maiores quantidades do nutriente, reduzindo sua eficiência em virtude das perdas por lixiviação que podem chegar até 70 ou 90% do que foi aplicado (ABREU et al., 2004; TOMICIOLI et al., 2021).

Nesta perspectiva, a busca por uma nova forma de aplicação que promova maior eficiência de aproveitamento do B é primordial para garantir o sucesso dos sistemas de produção de coco. A endoterapia é uma técnica utilizada para aplicação de produtos fitossanitários diretamente no xilema da planta, que permite a translocação no fluxo da seiva por meio dos vasos condutores (FERREIRA et al., 2015; MOURA, 2021). Diversos estudos utilizando essa técnica têm sido executados com produtos fitossanitários e aplicados nas plantas com sucesso, especialmente em algumas culturas agrícolas (MOURA, 2021). No entanto, isso

tem se limitado a trabalhos fitossanitários. O uso dessa técnica como nutrição é ainda insipiente, mas necessária para, principalmente, melhorar a eficiência do uso de B.

Assim, trabalhos de pesquisa reportaram incremento na produtividade e qualidade físico-química dos frutos (tâmara, pera, laranja, mangueira, videira e pêssego), associada as menores doses de fertilizantes, quando se empregou aplicação via xilema (SHAABAN et al., 2009; MOHEBI et al., 2010; LUACES et al., 2015; SALEH et al., 2016; ABD-ELHALIEM et al., 2017; EL-DEEN et al., 2018; ZOKAEE; NEZAMI; HAJIAMIRI, 2023), porém estudos com aplicação de B ainda são escassos. Na cultura do coqueiro, apenas um estudo com aplicação de Mn via estipe foi desenvolvido, onde os autores reportaram que essa forma de aplicação foi o método mais eficaz em elevar os teores desse nutriente na folha (BROSCHAT; DOCCOLA, 2010).

Assim, trabalhos de pesquisa reportaram incremento na produtividade e qualidade físico-química dos frutos (tâmara, pera, laranja, mangueira, videira e pêssego), associada as menores doses de fertilizantes, quando se empregou aplicação via xilema (SHAABAN et al., 2009; MOHEBI et al., 2010; LUACES et al., 2015; SALEH et al., 2016; ABD-ELHALIEM et al., 2017; EL-DEEN et al., 2018; ZOKAEE; NEZAMI; HAJIAMIRI, 2023), porém estudos com aplicação de B ainda são escassos. Na cultura do coqueiro, apenas um estudo com aplicação de Mn via estipe foi desenvolvido, onde os autores reportaram que essa forma de aplicação foi o método mais eficaz em elevar os teores desse nutriente na folha (BROSCHAT; DOCCOLA, 2010).

Diante do exposto, são necessários estudos com emprego deste nutriente aplicado via estipe na cultura do coqueiro, principalmente em solos arenosos deficientes em B, onde a aplicação via solo apresenta uma eficiência muito baixa, devido às perdas por lixiviação.

Nesse contexto, a região do Platô de Neópolis em Sergipe é muito produtora de coco, mas os solos são arenosos e de baixa fertilidade natural, com expressivas deficiências de B. Esse é um ambiente bem representativo do cultivo no Nordeste do Brasil. A forma mais utilizada de aplicação de B nessa região é via solo, o que pode estar causando consideráveis perdas desse nutriente por lixiviação, reduzindo sua eficiência. Estudar outras formas de aplicação de B nessa região, como via estipe, por exemplo, poderá proporcionar ganhos significativos no estado nutricional, produtividade e qualidade físico-química da água de coco, pelo aumento da eficiência dessa forma de aplicação, associada a uma fonte de B eficiente.

1.1 Hipóteses

- A aplicação de B via estipe promove melhoria nos atributos fisiológicos, bioquímicos e na nutrição boratada de plantas de coqueiro, refletindo em um maior rendimento de frutos e melhor qualidade físico-química da água, porém depende da dose, forma de aplicação e da fonte de B utilizada como fertilizante.
- A dose de B aplicada via estipe que promove maior resposta na produtividade e qualidade da água do fruto do coqueiro é menor do que a aplicada via solo, independente da fonte utilizada na fertilização.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar o comportamento de atributos fisiológicos e bioquímicos e a nutrição boratada em plantas de coqueiro fertilizadas com quantidades crescentes de diferentes fontes de B via estipe e solo, além de avaliar a produtividade e a qualidade físico-química da água do fruto do coqueiro.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o comportamento de atributos fisiológicos e bioquímicos de plantas de coqueiro;
- Avaliar o percentual de abortamento de frutos de coqueiro;
- Avaliar o estado nutricional de B em plantas de coqueiro;
- Determinar o nível crítico de B na folha de plantas de coqueiro e na água do fruto do coqueiro;
- Indicar qual (is) fonte (s) de B proporciona maior produtividade e qualidade físico-química da água do fruto do coqueiro;
- Indicar a dose de B que proporciona maior produtividade do coqueiro;
- Indicar a dose de B que proporciona maior qualidade da água do fruto do coqueiro;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Boro no solo e na planta

O B tem como características químicas o número atômico 5, massa atômica de 10,811 unidades de massa atômica e íon de valência +3. O B é o único ametal localizado no grupo IIIA da tabela periódica e apresenta duas únicas formas de isótopos estáveis encontradas naturalmente, ^{10}B responsável por 20% do B natural e o ^{11}B que compõe 80% restante (BIÈVRE; BARNES, 1985). Dificilmente é encontrado em sua forma elementar, devido à sua alta reatividade, contudo, o B é encontrado combinado a diversos minerais, como por exemplo: Colemanita ($Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$), Ulexita ($CaNaB_5O_9.8H_2O$), Bórax ($Na_2B_4O_7.10H_2O$), Boracita ($Mg_3B_7O_{13}Cl$) e Kernita ($Na_2B_4O_6(OH)_2.3H_2O$) (BOARETTO, 2006).

As primeiras publicações a respeito do B e seus efeitos em plantas foram feitas por Warington (1923), onde se relata a essencialidade desse elemento químico, porém com função primária não esclarecida por completo (MATOH, 1997). Atualmente, sabe-se que o B está relacionado a uma série de processos fisiológicos das plantas, tais como: síntese da parede celular; lignificação; estrutura da parede celular; viabilidade e germinação do grão de pólen, crescimento do tubo polínico; respiração; metabolismo de carboidratos; metabolismo de RNA; metabolismo de ácido indolilacético; metabolismo de compostos fenólicos; metabolismo de ascorbato; fixação de N; redução da toxidez de Al (SHELP, 1993; MARSCHNER, 1997; PRADO, 2021).

Estudos afirmam que nas paredes celulares vegetais, encontra-se cerca de 90% do B presente na planta, onde esse ele atua na síntese e estabilidade da parede celular, devido a formação de ésteres com grupos cis-diol-3, fornecendo rigidez, força e forma à célula, além de atuar no desenvolvimento de novas folhas, sendo a formação de gemas apicais influenciadas devido à alta demanda por B (LOOMIS; DURST, 1992; MATOH et al., 1996).

O B quando no solo apresenta transformações ocasionadas por diversos fatores, tais como: textura do solo; presença de matéria orgânica; atividade microbiológica; níveis de fertilidade; pH; condutividade elétrica; e práticas de manejo do solo (DHALIWAL et al. 2019; SOURI; HATAMIAN, 2019; AHMADI; SOURI, 2018). No solo onde cultiva-se a maioria das culturas, incluindo o coqueiro, o B é encontrado como H_3BO_3 em sua maior parte e, como $B(OH)_4^-$ na solução do solo e frações orgânicas e mineral (MARSCHNER, 2011). Tabelin et al. (2014) explica que a forma dissociada H_2BO_3 torna-se predominante, quando em pH maior que 9,2. Entretanto, quando o pH está abaixo de 7,0, o H_3BO_3 apresenta aceitação de OH^- ao

invés da doação de H^+, fazendo assim uma atuação semelhante a de um ácido de Lewis, logo, em solos neutros a levemente ácidos, a principal forma encontrada do B é de H_3BO_3, não dissociado (TABATA et al. 2003).

Neste contexto, as plantas podem absorver o B em diversas formas químicas (H_3BO_3; $H_2BO_3^-$; $B(OH)_4^-$), entretanto a forma H_3BO_3 é a predominante (PRADO, 2021). O mecanismo de absorção por parte das plantas é dependente da disponibilidade do B. Em situações de baixa disponibilidade do nutriente, a absorção ocorre de forma ativa com dependência de transportadores específicos; e em caso de abundância do nutriente, ela ocorre de forma passiva, por meio de difusão simples (TANAKA; FUJIWARA, 2008). Miwa et. al (2013) afirmaram que além da difusão passiva, o transporte de B é facilitado pelos canais de ácido bórico, que contam com proteínas intrínsecas dos tipos BOR e NIP, sendo os transportadores BOR relacionados ao transporte ativo do mineral nas células do periciclo para o xilema em situações de déficit (MIWA et al., 2013; TAKANO et al., 2010), e os transportadores NIP atuantes nas células da endoderme, córtex e epiderme (SOTTA et al., 2017).

Quanto a mobilidade, Brown e Shelp (1997) afirmaram que as espécies vegetais podem ser classificadas de acordo com a sua capacidade de redistribuição via floema, existindo espécies de redistribuição restrita e espécies com alta mobilidade de B. Espécies que têm produção de açúcares específicos, como o sorbitol, dulcitol e manitol, segundo Zimmermann e Ziegler (1975), apresentam alta mobilidade do B em sua redistribuição via floema. No caso de coqueiros, dados referentes à produção desses açúcares não foram encontrados, entretanto, pesquisas realizadas por Santos et al. (2003) observaram possibilidade de maior mobilidade do B em coqueiro e Pinho et al. (2008) reportaram redistribuição de B em coco.

2.1 Deficiência de Boro nas culturas

O B é um dos oligoelementos que frequentemente apresenta-se deficiente no solo (GOLI, HIEMSTRA; RAHNEMAIE, 2019). Deficiência essa que segundo estimativas, mais de 130 culturas, em mais de 80 países, são afetadas, o que prejudica uma área de produção estimada em 8 milhões de hectares em todo o mundo (TARIQ; MOTT, 2007; HUA et al., 2016; ULUISIK, KARAKAYA; KOC, 2018). O teor de B no solo varia entre 10 e 300 mg kg^{-1}, contudo, desses, apenas uma quantidade entre 5% e 10% está disponível aos vegetais (SANTOS et al., 2013; REHMAN et al., 2018). Países como Japão, China, Brasil e EUA apresentam solos deficientes em B para produção agrícola, o que torna necessário a adição desse nutriente como fertilizante

O Cultivo do coqueiro tem crescido nos últimos anos, em nível de Brasil e mundo. No entanto, as áreas plantadas são constituídas principalmente de solos arenosos, com baixa

fertilidade natural. Baixos níveis de B em solos tropicais, contribuem com a baixa produtividade dos coqueirais, fato que torna a deficiência desse micronutriente bastante comum em solos arenosos, devido ao processo de lixiviação, principalmente em períodos de chuvas mais intensas (SILVA et al., 2018), que resulta em sintomas de deficiência (ROSOLEM, BIGIANE, 2014; ABREU et al., 2004; LINDOLFO et al., 2020).

Entre os fatores ambientais não edáficos, a taxa de transpiração é a que mais influencia a absorção de B. O aumento da transpiração promove o aumento na absorção de B, que é influenciada pela umidade relativa, temperatura e intensidade luminosa (HU; BROWN, 1997). Diferente dos solos arenosos, em solos de textura média e argilosa, a principal causa para a deficiência de B é o processo de adsorção e fatores como aumento do pH, matéria orgânica e teor de óxidos de Fe e de Al, influenciam na adsorção desse nutriente (SILVA et al., 2018).

A deficiência de B afeta a divisão e alongamento celular, produção de parede celular, estrutura e integridade da membrana. Causa esterilidade do grão de pólen e comprometimento na formação do tubo polínico, promovendo a queda de flores, ou formação de frutos malformados, intensificando o abortamento de frutos. Além disso, prejudica na formação de ácidos nucleicos, proteínas, transporte de açucares para o fruto e demais regiões da plana, produção de hormônios e absorção de nutrientes, sobretudo N (PARTNUDE; NELSON, 2012; EGGERT; VON WIRÉN, 2017; PRADO, 2021).

Dentre as alterações bioquímicas, a deficiência de B proporciona o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs) e o aumento da peroxidação lipídica e, consequentemente, causa a morte de células (CAKMAK; ROMHELD, 1997; KOSHIBA et al., 2009). A carência de B pode formar complexos com ácido 6-fosfoglucônico, inibindo a atividade da enzima 6-fosfogluconato dehidrogenase, aumentando a atividade da rota das pentoses e, consequentemente, a síntese de fenóis. A toxicidade gerada pelo acúmulo de ácidos fenólicos pode ocasionar a quebra dos lipídios da membrana plasmática e, consequentemente, a ruptura da mesma quando em condições de deficiência de B (DUGGER, 1983; RODRÍGUEZ; CASTILLO; TINAUT, 1987; CAKMAK et al., 1995). Esses danos oxidativos resultam em aumento da produção e acúmulo de malondialdeído (MDA) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), resultando em menor desenvolvimento, devido aos danos no aparelho fotossintético das plantas, diminuindo a fotossíntese (HAJIBOLAND; FARHANGHI, 2010; TRIPATHY; OELMULLER, 2012; LI et al., 2017).

Em termos de alterações fisiológicas, a deficiência de B, pode ocasionar redução da área foliar, inibição de crescimento apical e limitação do crescimento radicular. A limitação do crescimento radicular está relacionada às alterações na composição de pectinas da parede

celular, em que pontes de hidrogênio predominam durante a carência de B, alteração essa que enfraquece pontes entre N-H e O-H, que são as ligações encontradas entre pectinas e carboidratos da parede celular vegetal (WU et al., 2017).

Na cultura do coqueiro, a deficiência de B é muito importante, principalmente devido aos primeiros sintomas de deficiência serem observados nas raízes (MALAVOLTA,1997; PINHO et al., 2008). Dessa forma, o coqueiro apresenta perda da capacidade de formação de raízes, o que leva à formação de raízes curtas, grossas e com escurecimento. E como resultado, a planta mantém-se exposta a uma situação que pode limitar a absorção de B, além de outros nutrientes (SANTOS et al., 2004; PINHO et al., 2008; POZA-VIEJO et al., 2018).

Além do comprometimento no desenvolvimento radicular, a parte área do coqueiro também é comprometida, apresentando redução na expansão das folhas novas, crestamento, necrose, danos no meristema apical e outras deformações (PINHO et al., 2008; PARTNUDE; NELSON, 2012; POZA-VIEJO et al., 2018). A deficiência de B também pode causar uma falha funcional nos tubos polínicos, cujos efeitos são evidentes em flores ou nos frutos. O abortamento prematuro de frutos em plantas de coqueiro, como resultado da deficiência de B, é um dos grandes problemas que ocasionam redução de produção (PARTNUDE; NELSON, 2012), sobretudo no período com alta precipitação (BROSCHAT, 2007; BROSCHAT, 2009; ATHULYA, 2017). Além disso, promove redução da capacidade fotossintética, condutância estomática, transpiração, concentração interna de CO_2 e rendimento quântico das plantas e alteração do sistema antioxidante (PINHO et al., 2010; RIAZ et al., 2019).

Portanto, a deficiência de boro limita o potencial produtivo do coqueiral, haja vista que prejudica toda a formação de tecidos meristemáticos radiculares e caulinares, floração, frutificação e a produção de coco (SANTOS et al., 2004; PINHO et al., 2008; PARTNUDE; NELSON, 2012; MOURA et al., 2013).

Considerando que a aplicação de B via solo pode ocasionar muitos problemas devido às muitas interações que esse nutriente pode apresentar com o meio, e por ser facilmente lixiviado, a busca por uma nova forma de aplicação, que proporcione um aproveitamento deste B de forma mais eficiente, é fundamental para a garantia de sucesso nos sistemas de produção de coco.

2.3 Fertilização via estipe/caule em plantas

Ao longo do tempo, a agricultura sempre buscou alternativas a fim de maximizar o processo produtivo visando maiores produtividades, baixos custos de implantação, facilidade de uso e redução dos danos ambientais. Neste sentido, o controle de doenças e pragas em plantas

denominada endoterapia, se constitui em uma técnica, em que a aplicação do defensivo agrícola é feita via injeção no caule da planta, sendo translocado através dos vasos condutores (MONTECCHIO et al., 2013; FERREIRA et al., 2015; MOURA, 2021).

Diversos estudos sobre aplicação de produtos fitossanitários em plantas têm sido realizados, sendo esses empregados com sucesso no controle de patógenos em várias espécies vegetais, como pereira, maçã, cereja, abacate, ameixa, dendê, videira, bem como em coqueiros, que está se tornando uma prática promissora (RANASINGHE et al., 2003; ESTÉVEZ; FERRY; GOMÉZ, 2011; FERREIRA et al., 2013; MONTECCHIO, 2013; FERREIRA et al., 2015; MOURA, 2021).

Lipman e Gordon (1925) aplicaram fertilizante diretamente no xilema via estipe ou caule, quando estudaram aplicação de Ca, Mg e K em plantas de pereira. Os autores constataram aumento do crescimento, folhas mais longas e verdes e botões florais mais vigorosos com aplicação de $MgHPO_4$. No entanto, com efeito negativo quando utilizaram $Ca(NO_3)_2$, $CaHPO_4$, $CaCl_2$ e $CaSO_4$. Contudo, tiveram bons resultados na eliminação da deficiência de Fe com aplicação via caule de $FeSO_4$.

Chandler et al. (1933) estudaram aplicação de Zn usando o $ZnSO_4$ e ZnO e observaram a diminuição dos sintomas de deficiência de Zn em plantas frutíferas. As novas brotações das fruteiras não exibiram sintomas de “folhinha” ou “roseta”, sintomas que estão tipicamente associados à deficiência de Zn em plantas frutíferas.

Roach (1933) propôs que as aplicações de K no caule poderiam ser usadas para acelerar a resposta tardia em relação ao fertilizante potássico que era aplicado no solo. Desse modo, ele aplicou uma injeção de KNO_3 em uma macieira de 15 anos, que apresentava deficiência de potássio K. Aplicou-se uma solução de dez litros de KNO_3 a 1%, onde foram injetados no início da estação de crescimento. No dia seguinte, observou-se a queima das folhas, principalmente nos galhos acima do orifício de injeção. No entanto, logo após um mês, essas folhas estavam mais grossas, com coloração verde-escura, maiores e aparentemente mais saudáveis do que antes. No outono, observou-se um forte crescimento de brotos, que excedeu o crescimento do ano anterior em 50% – 70%. Notou-se que maior quantidade de rebrotação ocorreu nos ramos que apresentaram mais danos pela injeção.

Roach (1934) realizou um teste de injeção de nutrientes em larga escala em oito macieiras de 21 anos. Nelas foram injetadas uma solução contendo 0,25% de K_2HPO_4 mais 0,25% de uréia. Observou-se que o crescimento da parte aérea aumentou e foi correlacionado com a quantidade de material injetado. Reportou-se que o número de podas das plantas

fertilizadas foi 1,9 vezes maior que o das árvores não injetadas. As plantas também mostraram a folhagem mais vigorosa, tendo menores infestações de cigarrinhas e ácaros vermelhos.

Duggan (1943) tratou deficiência de Mn em cerejeiras com aplicação de $MnSO_4$. Aplicou-se de 2 a 5 g de $MnSO_4$ no início da primavera, resultando em um aumento no crescimento das plantas sem danos aparentes.

Levy (1946) injetou em macieiras de seis anos com deficiência em K uma solução nutritiva contendo 0,125% de uréia e 0,125% de K, aplicando uma dosagem de 0,5 g de sais total por 1 cm de área transversal do tronco, com resposta positiva na estação de crescimento, onde os botões florais dormentes foram estimulados a crescer vegetativamente.

Roberts e Landau (1947) realizaram aplicação de fertilizante potássico, isoladamente ou em combinação com sais de Fe ou Mn. O K_2SO_4 e K_2HPO_4 foram injetados em macieiras e os autores reportaram doses ideais entre 24–144 g para K_2SO_4 e 18–108 g para K_2HPO_4. Em geral, as planas injetadas com Fe apresentaram folhagem mais vigorosa do que as não tratadas. Além disso, as plantas inoculadas com K e Fe apresentaram melhor resposta a aplicação.

Worley et al. (1976) injetaram composto de Zn em plantas de nogueira e observaram que a aplicação de 2270 g planta^{-1} de $ZnSO_4$ promoveu mortalidade de todos os primeiros brotos, folhas e pontas de caule em plantas com 201 cm de circunferência. O teor de Zn na folha cresceu para 5.000 mg kg e após três semanas novos brotos surgiram. Em plantas com circunferência de caule maior do que 270 cm se observou pouca toxidade, mostrando a importância da idade das plantas na definição das dosagens adequadas de aplicação de nutrientes diretamente no caule.

Reil et al. (1978) testaram $ZnSO_4$ e $FeSO_4$ e observaram que $FeSO_4$ a 1% ou 2% em um volume de 0,95 L corrige a clorose severa nas plantas por pelo menos 1 ano, levando os autores a concluirem sobre a eficácia da técnica com $ZnSO_4$ a 1% para manutenção da suficiência de Zn por pelo menos um ano.

Barney et al. (1984) avaliaram macieiras com deficiência de Fe através da aplicação via caule e solo. Os tratamentos com sulfato ferroso ou citrato férrico, utilizando 100 mL de solução a 1% eliminou a clorose, além do aumento na produção de frutos. Porém, alguns danos no local da injeção foram observados para ambos os compostos injetados.

Raese et al. (1986) testaram em macieiras e pereiras vários fertilizantes a base de Fe e S via caule e concluíram que o método é mais eficaz e com efeitos residuais (3 ou 4 anos) de redução de clorose férrica nas plantas. Wallace e Wallace (1986) relataram que a injeção de sulfato e citrato de amônio férrico nos vasos do xilema corrigiu sintomas de clorose por deficiência de Fe em plantas cítricas.

Yoshikawa (1988) testou diversas doses de $FeSO_4$ em pêssego no tratamento de clorose férrica e como resultado após dois anos, observou aumento na floração e frutificação, bem como aumento na produtividade, além de melhor qualidade dos frutos. Fernández-Escobar et al. (1993) ao utilizar soluções de Fe, via tronco, em oliveiras cloróticas e em pessegueiros, perceberam aumento no teor de clorofila para todos os tratamentos via estipe, em comparação com o controle. De forma semelhante, a aplicação de Fe por meio de injeção no tronco em macieira foi eficaz na correção da clorose férrica nas plantas. A regeneração ocorreu de forma lenta, porém o efeito da correção com o fertilizante férrico injetado foi prolongado, comparado ao fornecido no solo.

Juan et al. (2007), estudando os efeitos da adubação por infusão na qualidade dos frutos cítricos, reportaram crescimento das plantas, aumento no teor de vitamina C e maiores teores de açúcares. Shaaban (2009), estudando fertilização via caule em mangueiras e videiras, constatou que as as plantas de mangueiras apresentaram um crescimento de 20% a 25% maior, quando comparadas às plantas fertilizadas via solos. As videiras apresentaram um aumento de 32% a 49% na produção de frutos, além da diminuição da acidez total, que variou de 6,2 a 19,7% e crescimento do teor de açúcares redutores de 7,5 a 11,9%.

Abdi e Hedayat (2010), estudando produtividade e características químicas e físicas da tamareira sob fertilização com K via solo com sulfato de potássio (48% K_2O), pulverização foliar e injeção de sulfato de K (2%), reportaram que o método de injeção no tronco apresentou maior produtividade de tâmaras, maior peso e tamanho do fruto. Semelhantemente, Mohebi et al. (2010) avaliaram os efeitos da fertilização na aplicação via solo e injeção de Fe no tronco de plantas de tâmara. O método de injeção de 25 g de $FeSO_4$ por planta apresentou a maior produtividade no cultivo das tamareiras.

Shaaban (2102) observou que goiabeiras e caquis totalmente fertilizados através do caule aumentaram seus crescimentos em 84% e 89%, respectivamente, em comparação com árvores fertilizadas via solo. Tian et al. (2015) avaliaram o crescimento e a frutificação do castanheiro pelo método de injeção no tronco com $(NH_2)_2CO$ e KH_2PO_4 misturados em diferentes proporções. Ao término, os fertilizantes compostos de $(NH_2)_2CO$ e KH_2PO_4 induziram efeitos sinergéticos positivos, mostrando o aumento da capacidade fotossintética, da produtividade e da qualidade do castanheiro.

Saleh, Yaaghoob e Ghoreishi (2016) mostraram que a aplicação de $FeSO_4$ via estipe em tamareira favoreceu maior concentração de Fe, maior índice Brix e teor de açúcares redutores, quando comparada com a aplicação via solo, além disso, os autores observaram que houve

menor quantidade utilizada de Fe, levando aos autores a concluírem que o método de injeção via estipe é mais eficiente para fertilização com Fe em tamareira.

Abd-Elhaliem et al. (2017), ao realizarem experimentos com Fe e B em tamareiras, observaram que quando tratadas com aplicação desses micronutrientes via estipe, apresentaram maiores produtividades, peso do cacho, número de frutos e peso de fruto. Os autores também verificaram que o teor de B nas folhas aumentou 16,18% na aplicação via estipe, enquanto que só aumentou 9,81% na aplicação via solo. Além disso, os autores constataram que houve aumento no teor de sólidos solúveis e justificam pelo papel do B no processo de translocação do complexo açúcar-borato.

El-Deen et al. (2018), avaliando diferentes métodos de aplicação de micronutrientes na cultura de pêra em solo calcário, constataram que as plantas produziram maior número de frutos, quando submetidas ao tratamento via caule, em comparação com aplicação via solo e foliar (11,69%, 6,66% e 4,72%, respectivamente). Em termos de produção, os estudos confirmaram que o tratamento via caule apresentou maiores valores de produção total (112,02 e 113,07 kg árvore^{-1}) e o maior número de frutos (376,7 e 378,3 frutos árvore^{-1}) na primeira e segunda safra.

Zokaee, Nezami e Hajiamiri (2023) aplicaram injeções de solução de sulfato ferroso ($FeSO_4$) no tronco de pessegueiros em solo calcário e constataram aumento de 62,3% na produção média de frutos (60,7 kg árvore^{-1} nos controles, para 98,5 kg árvore^{-1} no tratamento com injeção de 2% de $FeSO_4$). Os autores relataram, também, aumento no teor de sólidos solúveis dos frutos nos tratamentos via caule, enquanto que tratamentos via solo e via foliar não apresentaram valores diferentes do controle. Os autores afirmaram que, embora essa via de aplicação apresente resultados positivos, o uso de ferramentas para injeção direta no caule para grandes concentrações é mais prejudicial do que benéfica, visto que houve estresse ao ponto de ocorrer abscisão foliar em vários ramos com cerca de quatro dias após a injeção.

Neste sentido, observa-se que existem alguns trabalhos com aplicação de nutrientes via caule (tronco) em diversas plantas, incluindo palmeiras (tamareira e palma de óleo), mesma família do coqueiro. No entanto, nessa cultura a aplicação de fertilizante via estipe, existe apenas com Mn, onde os autores reportaram que essa forma de aplicação foi o método mais eficaz em elevar os teores desse nutriente na folha (BROSCHAT; DOCCOLA, 2010). Por outro lado, com aplicação de fertilizante boratado não existe estudos, sendo assim um campo promissor que necessita de pesquisas que avaliem a aplicação de B via estipe, haja vista que o gerenciamento de fertilizantes é um fator chave no aumento da produtividade e o sistema de fertilização por injeção via estipe pode ser uma das formas eficazes e eficientes de garantir a

adequação dos nutrientes às plantas, de modo que além do incremento na produtividade, promova melhor qualidade da água dos frutos. Essa técnica com aplicação de B via estipe é ainda mais relevante em coqueiros cultivados no Nordeste, onde esses cultivos ocorrem em solos majoritariamente arenosos e, portanto, deficientes em B. No entanto, como alertado por alguns pesquisadores (ZOKAEE; NEZAMI; HAJIAMIRI, 2023), essa aplicação pode ser mais prejudicial do que benéfica, principalmente se o B for aplicado muito concentrado. Assim, é fundamental encontrar a dose e sua concentração mais adequada, bem como a fonte para nortear essa aplicação via estipe

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O experimento foi desenvolvido em um plantio comercial na Fazenda União Fruticultura, localizado no município de Neópolis-SE, com coordenadas 10° 16’ S, 36° 5’ W, 75 m de altitude. O clima da região é do tipo As’, segundo classificação de Köppen (tropical chuvoso com verão seco) (ALVARES et al., 2013). A pluviosidade anual é de aproximadamente 1200 mm, com concentração das chuvas entre os meses de abril e setembro. O solo da área experimental é classificado como Neossolo Quartzarênico (EMBRAPA, 2013)

Para caracterização química e análise granulométrica do solo, retirou-se dez amostras simples de solo aleatoriamente em zig-zag na área do coqueiral, que depois de homogeneizadas foram transformadas em uma amostra composta. A área experimental é homogênea, sem alterações perceptíveis de cor do solo, textura ao tato, topografia, tratos culturais, uso, etc. Essa homogeneidade permitiu que toda área experimental fosse considerada como uma única unidade amostral. Assim, com o auxílio de uma pá reta, abriram-se dez trincheiras e coletou-se as dez amostras simples em duas profundidades (0-20 cm e 20-40 cm). As amostras foram enviadas a laboratório para caracterização química e física, tendo como mensurações de atributos físicos apenas a granulometria do solo (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização química e análise granulométrica do solo da área experimental

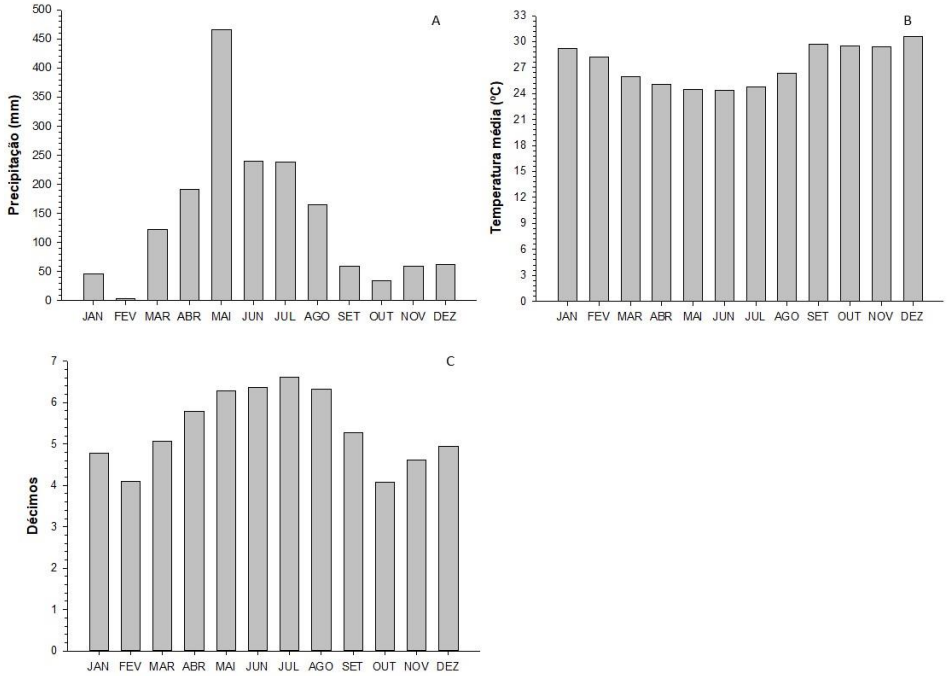
Prof. (cm)	pH (Água) (1:2,5)	P (Mehlich)	P (Resina)	$S\text{-}SO_4^{2-}$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}	SB[1]	Al^{3+}	(H+Al)	T[2]
		----------mg dm^{-3}--------			----------$cmol_c$ dm^{-3}----------							
0-20	6,49	578,75	63,05	6,60	3,32	0,67	0,24	0,22	4,45	0,00	0,53	4,96
20-40	6,58	173,45	59,00	4,70	1,86	0,42	0,27	0,14	2,69	0,00	0,32	3,02

	Fe^{2+}	Mn^{2+}	Cu^{2+}	Zn^{2+}	B	m[3]	V[4]	Areia	Silte	Argila
	----------mg dm^{-3}----------					----------%----------				
0-20	22,90	31,95	1,95	30,05	0,82	0,00	89,34	91,54	2,44	6,02
20-40	26,35	3,30	0,52	5,65	0,76	0,00	88,97	-	-	-

1 - Soma de bases; 2 - Capacidade de troca de cátions potencial; 3 - Saturação por Al; 4 - Saturação por bases.

Os dados climáticos de precipitação, temperatura e nebulosidade da região foram obtidos diretamente na fazenda, como também no Instituto de Nacional de Meteorologia (Figura 1).

Figura 1 -Precipitação média (2021 a 2023) da Fazenda União Fruticultura (A) mensurada com pluviômetro instalado na própria fazenda, sendo a temperatura média (B) e nebulosidade da região (C) obtidas, conforme informações meteorológicas do INMET (2023).



3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos consistiram de cinco doses de B (2; 4; 6; 8 e 10 g planta^{-1}), utilizando-se B MEAL como fonte de B, aplicado de duas formas (via estipe e solo) e três testemunhas adicionais (sem aplicação de B; aplicação de B como ácido bórico, aplicado via solo e estipe). Foram realizados testes prévios para definição destas doses. A aplicação de B utilizando ácido bórico foi realizada utilizando-se uma dose única de 5 g planta^{-1}. Essa é uma dose padrão recomendada pela Embrapa (Tabuleiros Costeiros) para aplicação via solo (SOBRAL et al., 2009).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial [(5 x 2) + 3], com quatro repetições, perfazendo 52 parcelas experimentais. Se o estudo tivesse avaliado o B, tendo como fonte o ácido bórico, nas mesmas doses utilizadas para o B MEA, o ensaio teria um incremento de 61,5% no número de parcelas experimentais, tornando o estudo muito difícil de ser operacionalizado. Além disso, como estudos de fertilização de B via estipe em coqueiro não existem, esse ensaio é emergente e prospectivo, daí a opção por aplicar B na fonte ácido bórico ter sido colocada como testemunha, além dessa fonte ser a principal referência de fertilização de B em coqueirais no Nordeste. No demais, devido a baixa solubilidade desta fonte, é inviável aplicação com doses maiores que de 5 g planta^{-1}.

A unidade experimental constou de 8 plantas, distribuídas em sistema de plantio em triângulo equilátero, no espaçamento de 7,5 x 7,5 x 7,5 m, perfazendo 205 plantas por hectare. O sistema de irrigação utilizado foi microaspersão com dois emissores por planta, distanciados 1,0 m em lados opostos da planta. As plantas foram adubadas com base na análise de fertilidade do solo e folha, seguindo o programa de manejo nutricional da fazenda comercial. O controle das plantas invasoras, doença foliar (lixa), pragas (mosca branca, ácaro e cochonilha) foram realizados com o herbicida glyphosate, fungicida sistêmico ciproconazole (1 g i.a planta^{-1}, equivalente a 10 mL de alto 100) e inseticida abamectina (vertimec e abamex, na dosagem de 5 mL planta^{-1}), respectivamente.

Para a aplicação do B, os estipes do coqueiro foram perfurados com furadeira de impacto, em ângulo de 45°, com posterior instalação de cateter comercial com dimensões 9 cm x 2 cm (Figura 2), sendo a aplicação das doses de B via estipe realizada por meio de uma seringa, tendo sido também realizadas avaliações periódicas da seiva bruta e necrose dos tecidos xilemáticos (Figura 3). As doses aplicadas com a fonte B MEA foram diluidas em água na proporcão 2:1, disponível na própria fazenda, e com o ácido bórico empregando a solubilidade máxima da fonte (4,5 g em 100mL de água), baseado nos testes prelimianres. As aplicações foram parceladas em três aplicações anuais, com intervalo de quatro meses entre elas. O parcelamento mostrou-se o mais adequado tecnicamente, além de ser economicamente viável, segundo depoimentos informais dos agricultores envolvidos diretamente com o estudo.

Figura 2 - Instalação do cateter comercial no estipe do coqueiro, sendo demonstrada as fases de perfuração do estipe (A), colocação do cateter (B); acomodação e ajustamento do cateter (C); e fechamento do cateter (D).

Figura 3 - Procedimentos realizados no coqueiro para controle e aplicação dos fertilizantes via estipe, sendo demonstrada a coleta da seiva bruta (A), aplicação do B MEA ou ácido bórico via estipe (B) e avaliação da necrose nos tecidos meristemáticos (C)

3.3 Avaliações

As avaliações foram realizadas em campo e nos laboratórios: Plant Soil, Interação Inseto-Tóxico e Química do solo. Essas avaliações mensuraram alguns atributos em campo relacionados a planta, como por exemplo sua fenologia, bem como relacionados com os frutos e a produtividade do coqueiral. Ainda com relação aos frutos, avaliou-se a qualidade físico-química da água de coco. Em laboratório, avaliou-se a nutrição boratada, relacionando-a com a eficiência do uso de B. E ainda, para explicar a redução da produtividade e dos atributos relacionados a essa produtividade, avaliou-se algumas características fisiológicas, como os pigmentos fotossintéticos, além de características bioquímicas, como atividade antioxidante, determinando-se a atividade de enzimas, bem como danos de membranas, peroxidação lipídica e quantificação de peróxido de hidrogênio. Assim, essas avaliações foram as bases para a discussão dos efeitos sobre as plantas, em função dos fatores estudados, tais como: diferentes fontes de B como fertilizante, diferentes modos e doses de aplicação desses fertilizantes.

a) Fenologia

A fenologia foi avaliada a cada três meses por meio da mensuração do número de folhas verdes e adultas com mais de 50% da folha aberta.

b) Mensurações no fruto

- **Porcentagem de abortamento de frutos**

Em função da condição operacional, foi mensurado o abortamento apenas nos tratamentos com aplicação de B via estipe e no tratamento sem aplicação de B. Foi realizada a contagem do cacho 11, onde era registrado na bainha e em caderneta o número de frutos récem formados. Assim, após atingir o cacho 18/19, era mensurado novamente a contagem de frutos,

- **Número de frutos totais por cacho por planta ano^{-1}**

Após a colheita, foi realizada mediante contagem do número de frutos de todos os cachos da planta.

- **Peso do fruto**

Após a colheita, foi retirado três frutos por tratamento e por repetição e realizado a pesagem por meio de uma balança.

- **Volume da água de coco**

Após a colheita, foi retirado três frutos por tratamento e por repetição, procedendo a abertura e medição do seu volume com o auxílio de uma proveta graduada em mililitros

c) Produtividades

- **Produtividade (número de frutos)**

A produtividade foi calculada em função do número médio de frutos colhidos por planta por ano^{-1}.

- **Produtividade (volume de água)**

Em função da comercialização do coco verde baseado no volume de água também destinado a indústria de envazamento, assim, a produtividade em termos do volume de água de coco produzido por planta foi calculada em função do número médio de frutos colhidos por planta ano^{-1}, multiplicando-se pelos seus respectivos volumes.

d) Qualidade físico-química da água de coco

- **Condutividade elétrica (CE)**

A CE foi determinada em condutivímetro de acordo com as técnicas descritas pelo Instituto Adolfo Lutz (ZENEBON et al., 2008) e o resultado expresso mS cm^{-1}.

- **pH da água de coco**

O pH foi determinado por potenciometria em eletrodo de vidro, em pHmetro digital, de acordo com as técnicas descritas pelo Instituto Adolfo Lutz (ZENEBON et al., 2008).

- **Acidez titulável total (ATT)**

A ATT foi determinada por titulação da água de coco com uma solução de NaOH 0,1 mol L^{-1}. Os resultados foram expressos em porcentagem, conforme descrito nas normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (ZENEBON et al., 2008).

- **Teores de sólidos solúveis (SST)**

Os teores de SST foram determinados com refratômetro portátil de acordo com as técnicas descritas pelo Instituto Adolfo Lutz (ZENEBON et al., 2008). Os resultados foram expressos em °Brix.

- **Relação entre teores de sólidos solúveis totais (SST) e acidez titulável total (ATT)**

Determinada pela razão entre SST e ATT.

- **Teor de B**

Foram coletados frutos do cacho 20, sendo extraída sua água, filtrada e a dosagem do B foi realizada por espectrofotometria com azometina-H, sendo os resultados calculados por meio de uma curva de calibração, conforme metodologia de Silva (2009), sendo os resultados expressos em µg L^{-1}.

e) Teor de B na folha diagnose

Aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após cada aplicação das doses de B foram coletadas folhas diagnósticas. A amostragem consistiu em oito folíolos, quatro de cada lado da parte central da folha diagnose (folha 14), utilizando os 10 cm centrais dos folíolos (SILVA; FARIA, 2001; SALDANHA et al., 2015). Após limpeza, foi realizada a remoção da nervura central. Os folíolos foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 75 ºC. Em seguida, moídos e determinado os teores de B (SILVA, 2009). No segundo e terceiro períodos após a aplicação das doses de B, os teores de B na folha diagnóstica começaram a ser avaliados aos 30 dias.

f) Nível crítico do teor de B na folha diagnose e na água de coco

Com base nos modelos de regressão selecionados para produtividade em função das doses de B via estipe, foi calculada a dose de máxima eficiência agronômica (DMEA) e estimado o nível crítico na folha diagnose e na água de coco.

A metodologia usada na análise de B na água de coco foi a partir da espectrofotometria com azometina-H. Diante dos testes relizados, a água "*in natura*" não suporta muito tempo sem alteração na leitura da absorbância. Assim, a técnica da espectrometria de emissão atômica por plasma (ICP), que utiliza uma fonte de plasma quente para excitar os átomos visando a emissão de fótons de luz de comprimento de onda característicos e específicos de um determinado elemento, seria o método apropriado, conforme testes realizados.

g) Incremento do teor de B na folha diagnóstica

O incremento do teor de B na folha diagnóstica foi calculado subtraindo-se o teor de B encontrado na folha das plantas de coqueiro em cada dose aplicada e do teor de B da testemunha

onde não se aplicou B no primeiro e segundo período após a aplicação das doses nos anos de 2021 e 2022. Assim, foi possível avaliar o comportamento desse incremento em dois anos consecutivos. Para tanto, se calculou esses incrementos para duas fontes de B utilizadas no ensaio: B MEA e ácido bórico.

h) Pigmentos fotossintéticos

Os teores de clorofilas a, b e carotenoides foram determinados aos 15 e 30 dias após cada aplicação das doses de B, utilizando-se 0,1 g de matéria fresca da folha diagnose (folha 14), com adição de 10 mL de etanol P.A, em tubos de ensaio previamente revestidos com papel alumínio, e armazenados sob refrigeração na ausência de luz por 48 h. Os teores de clorofila a, b e carotenoides (expressos em mg g^{-1} MF) foram, então, mensurados em espectrofotômetro, a 664 nm, 649 nm e 470 nm, respectivamente, segundo metodologia de Lichtenthaler e Buschmann (2001), sendo calculados pelas seguintes fórmulas:

$$\text{Clorofila a} = 13{,}36 \times A664 - 5{,}19 \times A649$$

$$\text{Clorofila b} = 27{,}43 \times A649 - 8{,}12 \times A664$$

$$\text{Carotenoides} = \frac{1000 \times A470 - 2{,}13\,(\text{Clorofila a}) - 97{,}64\,(\text{Clorofila b})}{209}$$

i) Atividade enzimática (atividade antioxidante)

Amostras de folíolos foram coletadas da folha diagnose (14) de oito plantas aos 15 e 30 dias após aplicação das doses de B. A extração foi realizada utilizando-se 0,15 g de matéria fresca da folha, que foi macerada em N_2 líquido e adicionados 1,5 mL do tampão de fosfato de potássio 100 mmol L^{-1} pH 7,0 + EDTA 1 mmol L^{-1} + ASA 1 mmol L^{-1}, sendo o extrato centrifugado durante 30 min, a 14000 x g a 4 ºC.

A atividade da Catalase (CAT) foi determinada por meio do monitoramento do decréscimo da absorbância em espectrofotômetro a 240 nm durante 1 min, em intervalos de 15 em 15 s, usando seu coeficiente de extinção molar (ε = 0,036 µmol cm^{-1}), considerando-se que 1 U de CAT é a quantidade de enzima capaz de oxidar 1 mol de H_2O_2 em 1 min, sendo os resultados expressos em µmol H_2O_2 min^{-1} mg^{-1} proteína (ANDERSON et al, 1995).

A atividade da Peroxidase do Ascorbato (APX) foi determinada baseada na oxidação do ascorbato por meio do monitoramento da absorbância em espectrofotômetro a 290 nm durante 1 min, em intervalos de 15 em 15 s, e usando seu coeficiente de extinção molar (ε = 0,0028 µmol cm^{-1}), considerando-se que 1 U de APX é a quantidade de enzima capaz de oxidar

1 mol de ascorbato em 1 min, sendo os resultados expressos em µmol min^{-1} mg^{-1} proteína (NAKANO; ASADA, 1981)

A atividade da Dismutase do Superóxido (SOD) foi determinada baseada na sua capacidade de inibir a redução fotoquímica do azul de nitrotetrazólio (NBT). A reação foi iniciada em uma caixa de reação por meio de uma lâmpada fluorescente (luz branca) de 30 W, com período de reação de 5 min, com posterior leitura em espectrofotômetro a 560 nm (GIANNOPOLITIS; RIES, 1977). No cálculo da atividade enzimática foi considerado uma unidade de atividade enzimática (U), como sendo a quantidade de enzima necessária para inibir 50% da fotorredução do NBT, sendo os resultados expressos em U mg^{-1} proteína.

A determinação da concentração de proteína solúvel foi mensurada por meio da ligação ao corante coomassie brilliant blue G-250, baseada na metodologia desenvolvida por Bradford (1976), com monitoramento das leituras em espectrofotômetro a 595 nm. Os resultados foram calculados por meio de uma curva de calibração, utilizando-se como padrão a albumina sérica bovina (BSA), sendo os resultados expressos em mg g^{-1} de matéria fresca (MF).

j) Danos de membranas, quantificação de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica

Os danos de membranas foram estimados pelo extravasamento de eletrólitos por meio da incubação de 15 discos foliares da folha diagnose (folha 14), em 10 mL de água destilada, a 40 °C por 30 min. Após esse período, a condutividade elétrica inicial (CEi) do meio foi mensurada com um condutivímetro de bancada, com posterior incubação em banho maria a 100 °C por 10 min. Após atingir a temperatura ambiente, a condutividade elétrica final (CEf) foi medida. Os danos de membranas (DM) foram estimados pela equação: DM = (CEi/CEf) × 100, e expressos em porcentagem (SINGH et al., 2007).

Para quantificação de peróxido de hidrogênio, foram empregados 200 mg de matéria fresca, com maceração em N_2 líquido, e adição de 1,5 mL de TCA 5%. O extrato foi centrifugado a 12.000 x g a 4 ºC por 20 min. A reação foi iniciada após adição de iodeto de potássio (1 mol L^{-1}), recém preparado, sendo mantida no escuro por 1 h, com posterior monitoramento da absorbância a 390 nm em espectrofotômetro. A concentração de H_2O_2 foi determinada baseada na curva padrão preparada com concentrações conhecidas, segundo metodologia de Alexievia et al. (2001).

A peroxidação lipídica foi determinada por meio da produção de substâncias reativas ao ácido 2-tiobarbitúrico (TBA), sobretudo ao MDA (malondialdeído) (HEATH; PACKER, 1968). O extrato foi preparado empregando 200 mg de matéria fresca da folha diagnose (folha 14), o qual foi macerado com N_2 líquido e adicionados 1,5 mL de TCA 5% (ácido tricloroacético), com posterior centrifugação a 12.000 x g, a 4 °C por 20 min, sendo o

sobrenadante utilizado para determinação dos teores de TBARS, através da reação do extrato com uma solução de ácido tiobarbitúrico a 0,5%, preparada em TCA a 20%. A mistura foi incubada em banho-maria a 100 °C, por 60 min. Após os tubos atingirem a temperatura ambiente, foi realizado novamente centrifugação a 10.000 x g durante 5 min, com posterior leitura em espectrofotômetro a 532 e 660 nm. Os teores de TBARs foram estimados, baseando-se no coeficiente de extinção molar ($\varepsilon = 155\ mM^{-1}\ cm^{-1}$) (HEATH; PACKER, 1968), sendo os teores de TBARS expressos em ηmol TBA-MDA g^{-1} MF.

3.4 Análise dos dados

Os dados analisados correspondem aos valores médios de dois anos de produção do coqueiral. Os dados foram testados quanto à normalidade e homocedasticidade, pressupostos necessários para a análise de variância (ANOVA), usando os testes Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965) e Levene (BROWN; FORSYTRE, 1974), respectivamente, ambos a um nível de probabilidade de 5%.

Posteriormente, foi realizada uma ANOVA considerando o teste F ao nível de 5% de probabilidade. Quando observada significância entre os efeitos quantitativos, realizou-se análise de regressão ($p<0,05$). A variável relacionada ao teor de B na folha diagnóstica foi avaliada no tempo, portanto, considerou-se, nessa caso, um delineamento em fatorial triplo (5 x 5 x 2) + 3, com quatro repetições, sendo a análise estatística realizada por regressão múltipla e superfície de resposta, quando houve efeito triplo significativo da ANOVA, realizando-se, também, cortes nessa superfície de resposta para avaliar melhor esses efeitos. Para comparação dos tratamentos com as testemunhas adicionais, foi empregado o teste de Dunnet ($p<0,05$). Quando se comparou as formas de aplicação, independente da dose, o teste F ($p<0,05$) foi suficiente para comparar as médias dos tratamentos. As análises foram realizadas com o Software R.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Nutrição boratada em função da forma de aplicação de B em plantas de coco

Os teores de B na folha diagnóstica das plantas foram influenciados pela forma de aplicação de B, em todos os períodos em que o B foi aplicado (Tabela 2). Vale salientar que as doses de B foram divididas em três períodos de aplicação. Além disso, o tempo decorrido após a aplicação de B, também influenciou os teores de B na folha diagnóstica das plantas (Tabela 2).

A aplicação de B via estipe incrementou mais os teores de B na folha do que a aplicação de B via solo, em todos os períodos em que o B foi aplicado, principalmente nos primeiros dias após essa aplicação (Tabela 2). Esse rápido movimento do B nos primeiros dias após a aplicação, quando o B é aplicado via estipe, pode ser um manejo eficiente quando forem constatadas deficiências morfológicas e perceptíveis de B, sendo a aplicação de B via estipe uma alternativa de rápido efeito para minimizar ou mesmo dirimir a deficiência. É comum, quando isso acontece, recomendar-se uma adubação via axila ou via solo emergencial. Porém, são muitos os problemas operacionais nestas adubações em plantas de coco, pela dificuldade da aplicação e perdas decorrente da lixiviação de B.

Tabela 2 – Teores de B na folha em plantas de coqueiros em função de diferentes formas de aplicação do nutriente aos 0, 15, 30, 60, 90 e 120 dias após três períodos de aplicação de B

Dias após a aplicação	Primeiro período de aplicação[1]		
	Formas de aplicação de B		
	Via solo	Via estipe	Média
	mg kg^{-1}		
Referência	**17,95 a**	**16,96 a**	**17,45**
15	17,44 b	47,98 a	32,71
30	20,76 b	34,61 a	27,68
60	23,69 b	28,84 a	26,26
90	22,81 a	25,15 a	23,98
120	21,99 a	25,13 a	23,56
Média	21,34	32,34	26,84
	Segundo período de aplicação		
30	26,42 b	42,03 a	34,22
60	24,91 b	37,31 a	31,11
90	22,49 b	26,69 a	24,59
120	20,36 a	22,11 a	21,23
Média	23,54	32,03	27,78
	Terceiro período de aplicação		
30	19,81 b	36,06 a	27,93
60	19,26 b	28,79 a	24,02
90	17,22 b	23,74 a	20,48
120	18,68 a	20,90 a	19,79
Média	18,74	27,37	23,04

[1]As doses de B (g planta^{-1}) foram parceladas em três aplicações anuais. Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha não diferem estatisticamente, pelo teste F ($p<0,05$).

Além disso, a aplicação via estipe promoveu maior período resídual de B na folha, pois aos 90 dias após a aplicação, ainda foram encontrados teores mais elevados de B comparativamente a fertilização via solo (Tabela 2).

Esses resultados corroboram com Abd-Elhaliem et al. (2017) e Zokaee, Nezami e Hajiamiri (2023), quando estudaram a aplicação de B e Fe via estipe, respectivamente, e constataram que esse método foi mais eficaz em elevar os teores desses nutrientes na folha e corrigir suas deficiências em plantas de tâmara e pêssego, quando comparado com a fertilização via solo. Na cultura do coqueiro, estudo com aplicação de Mn via estipe foi desenvolvido, onde os autores reportaram que essa forma de aplicação foi o método mais eficaz em elevar os teores desse nutriente na folha (BROSCHAT; DOCCOLA, 2010).

Em média, os teores de B na folha foram maiores 51,5%, 36% e 46% quando o B foi aplicado via estipe no primeiro, segundo e terceiro período de aplicação, respectivamente

(Tabela 2). O incremento médio do teor de B no primeiro período de aplicação em relação a referência foi de cerca de 90%, quando aplicado via estipe e, de cerca de 18%, quando aplicado via solo (Tabela 2). Aplicação de Mn via estipe em coqueiro (2 g planta^{-1}) teve incrementos de mais de 31,66% nos teores desse nutriente na folha em relação a aplicação via solo (BROSCHAT; DOCCOLA, 2010), convencendo os autores que esse método é promissor, sobretudo devido a menor quantidade de fertilizante empregada, associado ao maior efeito residual.

Vale salientar que a aplicação parcelada de B em três períodos, mostrou que a aplicação via estipe, manteve nesses três períodos, teores de B médios de cerca de 30,58 mg kg^{-1} na folha diagnóstica, enquanto que na aplicação via solo, os teores médios de B na folha foram de apenas 21 mg kg^{-1}, ou seja, incremento médio de 45,62% nos teores de B na folha (Tabela 2).

O efeito superior nos teores de B da aplicação via estipe pode ser explicado em função da aplicação do B diretamente nos vasos condutores da planta, enquanto que na aplicação via solo, ocorre perdas pela absorção por plantas invasoras e por lixiviação para camadas mais profundas do solo, sobretudo em períodos com chuvas mais concentradas, principalmente em solos muito arenosos onde se cultiva coqueiro (PINHO et al., 2008), como é o caso da região do Platô de Neópolis (Figura 1), reduzindo a disponibilidade para as plantas, conforme reportaram estudos, em que as perdas podem chegar a 90% do B aplicado (ABREU et al., 2004; TOMICIOLI et al., 2021). A precipitação intensa, particularmente nesses tipos de solos de drenagem muito livre, pode comprometer não apenas a oferta imediata de B as plantas de coqueiro, como também os efeitos residuais da fertilização via solo, como ocorreu nesse período chuvoso, diferentemente do que aconteceu na aplicação via estipe. O resultado superior dos teores de B nas folhas, quando a aplicação foi via estipe em coqueiro, estão em consonância com estudos em outras culturas e nutrientes (EL-DEEN et al., 2018; LUACES et al., 2020).

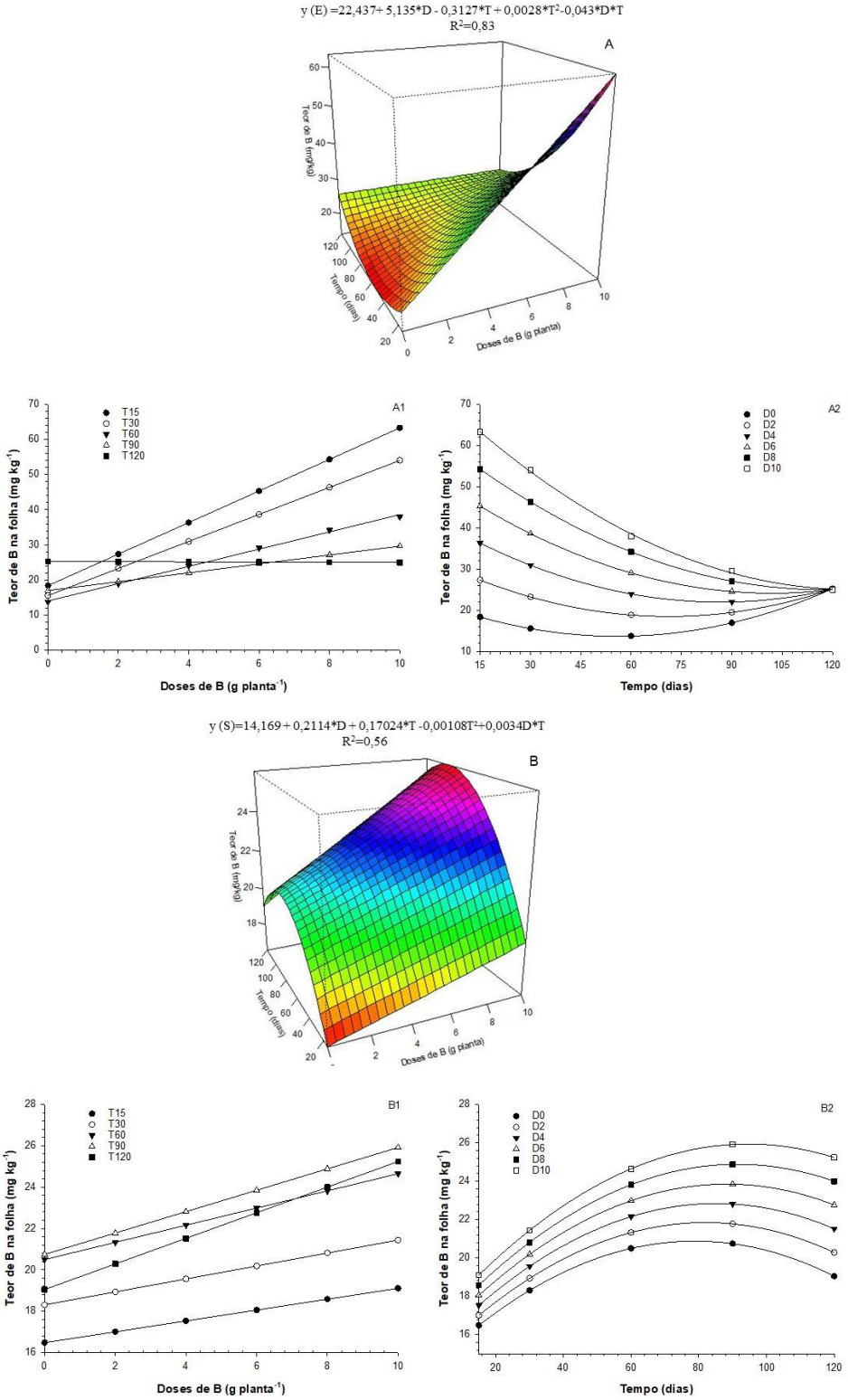
4.2 Nutrição boratada em função de doses, tempo e forma de aplicação de B em plantas de coco

As doses de B aplicadas nas plantas via estipe e via solo e o tempo para que essas doses exercessem seus efeitos no teor de B na folha diagnóstica apresentaram comportamentos distintos em todos os períodos avaliados (Figuras 4, 5 e 6). No primeiro período de aplicação, verificou-se, pela superfície de resposta, que houve efeito linear, sendo observado incremento no teor de B na folha à medida que se aumentou as doses de B via estipe (Figura 4A). Por outro lado, o teor de B na folha se comportou de forma quadrática em relação ao tempo (Figura 4A),

tendo apresentado valores máximos de 18,37; 27,35; 36,33; 45,31; 54,29; e 63,27 mg kg^{-1} nas doses 0, 2, 4, 6, 8 e 10 g $planta^{-1}$ aos 15 dias (Figura 4A1), representando um ganho no teor de B na folha em 44,90 mg kg^{-1} (244,42%) na maior dose empregada, comparativamente a testemunha (sem aplicação de B). Este resultado mostra que aplicação de B via estipe é um método eficaz para transportar esse nutriente para o tecido foliar do coqueiro, a exemplo do que acontece com produtos fitossanitários (ELLIOTT; BROSCHAT, 2012; YU et al., 2015) e com aplicação de Mn (BROSCHAT; DOCCOLA, 2010).

Figura 4 – Superfície de resposta com regressão múltipla do teor de B na folha diagnóstica de plantas de coqueiro em função das doses de B aplicadas via estipe (A) e via solo (B) e do tempo para que essas doses exercessem seus efeitos, bem como cortes nessa superfície de resposta mostrando o teor de B em função da dose aplicada via estipe (A1) e via solo (B1) e do tempo para que essas doses exercessem seus efeitos, quando o B foi aplicado via estipe (A2) e via solo (B2).

.



Nesta perspectiva, se ratifica que a fertilização de B via estipe pode ser útil seja para manutenção do estado nutricional, correção da deficiência ou fome oculta de B. Essa alternativa de fertilização é mais adequada, mesmo em condições climáticas mais favoráveis ao maior suprimento de B, como nesse primeiro período após a aplicação das doses de B via estipe. Normalmente esses períodos de maiores precipitações, coincidem com redução da temperatura, que promove um limitado fluxo transpiratório das plantas, em conexão com o reduzido fluxo de massa, que limita a absorção de B (KARTHIKA et al., 2018) pelo coqueiral, com reflexo no aumento do abortamento de frutos e consequente, redução do número de frutos por planta.

Evidentemente, também, é importante destacar que os máximos valores de B na folha encontrados em plantas fertilizadas com a maior dose não promoveram sintomas de toxidez. Além de não ter sido observado sintomas visíveis de toxidez de B nas plantas, os parâmetros bioquímicos avaliados podem ratificar essa afirmação, pois não foram encontrados aumento de dano de membrana, concentração de H_2O_2, peroxidação lipídica das membranas e atividade das enzimas nos tecidos foliares, conforme reportam pesquisas em que o B em excesso promove um incremento nos referidos parâmetros (YOUSEFI et al.,2020).

A partir dos 15 dias, ocorreu uma redução do teor de B na folha, de modo que aos 30 dias, os teores foram de 15,57; 23,26; 30,95; 38,64; 46,33; e 54,02 mg kg^{-1} quando foram aplicadas as doses 0, 2, 4, 6, 8 e 10 g $planta^{-1}$ (Figura 4A1), respectivamente, expressando um ganho de 38,45 mg kg^{-1} (246,94%), quando a fertilização ocorreu na maior dose (10 g $planta^{-1}$). Aos 60 dias os teores de B na folha foram de 13,75; 18,86; 23,97; 29,08; 34,19; e 37,94 mg kg^{-1}, apresentando uma queda de 29,76% na maior dose empregada (Figura 4A1). Aos 90 dias, os teores de B na folha decresceram mais ainda, apresentando valores de 16,97; 19,50; 22,03; 24,56; 27,09; e 29,62 mg kg^{-1} (Figura 4A1).

Após esse período, ocorreu apenas um ligeiro aumento do teor de B na folha (Figura 4A1). Todavia, esse B pode ter sido proveniente do solo, decorrente da condição climática [redução da precipitação, alta insolação e temperatura (Figura 1)], com consequente aumento da transpiração, haja vista que isso favorece o fluxo transpiratório, assim como o fluxo de massa e, consequente, maior absorção do B disponível no solo, promovendo seu transporte para a parte aérea. Esse aumento do teor de B na folha, justifica a menor taxa de redução observada entre 90 e 120 dias, expresso em apenas 15,66% (Figura 4A1). Além disso, os valores aos 120 dias, mostraram uma estabilização dos teores de B na folha, com teores de 25,23; 25,18; 25,13; 25,08; 25,03; 24,98 mg kg^{-1} em plantas fertilizadas com doses crescentes de B, evidenciando ausência da influência da aplicação do nutriente (Figura 4A1). Assim, próximo desse período, uma nova

fertilização de B se faz necessário, impedindo que haja redução do teor de B na folha a níveis que possam comprometer a produtividade.

Broschat e Doccola (2010) mostraram que aos 30 dias, a aplicação de Mn via estipe em coqueiro em pequenas doses (2 g planta^{-1}) teve incrementos de mais de 64,77% (75,4 mg kg^{-1}) nos teores desse nutriente na folha.

Quando a aplicação ocorreu via solo, o teor de B na folha também aumentou em função das doses crescentes de B e com efeito quadrático em relação ao tempo (Figura 4B), sendo que aos 15 dias os valores máximos foram 16,45; 17,0; 17,52; 18,054; 18,57; e 19,10 mg kg^{-1}, referente as doses 0, 2, 4, 6, 8 e 10 g planta^{-1} (Figura 4B1), representado apenas um ganho do teor de B na folha de 2,65 mg kg^{-1} (16,10%), relativo a dose que proporcionou a máxima produtividade de frutos (10 g planta^{-1}). Broschat e Doccola (2010) mostraram que a aplicação de Mn em coqueiro via solo com altas doses (192 g planta^{-1}) aos 30 dias, teve incrementos de apenas 25,17% (29,3 mg kg^{-1}) nos teores desse nutriente na folha.

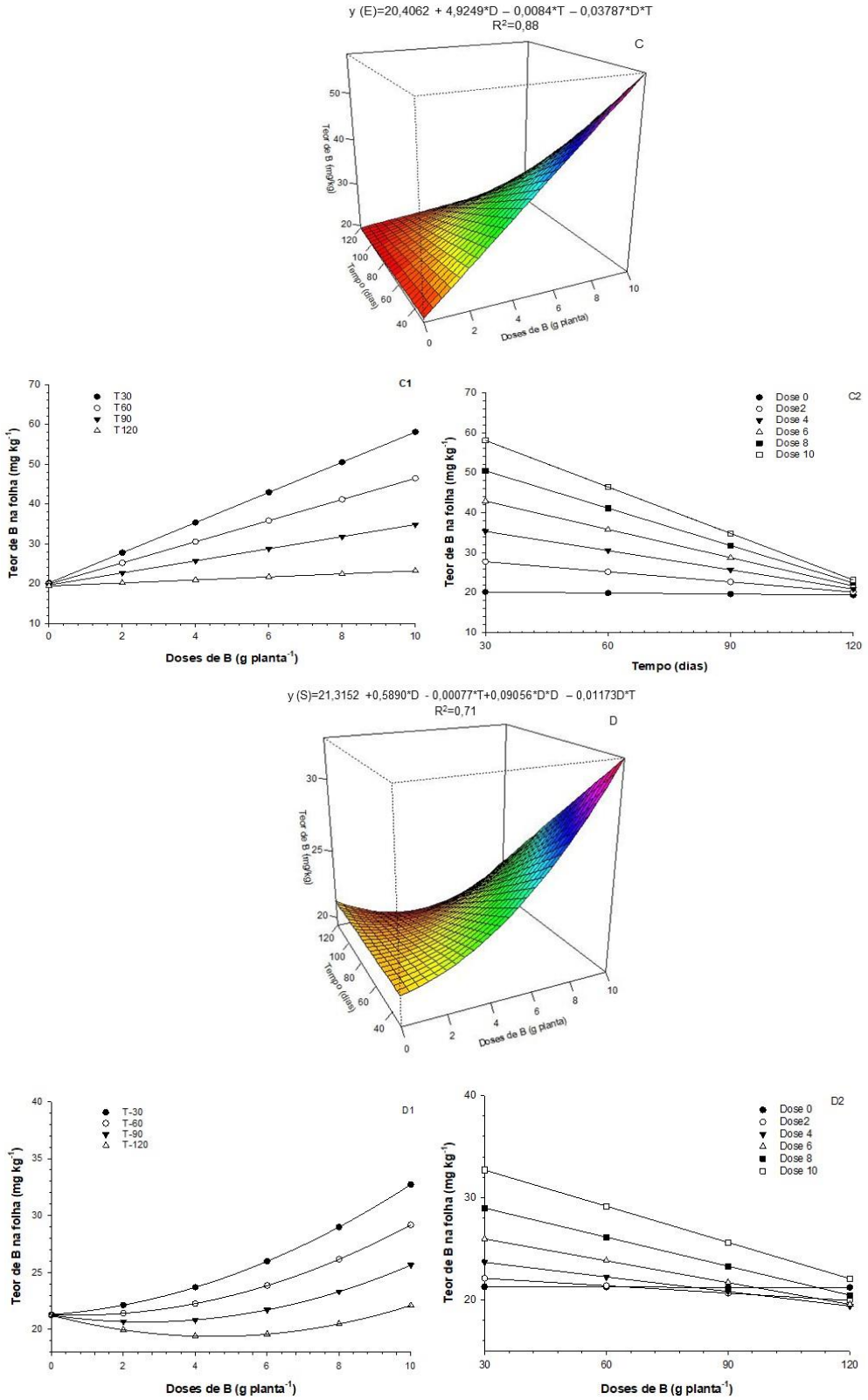
Aos 60 dias pós-aplicação via solo, os valores do teor de B na folha foram de 20,49; 21,32; 22,15; 22,98; 23,81; e 24,64 mg kg^{-1}, demostrando uma elevação em 4,15 mg kg^{-1} (20,25%) na maior dose aplicada (Figura 4B1). Assim, o incremento do teor de B na folha em função das doses crescente de B aplicado via solo foi muito pequeno. Portanto, todas as doses de B aplicadas via solo não foram suficientes para elevar os teores de B na folha acima do nível, independentemente do tempo avaliado, indicando que a dose aplicada via solo ainda é insuficiente para alavancar os teores de B na folha e atingir o valor recomendado que promova um adequado estado nutricional, sobretudo nesta época de aplicação. Nesse primeiro período ocorreu alto índice pluviométrico (Figura 1), que pode ter promovido lixiviação do B para as regiões onde a concentração de raízes absorventes (radicelas) é menor, assim como pode ter reduzido o processo de transpiração, limitando a absorção do B aplicado no solo (WIMMER; EICHERT 2013; KARTHIKA et al., 2018). Isso ocorre até quando se tem um adequado suprimento de B no solo. Além disso, considerando que a eficiência de aplicação de B via solo é substancialmente reduzida no período de maior pluviosidade (DAS et al., 2020; SAMREEN et al., 2021), a aplicação de B via estipe neste período, destaca-se mais ainda como uma alternativa promissora para alavancar os teores de B na folha.

Ao avaliar o segundo período de aplicação, observou-se que também houve interação entre as doses aplicadas e os tempos para que essas doses exercessem seus efeitos no teor de B na folha diagnóstica, sendo constatado um aumento nos teores de B na folha quando se elevaram as doses de B via estipe e redução dos teores em função do tempo (Figura 5C). Os teores máximos encontrados foram de 20,16; 27,74; 35,32; 42,90; 50,47; e 58,05 mg kg^{-1} referente as

doses 0, 2, 4, 6, 8 e 10 g planta^{-1} no período de 30 dias (Figura 5C1), representando um ganho do teor de B na folha da ordem de 37,9 mg kg^{-1} (187,94%) na maior dose empregada. Esses ganhos de teores de B na folha são inferiores, quando comparados ao primeiro período de fertilização (Figura 4A1), que pode ser justificado pela época de aplicação, assim como pelo início do processo de necrose dos tecidos internos do estipe.

A partir dos 30 dias, foi observada uma redução do teor de B na folha, de tal forma que, aos 60 dias, os teores foram de 19,91; 25,22; 30,52; 35,83; 41,13; e 46,44 mg kg^{-1} (Figura 5C1), expressando uma redução de 20% na maior dose empregada (Figura 5C1). Nesse segundo período (verão), era esperado se encontrar uma taxa de redução entre os 30 e 60 dias superior ao primeiro período de aplicação (Figura 4A1), haja vista que após a fertilização no xilema, os dias ensolarados com alta taxa transpiratória, favorece uma mais rápida absorção do nutriente pela planta (LUACES et al., 2020), aliado a uma maior demanda nos processos fisiológicos. Porém, isso não aconteceu. Certamente essa menor taxa de redução foi impulsionada pela absorção de B via solo.

Figura 5 – Superfície de resposta com regressão múltipla do teor de B na folha diagnóstica de plantas de coqueiro em função das doses de B aplicadas via estipe (C) e via solo (D) e do tempo para que essas doses exercessem seus efeitos, bem como cortes nessa superfície de resposta mostrando o teor de B em função da dose aplicada via estipe (C1) e via solo (D1) e do tempo para que essas doses exercessem seus efeitos, quando o B foi aplicado via estipe (C2) e via solo (D2).



Além disso, no primeiro período de aplicação, essa maior redução pode ser decorrente dos dias anteriores de “fome oculta”, em que as plantas do coqueiro estão em deficiência do nutriente, mas não apresentam os sintomas visíveis (HOLANDA et al, 2007; RIBEIRO et al., 2016), e quando supridas pela fertilização, ocorre uma rápida utilização nos processos fisiológicos e bioquímicos (MALAVOLTA; VITTI ; OLIVEIRA, 1989).

Neste segundo período de aplicação foi observada entre os 90 e 120 dias uma taxa de redução dos teores de B na folha de 33,47% (Figura 5C1), sendo superior ao constatado no primeiro período de aplicação (15,66%) (Figura 4A1), dado as condições climáticas, sendo observado um aumento considerável da precipitação e nebulosidade no mês de março (Figura 1), que reduz a absorção do B disponível do solo (WIMMER; EICHERT 2013; KARTHIKA et al., 2018). Aos 120 dias, os teores de B se estabilizam em 19,41; 20,17; 20,93; 21,69; 22,45; e 23,17 mg kg^{-1} (Figura 5C1).

Por outro lado, quando a aplicação ocorreu via solo, aos 30 dias, os teores de B na folha foram de 21,29; 22,12; 23,68; 25,97; 28,98; e 32,71 mg kg^{-1} em plantas submetidas a aplicação das doses 0, 2, 4, 6, 8 e 10 g $planta^{-1}$, respectivamente, expressando um ganho de B na folha de 11,42 mg kg^{-1} (53,64%) (Figura 5D1) em plantas fertilizadas na maior dose. Este resultado revelou uma diferença entre o primeiro período de aplicação (Figura 4B1), com incrementos superiores no teor de B na folha, que pode ser justificado pelo período de verão (segundo período), sem chuvas intensas, uma vez que isso permite maior aproveitamento do nutriente aplicado no solo (TOMICIOLI et a., 2021). Embora a dose ainda seja pequena, estes resultados revelaram que a eficiência de aplicação de B via solo é dependente da época (chuvosa ou seca). Aos 60 dias, os teores estimados na folha foram de 21,26; 21,40; 22,25; 23,84; 26,14; e 29,17 mg kg^{-1} em plantas fertilizada com as doses 0, 2, 4, 6, 8 e 10 g $planta^{-1}$, representando um incremento de 37,20% nos teores de B, e uma taxa de redução pequena (10,82%) em função do fornecimento mais constante, oriundo da absorção via solo.

Em relação ao terceiro período de aplicação, também houve interação entre as formas de aplicação, as doses de B aplicadas e os tempos para que essas doses exercessem seus efeitos no teor de B na folha diagnóstica, sendo constatado um aumento nos teores de B na folha, quando se elevaram as doses de B via estipe e redução dos teores em função do tempo (Figura 6). Aos 30 dias, os teores estimados foram de 18,03; 24,20; 30,38; 36,55; 42,73; e 48,91 mg kg^{-1}, representando um ganho do teor de B na folha de 30,88 mg kg^{-1} (171,27%) quando se empregou a maior dose (10 g $planta^{-1}$) (Figura 6E1). A partir dos 30 dias, ocorreu uma redução dos teores de B na folha, sendo observado teores da ordem de 16,14; 20,47; 24,80; 29,13; 33,45; e 37,78 mg kg^{-1} aos 60 dias, mostrando uma redução de cerca de 23% quando a fertilização

ocorreu na dose de 10 g planta^{-1} (Figura 6E1). De forma semelhante aos demais períodos, aos 120 dias, foi observado uma estabilização dos teores de B, sendo de 18,92; 19,54; 20,17; 20,80; 21,43; 22,06 mg kg^{-1} (Figura 6E1).

A nutrição com B via estipe no coqueiro tem resposta bastante rápida e eficiente, constituindo uma alternativa promissora para elevação desse nutriente na folha, principalmente no período chuvoso, associado às menores doses de B empregada na fertilização quando comparado ao método via solo. Além disso, essa técnica também pode ser útil como complemento à fertilização convencional em áreas comerciais de produção, podendo viabilizar uma diminuição da quantidade de fertilizante boratado aplicado ao solo, o que poderia reduzir os custos com a produção de frutos, associado aos ganhos ambientais por ser um recurso não renovável.

4.3 Nutrição boratada em função das doses e forma de aplicação de B comparativamente as testemunhas: sem aplicação e B aplicado via solo e via estipe na forma de ácido bórico

De forma geral, ao avaliar o efeito da aplicação de B via estipe e via solo comparativamente a testemunha sem aplicação de B, constatou-se que os teores de B na folha foram mais elevados a partir da dose 4 g planta^{-1}, aos 15, 30 e 60 dias após a aplicação de B, independentemente do período de aplicação. Aos 90 e 120 dias, esse efeito só foi observado a partir de 8 g planta^{-1} (Tabela 3).

Tabela 3 – Teores de B na folha aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias em plantas de coqueiro em função da aplicação de B via solo e estipe nos diferentes períodos após a aplicação, comparativamente à testemunha sem aplicação de B

Primeiro período de aplicação de B						
Tempo de aplicação de B (dias)		15	30	60	90	120
		Teores de B na testemunha sem aplicação de B (mg kg^{-1})				
Doses de B (g planta^{-1})[1]	Forma de aplicação de B	**15,93**	**17,98**	**19,45**	**20,43**	**21,42**
		mg kg^{-1}				
2	SOLO	18,09^{ns}	19,85^{ns}	19,43^{ns}	21,31^{ns}	21,33^{ns}
4		19,20^{ns}	21,15^{ns}	22,33^{ns}	22,56^{ns}	21,68^{ns}
6		17,83^{ns}	20,71^{ns}	22,89^{ns}	21,89^{ns}	21,71^{ns}
8		16,03^{ns}	20,14^{ns}	24,22^{ns}	23,12^{ns}	23,24^{ns}
10		16,05^{ns}	21,94^{ns}	29,59*	26,18*	22,01^{ns}
2	ESTIPE	23,14^{ns}	22,62^{ns}	24,19^{ns}	22,59^{ns}	21,67^{ns}
4		37,86*	29,42*	24,58*	22,60^{ns}	24,27^{ns}
6		46,99*	32,65*	28,20*	23,91^{ns}	26,39*
8		54,13*	38,00*	31,05*	28,21*	25,02*
10		77,79*	50,37*	36,19*	28,46*	28,32*
Segundo período de aplicação de B						
		-	**21,66**	**21,05**	**21,04**	**20,33**
2	SOLO	-	21,05^{ns}	22,41^{ns}	21,29^{ns}	20,00^{ns}
4		-	24,68^{ns}	23,20^{ns}	20,90^{ns}	19,59^{ns}
6		-	25,40^{ns}	23,41^{ns}	22,05^{ns}	19,65^{ns}
8		-	26,77^{ns}	24,46^{ns}	23,22^{ns}	21,44^{ns}
10		-	34,19*	31,08*	25,38*	21,13^{ns}
2	ESTIPE	-	27,46*	27,67*	19,68^{ns}	20,84^{ns}
4		-	32,96*	32,26*	23,56^{ns}	19,02^{ns}
6		-	39,35*	36,01*	27,80*	21,17^{ns}
8		-	48,73*	41,96*	29,42*	24,93*
10		-	61,67*	48,65*	32,98*	24,57*
Terceiro período de aplicação de B						
		-	**19,80**	**18,08**	**16,07**	**18,34**
2	SOLO	-	16,34^{ns}	17,03^{ns}	15,50^{ns}	18,34^{ns}
4		-	18,14^{ns}	17,66^{ns}	15,98^{ns}	20,19^{ns}
6		-	20,81^{ns}	17,56^{ns}	16,87^{ns}	18,28^{ns}
8		-	22,00^{ns}	21,65^{ns}	18,22^{ns}	18,65^{ns}
10		-	21,74^{ns}	22,41^{ns}	19,51^{ns}	17,92^{ns}
2	ESTIPE	-	23,68^{ns}	21,69^{ns}	18,16^{ns}	19,99^{ns}
4		-	28,63*	22,74*	19,52^{ns}	22,03^{ns}
6		-	34,71*	30,03*	23,94*	20,26^{ns}
8		-	41,18*	30,83*	26,38*	20,87^{ns}
10		-	52,11*	38,68*	30,71*	21,40^{ns}

[1]As doses de B (g planta^{-1}) foram parceladas em três aplicações anuais; *Significativo pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo.

Por outro lado, quando a forma de aplicação foi via solo, esse efeito positivo, de elevação do teor de B, só foi observado na maior dose (10 g planta^{-1}) e após os 60 dias de aplicação durante o primeiro período, evidenciando não apenas a eficiência da fertilização via

estipe, como também que a aplicação via solo nessa forma tem resposta demorada, resultado do menor processo de transpiração decorrente do período chuvoso, haja vista que o B chega até a superfície da raiz em quase sua totalidade por fluxo de massa (MALAVOLTA et al., 1997). Portanto, essa não seria a melhor forma para correção da deficiência ou "fome oculta" de B neste período, aliada a redução da eficiência de aproveitamento, devido a sua lixiviação nesses solos arenosos (ROSOLEN, BIGIANE, 2014). Diferentemente da aplicação via estipe (Tabela 2), que promove uma rápida resposta no incremento do teor de B na folha, associado ao mínimo de perdas por ser aplicado diretamente no xilema da planta.

Em contrapartida, quando a fertilização ocorreu no segundo período de aplicação (verão), esse efeito da dose de 10 g planta^{-1} via solo foi observado aos 30 dias (Tabela 3). Esse resultado revela que a eficiência de aplicação de B no período de maior precipitação é substancialmente reduzida, sobretudo no terceiro período de aplicação, onde não foi encontrado diferença entre a testemunha (sem B) e aplicação de B via solo para todas as doses aplicadas (Tabela 3). O período entre abril e julho foi o de maior precipitação, com valores aproximados de 1134 mm (Figura 1). Neste contexto, a aplicação via estipe constitui uma alternativa para fertilização de B, visando manter o estado nutricional ou corrigir deficiência (fome oculta) desse nutriente, sobretudo nesse período de alta precipitação. Essa "fome oculta" é bastante prejudicial para o coqueiro (RIBEIRO et al., 2016). Embora, a testemunha (sem aplicação de B) ter apresentado baixo teor de B na folha, não foram observados sintomas visuais de deficiência nas plantas, todavia, estudos mostraram que mesmo não apresentando esses sintomas, as plantas passam por essa "fome oculta", e com efeitos evidentes na redução do pegamento e produtividade de frutos (HOLANDA et al., 2007; RIBEIRO et al., 2017).

Além disso, a condição climática, pode não apenas promover ausência do efeito da fertilização via solo nos teores de B na folha a curto prazo, como notado no terceiro período de aplicação, mas também a médio prazo, sem presença de efeitos residuais pós-aplicação, e a longo prazo refletindo no menor número de frutos por cacho. Esse efeito a curto e longo prazo da menor disponibilidade de B as plantas, em virtude da alta pluviosidade foi relatado por Shorrocks (1997). Na cultura do coqueiro, o impacto é ainda maior, com efeitos evidentes aos 18-20 meses depois, haja vista que a diferenciação das flores femininas ocorre de 11 a 12 meses antes da abertura da espata, com colheita entre 7 a 8 meses depois, sendo que o menor número de flores é sobretudo decorrente das condições nutricionais (FREMOND et al., 1975; HOLANDA et al., 2007), principalmente com relação a nutrição boratada (KAMALAKSHIAMMA, 2001; BROSCHAT, 2012).

Em condições de suprimento suficiente de B, como ocorreu na aplicação via estipe, esse nutriente é transportado por difusão passiva e sem consumo de energia. Contudo, a difusão passiva não é suficiente para satisfazer as exigências de B, quando a planta está com baixa disponibilidade ou deficiente em B, e desta forma, os canais e transportadores de B entram em ação, sendo envolvidos na absorção e translocação para os tecidos da planta (CAMACHO-CRISTÓBAL et al., 2018; JOKANOVIĆ, 2020). Assim, esse desvio de energia em detrimento do seu uso no processo de florescimento e pegamento de frutos, pode reduzir a produtividade do coqueiral. Neste contexto, como o coqueiro apresenta florescimento contínuo, com surgimento de uma inflorescência a cada 20-28 dias (CASTRO et al., 2009; MEDEIROS et al., 2022), os teores adequados mantidos de forma mais contínua, promovem elevação da produtividade, reflexo da fertilização de B via estipe.

Além disso, em plantas com menor oferta de B, pode ocorrer danos estruturais dos vasos condutores, mesmo que a deficiência de B seja apenas temporária, podendo reduzir absorção de água e nutrientes, incluindo o próprio B. O grau de debilidade do xilema estará em função do grau de deficiência de B e, podem ocorrer antes do aparecimento de sintomas visíveis de deficiência (WIMMER; EICHERT 2013). Neste sentido, durante todo ciclo de produção do coqueiral, o adequado estado nutricional deve ser prioridade, e atenção especial deve ser dada no período de alta pluviosidade, como acontece na região do Platô de Neópolis, com chuvas acima de 250 mm em um único mês (Figura 1), principalmente nos meses de maio, junho e julho, haja vista que neste período ocorre lixiviação do B para as camadas mais profundas do solo (WIMMER; EICHERT 2013). Associado a isso, a redução do fluxo transpiratório e fluxo de massa, limita a absorção desse elemento pela planta (KARTHIKA et al., 2018). A deficiência temporária é comum e intensifica o abortamento de frutos como acontece nas plantas de coqueiro no período com alta precipitação (BROSCHAT, 2007; BROSCHAT, 2009; ATHULYA, 2017). Assim, a fertilização via estipe é uma alternativa para promover ganhos significativos do teor de B na folha, sobretudo neste período.

Ao estudar o efeito da aplicação de B via estipe e via solo, utilizando-se como fonte o o B MEA, sob o teor de B na folha, comparativamente a aplicação de B via solo, empregando-se como fonte de B, o ácido bórico, constatou-se teores elevados de B na folha a partir da dose 4 g planta^{-1}, aos 15 e 30 dias (Tabela 4). Aos 60 e 90 dias, as doses 6 e 8 g planta^{-1} promoveram os maiores teores de B na folha, respectivamente, independente do período após aplicação do B. Por outro lado, a aplicação de B, usando como fonte o B MEA via solo na dose de 10 g planta^{-1}, promoveu teores mais elevados aos 30, 60 e 90 dias após a aplicação no segundo período da fertilização (Tabela 4). Este resultado evidencia que a aplicação de 5 g planta^{-1} de B

via solo na forma de ácido bórico é uma dose insuficiente para elevar e manter os teores de B na folha, sobretudo no período chuvoso. Essa recomendação de 5 g planta^{-1} via solo foi estabelecida por Sobral et al. (2009) para os níveis de produtividade da época para os Tabuleiros Costeiros de Sergipe, e com valores de B na folha inferiores a 20 mg kg^{-1} (nível crítico). Os autores também não consideraram a estação chuvosa ou seca, e diante destes resultados, é notório que o período de fertilização exerce forte influência na eficiência de aplicação e absorção de B via solo. Também é válido ressaltar que, independentemente das doses aplicadas com a fonte de B usando o B MEA e dose única com o ácido bórico, não se constatou efeito na época chuvosa (terceiro período), indicando que a fertilização via solo para ter resposta positiva deve ser realizada com doses maiores. Além disso, a aplicação de B via solo poderia ser realizada com doses superiores pouco antes do período chuvoso, de modo a aumentar a eficiência dessa forma de aplicação, e elevar os teores de B na folha, como observado no período de baixa pluviosidade (segundo período) (Tabela 4).

Tabela 4 – Teores de B na folha aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias em plantas de coqueiro em função da aplicação de B via solo e estipe nos diferentes períodos após a aplicação, comparativamente à testemunha onde se aplicou B como ácido bórico via solo

Primeiro período de aplicação de B						
Tempo de aplicação de B (dias)		15	30	60	90	120
		Teores de B na testemunha H_3BO_3 via solo (mg kg^{-1})[1]				
Doses de B (g planta^{-1})[2]	Forma de aplicação de B	**15,90**	**19,78**	**23,07**	**21,55**	**22,11**
		mg kg^{-1}				
2	SOLO	18,09^{ns}	19,85^{ns}	19,43^{ns}	21,31^{ns}	21,33^{ns}
4		19,20^{ns}	21,15^{ns}	22,3^{ns}	22,5^{ns}	21,68^{ns}
6		17,83^{ns}	20,71^{ns}	22,8^{ns}	21,89^{ns}	21,71^{ns}
8		16,03^{ns}	20,14^{ns}	24,22^{ns}	23,12^{ns}	23,24^{ns}
10		16,05^{ns}	21,94^{ns}	29,59*	26,18*	22,01^{ns}
2	ESTIPE	23,14^{ns}	22,62^{ns}	24,19^{ns}	22,59^{ns}	21,67^{ns}
4		37,86*	29,42*	24,58^{ns}	22,60^{ns}	24,27^{ns}
6		46,99*	32,65*	28,20*	23,91^{ns}	26,39*
8		54,13*	38,00*	31,05*	28,21*	25,02^{ns}
10		77,79*	50,37*	36,19*	28,46*	28,32*
Segundo período de aplicação de B						
		-	**27,53**	**25,93**	**21,14**	**21,09**
2	SOLO	-	21,05^{ns}	22,41^{ns}	21,29^{ns}	20,00^{ns}
4		-	24,68^{ns}	23,20^{ns}	20,90^{ns}	19,59^{ns}
6		-	25,40^{ns}	23,41^{ns}	22,05^{ns}	19,65^{ns}
8		-	26,77^{ns}	24,46^{ns}	23,22^{ns}	21,44^{ns}
10		-	34,19*	31,08*	25,38*	21,13^{ns}
2	ESTIPE	-	27,46	27,67	19,68^{ns}	20,84^{ns}
4		-	32,96*	32,26*	23,56^{ns}	19,02^{ns}
6		-	39,35*	36,01*	27,80*	21,17^{ns}
8		-	48,73*	41,96*	29,42*	24,93^{ns}
10		-	61,67*	48,65*	32,98*	24,57^{ns}
Terceiro período de aplicação de B						
		-	**21,51**	**19,13**	**19,56**	**18,91**
2	SOLO	-	16,34^{ns}	17,03^{ns}	15,50^{ns}	18,34^{ns}
4		-	18,14^{ns}	17,66^{ns}	15,98^{ns}	20,19^{ns}
6		-	20,81^{ns}	17,56^{ns}	16,87^{ns}	18,28^{ns}
8		-	22,00^{ns}	21,65^{ns}	18,22^{ns}	18,65^{ns}
10		-	21,74^{ns}	22,41^{ns}	19,51^{ns}	17,92^{ns}
2	ESTIPE	-	23,68^{ns}	21,69^{ns}	18,16^{ns}	19,99^{ns}
4		-	28,63*	22,74^{ns}	19,52^{ns}	22,03^{ns}
6		-	34,71*	30,03*	25,94*	20,26^{ns}
8		-	41,18*	30,83*	26,38*	20,87^{ns}
10		-	52,11*	38,68*	30,71*	21,40^{ns}

[1]O ácido bórico (H_3BO_3) foi aplicado em dose única de 5 g planta^{-1}; [2]As doses de B (g planta^{-1}) foram parceladas em três aplicações anuais; *Significativo pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo.

Ao avaliar o efeito da aplicação de B via estipe e via solo, utilizando-se como fonte o o B MEA, sob o teor de B na folha, comparativamente a aplicação de B via estipe, empregando-se como fonte de B, o ácido bórico, constatou-se teores elevados dessa fonte em dose única (5 g planta^{-1}) em relação a aplicação do B MEA via solo, independentemente da dose utilizada aos

15 e 30 dias após a aplicação no primeiro período da fertilização boratada (Tabela 5). No segundo período da fertilização, esse efeito também foi observado, exceto quando foi comparado com a maior dose (10 g planta^{-1}), sendo semelhante ao B MEA via solo. Por outro lado, no terceiro período da fertilização, mais uma vez o ácido bórico via estipe foi responsável por promover teores mais elevados, comparativamente ao B MEA via solo, em todas as doses aplicadas. Assim, essa fonte pode ser também mais uma alternativa, quando o objetivo for elevar os teores de B na folha ou corrigir deficiência visível ou "fome oculta" em planta de coqueiro, haja vista que promoveu elevação dos teores de B na folha acima do nível crítico até os 60 dias após aplicação (Tabela 5).

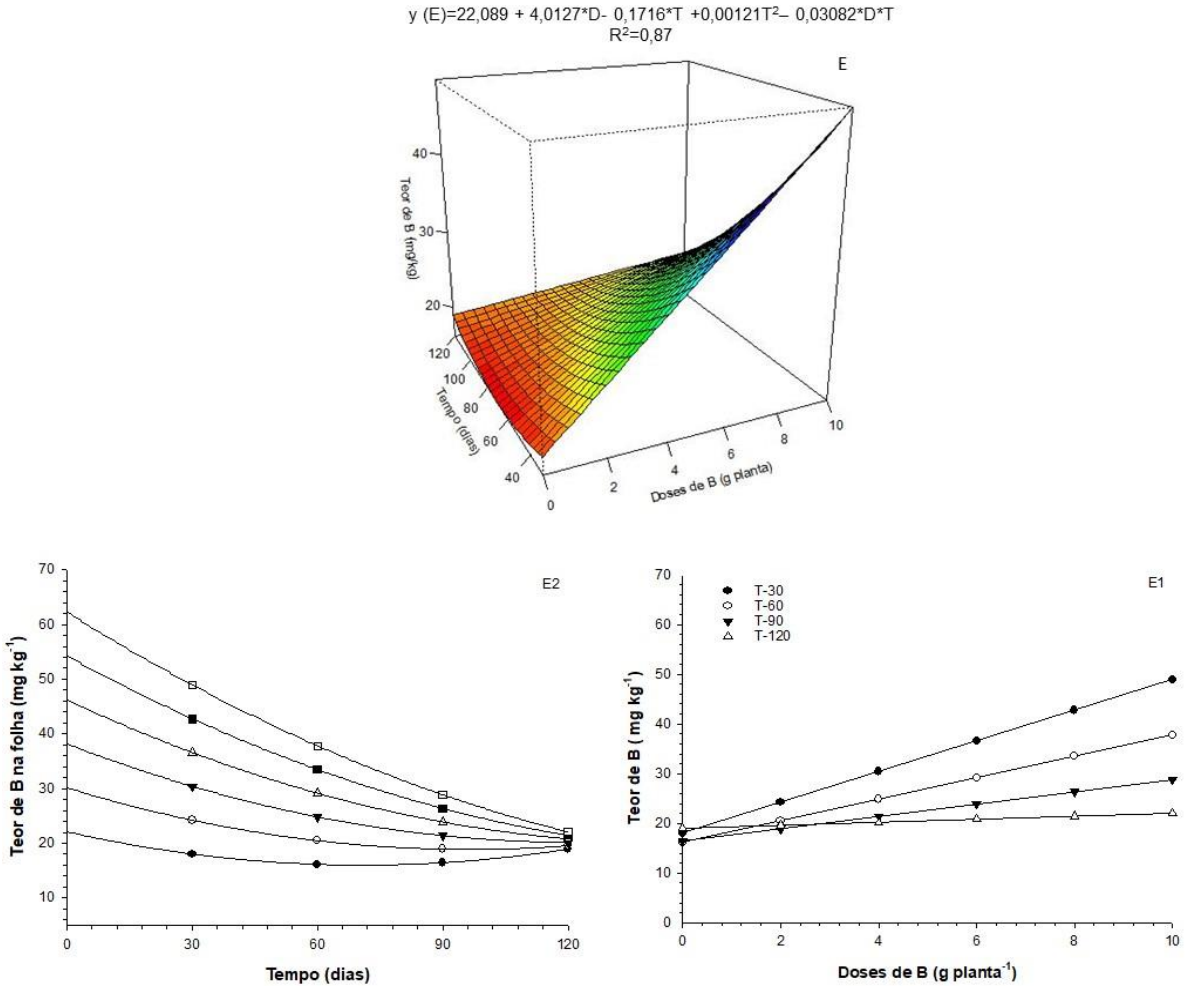
A limitação do ácido bórico aplicado via estipe é a baixa solubilidade (5 g/100 mL), não sendo possível aplicar doses maiores do que essa. Por outro lado, maiores teores de B na folha foram encontrados quando se utilizou a fonte B MEA via estipe a partir da dose de 4 e 8 g planta^{-1} aos 15 e 30 dias após a aplicação, respectivamente. De modo geral, aos 60 e 90 dias, apenas a maior dose (10 g planta^{-1}) do B MEA via estipe foi responsável por proporcionar maiores teores de B na folha. Aos 120 dias, os teores foram semelhantes, independentemente da forma e dose aplicada (Tabela 5).

Tabela 5 – Teores de B na folha aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias em plantas de coqueiro em função da aplicação de B via solo e estipe nos diferentes períodos após a aplicação, comparativamente à testemunha onde se aplicou B como ácido bórico via estipe.

Primeiro período de aplicação de B						
Tempo de aplicação de B (dias)		15	30	60	90	120
		Teores de B na testemunha H_3BO_3 via estipe (mg kg^{-1})[1]				
Doses de B (g planta^{-1})[2]	Forma de aplicação de B	**30,62**	**32,18**	**28,54**	**25,20**	**26,64**
		----------mg kg^{-1}----------				
2		18,09*	19,85*	19,43*	21,31^{ns}	21,33^{ns}
4		19,20*	21,15*	22,33*	22,56^{ns}	21,68^{ns}
6	SOLO	17,83*	20,71*	22,89*	21,89^{ns}	21,71^{ns}
8		16,03*	20,14*	24,22^{ns}	23,12^{ns}	23,24^{ns}
10		16,05*	21,94*	29,59^{ns}	26,18^{ns}	22,01^{ns}
2		23,14^{ns}	22,62^{ns}	24,19^{ns}	22,59^{ns}	21,67^{ns}
4		37,86*	29,42^{ns}	24,58^{ns}	22,60^{ns}	24,27^{ns}
6	ESTIPE	46,99*	32,65^{ns}	28,20^{ns}	23,91^{ns}	26,39^{ns}
8		54,13*	38,00*	31,05^{ns}	28,21^{ns}	25,02^{ns}
10		77,79*	50,37*	36,19*	28,46*	28,32^{ns}
Segundo período de aplicação de B						
		-	**40,16**	**34,84**	**25,69**	**20,65**
2		-	21,05*	22,41*	21,29^{ns}	20,00^{ns}
4		-	24,68*	23,20*	20,90^{ns}	19,59^{ns}
6	SOLO	-	25,40*	23,41*	22,05^{ns}	19,65^{ns}
8		-	26,77*	24,46*	23,22^{ns}	21,44^{ns}
10		-	34,19^{ns}	31,08^{ns}	25,38^{ns}	21,13^{ns}
2		-	27,46^{ns}	27,67^{ns}	19,68^{ns}	20,84^{ns}
4		-	32,96^{ns}	32,26^{ns}	23,56^{ns}	19,02^{ns}
6	ESTIPE	-	39,35^{ns}	36,01^{ns}	27,80^{ns}	21,17^{ns}
8		-	48,73*	41,96*	29,42^{ns}	24,93^{ns}
10		-	61,67*	48,65*	32,98*	24,57^{ns}
Terceiro período de aplicação de B						
		-	**38,42**	**32,05**	**26,55**	**22,09**
2		-	16,34*	17,03*	15,50*	18,34^{ns}
4		-	18,14*	17,66*	15,98*	20,19^{ns}
6	SOLO	-	20,81*	17,56*	16,87*	18,28^{ns}
8		-	22,00*	21,65*	18,22*	18,65^{ns}
10		-	21,74*	22,41*	19,51*	17,92^{ns}
2		-	23,68^{ns}	21,69^{ns}	18,16^{ns}	19,99^{ns}
4		-	28,63^{ns}	22,74^{ns}	19,52^{ns}	22,03^{ns}
6	ESTIPE	-	34,71^{ns}	30,03^{ns}	23,94^{ns}	20,26^{ns}
8		-	41,18*	30,83^{ns}	26,38^{ns}	20,87^{ns}
10		-	52,11*	38,68*	30,71*	21,40^{ns}

[1]O ácido bórico (H_3BO_3) foi aplicado em dose única de 5 g planta^{-1}; [2]As doses de B (g planta^{-1}) foram parceladas em três aplicações anuais; *Significativo pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo.

Figura 6 – Superfície de resposta com regressão múltipla do teor de B na folha diagnóstica de plantas de coqueiro em função das doses de B aplicadas via estipe (E) e do tempo para que essas doses exercessem seus efeitos, bem como cortes nessa superfície de resposta mostrando o teor de B em função da dose aplicada via estipe (E1) e do tempo para que essas doses exercessem seus efeitos, quando o B foi aplicado via estipe (E2).



4.4 Incremento do teor de b na folha dignóstica

O incremento dos teores de B na folha diagnóstica apresentou os maiores valores a partir da dose de 8 g planta^{-1}, quando a fonte de B foi o B MEA no ano de 2021, independente do período de aplicação do fertilizante (Tabela 6). Quando se comparou o incremento de teor de B no primeiro e segundo período do ano de 2021 com o de 2022, observou-se reduções nesse incremento do teor de B, sendo essas reduções mais pronunciadas nas doses mais elevadas, independente do período de aplicação do fertilizante. No primeiro período, essa redução foi de 40% entre os anos de 2021 e 2022 (Tabela 6). Quando a fonte de B foi o ácido bórico, as reduções de incremento de B foram menores entre os anos de 2021 e 2022.

Assim, as duas maiores doses de B aplicadas via estipe com o produto B MEA apresentaram as maiores reduções no incremento do teor de B na folha diagnóstica nos anos de 2021 e 2022, isto é, promoveram maior necrose dos tecidos. Esse resultado revela que, à medida que se avança nas aplicações, a planta já não consegue absorver rapidamente o fertilizante (Tabela 2). Aos 15 e 30 dias pós-aplicação ainda foi notado presença do fertilizante no cateter.

Tabela 6 – Incremento do teor de B na folha diagnóstica de plantas de coqueiro em função da aplicação de B via estipe utilizando como fontes o B MEA e ácido bórico no primeiro e segundo períodos após a aplicação de B, comparativamente nos anos 2021 e 2022

Doses de B (g planta^{-1})[1]	Incremento do teor de B (mg kg^{-1})			
	1° período		2° período	
	2021	2022	2021	2022
2	8,88 a	6,98 a	9,35 a	7,26 a
4	15,11 a	11,47 a	14,43 a	10,41 a
6	18,82 a	14,90 a	22,00 a	16,11 a
8	25,39 a	16,00 b	27,36 a	16,81 b
10	37,73 a	22,77 b	36,47 a	23,40 b
H_3B0_3 (5 g planta^{-1})	14,47 a	12,37 a	16,88 a	13,68 a

[1]As doses de B (g planta^{-1}) foram parceladas em três aplicações anuais; Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha não diferem estatisticamente pelo teste F ($p<0,05$).

Esse é um efeito negativo da fertilização por meio dessa técnica que, pode ser explicado devido ao avanço da necrose dos tecidos internos do estipe (Figura 7). Essa necrose pode ser devido a monoetanolamina e, ao alto pH (7,9) e condutividade elétrica (CE) da formulação. A CE do fertilizante diluído em água foi superior a 15 mS cm^{-1}. O efeito salino exerce uma pressão osmótica, que reduz a disponibilidade de água livre em torno da região aplicada. A necrose dos tecidos internos tem sido relatada com o uso de inseticidas e fungicidas aplicado via estipe em

coqueiro (YU et al., 2015). Na Fazenda onde se desenvolveu o ensaio desse estudo, apenas três aplicações no estipe, com fungicida utilizado no manejo fitossanitário do coqueiral, tem sido viável, devido ao alto grau de necrose dos tecidos, decorrente da formulação química do produto. Broschat e Doccola (2010) desenvolveram um estudo com aplicação de Mn via estipe em coqueiro e relataram necrose dos tecidos.

Considerando que a necrose é permanente, levando a inativação dessa região e, portanto, um novo orifício em outra parte da planta precisaria ser feito, quando constatada a necrose. Assim, para que essa técnica seja sustentável a médio e longo prazo, com possibilidade de realização de várias aplicações do fertilizante em um único orifício, mais estudos serão necessários, considerando que as futuras linhas de pesquisa devem estar relacionadas com a disponibilidade de formulações nutricionais específicas, empregando esse ou outros produtos comerciais para aplicação via estipe, com enfoque na reação do sistema vascular do coqueiro, de tal forma que reduza substancialmente a necrose dos tecidos.

Figura 7 – Evolução da necrose dos tecidos internos do estipe do coqueiro após a aplicação de doses crescentes de B.

4.5 Nível crítico de B

A média anual do nível crítico de B na folha diagnóstica, quando o B foi aplicado via estipe, foi de 33,48 mg kg^{-1} para um nível de produtividade de 315 frutos por planta ano^{-1} (Tabela 7). Esse valor foi superior ao encontrado por Sobral et al. (2009) e recomendado para região de Sergipe (20 mg kg^{-1}); Santos et al. (2004) que recomendaram 19,6 mg kg^{-1} para produtividade de 227 frutos por planta ano^{-1}. Este resultado evidencia que o nível crítico para região está devassado e precisa ser atualizado, considerando os níveis de produtividade atual, haja vista que este varia de acordo com a produtividade da cultura (SOBRAL et al., 1998; SILVA et al., 2009). Em um levantamento realizado em 112 talões de coqueiro no Vale do São Francisco, foi constato um nível crítico de B na folha de 39,14 mg kg^{-1} para uma população de alta produtividade, superior a 300 frutos por planta ano^{-1} (MOURA, 2018). Considerando que os teores de B na folha são influenciados por condições edafoclimáticas, níveis de produtividade e manejo da cultura (SOBRAL et al., 1998; SILVA et al., 2009), torna-se sempre necessário a atualização dos padrões de referências nutricionais locais.

Tabela 7 – Níveis críticos de B na folha diagnóstica e na água de coco em plantas de coqueiro referente aos períodos de agosto a novembro (primeiro período), dezembro a março (segundo período) e abril a julho (terceiro período) após aplicação das doses de B

Períodos	Nível crítico de B na folha (mg kg^{-1})[1]
Agosto a novembro	32,12
Dezembro a março	37,96
Abril a julho	30,37
Média anual	33,48
	Nível crítico de B na água de coco (µg L^{-1})[2]
Média dos três períodos	465,44

[1]Sem considerar os teores de B na folha aos 15 dias após aplicação das doses de B; [2]Água de coco do cacho 20.

Os níveis críticos de B na folha diagnóstica para os três períodos estudados: agosto a novembro (primeiro período), dezembro a março (segundo período), abril a julho (terceiro período) foram de 32,12; 37,96; e 30,37 mg kg^{-1}, respectivamente. O período de dezembro a março é caracterizado pelo alto processo de transpiração decorrente da elevada insolação e temperatura (Figura 1), sendo a demanda nutricional em B pela cultura maior, o que merece bastante atenção porque teores de B inadequados nos períodos críticos de formação do pólen, promove esteridade e baixo pegamento de frutos (SHORROCKS et al., 1997; KANZARIA et al., 2017).

O modelo de regressão selecionado para produtividade e teor de B na água de coco em função das doses de B revelou que o nível crítico de B na água de coco foi da ordem de 465,44 µg L^{-1} (Tabela 7). Esse valor pode ser usado como referência para auxiliar no diagnóstico nutricional de B em coqueiro, ou até mesmo em alguns casos, quando associado a análise de solo poderia substituir a análise foliar, que exige todo um processo operacional de preparo da amostra (secagem até a extração), enquanto o teor de B na água de coco pode ser medido diretamente, precisando apenas da etapa de dosagem da amostra, o que poderia tornar mais econômica a análise de B. Medina (1980) relatou que a análise da água de coco poderia ser uma ferramenta interessante para avaliar o estado nutricional do coqueiro.

Ressalta-se que esses valores de B na água são referentes ao cacho 20. O cacho 19 foi encontrado com teores muito inferiores em relação a esse cacho padrão de colheita (20). Considerando que no período do verão, em função da alta demanda, o preço do fruto torna-se muito atrativo e alguns produtores colhem o cacho 19. Portanto, esse nível crítico não se aplicaria para este tipo de cacho.

4.6 Atributos fisiológicos e bioquímicos em função da forma de aplicação de b em plantas de coco

De forma geral, os teores de clorofila *b*, relação *a*/*b* e carotenoides não foram influenciados pela forma de aplicação de B em plantas de coco. Por outro lado, houve efeito para os teores de clorofila *a*, quando as plantas foram fertilizadas via estipe (Tabela 8). Resultados semelhantes foram encontrados em tâmara por Abd-Elhaliem et al. (2017), estudando diferentes métodos de aplicação de B e F, onde constataram maiores valores de clorofila *a* com aplicação via estipe, comparativamente a fertilização via solo.

Tabela 8 - Clorofila *a*, clorofila *b*, carotenoides, extravasamento de eletrólitos, peróxido de hidrogênio, peroxidação lipídica em função da forma de aplicação de B (via solo e estipe) em plantas de coqueiro.

Atributos fisiológicos e bioquímicos	Formas de aplicação de B	
	Via solo	Via estipe
Clorofila *a* (mg g^{-1} MF)	18,63 b	21,04 a
Clorofila *b* (mg g^{-1} MF)	9,65 a	8,00 a
Clorofila *a*/Clorofila *b* (mg g^{-1} MF/mg g^{-1} MF)	2,14 a	2,87 a
Carotenoides (mg g^{-1} MF)	4,76 a	5,73 a
Extravasamento de eletrólitos (%)	68,51 a	53,96 b
Peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (mM g^{-1} MF)	17,87 a	9,94 b
Peroxidação lipídica (ηmol MDA g^{-1} MF)	53,28 a	37,17 b

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha não diferem estatisticamente pelo teste F ($p<0,05$).

Quando se estudou o extravasamento de eletrólitos, peróxido de H_2O_2 e peroxidação lipídica, a aplicação de B via estipe apresentou os menores valores de dano de membrana e estresse oxidativo (Tabela 8), o que representa um efeito positivo em relação a essa forma de aplicação, uma vez que quanto menor a concentração de espécies reativas, menor será o efluxos de íons e açucares para a região externa da célula, assim como redução da degradação por oxidação das membranas celulares, reduzindo o dano oxidativo, que pode ser justificado pelos maiores teores de B na folha (ZHOU et al., 2017; QUILES PANDO et al. 2019) (Tabela 2), promovendo maior estabilidade da membrana e redução de radicais livres (PRADO et al., 2021).

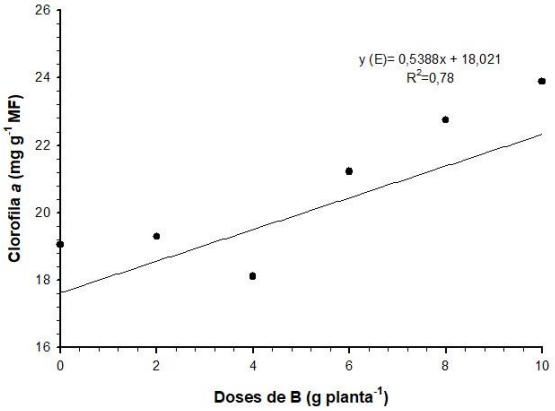
4.7 Atributos fisiológicos e bioquímicos em função da aplicação de doses de b em plantas de coco

Os dados de clorofila *b*, relação clorofila *a/b* e carotenoides independente da forma de aplicação não se ajustaram a modelo de regressão polinomial, o que difere de outros estudos (SILVA et al., 2021). Outros estudos mostraram incrementos nos teores de carotenoides com aplicação de B (NAEEM et al., 2017). Por outro lado, outros trabalhos também têm mostrado aumento dos teores de carotenoides em plantas deficientes em B, o que não foi constado nesse estudo, mesmo na testemunha, onde não houve aplicação de B. O B disponível do solo pode ter sido absorvido pela planta e o estresse nutricional causado pelos menores teores na folha não foi suficiente para ativar o componente não enzimático (carotenoides), conforme relataram

estudos onde estes pigmentos são supressores de espécies reativas de oxigênio em cloroplastos (CALATAYUD; BARRENO 2004; TRIANTAPHYLIDES; HAVAUX 2009).

Contrariamente, os teores de clorofila *a* aumentaram linearmente com o aumento das doses de B, apenas quando a fertilização ocorreu via estipe (Figura 8), variando de 18,01 a 23,35 mg g MF, representando um incremento de 29,89%. Este resultado era esperado, pois o B atua na síntese de clorofila (MAHENDRAN et al., 2022). Além disso, os menores teores de espécies reativas de oxigênio encontrados (Tabela 8) promove uma maior manutenção do conteúdo de clorofila (MAHENDRAN et al., 2022), haja vista que esses radicais livres em alta concentração degradam essas membranas biológicas (WOJCIK, WOJCIK; KLAMKOWSK, 2008).

Figura 8 - Teores de clorofila *a* em função da aplicação de B via estipe em plantas de coqueiro



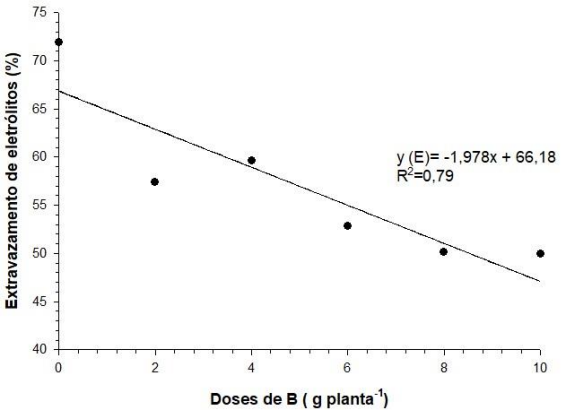
O aumento do teor de clorofila promove incremento na taxa fotossintética e produção de fotoassimilados (TURHAN, 2021; GHAZIMAHALLEH et al., 2022), de tal modo que, favorece a maior sustentação dos frutos, incrementando a produtividade do coqueiro. Em diversas culturas tem sido encontrado aumento dos teores de clorofila em plantas fertilizadas com B (PINHO et al., 2010; AHMAD et al., 2019; TURHAN, 2021; BHUPENCHANDRA et al., 2021; SILVA et al., 2021; MAHENDRAN et al., 2022). Em coqueiro, Pinho et al. (2010), observaram aumento de 30% nos teores de clorofila *a* quando as plantas foram adequadamente supridas com B. SILVA et al. (2021), reportaram incremento de 25,9% nos teores de clorofila *a* em plantas de couve-flor.

Neste contexto, a determinação de clorofila pode ser empregada como indicador fisiológico da resposta das plantas às condições de menor disponibilidade de B, pois existe uma relação direta entre clorofila e estado nutricional de B.

Em relação ao dano de membrana, medido pelo extravasamento de eletrólitos, houve comportamento linear decrescente com as doses crescentes de B, variando de 66,18% a 46,4%, representando um dano de membrana de 42,62%, quando não se aplicou B, comparativamente a maior dose (10 g planta^{-1}) aplicada via estipe (Figura 9). Assim, a permeabilidade da membrana da célula da folha foi diminuída pela aplicação de B. Este resultado pode ser explicado pelo fato desse nutriente atuar na estabilidade da membrana da planta e integridade celular. O B é essencial para formação de complexos de B (ligações cis-diol) da membrana, atuando como estabilizador e estruturador, mantendo sua integridade (PRADO, 2021). Além disso, a alteração da permeabilidade da membrana pode estar relacionada as mudanças no metabolismo dos fenóis em condições de baixo teor de B na folha, que são geradores de radicais superóxidos, que danificam as membranas em decorrência da peroxidação lipídica (KIRKBY; ROMHELD, 2007), intensificando o efluxo de substâncias e íons para o espaço intercelular.

Além do mais, a menor oferta de B, influencia na disponibilidade de Ca, que pode intensificar mais ainda o extravasamento de eletrólitos, haja vista que existe um efeito sinérgico entre B e Ca na folha, de tal modo que, o B tem um efeito estabilizador nos complexos de Ca da lamela média, e esse também desempenha um papel crucial na estabilidade da membrana da planta (HIRSCHI, 2004; YOUSEFI et al., 2020). Aliado a isso, a maior produção de radicais livres e peroxidação lipídica na ausência de B (0 g planta^{-1}) também intensifica o dano de membrana, em consonância com os resultados encontrados nesse estudo (Tabela 8) e por Ahmad et al. (2019), podendo ser usado como uma ferramenta para identificação do estresse em planta com baixa disponibilidade de B na folha.

Figura 9 - Extravasamento de eletrólitos em função da aplicação de B via estipe em plantas de coqueiro

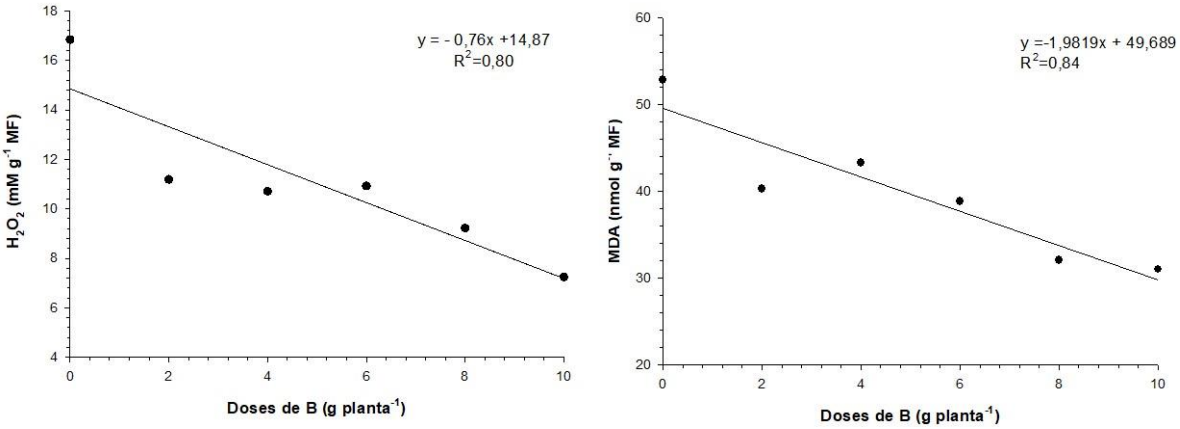


Yousefi et al. (2020), avaliando o efeito do B na estabilidade de membrana, obtiveram uma redução de até 50% no extravasamento de eletrólitos. De igual modo, Ahmad et al. (2019), também, encontraram diminuição do dano de membrana em 35%, em algodão. Outra consequência com o extravasamento de eletrólitos, é o efluxo de íons de K para o apoplasto da célula, onde o K não exerce seu efeito fisiológico, assim, ocasiona o funcionamento irregular dos estômatos, podendo reduzir a assimilação de CO_2 e a taxa fotossintética (NOBRE et al., 2010) e, consequente, menor produção do coqueiral. Pino et al. (2010) reportaram uma redução de 35,7% na fotossíntese em coqueiro, sob baixa disponibilidade de B, assim como, nos estudos de Ahmad et al. (2019), onde a maior taxa fotossintética liquida em algodão, foi encontrada com aplicação de B (1,5 kg ha^{-1}), ocorrendo menor extravasamento de eletrólitos.

Os dados de extravazamento de eletrólitos em função da aplicação de B via solo não se ajustaram ao modelo de regressão polinomial.

A concentração das espécies reativas de oxigênio (EROS) mensurada pelos teores de H_2O_2 se comportou de forma linear decrescente com aplicação de doses crescentes de B, oscilando entre 14,87 e 7,27 mM g^{-1} MF, exprimindo um aumento de 104,53%, quando não se aplicou B, comparativamente a maior dose empregada (10 g $planta^{-1}$) aplicada via estipe (Figura 10). Esse aumento na produção desses radicais livres promove um estresse oxidativo que causa danos aos aminoácidos, ácidos nucléiocos, perda da função de algumas proteínas e enzimas (CAMACHO-CRISTÓBAL et al., 2018), e redução da eficiência fotoquímica e fotossíntese liquida (MANZOOR et al., 2016), com consequência na produtividade do coqueiral. Assim, a aplicação de B via estipe reduziu o dano oxidativo as células, o que está em consonância com os menores teores de malondialdeído (MDA) (Figura 10).

Figura 10 - Concentração de H_2O_2 e peroxidação lipídica (MDA) em função da aplicação de B via estipe em plantas de coqueiro



O coqueiro é uma planta C3, e no verão, no período do dia, com altas temperaturas aumenta a fotorrespiração, com reflexo na diminuição da produtividade da cultura decorrente da difusão limitada de CO_2 para os espações intercelulares, em virtude do fechamento parcial dos estômatos (HEBBAR et al., 2013; HEBBAR et al., 2016; HEBBAR et al., 2017). Na fotorrespiração ocorre maior produção de H_2O_2, assim, quando as plantas estão adequadamente nutridas em B, menor será o estresse oxidativo causado pela produção de H_2O_2 (HAJIBOLAND; FARHANGHI 2010), favorecendo uma maior atividade de enzimas desintoxificativas nestas condições de estresse, quebrando o H_2O_2, transformando em H_2O (MUSHTAQ et al., 2022). SILVA et al. (2021) também observaram que os teores de H_20_2 se reduziram linearmente e, relataram que essa redução chegou a 28%, quando aplicaram a maior dose de B, na cultura do couve-flor.

Também é valido ressalta-se que os EROS atuam como sinalizadores em vários processos celulares e, normalmente, são produzidas pelas plantas nos processos fisiológicos. Todavia, é o desequilíbrio entre a produção dessas espécies e a degradação que promove dano as células. De forma geral, qualquer tipo de estresse gerado, incluindo o próprio envelhecimento celular, seja salinidade, estresse hídrico, luz e temperatura alta, ataque de pragas, deficiência nutricional, dentre outros, podem desempenhar estresse oxidativo (DAS; ROYCHOUDHURY, 2014; CAMACHO-CRISTÓBAL et al., 2018).

O teor de MDA das folhas, indicador eficaz da peroxidação lipídica, diminuiu linearmente com o aumento das doses de B, variando entre 49,68 e 29,87 nmol g^{-1} MF, quando não se aplicou B, comparativamente a maior dose empregada (10 g $planta^{-1}$) aplicada via estipe (Figura 10), respectivamente. Assim, a aplicação de B via estipe reduziu sensivelmente o dano às membranas celulares em 39,87%, mostrando que um adequado estado nutricional em B implica em proteção estrutural e funcional das membranas biológicas, amenizando o estresse oxidativo. A proteção da estabilidade da estrutura celular, em especial as dos clorosplastos, é vital para promover aumento das proteínas fotossintéticas dos tilacóides (LI et al., 2022).

Teores insuficientes de B nos tecidos vegetais incrementaram a produção de EROS (Figura 10), pois na degradação dos carboidratos no processo de respiração celular, ao invés da via da glicólise, a via da pentose fosfato é predominante, promovendo a formação de compostos fenólicos pela via do ácido químico (KIRKBY; ROMHELD, 2007). Esse acúmulo de fenóis e o consequente aumento da atividade da enzima polifenoloxidase, resulta em compostos altamente reativos, como as quinonas, sendo ambos efetivos na produção dessas espécies reativas (KIRKBY; ROMHELD, 2007; CAMACHO-CRISTÓBAL et al., 2018), aumentando

os teores de MDA, que degradam as membrans celulas por oxidação, o que resulta em aumento da permeabilidade das membrans celulares e, consequente, alteração da sua seletividade, causando o vazamento de íons, e demais substâncias do citosol para os espaços aparentemente livres (ZHOU et al. 2017; QUILES-PANDO et al. 2019; SILVA et al., 2021), que normalmente passariam por canais ou proteínas específicas (DAS; ROYCHOUDHURY, 2014), ou seja, o extravasamento de eletrólitos é intensificado, em consonância com os resultados encontrados de dano de membrana (Figura 9).

Estes resultados também ratificaram que a maior dose de B aplicada via estipe não foi alta o suficiente para causar danos bioquímicos, considerando que não houve aumento dos teores H_2O_2 e peroxidação lipídica, conforme reportaram alguns estudos, onde constataram que doses elevadas de B também promoveram danos as membranas celulares (GERGICHEVICH et al., 2017; LI et al., 2022). Estudos realizados com outras culturas também estão em concordância com estes resultados (GERGICHEVICH et al., 2017; NAEEM et al., 2018; SILVA et al., 2021). Gergichevich et al. (2017), estudando doses crescentes de B em mirtilo, observaram aumento de 64% na peroxidação lipídica, sem aplicação de B, em comparação ao tratamento onde se aplicou B, assim como Silva et al. (2021), também, encontraram incremento de 58,8% nos teores de MDA em couve-flor, sendo considerado alto dano as membranas biológicas destas plantas.

Os resultados de MDA referente a aplicação via solo, não se ajustaram a modelo de regressão polinomial. A ausência da influência do comportamento das doses de B via solo nos teores de MDA e demais características bioquímicas, podem ter sido em virtude do intervalo coletado (15 e 30 dias após a aplicação do B no solo), uma vez que no primeiro e terceiro períodos de aplicação, não foi observado elevação dos teores de B na folha, decorrente do intenso período chuvoso (Figura 1).

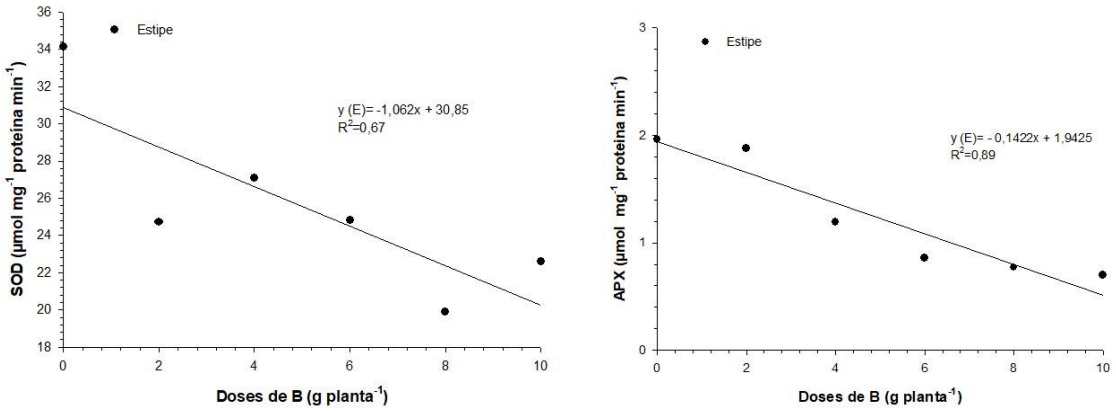
Os dados referentes a atividade da CAT não se ajustaram ao modelo de regressão polinomial, o que não era esperado, haja vista que os teores de H_2O_2 apresentaram ajuste linear decrescente (Figura 10). Os altos níveis de H_2O_2 encontrados em plantas com aplicação das menores doses promovem ativação dessa enzima (MUSHTAQ et al., 2022). Esse resultado difere de outros estudos.

A atividade específica da superóxido dismutase (SOD) se comportou de forma linear decrescente em função das doses crescentes de B aplicado via estipe, variando de 30,85 a 20,23 µmol mg proteina min^{-1}, representando um incremento na atividade de 51,74%, quando não se aplicou B (Figura 11). Isso explica, em parte, os altos níveis de H_2O_2 em plantas submetidas nessa menor dose, pois, geralmente, isso é resultado da dismutação dos radicais livres

decorrente da ação dessa enzima. Embora tenha havido um incremento da atividade dessa enzima entre a dose 10 e quando não se aplicou B (51,74%), isso não aconteceu na mesma magnitude em relação ao aumento dos teores de H_2O_2 (104,53%), certamente devido a atuação de outra enzima envolvida na conversão de outros EROS em H_2O_2, promovendo altos níveis dessas substâncias (Figura 10).

De forma semelhante, as doses crescentes de B reduziu linearmente a atividade da ascorbato de peroxidase (APX), variando de 1,942 a 0,52 µmol mg proteina min^{-1}, expressando um incremento na atividade de 273,46%, quando não se aplicou B (Figura 11). Assim, a maior atividade dessa enzima observado em plantas fertilizadas na ausência de B, pode ter sido devido a ativação dos elevados teores de H_2O_2 (HAN et al., 2008). Contudo, a alta atividade específica dessa enzima encontrada nas folhas do coqueiro não foi suficiente para combater esses radicais livres, conforme resultados observados pelos exorbitantes teores de H_2O_2, MDA e dano de membrana (Figuras 9 e 10). Resultados semelhantes foram encontrados em outras culturas, como por Han et al. (2008) em citrus e Li et al. (2022) em tabaco, porém com redução acentuada.

Figura 11 - Atividade específica de superoxido dismutase (SOD) e ascorbato de peroxidase (APX) em função da aplicação de B via estipe em plantas de coqueiro



Por outro lado, estudos mostraram que o efeito do B na atuação dessas enzimas está muito relacionado a presença ou ausência de estresse, pois tem sido encontrado aumento das enzimas APX, SOD e CAT com elevação de B, mostrando seu efeito como antioxidante em condições de estresse hídrico (NAEEM et al., 2018), toxidez por excesso de B (LI et al., 2022), intensidade luminosa (MISHRA et al., 2009), dentre outros estresses ambientais.

Diante desses resultados, é notório que as alterações bioquímicas (concentração de espécies reativas, peroxidação lipídica, dano de membrana e atividade da SOD e APX) foram sensíveis na resposta de plantas de coqueiro as doses crescentes de B, podendo serem

empregadas como ferramentas para identificar estresse nessas plantas, quando exposta a menores teores de B na folha, podendo auxiliar no manejo nutricional do coqueiro.

4.8 Atributos fisiológicos e bioquímicos em função das doses e forma de aplicação de B comparativamente as testemunhas: sem aplicação e B aplicado via solo na forma de ácido bórico

Ao avaliar o efeito da aplicação de doses de B via estipe e via solo sob os teores de clorofila *a*, clorofila *b*, relação *a*/*b*, carotenoides, extravasamento de eletrólitos, concentração de H_20_2 e peroxidação lipídica da folha, comparativamente a testemunha sem aplicação de B, averiguou-se que os teores de clorofila *b* e carotenoides não foram influenciados pelas doses de B, independentemente da forma de aplicação (Tabela 9). Contudo, a partir da dose de 8 g planta^{-1} maiores teores de clorofila *a* foram encontrados em plantas fertilizadas com B via estipe. Quando o B foi aplicado via solo, esse efeito não foi observado (Tabela 9). Menores valores de clorofila *a* foram devido aos pequenos teores de B nas folhas, que desencadeia ativação da enzima clorofilase e degrada as moléculas de clorofila (SABATER; RODRIGUEZ, 1978; SILVA et al., 2021;), decorrente do estresse nutricional (CAMACHO-CRISTÓBAL et al., 2018). Também, essa redução nos teores de clorofila pode está associada a oxidação da clorofila e das membranas dos cloroplastos, estimulada pela acumulação dos teores de MDA, conforme reportaram Zhang et al. (2023).

Tabela 9 - Teores de clorofila *a*, clorofila *b*, carotenoides, extravasamento de eletrólitos, concentração de H_20_2 e peroxidação lipídica (MDA) em plantas de coqueiro em função da aplicação de B via solo e estipe, comparativamente à testemunha sem aplicação de B

Atributos fisiológicos e bioquímicos		Chl a[1]	Chl b[2]	Chla/Chlb[3]	CART[4]	EE[5]	H_20_2[6]	MDA[7]
		Mensurações dos atributos na testemunha sem aplicação de B						
Doses de B[8] (g planta $^{-1}$)	Forma de aplicação de B	**19,05**	**7,44**	**2,55**	**5,40**	**71,91**	**16,85**	**52,58**
2	SOLO	17,98^{ns}	8,82^{ns}	2,03^{ns}	4,69^{ns}	72,20^{ns}	17,27^{ns}	50,3^{ns}
4		20,19^{ns}	8,78^{ns}	2,24^{ns}	5,82^{ns}	65,57^{ns}	19,16^{ns}	53,3^{ns}
6		19,02^{ns}	5,97^{ns}	3,18^{ns}	5,73^{ns}	68,72^{ns}	18,37^{ns}	55,3^{ns}
8		18,47^{ns}	16,74^{ns}	1,10^{ns}	2,73^{ns}	70,04^{ns}	17,93^{ns}	49,9^{ns}
10		17,98^{ns}	8,33^{ns}	2,16^{ns}	4,84^{ns}	66,03^{ns}	16,63^{ns}	57,6^{ns}
2	ESTIPE	19,28^{ns}	11,76^{ns}	1,64^{ns}	4,83^{ns}	57,38*	11,19*	40,2*
4		18,10^{ns}	6,80^{ns}	2,66^{ns}	5,65^{ns}	59,56*	10,71*	43,7^{ns}
6		21,22^{ns}	6,34^{ns}	3,35^{ns}	6,35^{ns}	52,83*	10,92*	38,8*
8		22,74*	9,58^{ns}	2,37^{ns}	5,41^{ns}	50,15*	9,22*	32,1*
10		23,88*	5,54^{ns}	4,31^{ns}	6,41^{ns}	49,90*	7,65*	31,3*

[1]Clorofila *a* (mg g^{-1} MF); [2]Clorofila *b* (mg g^{-1} MF); [3]Clorofila *a*/Clorofila *b* (mg g^{-1} MF/mg g^{-1} MF); [4]Carotenoides (mg g^{-1} MF); [5]Extravasamento de eletrólitos (%); [6]Concentração de H_20_2 (mM g^{-1} MF); [7]Peroxidação lipídica (ηmol MDA g^{-1} MF); [8]As doses de B (g planta^{-1}) foram parceladas em três aplicações anuais. *Significativo pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo.

Os maiores valores de dano de membrana, concentração de H_20_2 e MDA foram encontrados em plantas adubadas com B via solo (Tabela 9), sendo semelhante a testemunha, decorrente dos menores teores de B na folha (Tabela 2), que repercutiu na alta atividade da SOD, que embora tenha promovido a conversão de espécies mais reativas e prejudiciais em H_2O_2, sendo uma forma menos nociva, porém ainda intensificou a peroxidação lipídica, afetando a integridade da plasmalema (PRADO, 2021), ratificando que, mesmo a maior dose aplicada via solo, ainda foi pequena, para proteger a integridade da membrana. Esse dano oxidativo e perda da rigidez dos tecidos, pode danificar o aparelho fotossintético das plantas (TRIPATHY; OELMÜLLER, 2012), reduzindo a fotossíntese (LI et al., 2017), consequentemente, a produtividade do coqueiral.

Por outro lado, os menores teores foram encontrados quando se realizou a aplicação de B via estipe, independentemente da dose aplicada, exceto para os teores de MDA, que foram similares nas pequenas doses. Esses efeitos são reflexos dos maiores valores de B na folha que promoveram melhor estabilidade da membrana, e menor estresse oxidativo. Esses resultados

mostraram que essas alterações bioquímicas são mais sensíveis para identificação da resposta do coqueiral aos diferentes métodos de aplicação de B.

Ao estudar o efeito da aplicação de doses de B via estipe e via solo sob os teores de clorofila *a*, clorofila *b*, relação *a*/*b*, carotenoides, extravasamento de eletrólitos, concentração de H_20_2, e peroxidação lipídica da folha, comparativamente a aplicação de B via solo, utilizando-se como fonte o ácido bórico, constatou-se que aplicação via estipe a partir da dose de 8 g planta^{-1} foi responsável por proporcionar maiores valores de clorifila *a* e menor dano de membrana e MDA, a partir de 6 g planta^{-1} (Tabela 10). Por outro lado, não houve influência da aplicação das diferentes doses de B utilizando como fonte o B MEA em relação a fonte ácido bórico (Tabela 10).

Tabela 10 - Teores de clorofila *a*, clorofila *b*, carotenoides, extravasamento de eletrólitos, concentração de H_20_2 e peroxidação lipídica (MDA) em plantas de coqueiro em função da aplicação de B via solo e estipe, comparativamente à testemun ha onde se aplicou B como ácido bórico via solo

Atributos fisiológicos e bioquímicos		Chl a[1]	Chl b[2]	Chla/Chlb[3]	CART[4]	EE[5]	H_20_2[6]	MDA[7]
		Mensurações dos atributos na testemunha H_3BO_3 via solo[8]						
Doses de B[9] (g planta^{-1})	Forma de aplicação de B	**19,24**	**9,32**	**2,03**	**5,10**	**64,70**	**16,32**	**50,48**
2	SOLO	17,98^{ns}	10,67^{ns}	2,03^{ns}	4,69^{ns}	72,20^{ns}	17,27^{ns}	50,3^{ns}
4		20,19^{ns}	8,48^{ns}	2,24^{ns}	5,82^{ns}	65,57^{ns}	19,16^{ns}	53,3^{ns}
6		19,02^{ns}	5,97^{ns}	3,18^{ns}	5,73^{ns}	68,72^{ns}	18,37^{ns}	55,3^{ns}
8		18,47^{ns}	14,05^{ns}	1,10^{ns}	2,73^{ns}	70,04^{ns}	17,93^{ns}	49,9^{ns}
10		17,98^{ns}	10,66^{ns}	2,16^{ns}	4,84^{ns}	66,03^{ns}	16,63^{ns}	57,6^{ns}
2	ESTIPE	19,28^{ns}	11,76^{ns}	1,64^{ns}	4,83^{ns}	57,38^{ns}	11,19*	40,2*
4		18,10^{ns}	6,80^{ns}	2,66^{ns}	5,65^{ns}	59,56^{ns}	10,71*	43,7^{ns}
6		21,22^{ns}	6,79^{ns}	3,35^{ns}	6,35^{ns}	52,83*	10,92*	38,8*
8		22,74*	12,7^{ns}	2,37^{ns}	5,4^{ns}	50,15*	9,22*	32,1*
10		23,88*	9,70^{ns}	4,31^{ns}	6,41^{ns}	49,90*	7,65*	31,3*

[1]Clorofila *a* (mg g^{-1} MF); [2]Clorofila *b* (mg g^{-1} MF); [3]Clorofila *a*/Clorofila *b* (mg g^{-1} MF/mg g^{-1} MF); [4]Carotenoides (mg g^{-1} MF); [5]Extravasamento de eletrólitos (%); [6]Concentração de H_20_2 (mM g^{-1} MF); [7]Peroxidação lipídica (ηmol MDA g^{-1} MF); [8]O ácido bórico (H_3BO_3) foi aplicado em dose única de 5 g planta^{-1}; [9]As doses de B (g planta^{-1}) foram parceladas em três aplicações anuais. *Significativo pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo.

4.9 Componentes de produção e produtividade do coqueiro anão-verde

Não houve diferença para o número de folhas e volume de água em função da forma de aplicação de B (Tabela 11). O peso do fruto foi superior quando a forma de aplicação foi via solo. Menores valores de peso com aplicação via estipe podem ser justificados, devido ao maior número de frutos produzidos na aplicação via estipe, conforme relata Sobral et al. (2008). De forma geral, quando se considerou o número médio de frutos por cacho e produtividade de frutos e em litros de água por planta^{-1}, a melhor forma de aplicação foi via estipe (Tabela 11). Em termos de produtividade, com a aplicação de B via estipe, o incremento foi de 17,84 e 18,11% na quantidade de frutos por cacho e na produtividade dada em número de frutos por planta ano^{-1}, comparativamente a dose via solo, demostrando a eficiência da fertilização boratada via estipe. Outros estudos também demonstraram que a melhor forma de aplicação de fertilizantes foi via estipe/caule em tamareira, pessegueiro, mangueira, videira, pereira e goiabeira em comparação com a aplicação via solo (SHAABAN et al., 2009; ABDI; HEDAYA, 2010; MOHEBI et al., 2010; OERKE et al., 2010; LUACES et al., 2015; SALEH et al.,2016; ABD-ELHALIEM et al., 2017; EL-DEEN et al., 2018; ZOKAEE; NEZAMI; HAJIAMIRI, 2023).

Tabela 11 - Número de folhas, número médio de frutos por cacho, peso de fruto, volume de água, produtividade em litros de água e em número de frutos por planta por ano em função da forma de aplicação de B (via solo e estipe)

Variáveis de produção	Formas de aplicação de B	
	Via solo	Via estipe
Número de folhas	30 a	31 a
Frutos cacho^{-1}	17 b	20 a
Peso de fruto (kg)	2,72 a	2,41 b
Volume de água (mL)	475,4 a	474,0 a
Produtividade (Litro de água planta^{-1} ano^{-1})	122,04 b	143,58 a
Produtividade (Frutos planta^{-1} ano^{-1})	254 b	300 a

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha não diferem estatisticamente pelo teste F ($p<0,05$).

Nesta perspectiva, Luaces et al. (2015), encontraram aumento na produtividade de laranja em mais de 26%, quando aplicaram conjuntamente B via estipe e solo e, 11% com efeito da aplicação via estipe, quando comparado apenas a aplicação via solo, levando os autores a

concluírem que aplicação via estipe é uma ferramenta primordial para complementar à fertilização convencional (solo). De forma semelhante, El-Deen et al. (2018), avaliando diferentes métodos de aplicação de micronutrientes em plantas de pereira em dois anos de produção, observaram uma produtividade de frutos de 11,49% no segundo ano de cultivo, com aplicação via estipe (378,3 frutos planta^{-1}), quando comparado a aplicação via solo (339,3 frutos planta^{-1}), assim como os encontrados por Abd-Elhaliem et al. (2017), com incrementos de 16,18% com aplicação de B via estipe em tâmara e por Zokaee, Nezami e Hajiamiri (2023), com aumento de 62,3% na produtividade média de frutos de pessegueiros com aplicação de Fe via estipe, comparativamente a fertilização via solo e foliar. Todos esses estudos, concluíram que a fertilização via caule/estipe com Fe, B ou coquetel de micros nas diversas culturas constituiu a melhor forma de aplicação, porque além dos incrementos significativos na produtividade de frutos, houve uma grande redução da dose utilizada.

Nas duas formas de aplicação, os dados de número de folhas e volume de água por planta não se ajustaram a modelo de regressão polinomial. Contudo, estudos têm demostrado aumento da quantidade de folhas com doses crescentes de B (KAMALAKSHIAMMA, et al., 2005).

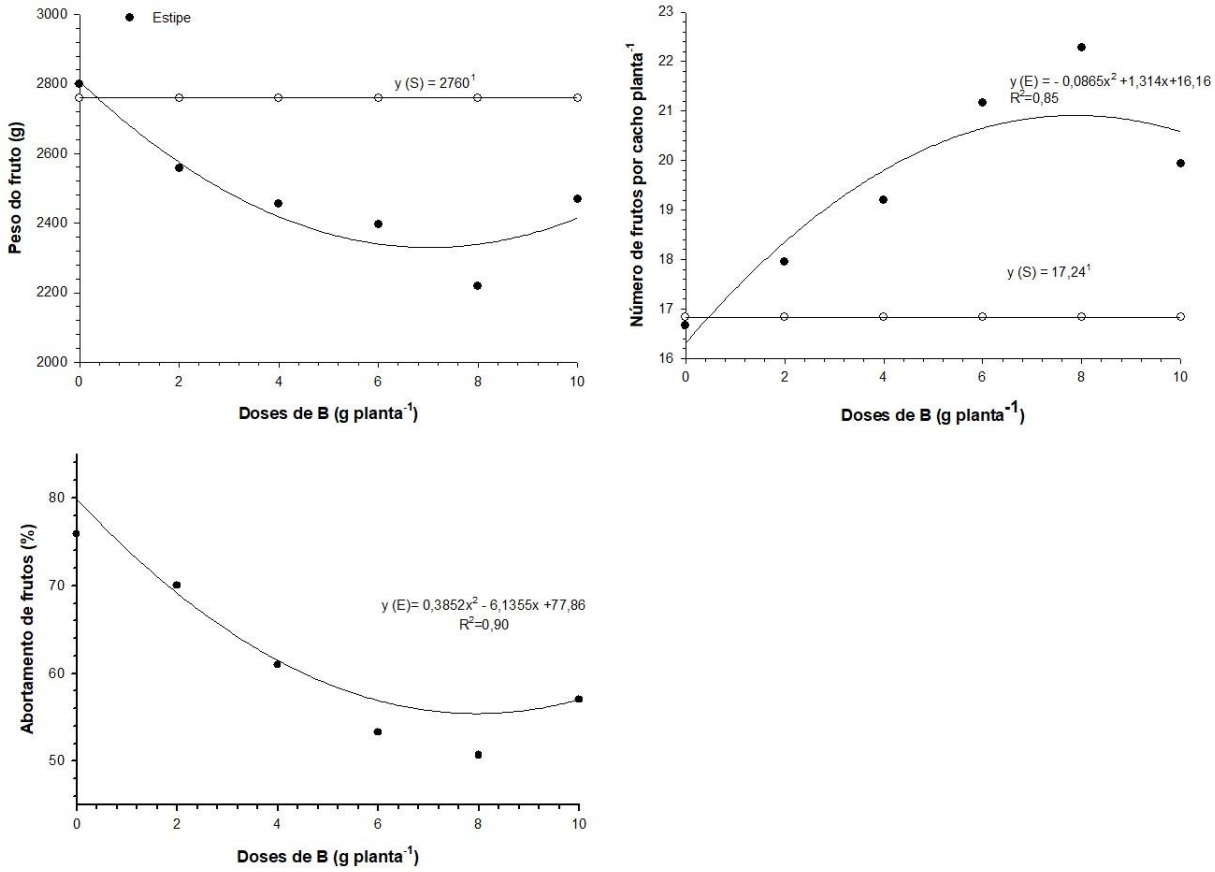
Houve efeito das doses e forma de aplicação quanto ao tamanho do fruto, constatando-se comportamento quadrático com a elevação das doses, quando se aplicou o B via estipe, sendo encontrado o maior e menor peso do fruto na dose 0 e 7 g planta^{-1}, respectivamente, representando uma redução na massa do fruto em 16,96% (Figura 12).

O abortamento de frutos se comportou de forma quadrática, tendo a dose de 8 g planta^{-1} proporcionado a menor taxa de abortamento, representando um incremento de 30,44% na taxa de pegamento de frutos por planta ano^{-1}, comparativamente a menor dose (0 g planta^{-1}), demostrando a importância desse nutriente no processo reprodutivo (Figura 12). Kanzaria et al. (2017), avaliando o florescimento e rendimento de frutos de coqueiro em função de doses crescentes de B, constataram incremento de até 25% no pegamento de frutos, quando as plantas foram fertilizadas com a maior dose de B aplicada. O B é vital para germinação do grão de pólen (ALMEIDA et al., 2011; MOUSAVI et al., 2020) pela elevação de solutos no estigma, inativação fisiológica da calose da parede do tubo polínico, através da formação do complexo borato-calose, além de atuar na formação do tubo polínico, porque é necessário ter multiplicação de células e deposição de parede celular (LEWIS, 1980; MOUSAVI et al., 2020). A redução do crescimento do tubo polínico prejudica a microsporogênese e a embriogênese, promovendo a formação de embriões incompletos e frutos malformados (DELL; HUANG, 1997).

Nesta perspectiva, o teor de B inadequado nas flores nos períodos de formação do pólen, tem promovido esterilidade (MOURA et al., 2015; KANZARIA et al., 2017), desenvolvimento anormal e baixo pegamento dos frutos, causando redução na frutificação (DELL; HUANG; 1997; MARSCHNER; RENGEL, 2012; KANZARIA et al., 2017), o que deve ter ocorrido nesse estudo nas menores doses aplicadas, em virtude dos maiores índices de abortamento (Figura 12). As áreas de produção de coqueiro em solos arenosos, não apenas na região do platô de Neópolis, como também nas demais regiões, tem sido comum o abortamento de frutos, resultado da deficiência desse nutriente, sobretudo no período com alta pluviosidade, o que corrobora com os resultados encontrados referente ao menor número de frutos por cacho (Figura 12), sobretudo nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, resultante no menor pegamento de frutos no período de maio a junho.

Quando se estudou o efeito da aplicação de doses de B via solo em relação ao número de frutos por cacho, observou-se que os dados não se ajustaram a modelo de regressão polinomial. Por outro lado, quando as plantas foram fertilizadas com B via estipe, houve ajuste quadrático, sendo encontrado um incremento de 30,91% na quantidade de frutos colhidos por cacho.

Figura 12 – Peso médio, abortamento e número de frutos por cacho em função da aplicação de doses crescentes de B via solo e via estipe em coqueiro

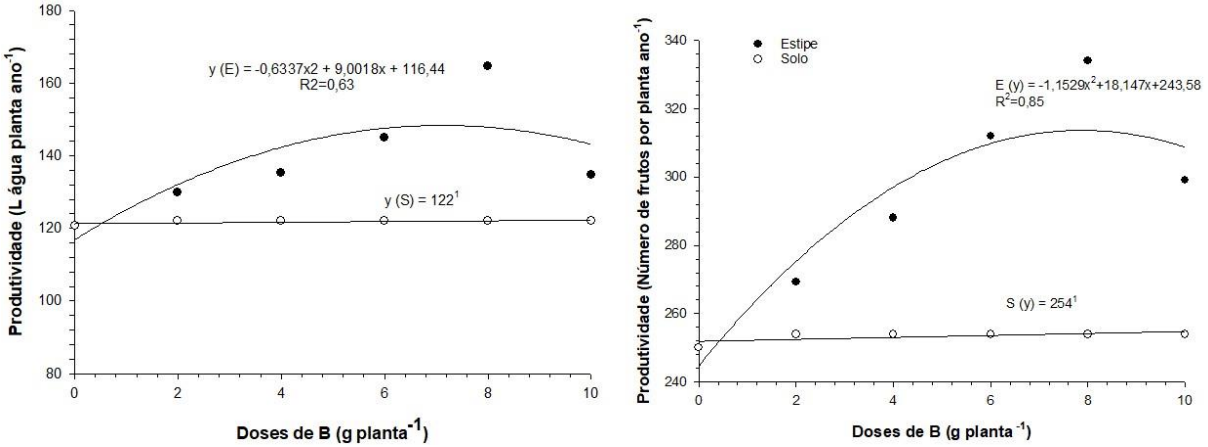


A produtividade avaliada em número de frutos por planta ano^{-1} em relação a aplicação de B via solo não se ajustou a modelo de regressão polinomial, devido aos valores médios terem sido considerados estatisticamente iguais, o que indica que a dose a ser aplicada via solo deve ser maior do que a estudada neste ensaio. A máxima produtividade referenciada na literatura, em termos de número de frutos por planta, tem sido obtida com doses equivalentes a 15,24 e 18 g planta^{-1}, aplicadas via solo (MOURA et al., 2013; MATHEW et al., 2018).

Por outro lado, quando o B foi aplicado via estipe, a produtividade em número de frutos por planta ano^{-1}, se comportou de forma quadrática, sendo a dose de 7,9 g planta^{-1} a dose que proporcionou o maior número de frutos e, consequentemente, a máxima produtividade, cerca de 315 frutos por planta ano^{-1}, representando um incremento de 29%, em relação a menor dose (0 g planta^{-1}) (Figura 13). Esse incremento foi devido ao maior pegamento de frutos (Figura 12), haja vista que o B é um nutriente primordial, que promove viabilidade e germinação do grão de pólen, crescimento do tubo polínico, com consequente fecundação, cujos efeitos são evidentes no pegamento de flores e frutos (MOURA et al., 2013; KANZARIA et al., 2017).

Além disso, pode ser atribuído ao papel vital do B na síntese de clorofila e aumento da atividade fotossintética (MAHENDRAN et al., 2022), conforme resultados encontrados (Figura 8). Diversos trabalhos demonstraram o efeito da B no aumento da condutância estomática, concentração interna de CO_2 e taxa fotossintética da planta (PINHO et al., 2010; BOGIANI; AMARO; ROSOLEM, 2013; KOHLI et al., 2022).

Figura 13 - Produtividade em litros de água por planta ano^{-1} e em número de frutos por planta ano^{-1} em função da aplicação de doses crescentes de B via solo e via estipe em coqueiro



Kanzaria et al. (2017), avaliando a produtividade de frutos de coqueiro em função de doses crescentes de B, constataram incremento de mais de 37% no número de frutos. Lindolfo et al. (2019) têm encontrado até 47% de incremento na produtividade de frutos de açaí. Vários estudos têm demostrado comportamento quadrático com doses crescente de B em várias culturas (MANTOVANI et al., 2013; LINDOLFO et al., 2020; NAZIR et al., 2019).

No entanto, o coqueiro apresenta potencial genético de produção superior a 400 frutos por planta ano^{-1} (FILHO, 2004). Assim, pode ser que a relação do B com outro nutriente limitou a produtividade, mesmo na maior dose aplicada (10 g planta^{-1}), pois sintomas visíveis de toxidez não foram observados nestas plantas, que pode também ser ratificado pelo efeito linear decrescente da espécie reativa (H_2O_2) e peroxidação lipídica (Figura 10), pois quando se alcança excesso de B na planta com doses crescente desse nutriente, o comportamento é de modelo quadrático com concavidade voltada para cima, conforme estudos recentes de Junior et al. (2022), isto é, a medida que aumenta o teor de B na folha, os teores de radicais livres e dano as membranas, reduzem linearmente até o nível ótimo de B, porém, quando os teores se elevam além disso, esses parâmetros bioquímicos iniciam um comportamento crescente.

Além disso, é esperado atingir maiores produtividades após os 18-20 meses em virtude do processo de diferenciação floral, onde ocorre estabilização da produção, após

implementação de um determinado manejo anteriormente planejado (FREMOND et al., 1975; HOLANDA et al., 2007; FERREIRA et al., 2011).

Houve efeito de doses e forma de aplicação de B para produtividade, quando aferida em litros de água por planta ano^{-1} e quando a fertilização ocorreu via estipe, com obtenção do valor máximo de 148,40 L, na dose de 7,10 g planta^{-1} (Figura 13), resultante do comportamento quadrático da produtividade em número de frutos por planta ano^{-1}, representando um incremento próximo de 28% (31,97 L), em relação em relação a menor dose (0 g planta^{-1}). Esse parâmetro é importante para comercialização, com destino a indústria de envasamento, que remunera em função do volume de água. Quando a aplicação de B ocorreu via solo, os dados não se ajustaram ao modelo de regressão polinomial (Figura 13).

Quando se estudou o efeito da aplicação de B via estipe e via solo sob o número de folhas, número médio de frutos por cacho, peso de fruto, volume de água, produtividade em litros de água por planta ano^{-1} e produtividade em número de frutos por planta ano^{-1}, comparativamente a testemunha sem aplicação de B, constatou-se que o número de folhas e volume de água, não foram influenciados pela aplicação de B, independente da forma de aplicação (Tabela 12). Em peso do fruto, os menores valores foram encontrados nos tratamentos com aplicação via estipe, a partir de 6 g planta^{-1}. Contudo, a produtividade em número de frutos por planta ano^{-1} e número médio de frutos por cacho, a partir da dose 4 e 6 g planta^{-1}, foram as mais adequadas doses, quando as plantas foram fertilizadas via estipe, respectivamente, reflexo do menor percentual de abortamento de frutos (Figura 12). Quando a forma de aplicação foi via solo, esse efeito positivo do B não foi observado (Tabela 12), certamente devido a dose ter sido baixa para as condições do ensaio nesse estudo.

Além disso, a menor produtividade pode ser reflexo dos menores teores de clorofila, maior dano de membrana, maior concentração de espécies reativas de oxigênio e danos as membranas biológicas pelo estresse oxidativo (Tabela 8), conforme reportaram estudos em que o incremento dessas características fisiológicas e bioquímicas reduzem a produtividade das plantas (AHMAD et al., 2019; SILVA et al., 2021), aliado a isso some-se os efeitos da redução da abertura estomática, taxa de transpiração, condutividade hidráulica do xilema e taxa fotossintética (BOGIANI et al., 2013; WIMMER; EICHERT 2013; KOHLI et al., 2022). Além de tudo, na planta com baixo teor de B, ocorre modificação estrutural da cutícula e absorção de água pela raiz (WIMMER; EICHERT 2013).

Tabela 12 - Número de folhas, número de frutos médio por cacho, peso de fruto, volume de água, produtividade em litros de água e produtividade em número de frutos por planta ano^{-1} em plantas de coqueiro em função da aplicação de B via solo e estipe, comparativamente à testemunha sem aplicação de B

Componentes de produção e produtividade		NF[1]	NFC[2]	PF[3]	VA[4]	PRODLT[5]	PROFT[6]
		Mensurações dos componentes na testemunha sem aplicação de B					
Doses de B[7] (g planta^{-1})	Forma de aplicação de B	**29,92**	**16,6**	**2800**	**490**	**120,07**	**250**
2	SOLO	30,75^{ns}	16,1^{ns}	2800^{ns}	493^{ns}	126,88^{ns}	257^{ns}
4		30,70^{ns}	17,2^{ns}	2820^{ns}	481^{ns}	119,32^{ns}	248^{ns}
6		29,07^{ns}	15,6^{ns}	2720^{ns}	475^{ns}	125,65^{ns}	235^{ns}
8		30,82^{ns}	17,7^{ns}	2730^{ns}	460^{ns}	115,40^{ns}	265^{ns}
10		30,85^{ns}	18,1^{ns}	2590^{ns}	468^{ns}	122,98^{ns}	272^{ns}
2	ESTIPE	30,3^{ns}	17,9^{ns}	2550^{ns}	481^{ns}	129,82^{ns}	269^{ns}
4		31,0^{ns}	19,2*	2450*	469^{ns}	135,29^{ns}	288*
6		30,0^{ns}	21,16*	2390*	453^{ns}	144,95*	312*
8		31,8^{ns}	22,28*	2210*	488^{ns}	164,54*	334*
10		30,4^{ns}	19,93*	2460*	479^{ns}	143,28^{ns}	299*

[1]Número de folhas; [2]Número de frutos médio por cacho; [3]Peso de fruto (g); [4]Volume de água (mL); [5]Produtividade em litros de água (Litros de água planta^{-1} ano^{-1}); [6]Produtividade em número de frutos (Frutos planta^{-1} ano^{-1}); [7]As doses de B (g planta^{-1}) foram parceladas em três aplicações anuais. *Significativo pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo.

Quando se estudou o efeito da aplicação de B via estipe e via solo, utilizando-se como fonte o B MEA, sob o número de folhas, número médio de frutos por cacho, peso de fruto, volume de água, produtividade em litros de água por planta ano^{-1} e produtividade em número de frutos por planta ano^{-1}, comparativamente a aplicação de B via solo, utilizando-se como fonte o ácido bórico, constatou-se que a aplicação via estipe a partir da dose de 6 g planta^{-1} foi responsável por proporcionar maiores valores de número de frutos por cacho e produtividade em número de frutos por planta ano^{-1} (Tabela 13).

Tabela 13 - Número de folhas, número de frutos médio por cacho, peso de fruto, volume de água, produtividade em litros de água e produtividade em número de frutos por planta ano^{-1} em plantas de coqueiro em função da aplicação de B via solo e estipe, comparativamente à testemunha onde se aplicou B como ácido bórico via solo

Componentes de produção e produtividade		NF[1]	NFC[2]	PF[3]	VA[4]	PRODLT[5]	PROFT[6]
		Mensurações dos componentes na testemunha H_3BO_3 via solo[7]					
Doses de B[8] (g planta $^{-1}$)	Forma de aplicação de B	**30,62**	**17,22**	**2720**	**458**	**132**	**258**
2	SOLO	30,75^{ns}	16,1^{ns}	2800^{ns}	493^{ns}	126,88^{ns}	257^{ns}
4		30,70^{ns}	17,2^{ns}	2820^{ns}	481^{ns}	119,32^{ns}	248^{ns}
6		29,07^{ns}	15,6^{ns}	2720^{ns}	475^{ns}	125,65^{ns}	235^{ns}
8		30,82^{ns}	17,7^{ns}	2730^{ns}	460^{ns}	115,40^{ns}	265^{ns}
10		30,85^{ns}	18,1^{ns}	2590^{ns}	468^{ns}	122,98^{ns}	272^{ns}
2	ESTIPE	30,3^{ns}	17,9^{ns}	2550^{ns}	481^{ns}	129,82^{ns}	269^{ns}
4		31,0^{ns}	19,2^{ns}	2450*	469^{ns}	135,29^{ns}	288^{ns}
6		30,0^{ns}	21,16*	2390*	453^{ns}	144,95^{ns}	312*
8		31,8^{ns}	22,28*	2210*	488^{ns}	164,54*	334*
10		30,4^{ns}	19,93*	2460*	479^{ns}	143,28^{ns}	299*

[1]Número de folhas; [2]Número de frutos médio por cacho; [3]Peso de fruto (g); [4]Volume de água (mL); [5]Produtividade em litros de água (Litros de água planta^{-1} ano^{-1}); [6]Produtividade em número de frutos (Frutos planta^{-1} ano^{-1}); [7]O ácido bórico (H_3BO_3) foi aplicado em dose única de 5 g planta^{-1}; [8]As doses de B (g planta^{-1}) foram parceladas em três aplicações anuais. *Significativo pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo.

A aplicação de ácido bórico na dose de 5 g planta^{-1} via solo é uma dose padrão recomendada pela Embrapa (Tabuleiros Costeiros) e aplicada por alguns produtores do Platô de Neópolis e demais regiões produtoras de coco (FONTES et al., 2002; SOBRAL et al., 2009). Essa recomendação é antiga. Para os níveis de produtividade atual, essa dose aplicada via solo está devassada, conforme corrobora estes resultados. Contudo, ressalta-se que independentemente das doses aplicadas com a fonte B MEA e dose única com o ácido bórico, não se constatou efeito na produtividade de frutos por planta ano^{-1}, demonstrando que doses maiores devem ser usadas, quando a forma de aplicação ocorrer via solo.

Avaliando o efeito da aplicação de B via estipe e via solo, utilizando-se como fonte o B MEA, sob o número de folhas, número médio de frutos por cacho, peso de fruto, volume de água, produtividade em litros de água por planta ano^{-1} e produtividade em número de frutos por planta ano^{-1}, comparativamente a aplicação de B via estipe, utilizando-se como fonte o ácido

bórico, constatou-se que o número de folhas, volume de água e produtividade de litros de água não foram influenciados pela forma de aplicação de B (Tabela 14). Contudo, em relação a produtividade em número de frutos por planta ano^{-1}, constatou-se que a dose de 8 g planta^{-1} na fonte B MEA via estipe foi responsável por conferir maior quantidade de frutos. A aplicação do B MEA via solo, independentemente da dose, não influenciou no número de frutos por planta ano^{-1}, sendo semelhante a fonte ácido bórico via estipe.

Tabela 14 - Número de folhas, número de frutos médio por cacho, peso de fruto, volume de água, produtividade em litros de água e produtividade em número de frutos por planta ano^{-1} em plantas de coqueiro em função da aplicação de B via solo e estipe, comparativamente à testemunha onde se aplicou B como ácido bórico via estipe

Componentes de produção e produtividade		NF[1]	NFC[2]	PF[3]	VA[4]	PRODLT[5]	PROFT[6]
		Mensurações dos componentes na testemunha H_3BO_3 via estipe[7]					
Doses de B[8] (g planta^{-1})	Forma de aplicação de B	**30,2**	**18,66**	**2570**	**465**	**130,23**	**280**
2	SOLO	30,75^{ns}	16,1^{ns}	2800^{ns}	493^{ns}	126,88^{ns}	257^{ns}
4		30,70^{ns}	17,2^{ns}	2820^{ns}	481^{ns}	119,32^{ns}	248^{ns}
6		29,07^{ns}	15,6^{ns}	2720^{ns}	475^{ns}	125,65^{ns}	235^{ns}
8		30,82^{ns}	17,7^{ns}	2730^{ns}	480^{ns}	120,42^{ns}	265^{ns}
10		30,85^{ns}	18,1^{ns}	2590^{ns}	468^{ns}	122,98^{ns}	272^{ns}
2	ESTIPE	30,3^{ns}	17,9^{ns}	2550^{ns}	481^{ns}	129,82^{ns}	269^{ns}
4		31,0^{ns}	19,2^{ns}	2450^{ns}	469^{ns}	135,29^{ns}	288^{ns}
6		30,0^{ns}	21,16*	2390^{ns}	453^{ns}	144,95^{ns}	312^{ns}
8		31,8^{ns}	22,28*	2210*	488^{ns}	164,54^{ns}	334*
10		30,4^{ns}	19,9^{ns}	2460^{ns}	450^{ns}	134,61^{ns}	299^{ns}

[1]Número de folhas; [2]Número de frutos médio por cacho; [3]Peso de fruto (g); [4]Volume de água (mL); [5]Produtividade em litros de água (Litros de água planta^{-1} ano^{-1}); [6]Produtividade em número de frutos (Frutos planta^{-1} ano^{-1}); [7]O ácido bórico (H_3BO_3) foi aplicado em dose única de 5 g planta^{-1}; [8]As doses de B (g planta^{-1}) foram parceladas em três aplicações anuais. *Significativo pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo.

4.10 Qualidade físico-química da água do coqueiro

Não houve diferença para a condutividade elétrica (CE) e nem para pH em função da forma de aplicação de B (Tabela 15). De forma geral, quando se considerou a acidez total titulável (ATT) e a relação sólidos solúveis totais (SST)/ATT, a melhor forma de aplicação foi via estipe (Tabela 15). De igual modo, também o teor de SST e de B da água apresentaram

maiores valores quando a forma de aplicação foi via estipe (Tabela 15), principalmente nas maiores doses aplicadas. Em termos de incrementos, com a aplicação via estipe, houve aumento de cerca de 50% na relação SST/ATT e no teor de B da água e, de 33% de redução na acidez. Esse efeito é devido ao complexo açúcar-borato que incrementa a translocação de açúcar para os frutos (ABD-ELHALIEM et al., 2017). Abd-Elhaliem et al. (2017), concluíram que aplicação via estipe de Fe e B, foi a melhor forma para elevar os teores desses nutrientes nos frutos do que a aplicação via solo.

Outros estudos demonstraram que a melhor forma de aplicação de fertilizante foi via estipe/caule com efeitos evidentes nas características físico-químicas em tamareira, mangueira, laranja, videira, pessegueiro, em comparação com a aplicação via solo (SHAABAN et al., 2009; ABDI; HEDAYA, 2010; MOHEBI et al., 2010; LUACES et al., 2015; ABD-ELHALIEM et al., 2017; SALEH et al.,2016; EL-DEEN et al., 2018; ZOKAEE; NEZAMI; HAJIAMIRI, 2023). Como por exemplo, nos estudos de Luaces et al. (2015), o conteúdo de sólidos solúveis da fruta teve um incremento de 10% a mais com a fertilização conjunta (solo e caule) do que a aplicação isolada via solo. De igual modo, Abd-Elhaliem et al. (2017), em seus resultados recomendaram a aplicação via estipe de Fe e B em tâmaras, porque registraram os valores mais elevados nas características físico-químicas, com incrementos de cerca de quase 5% no ^{0}Brix, 9,06% na relação SST/ATT e redução da acidez em 7,6% em detrimento da fertilização via solo. El-Deen et al. (2018) recomendaram a injeção no caule em pera com coquetel de micronutrientes em virtude de ser o melhor tratamento, porque promoveu os melhores parâmetros de qualidade dos frutos, com incrementos de 20,1% nos teores de sólidos solúveis, 31,90% de açúcar total e redução de 31,4% na acidez da fruta, comparativamente a aplicação via solo.

Tabela 15 - Teor de B, condutividade elétrica, sólidos solúveis, pH, acidez titulável total e relação sólidos solúveis/acidez titulável total da água de coco em função da forma de aplicação de B (via solo e via estipe)

Variáveis qualitativas	Formas de aplicação de B	
	Via solo	Via estipe
Teor de B ($\mu g\ L^{-1}$)	277,00 b	421,48 a
Condutividade elétrica ($mS\ cm^{-1}$)	6,03 a	5,75 a
Sólidos solúveis totais (^{0}Brix)	5,50 b	5,78 a
pH	5,34 a	5,49 a
Acidez total titulável (%)	0,46 a	0,31 b
Sólidos solúveis/acidez titulável	12,44 b	18,82 a

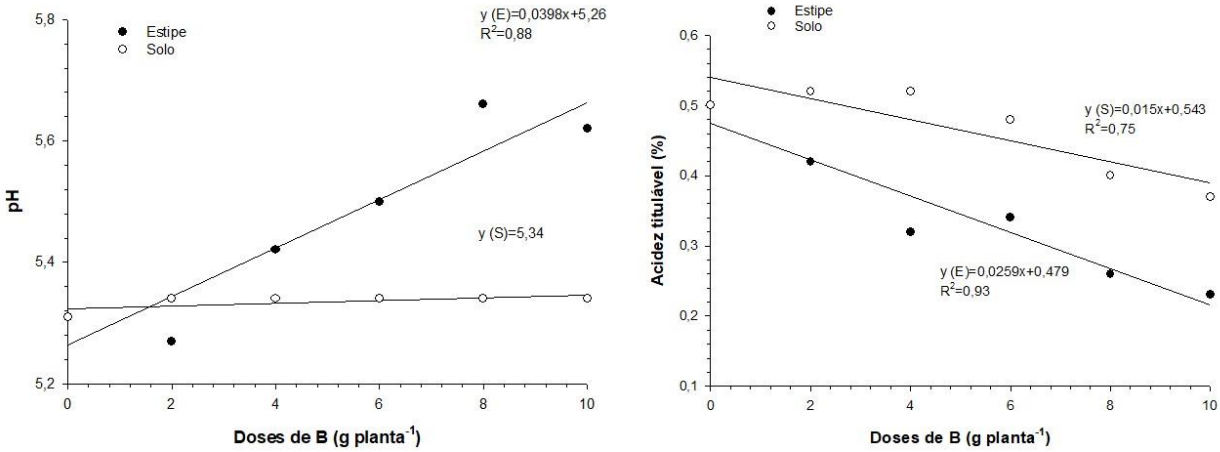
Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha não diferem estatisticamente pelo teste F ($p<0,05$).

Os dados de condutividade elétrica da água de coco não se ajustaram a modelo de regressão polinomial para as duas formas de aplicação. No entanto, os dados de pH e acidez total titulável se ajustaram a modelo de regressão linear crescente e decrescente, respectivamente, quando se aplicou B via estipe, sendo verificado aumento no pH e redução da acidez total titulável (Figura 14). O pH e acidez total titulável estão estreitamente relacionados, porque à medida que o pH aumenta, a acidez tende a diminuir. O pH é a acidez real ou atual da solução e refere-se a concentração dos íons H^+ que estão ionizados na solução. A acidez total titulavél é a concentração de ácidos não ionizados (dissociados), mas que poderão ionizar-se (FELTRE, 1992). No caso da água de coco é composta, sobretudo pelo ácido málico. Nesta perspectiva, o pH da água de coco variou com valores de 5,26 a 5,65, com aplicação de B via estipe. A elevação do pH, provavelmente está associada ao transporte e armazenamento de açúcares, pois a doçura e acidez, é dependente de quantidades relativas de açúcares (MARSCHNER, 1995; COSTA, 1994; BOARETTO, 2006; MARODIN et al., 2010). Estes resultados têm sido constatados em laranjeira por Silva (2016) e macieira por Sa et al. (2014). O pH da água de coco é essencial para garantir o sabor doce e adstringência desejável, que é melhorado quando o pH se aproxima de 5,5 (NERY et. al., 2002), como os resultados encontrados nesse estudo.

De forma semelhante ao pH, a acidez também influencia o sabor e o aroma característico da água de coco, afetando suas características organolépticas. A acidez mínima titulável de 0,22 e 0,39% foi registada no tratamento com B aplicado via estipe e solo, enquanto os valores máximos (0,47 e 0,54%) foram obtidos na ausência de B, respectivamente (Figura 14). Assim,

se demonstra que aplicação de B reduz a acidez da água de coco, que pode ser devida a sua utilização na respiração e rápida transformação metabólica dos ácidos orgânicos em açucares, conforme corrobora outros estudos (NINGAVVA et al., 2014; PAUL; NAIR, 2015; PATIL et al., 2018).

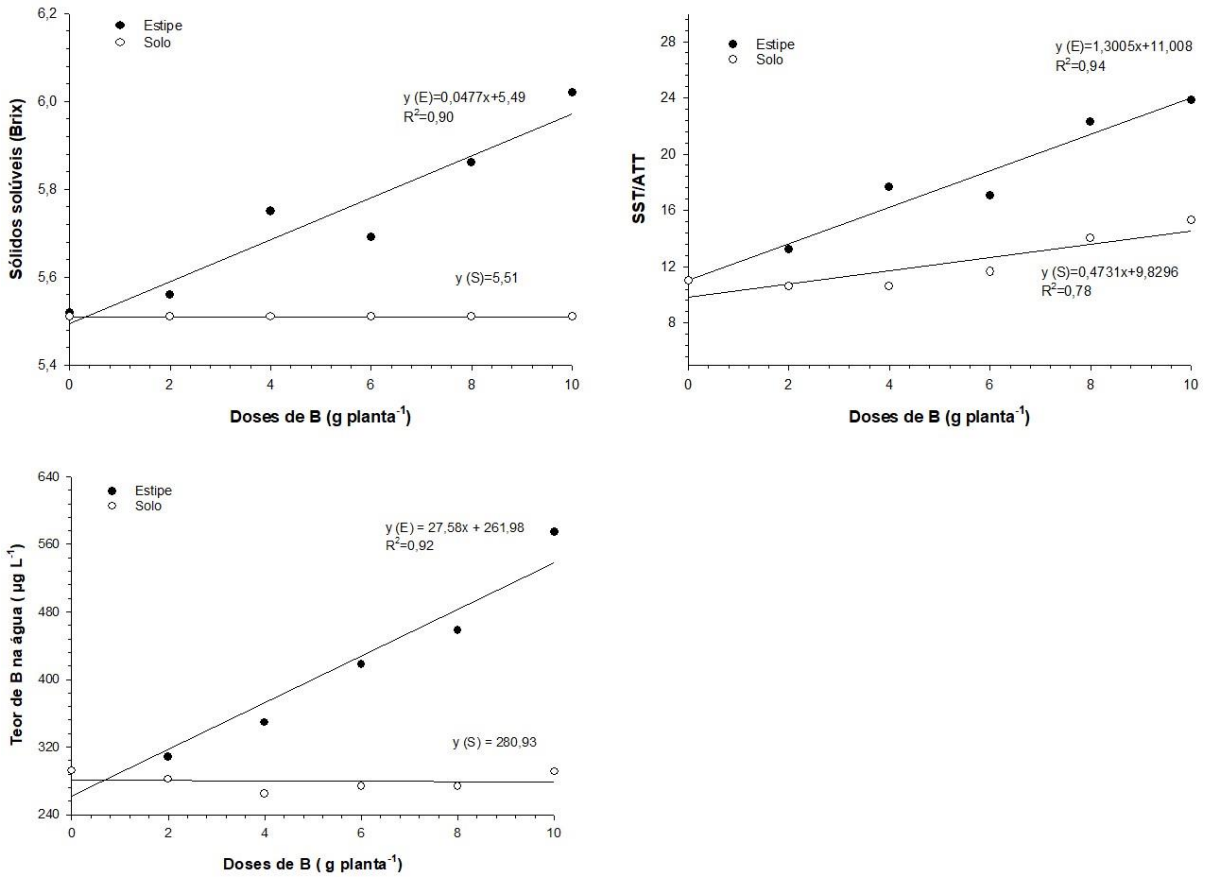
Figura 14 - pH e acidez total titulável da água de coco em função da aplicação de doses crescentes de B via solo e via estipe em coqueiro



Os teores de sólidos solúveis totais (SST) cresceram de forma linear com o aumento das doses de B aplicadas via solo e estipe, com valores variando de 5,49 a 5,97 ^{0}Brix, representando um incremento de 6,86% na dose de máxima produtividade de frutos (7,9 g planta^{-1}) e de 8,75% na maior dose empregada (10 g planta^{-1}), quando a forma de aplicação foi via estipe (Figura 15). Independente da forma de aplicação, os valores de SST estão dentro do limite mínimo (5,5) exigido pela indústria de envasamento da região. Os incrementos nos teores de SST podem ser justificados pelo fato do B atuar no metabolismo de carboidratos e no transporte de açucares da folha para o fruto, pois esse nutriente forma um complexo ionizável de borato-açúcar, que é mais solúvel, passando mais rapidamente através das membranas celulares do que o açúcar não ionizável (PRADO, 2008; MAHENDRAN et al., 2022). Estes resultados corroboram com os encontrados por Kanzaria et al. (2017), quando avaliaram a qualidade de frutos de coqueiro em função de doses crescentes de B. Os autores constataram um aumento linear na concentração de açúcar (10,52%), à medida que se incrementaram as doses de B. Outros pesquisadores também observaram os mesmos resultados em outras culturas, como bananeira, mangueira e videira (SHABAN et., 2009; OLDINI et., 2018; MAHENDRAN et al., 2022). Esse resultado sugere uma possível redução no período de colheita, pois o B pode favorecer maior rapidez

para se atingir o teor de SST ideal na água de coco para o consumo "*in natura*" ou com destino a indústria de envasamento.

Figura 15 – Teores de B, sólidos solúveis totais (SST) e relação SST/acidez total titulável (ATT) da água de coco em função da aplicação de doses crescentes de B via solo e via estipe em coqueiro



A relação SST/ATT da água de coco em função da aplicação via solo e estipe foi ajustada por modelo linear crescente com o aumento das doses de B, com valores variando de 11 a 24,01, expressando um aumento de 92 e 118%, quando as plantas foram fertilizadas via estipe na dose que proporcionou a máxima produtividade de frutos, assim como na maior dose empregada (10 g planta^{-1}), respectivamente (Figura 15). Quando a forma de aplicação foi via solo, esse incremento foi inferior (48,17%). Esse alto incremento na relação SST/ATT, é reflexo dos maiores valores de SST, associado a grande redução da acidez total titulável, e constitui uma característica físico-química que determina a qualidade sensorial dos frutos e aceitação pelo mercado consumidor (BRITO et al., 2011). Estes resultados estão em consonância com os

encontrados em outras culturas com aplicação de B (BRITO et al., 2011; MAHENDRAN et al., 2022).

Os dados do teor de B na água de coco ajustaram-se a regressão linear crescente, sendo constatado um aumento nos teores deste nutriente a medida que se elevaram as doses de B, variando de 261,98 a 537,78 $\mu g\ L^{-1}$, expressando um incremento da ordem de 105,27% (Figura 15). Isso representa um valor relativamente alto de incremento de B na água para essa cultura que, embora esse nutriente seja considerado de baixa mobilidade no floema para maioria das culturas (MALAVOLTA, 2006), Santos et al. (2003) e Pinho et al. (2008) reportaram que o B pode apresentar mobilidade via floema na cultura do coqueiro. Outros estudos mostraram aumento de até 135% nos teores de B do fruto com aplicação de doses crescente de B em oliveira (HEGAZI et a., 2018), inclusive em plantas com mobilidade restrita, como por exemplo, no morango (QUDDUS et al., 2022).

Em resumo, o efeito positivo de B, sobretudo quando aplicado via estipe foi notório, e entre os micronutrientes, é o nutriente mais crucial que limita as características físico-químicas da água de coco, conforme corrobora estudos em outras culturas (MAHENDRAN et al., 2022).

Quando se estudou o efeito da aplicação de B via estipe e via solo sob a condutividade elétrica, teor de B, pH, acidez total titulável, sólidos solúveis totais e relação SST/ATT da água de coco, comparativamente a testemunha sem aplicação de B, contatou-se que a condutividade elétrica não foi influenciada pela aplicação de B, independente da forma de aplicação (Tabela 16). No entanto, a partir da dose 6 e 8 g planta^{-1} de B aplicada via estipe, essa forma de aplicação proporcionou os maiores valores de sólidos solúveis totais e relação SST/ATT da água de coco, respectivamente, e menores teores de acidez total. Quando a forma de aplicação foi via solo, esse efeito positivo do B só foi observado na dose de 10 g planta^{-1}, apenas para relação SST/ATT, evidenciando a eficiência da fertilização via estipe (Tabela 16).

Os menores valores de pH e sólidos solúveis totais foram encontrados quando se aplicou o B via solo, semelhantemente aos observados no tratamento controle (Tabela 16). Os baixos teores de B, reduz o transporte de açucares da folha para os frutos em função do aumento da produção de caloses, que limita a redistribuição via floema, associado a menor quantidade de complexos borato-açúcar solúvel (PRADO, 2021). Assim, ocorre acúmulo dos hidratos de carbonos nas folhas.

Tabela 16 - Condutividade elétrica, teor de B, sólidos solúveis totais, pH, acidez total titulável, e relação sólidos solúveis totais/acidez titulável total de água de coco em função da aplicação de B via solo e estipe, comparativamente à testemunha sem aplicação de B

Atributos físico-químicos da água de coco		CE[1]	B[2]	SST[3]	pH[4]	ATT[5]	SST/ATT[6]
		Mensurações dos atributos na testemunha sem aplicação de B					
Doses de B[7] (g planta $^{-1}$)	Forma de aplicação de B	**6,13**	**291,81**	**5,52**	**5,30**	**0,50**	**10,97**
2	SOLO	6,15^{ns}	282^{ns}	5,54^{ns}	5,27^{ns}	0,52^{ns}	10,57^{ns}
4		6,38^{ns}	264,6^{ns}	5,53^{ns}	5,30^{ns}	0,52^{ns}	10,62^{ns}
6		5,72^{ns}	273,9^{ns}	5,61^{ns}	5,36^{ns}	0,48^{ns}	11,64^{ns}
8		5,84^{ns}	273,7^{ns}	5,59^{ns}	5,34^{ns}	0,40*	14,04^{ns}
10		6,12^{ns}	290,8^{ns}	5,62^{ns}	5,46^{ns}	0,37*	15,32*
2	ESTIPE	5,97^{ns}	308,3^{ns}	5,56^{ns}	5,23^{ns}	0,42*	13,22^{ns}
4		5,39^{ns}	349,1^{ns}	5,75^{ns}	5,42^{ns}	0,32*	17,67*
6		5,52^{ns}	417,5^{ns}	5,69^{ns}	5,51^{ns}	0,34*	17,03*
8		6,05^{ns}	458,4*	5,86*	5,66*	0,26*	22,32*
10		5,83^{ns}	574,2*	6,02*	5,62^{ns}	0,23*	23,85*

[1]Condutividade elétrica (mS cm^{-1}); [2]Teor de B na água de coco (µg L^{-1}); [3]Sólidos solúveis totais (^{0}Brix); [4]pH; [5]Acidez total titulável (%); [63]Sólidos solúveis totais/Acidez total titulável; [7]As doses de B (g planta^{-1}) foram parceladas em três aplicações anuais. *Significativo pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo.

Por outro lado, quando se estudou o efeito da aplicação de B via estipe e via solo na qualidade da água de coco, comparativamente a aplicação de B via solo, utilizando-se como fonte o ácido bórico, constatou-se mais uma vez que aplicação via estipe foi responsável por proporcionar maiores valores de sólidos solúveis totais e relação SST/ATT da água de coco e, menores teores de acidez (Tabela 17). Contudo, para as demais características físico-químicas da água de coco (CE, pH e SST) os valores foram semelhantes, quando a forma de fertilização boratada foi via solo.

Tabela 17 - Condutividade elétrica, teor de B, sólidos solúveis totais, pH, acidez total titulável, e relação sólidos solúveis totais/acidez titulável total de água de coco em função da aplicação de B via solo e estipe, comparativamente à testemunha onde se aplicou B como ácido bórico via solo

Atributos físico-químicos da água de coco		CE[1]	B[2]	SST[3]	pH[4]	ATT[5]	SST/ATT[6]
		Mensurações dos atributos na testemunha H_3BO_3 via solo[7]					
Doses de B[8] (g planta $^{-1}$)	Forma de aplicação de B	**5,8**	**301,05**	**5,61**	**5,32**	**0,48**	**14,33**
2	SOLO	6,15^{ns}	282^{ns}	5,54^{ns}	5,27^{ns}	0,54^{ns}	10,57^{ns}
4		6,38^{ns}	264,6^{ns}	5,53^{ns}	5,29^{ns}	0,49^{ns}	10,62^{ns}
6		5,72^{ns}	273,9^{ns}	5,61^{ns}	5,36^{ns}	0,51^{ns}	11,64^{ns}
8		5,84^{ns}	273,7^{ns}	5,59^{ns}	5,34^{ns}	0,40*	14,04^{ns}
10		6,12^{ns}	290,8^{ns}	5,62^{ns}	5,46^{ns}	0,39*	15,32^{ns}
2	ESTIPE	5,97^{ns}	308,3^{ns}	5,56^{ns}	5,27^{ns}	0,43^{ns}	13,22^{ns}
4		5,39^{ns}	349,1^{ns}	5,75^{ns}	5,42^{ns}	0,37*	17,67*
6		5,52^{ns}	417,5^{ns}	5,69^{ns}	5,51^{ns}	0,32*	17,03*
8		6,05^{ns}	458,4*	5,86*	5,66*	0,28*	22,32*
10		5,83^{ns}	574,2*	6,02*	5,58^{ns}	0,3*	23,85*

[1]Condutividade elétrica (mS cm^{-1}); [2]Teor de B na água de coco (µg L^{-1}); [3]Sólidos solúveis totais (^{0}Brix); [4]pH; [5]Acidez total titulável (%); [63]Sólidos solúveis totais/Acidez total titulável; [7]O ácido bórico (H_3BO_3) foi aplicado em dose única de 5 g planta^{-1}; [8]As doses de B (g planta^{-1}) foram parceladas em três aplicações anuais. *Significativo pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo.

Diante de todos estes resultados, a fertilização de B via estipe em coqueiro é uma alternativa promissora para incremento do teor desse nutriente na folha, promover maior produtividade de frutos e qualidade físico-química da água de coco, associado às menores doses de B empregada na fertilização, podendo, ainda, ser um complemento à fertilização convencional em áreas comerciais de produção de coqueiro, de forma a viabilizar uma diminuição da quantidade de fertilizante boratado aplicado ao solo, o que poderia reduzir os custos com a produção de frutos. Contudo, diante do alto grau de necrose dos tecidos internos, mais estudos serão necessários com enfoque em formulações específicas e na reação no sistema vascular, que sustente o uso dessa técnica a médio e longo prazo.

5. CONCLUSÃO

A aplicação de B via estipe promoveu melhoria nos atributos fisiológicos e bioquímicos das plantas de coqueiro, promovendo incremento nos teores de clorofila *a* e redução do extravasamento de eletrólitos, espécies reativas de oxigênio (H_2O_2) e danos de peroxidação lipídica.

A aplicação de B via estipe proporcionou maior período residual de B na folha ao longo do tempo, sendo a forma mais eficiente na absorção desse nutriente.

O nível crítico de B na folha e na água de coco foi de 33,48 mg kg^{-1} e 465,44 µg $L^{-1,}$ respectivamente, para um nível de produtividade de 315 de frutos por planta ano^{-1}.

A dose de 7,9 g $planta^{-1}$ aplicada via estipe proporcionou a máxima produtividade de frutos por planta ano^{-1}.

Aplicação de B via solo utilizando o B MEA como fonte de B (10 g $planta^{-1}$) e ácido bórico (5 g $planta^{-1}$) é insuficiente para promover aumento na produtividade de frutos por planta ano^{-1}. Essas doses via solo foram pequenas, portanto, doses maiores devem ser testadas.

A aplicação de B via estipe utilizando o B MEA como fonte de B, a partir da dose 6 e 8 g $planta^{-1}$, promoveu aumento da qualidade físico-química da água de coco, com destaque para os teores de B, sólidos solúveis totais (SST), acidez total titulável (ATT) e relação SST/ATT.

Aplicação de B utilizando como fontes de B, o B MEA e ácido bórico via estipe promoveu necrose dos tecidos internos do coqueiro. Portanto, as próximas pesquisas devem buscar soluções nutricionais específica, empregando o B MEA para aplicação via estipe, com enfoque na reação no sistema vascular do coqueiro, visando dar sustentabilidade a essa técnica a médio e longo prazo. Sugere-se que, esses estudos, se iniciem reduzindo o pH e CE da fonte de B utilizada como fertilizante a ser aplicado via estipe.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD-ELHALIEM, S. A.; AL-ASHKAR, R. A.; MOHSEN, A.M.; ABDALLA, B. M. Evaluation of some methods of iron and boron application on productivity and fruit quality of date palm cv samany. **Zagazig Journal of Agricultural Research**, v. 44, n. 1, p. 103-115, 2017. https://doi.org/10.21608/ZJAR.2017.53931

ABDI, G.H.; HEDAYAT, M. Yield and fruit physiochemical characteristics of 'Kabkab'date palm as affected by methods of potassium fertilization. **Advances in environmental Biology** v. 4, n. 3, p. 437–443, 2010.

ABREU, C.; RAIJ, B.; ABREU, M.; GABE, U.; YASUDA, M. **Reação e movimentação de boro no solo, aplicado como ulexita, fritas e ácido bórico.** Campinas: IAC, 2004

AHMAD, S.; HUSSAIN, N.; AHMED, N.; ZAKA, S. M. Influence of boron nutrition on physiological parameters and productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) crop. **Pakistan Journal of Botany**, v. 51, n. 2, p. 401-408, 2019. https://doi.org/10.30848/PJB2019-2(2).
AHMAD, W.; ZIA, M. H.; MALHI, S. S.; NIAZ, A.; ULLAH, S. Boron deficiency in soils and crops: a review. 2012. 39 p.

AHMADI, M.; SOURI, M. K. Growth and mineral content of coriander (*Coriandrum sativum* L.) plants under mild salinity with different salts. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 40, p. 1-8, 2018. https://doi.org/10.1007/s11738-018-2773-x

ALEXIEVIA, V.; SERGIEV, I.; MAPELLI, S.; KARANOV, E. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant Cell and Environment**, Glasgow, v. 24, p. 1337-1344, 2001. https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00778.x

ALMEIDA, C.; AMARAL, L. A.; NETO, B. F. J.; SORENO, M. C. J. Conservação e germinação in vitro de pólen de milho (*Zea mays* subsp. mays). **Brazilian Journal of Botany**, v. 34, p. 493-497, 2011. https://doi.org/10.1590/S0100-84042011000400003

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. https://10.1127/0941-2948/2013/0507

ANDERSON, M. D.; PRASAD, T. K.; STEWART, C. R. Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotyls of maize seedlings. **Plant Physiology**, v. 109, p. 1247-1257, 1995. https://doi.org/10.1104/pp.109.4.1247

ATHULYA, S. N. **Characterisation of boron deficient coconut palms** (*Cocos nucifera* L.). 2017. 195 f. Tese (Doutorado em Agricultura) – College of Agriculture, Vellayani. 2017.

BARNEY, D.; WALSER, R.H.; NELSON, S.D.; WILLIAMS, C.F.; JOLLEY, V.D. Control of iron chlorosis in apple trees with injections of ferrous sulfate and ferric citrate and with soil-applied iron-sul. **Journal Plant Nutrition**. v.7, n. 1-5, p. 313–317, 1984. https://doi.org/10.1080/01904168409363198

BECANA, M.; MORAN, J. F.; ITURBE-ORMAETXE, I. Iron-dependent oxygen free radical generation in plants subjected to environmental stress: toxicity and antioxidant protection. **Plant and Soil,** v. 201, p. 137-147, 1998. http://doi.org/10.1023/A:1004375732137

BHUPENCHANDRA, I.; BASUMATARY, A.; DUTTA, S.; SINGH, A. H.; SINGH, L. K.; BORA, S. S.; BHAGOWATI, S. Effect of boron fertilization on soil chemical properties, nutrients status in the soil and yield of crops under cauliflower-cowpea okra sequence in North East India. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 52, n. 11, p. 1301-1326, 2021. https://doi.org/10.1080/00103624.2021.1879127

BIEVRE, P.; BARNES, I.L. Table of the isotopic composition of the elements as determined by mass spectrometry. **International Journal of Mass Spectrometry and Ion Processes**, v. 65, n. 1-2, p. 211-230, 1985. https://doi.org/10.1016/0168-1176(85)85065-5.

BOARETTO, R. M. **Boro (^{10}B) em laranjeira: Absorção e mobilidade**. 2006. 120 f.
BOGIANI, J. C.; AMARO, A. C.; ROSOLEM, C. A. Carbohydrate production and transport in cotton cultivars grown under boron deficiency. **Scientia agrícola**, v. 70, p. 442-448, 2013. https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000600010

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 7, n. 72, p. 248-254, 1976. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

BRAINER, M. S. C. P. **Coco: produção e mercado**. Fortaleza: ETENE, 2021. 13p. (ETENE. Documento, 206).

BRITO, J. F.; PEREIRA, W. E.; CAVALCANTI, L. F.; ARAÚJO, R. da C.; LACERDA, J. S. Produtividade e qualidade de frutos de mamoeiro 'sunrise solo' em função de doses de nitrogênio e boro. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 1, p.69-80, 2011. https://doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n1p69

BROSCHAT, K. T. Palm nutrition and fertilization. **Hort Technology**, v. 19, n. 4, p. 690-694, 2009. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.19.4.690

BROSCHAT, K. T.; DOCCOLA, J. J. Effects of soil-applied and trunk and petiole-injected manganese on manganese content of coconut palm (*Cocos nucifera*). **Journal of Arboriculture**, v. 36, n. 6, p. 272, 2010. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.19.4.690

BROSCHAT, T. K. Boron deficiency in Florida landscape palms. **Plant Disease**, v. 83, 1-6, 2012. http://hdl.handle.net/10125/33258

BROSCHAT, T. K. Boron deficiency symptoms in palms. **International Palm Society Inc**, v. 51, n. 3, p. 115-126, 2007.

BROWN, C.B.; HILDRETH, A.C. Injections of reduced iron for control of lime induced chlorosis of trees. **Arborist's News**, v. 25, n.9, p.71–72, 1960.

BROWN, M.B.; FORSYTHE, A.B. Robust Tests for Equality of Variances. **Journal of the American Statistical Associantion**, v. 69, p. 364-367, 1974.

BROWN, P. H.; SHELP, B. J. Boron mobility in plants. **Plant and soil**, v. 193, p. 85-101, 1997. https://doi.org/10.1023/A:1004211925160

CAKMAK, I.; ROMHELD, V. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. **Plant and Soil,** v. 193, n. 1-2, p. 71-83, 1997. https://doi.org/10.1023/A:1004259808322

CAKMAK, I.; KURZ, H.; MARSCHNER, H. Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of sunflower. **Physiologia Plantarum**, v. 95, n. 1, p. 11-18, 1995. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1995.tb00801.x

CALATAYUD, A.; BARRENO, E. Response to ozone in two lettuce varieties on chlorophyll a fluorescence, photosynthetic pigments and lipid peroxidation. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 42, n. 6, p. 549-555, 2004. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2004.05.002.

CAMACHO-CRISTÓBAL, J. J.; NAVARRO-GOCHICOA, M. T.; REXACH, J.; GONZÁLEZ-FONTES, A.; HERRERA-RODRIGUEZ, M. B. Plant response to boron deficiency and boron use efficiency in crop plants. In: **Plant micronutrient use efficiency**, p. 109-121, 2018. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812104-7.00007-1.

CASTRO, C. P.; PASSOS, E. E. M.; ARAGÃO, W. M. Fenologia de cultivares de coqueiro-anão nos tabuleiros costeiros de Sergipe. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 1, p. 13-19, 2009. https://doi.org/10.1590/S0100-29452009000100004.

CHANDLER, W.H.; HOAGLAND, D.R.; HIBBARD, P.L. Little leaf or rosette of fruit trees. III. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science** v. 30, p. 70-86, 1933.

CHEN, M.; MISHRA, S.; HECKATHORN, S.A.; FRANTZ, J.M.; KRAUSE, C. Proteomic analysis of arabidopsis thaliana leaves in response to acute boron deficiency and toxicity reveals effects on photosynthesis, carbohydrate metabolism, and protein synthesis. **Journal Plant Physiol,** v.171, n. 3-4, p 235-242, 2014**.** https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.07.008.

COSTA, L. Qualidade pós-colheita de citros. Belo Horizonte: Embrapa, 1994. 51 p. (Embrapa. Informe Agropecuário, 17).

DAS, A. K.; PURKAIT, A. Boron dynamics in soil: classification, sources, factors, fractions, and kinetics. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 51, n. 22, p. 2778-2790, 2020. https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1849261.

DAS, K.; ROYCHOUDHURY, A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. **Frontiers in environmental science**, v. 2, p. 53, 2014. https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00053

DELL, B.; HUANG, L. Physiological response of plants to low boron. **Plant and Soil**, v. 193, p. 103-120, 1997. https://doi.org/10.1023/A:1004264009230

DHALIWAL, S. S.; NARESH, R. K.; MANDAL, A.; SINGH, R.; DHALIWAL, M. K. Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: A review. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 1, p. 100007, 2019. https://doi.org/10.1016/j.indic.2019.100007

DUGGAN, J.B. A promising attempt to cure chlorosis, due to manganese deficiency, in a commercial cherry orchard. **Journal of Pomology and Horticultural Science**, v. 20, p. 69-79, 1943. https://doi.org/10.1080/03683621.1943.11513598

DUGGER, W. M. Boron in plant metabolism. **Encyclopedia of plant physiology**, v. 15, p. 626-650, 1983. https://doi.org/10.1016/j.indic.2019.100007

EGGERT, K.; VON WIREN, N. Response of the plant hormone network to boron deficiency. **New Phytologist**, v. 216, n. 3, p. 868-881, 2017. https://doi.org/10.1111/nph.14731

EL-DEEN, E. M. A.; ATTIA, M. F.; SHEREN, A. ABD EL-HAMIED. Response of pear (Le Conte cv.) trees grown in calcareous soil to trunk injection and foliar application of some micronutrients. **Alexandria Science Exchange Journal**, v. 39, p. 747-761, 2018. https://doi.org/10.21608/ASEJAIQJSAE.2018.23086

ELLIOTT, M. L.; BROSCHAT, T. K. Detection of thiabendazole fungicide in coconut palms using a bioassay. **International Palm Society Inc**, v. 56, n. 1, p. 21-27, 2012.

EMBRAPA SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro**, v. 3, 2013. 20 p.

FELTRE, R. Química: físico-química. 3. ed. v. 2, 1992. 474 p.
FERNANDEZ-ESCOBAR, R.; BARRANCO, D.; BENLLOCH, M. Overcoming iron chlorosis in olive and peach trees using a low-pressure trunk-injection method. **HortScience**. v. 28, p.192-194, 1993. http://.doi.org/10.21273/HORTSCI.28.3.192

FERREIRA, J. A. TALAMINE, V.; FACCO, J. F.; RIZZETTI, T. M.; FERREIRA, J. M. S.; OLIVEIRA, F. A.; PRESTES, O. D.; ZANELLA, R.; MARTINS, M. L.; ADAIME, M. B.; NAVICKIENED, S.; BOTTOLI, C. G. B. Determination of pesticide residues in coconut tree trunks by modified QuEChERS method and ultra-high-performance liquid chromatography coupled to triple quadrupole tandem mass spectrometry. **Analytical Methods**, v. 7, n. 10, p. 4237-4245, 2015. https://doi.org/10.1039/C5AY00323G

FERREIRA, J. A.; SANTOS, L. F.; SOUZA, N. R.; NAVICKIENE, S.; DE OLIVEIRA, F. A.; TALAMINI, V. MSPD sample preparation approach for reversed-phase liquid chromatographic analysis of pesticide residues in stem of coconut palm. **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 91, n. 2, p. 160-164, 2013. https://doi.org/10.1007/s00128-013-1018-3

FERREIRA, J.; FONTES, H.; PASSOS, E.; de MIRANDA, F. R.; CINTRA, F.; BASTOS, E. **Coco anão.** Belo Horizonte: Embrapa: Tabuleiros Costeiros, 2011. 62p. (Embrapa - Tabuleiros Costeiros. Informe Agropecuário, 32).

FILHO, G. C.N. **Recomendações Técnicas para o Cultivo do Coqueiro em Roraima**. Embrapa Roraima, 2004. 09 p.

FONTES, H. R.; FERREIRA, J. M. S.; SIQUEIRA, L. A. **Sistema de produção para a cultura do coqueiro.** Aracaju: Embrapa: Tabuleiros Costeiros, 2002. 63 p. (Embrapa - Tabuleiros Costeiros, 01).

FREMOND, Y.; ZILLER, R.; NUCÉ DE LAMOTHE, M. de. **El cocotero: técnicas agrícolas y producciones tropicales**. Barcelona: Editorial Blume, 1975. 237 p.

GERGICHEVICH, C. M.; REYES-DIAZ, M.; GUERRERO, J.; ONDRASEK, G. Physiological and nutritional responses in two highbush blueberry cultivars exposed to deficiency and excess of boron. **Journal of soil science and plant nutrition,** v. 17, n. 2, p. 307-318, 2017. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017005000024

GHAZIMAHALLEH, B. G.; AMERIAN, M. R.; KAHNEH, E.; RAHIMI, M.; TABARI, Z. T. Effect of biochar, mycorrhiza, and foliar application of boron on growth and yield of peanuts. **Gesunde Pflanzen**, v. 74, n. 4, p. 863-877, 2022. https://doi.org/10.1007/s10343-022-00702-6

GIANNOPOLITIS, O.; RIES, S. K. Superoxide dismutase: I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v. 59, p. 309-314, 1977. https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309

GOLI, E; HIEMSTRA, T; RAHNEMAIE, R. Interaction of boron with humic acid and natural organic matter: Experiments and modeling. **Chemical Geology**, v. 515, p. 1-8, 2019. https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.03.021

HAJIBOLAND, R.; FARHANGHI, F. Remobilization of boron, photosynthesis, phenolic metabolism and anti-oxidant defense capacity in boron-deficient turnip (*Brassica rapa* L.) plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 56, n. 3, p. 427-437, 2010. https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2010.00478.x

HAMURCU, M.; ARSLAN, D.; HAKKI, E.E.; OZCAN, M.M.; PANDEY, A.; KHAN, M.K.; GEZGIN, S. Boron application affecting the yield and fatty acid composition of soybean genotypes. **Plant, Soil and Environment,** v.65, n.5, p.238–243, 2019. https://doi.org/10.17221/679/2018-PSE

HAN, SHUANG.; CHEN, L-S.; JIANG, H-X.; SMITH, B. R.; YANG, L. T.; XIE, C. Y. Boron deficiency decreases growth and photosynthesis, and increases starch and hexoses in leaves of citrus seedlings. **Journal of plant physiology**, v. 165, n. 13, p. 1331-1341, 2008. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2007.11.002

HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. Biochemical and Developmental Characterization of Multiple Forms of Catalase in Tobacco Leaves. **Plant Physiology**, v. 84, p. 450-455, 1987. https://doi.org/10.1104/pp.84.2.450

HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplast. I. Kinetics and Stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 125, n. 1, p. 189 -198. 1968. https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1

HEBBAR, K. B.; BALASIMHA, D.; THOMAS, G. V. Plantation crops response to climate change: coconut perspective. **Climate-resilient horticulture: adaptation and mitigation strategies**, p. 177-187, 2013. https://doi.org/10.1007/978-81-322-0974-4_16

HEBBAR, K. B.; BERWAL, M. K.; ARIVALAGAN, M.; CHATURVEDIi, V. K. Physiological and biochemical response of coconut to climate change variables. **Astral International Pvt**. **Ltd., New Delhi**, v.1, p. 45-60, 2017.

HEBBAR, K. B.; BERWAL, M. K.; CHATURVEDI, V. K. Plantation crops: climatic risks and adaptation strategies. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 21, p. 428-436, 2016. https://doi.org/10.1007/s40502-016-0265-9

HEGAZI, E. S.; EL-MOTAIUM, R. A.;YEHIA, T. A.; HASHIM, M. E. Effect of foliar boron application on boron, chlorophyll, phenol, sugars and hormones concentration of olive (*Olea europaea* L.) buds, leaves, and fruits. **Journal of Plant Nutrition**, v. 41, n. 6, p. 749-765, 2018. https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1425438

HIRSCHI, K. D. The calcium conundrum. Both versatile nutrient and specific signal. **Plant physiology**, v. 136, n. 1, p. 2438-2442, 2004. http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7348.1934.tb06910.x

HOLANDA, J. S.; FERREIRA NETO, M.; SILVA, R. A.; CHAGAS, M. C. M.; SOBRAL, L. F.; GHEYI, H. R. **Tecnologia para a produção intensiva de coco Anão verde**. Natal: Emparn, 2007. 40 p. (Emparn. Boletim de Pesquisa, 34).

HU, H.; BROWN, P. H. Absorption of boron by plant roots. **Plant and soil**, v. 193, p. 49-58, 1997. https://doi.org/10.1023/A:1004255707413

HUA, Y., ZHANG, D..; ZHOU, T.; HE, M.; DING, G.; SHI, L.; XU, F. Transcriptomics-assisted quantitative trait locus fine mapping for the rapid identification of a nodulin 26-like intrinsic protein gene regulating boron efficiency in allotetraploid rapeseed. **Plant, cell & environment**, v. 39, n. 7, p. 1601-1618, 2016. https://doi.org/10.1111/pce.12731

HUANG, H.; ULLAH, F.; ZHOU, D. X.; YI, M.; ZHAO, Y. Mechanisms of ROS regulation of plant development and stress responses. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 800, 2019. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00800

INMET INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de dados meteorológicos** . Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/. Acesso em 28 de fevereiro de 2023.

JOKANOVIĆ, M. B. Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 4, p. 1424, 2020. https://doi.org/10.3390/ijms21041424

JÚNIOR, J. P. S.; PRADO, R.; CAMPOS, C. N., JUNIOR, S. G. S., OLIVEIRA, K. R., CAZETTA, J. O.; GRATÃO, P. L. Addition of silicon to boron foliar spray in cotton plants modulates the antioxidative system attenuating boron deficiency and toxicity. **BMC Plant Biology**, v. 22, n. 1, p. 338, 2022. https://doi.org/10.1186/s12870-022-03721-7

KACIENĖ, G.; ZALTAUSKAITĖ, M.; MILCĖ, J. Z. E.; JUKNYS, R. Role of oxidative stress on growth responses of spring barley exposed to different environmental stressors. **Journal of Plant Ecology**, v. 8, n. 6, p. 605-616, 2015. https://doi.org/10.1093/jpe/rtv026

KAMALAKSHIAMMA, P. G.; SHANAVAS, M.; PREMA, D.; MATHEW, J. Effect of borax application on young coconut palms. **Coconut Research and Development**, v. 21, n. 02, p. 34-34, 2005. https://doi.org/10.37833/cord.v21i02.404.

KAMALAKSHIAMMA, P.G. **Role of Boron in Coconut Nutrition**. Final Report, 2001. 106 p.

KANZARIA, D. R.; POLARA, N. D.; PATEL, H. N.; CHITRODA, R. L.; MALAM, V. R.; CHOVATIA, R. S. ; GHELAN, Y. H. Boron and NAA Response to Flowering and Yield of Coconut. **Trends in Biosciences**, v. 10, n. 19, p. 3384-3386, 2017.

KARTHIKA, K. S.; RASHMI, I.; PARVATHI, M. S. Biological functions, uptake and transport of essential nutrients in relation to plant growth. **Plant nutrients and abiotic stress tolerance**, p. 1-49, 2018. https://doi.org/10.1007/978-981-10-9044-8_1

KHOSROSHAHI, Z. M.; NEZAMI, S.; HAJIAMIRI, A. Rapid correction of iron deficiency in peach trees by direct injection of ferrous sulfate into the trunk. **Archives of Agronomy and Soil Science**, p. 1-14, 2022. https://doi.org/10.1080/03650340.2022.2094369

KIRKBY, E. A.; ROMHELD, V. **Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade**. Goiânica: IPNI, 2007. 24 p. (IPNI **.** Informações Agronômicas, 118).

KOHLI, S. K.; KOHLI, S.K.; KAUR, H.; HANDA, N.; KHANNA, K.; BHARDWAI, R.; RINKLEBE J.; AHMAD, P. Boron in plants: Uptake, deficiency and biological potential. **Plant Growth Regulation**, v. 100, p. 1-16, 2022. https://doi.org/10.1007/s10725-022-00844-7

KOSHIBA, T.; KOBAYASHI, M.; MATOH, T. Boron deficiency**. Plant Signaling and Behavior, v** 4, n 6, p. 557-558, 2009. https://doi.org/10.4161/psb.4.6.8734

LEVY, B. F. G. Tree Injection III—Re-Invigoration of Debilitated Trees. E. **East Malling Research Station,** p. 107–112, 1946.

LEWIS, D.H. Are there interrelations between the metabolic role of boron synthesis of phenolic phytoalexins and the germination of pollen. **New Phytologist,** v. 84, p. 261-270, 1980. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04426

LI, M.; SUN, H.; SUN, J.; LI, J.; ZHANG X.; ZHANG, K.; WANG, K.; WANG, T.; JI, X.; HE, C.; LI. Y.; ZOU, C. Moderate Boron Concentration Beneficial for Flue-Cured Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) Seedlings Growth and Development. **Agriculture**, v. 12, n. 10, p. 1670, 2022. https://doi.org/10.3390/agriculture12101670

LI, M.; ZHAO, Z.; ZHANG, Z.; ZHANG, W.; ZHOU, J.; XU, F.; LIU, X. Effect of boron deficiency on anatomical structure and chemical composition of petioles and photosynthesis of leaves in cotton (*Gossypium hirsutum L.*). **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 4420, 2017. https://doi.org/10.1038/s41598-017-04655-z

LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**, v. 1, n.1, p. F4.3.1 - F4.3.8, 2001. https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01

LINDOLFO, M. M.; MATOS, G. S. B.; PEREIRA, W. V. S. Productivity and nutrition of fertigated açaí palms according to boron fertilization. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 42, p. e-601, 2020. https://doi.org/10.1590/0100-29452020601

LIPMAN, C.B.; GORDON, A. Further studies on new methods in the physiology and pathology of plants. **The Journal of General Physiology**. v. 7, 615-623, 1925. https://doi.org/10.1085%2Fjgp.7.5.615

LOOMIS, W. D; DURST, R. W. Chemistry and biology of boron. **Bio Factors Oxford England**, v. 3, n. 4, p. 229-239, 1992.

LUACES, L. P.; ELVIRA, Y. M. M.; MONZON, C. M. D.; MAZZA JEANDET, S. M.; RODRÍGUEZ DA SILVA RAMOS, V. A.; MARTÍNEZ BEARZZOTTI, G. C. Efecto de inyecciones nutritivas al tronco en la productividad de naranja valencia. **Cultivos Tropicales**, v. 36, n. 2, p. 142-147, 2015. http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v36n2/ctr19215.pdf

LUACES, P. A.; HERRERA, M. D. G.; GAIAD, J. E. Trunk nutrition in fruit crops: An overview. **Fruit Crops**, p. 481-495, 2020. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818732-6.00034-4

LUACES, P.A.; ELVIRA, M. M. Y,; MONZON, C. D. M.; JEANDET,.M. M. S.; RAMOS, S. R.; BEARZZOTTI, G.C.. M. Efecto de inyecciones nutritivas al tronco en la productividad de naranja valencia. **Cultivos Tropicales**. v. 36, n. 2, p. 142–147, 2015.

MAHENDRAN, P. P.; SUGANYA, S.; KANNAN, P.; YUVARAJ, M. Growth, Nutrient Uptake, Yield and Quality Parameters of Nendran Banana (Musa Spp.): As Influenced by the Application of Boron in Typic Rhodustalf of Theni District, Tamil Nadu, India. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 53, n. 5, p. 559-575, 2022. https://doi.org/10.1080/00103624.2021.2017958

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres. 2006. 631p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS. 1997. 314 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Evaluation of the nutritional state of plants: principles and applications.**, 1989. 201 p.

MANTOVANI, J. P.M.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Adubação foliar de boro em diferentes estádios fenológicos da cultura do amendoim. **Revista Ceres**, v.60, n.2, p.270-278, 2013. https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000200017

MANZOOR, H.; ATHAR, H.; RASUL, S.; KANWAL, T.; ANJAM, M.S.; QURESHI, M.K.; BASHIR, N.; ZAFAR, Z.U.; ALI, M.; ASHRAF, M. Avenues for improving drought tolerance in crops by ABA regulation: Molecular and physiological basis. **Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach,** p. 177-193, 2016. https://doi.org/10.1002/9781119054450.ch13

MARODIN, J.C.; RESENDE, J.T.V.; MORALES, R.G.F.; CAMARGO, C.K.; CAMARGO, L.K.P.; PAVINATO, P.S. Qualidade físico-química de frutos de morangueiro em função da adubação potássica. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.9, n.3, p.50-57, 2010. https://doi.org/10.18188/sap.v9i3.5260

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: **Academic Press**, 1997. 404 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press,1995. 889 p.

MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. London: Academic press, 2011, 650 p.

MATHEW, J.; KRISHNAKUMAR, V.; SRINIVASAN, V.; BHAT, R.; NAMBOOTHIRI, C. G.; HARIS, A. A. Standardization of critical boron level in soil and leaves of coconut palms grown in a tropical Entisol. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 18, n. 2, p. 376-387, 2018. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162018005001203

MATOH, T. Boron in Plant Cell Walls. **Plant and Soil**, v. 193, n. 1/2, p. 59-70, 1997. http://www.jstor.org/stable/42948088

MAZIAH, M.; ZURAIDA, A. R.; HALIMI, M. S.; ZULKIFLI, H. S.; SREERAMANAN, S.. Influence of boron on the growth and biochemical changes in plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) inoculated banana plantlets. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 26, p. 933-944, 2010. https://doi.org/10.1007/s11274-009-0256-3

MEDEIROS, M. D. B. C. L.; VALENTE, L. E. C.; RODRIGUES, F. H. S.; AVIZ, W. L. C. D.; LINS, P. M. P.; LIMA JÚNIOR, J. A. D. Fenologia do coqueiro irrigado em função de diferentes taxas evapotranspirativas. **IRRIGA**, v. 27, n. 1, p. 208-220, 2022. http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2022v27n1p208-220

MEDINA, J. C. **Coco: da cultura ao processamento e comercialização**. Campinas: ITAL , 1980. 285 p.

MISHRA, S.; HECKATHORN, S.; FRANTZ, J.; YU, F.; GRAY, J. Effects of boron deficiency on geranium grown under different nonphotoinhibitory light levels. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 134, n. 2, p. 183-193, 2009. https://doi.org/10.21273/JASHS.134.2.183

MIWA K.; WAKUTA S.; TAKADA S.; IDE K.; TAKANO J.; NAITO S.; OMORI H.; MATSUNAGA T.; FUJIWARA T. Roles of BOR2, a boron exporter, in cross linking of rhamnogalacturonan II and root elongation under boron limitation in Arabidopsis. **Plant Physiology**, v. 163, p. 1699-1709, 2013. https://doi.org/10.1104/pp.113.225995

MOHEBI, A.H.; NABHANI, L.; DIALAMI, H. Yield and yield components of 'Sayer' date palm as affected by levels and methods of iron fertilization. **International Date Palm Conference**, p. 131-136, 2010. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.882.14

MONTECCHIO, L. A venturi effect can help cure our trees. **Journal of visualized experiments**, v. 80, p. 1-8, 2013. https://doi.org/10.3791%2F51199

MOURA, J. L. Endoterapia. Ilhéus: MAPA, 2021. 124p

MOURA, J. Z.; PRADO, R. M.; BENVINDO, R. N.; ALENCAR, L. C. Applying boron to coconut palm plants: effects on the soil, on the plant nutritional status and on productivity boron to coconut palm trees. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition.** v. 13, n.1, p. 01-06, 2013. http://dx.doi.org/10.4067/s0718-95162013005000008

MOUSAVI, S. M; MOTESHAREZADEH, B. Boron deficiency in fruit crops. **Fruit Crops**, p. 191-209, 2020 https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818732-6.00015-0

MUSHTAQ, N. U.; SALEEM, S.; RASOOL, A.; SHAH, W. H.; TAHIR, I.; HAKEEM, K. R.; REHMAN, R. U. Functional Characterization of the Antioxidant Enzymes in Plants Exposed to Environmental Stresses. **Antioxidant Defense in Plants: Molecular Basis of Regulation**. Singapore: Springer Nature Singapore, p. 15-30, 2022. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7981-0_2

NAEEM, M.; NAEEM, M. S.; AHMAD, RASHID.; AHMAD, R.; ASHRAF, M. Y.; IHSAN, M. Z.; NAWAZ, F.; ATHAR, HABIB-UR-REHMAN; ASHRAF, M.; ABBAS, H. T.; ABDULLAH, M. Improving drought tolerance in maize by foliar application of boron: Water status, antioxidative defense and photosynthetic capacity. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 64, n. 5, p. 626-639, 2018. https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1370541.

NAIR, K. P. The coconut palm (*Cocos nucifera* L.). **Tree Crops: Harvesting Cash from the World's Important Cash Crops**, p. 79-128, 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62140-7_3

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidases in spinach chloroplast. **Plant and Cell Physiology**, v. 22, n. 5, p. 867-880, 1981. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232

NAZIR, G.; KUMAR, P.; SHUKLA, A.K.; SHARMA, U. Influence of boron fertilization on cauliflower productivity, nutrient uptake and soil nutrient status in an acid Alfisol in Northwestern Himalaya. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Basingstoke, v.50, n.12, p.1403-1416, 2019. https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1614610

NERY, M. V. S.; BEZERRA, V. S.; LOBATO, M. S. A. Avaliação físico-química de coco-anão cultivado no estado do Amapá. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 4, n. 1, p. 45-51, 2002.

NINGAVVA, B. V.; KULAPATI, H.; PARAMAPPA, M. K.; SADASHIV, N. Effect of Soil Application and Foliar Spray of Zinc And Boron on Quality of Ratoon Banana cv. Grand Naine Under Hill Zone of Karnataka. **Trends in Biosciences** v.7, p. 3294–3296, 2014.

NOBRE, J. G. A.; VIANA, T. V. A.; MOREIRA, L. G. Influência da fertirrigação potássica na produtividade da mamoneira. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada.** v. 4, n. 4, p. 207-216, 2010. https://doi.org/10.7127/RBAI.V4N400031

OERKE, E. C.; GERHARDS, R.; MENZ, G.; SIKORA, R. A. **Precision Crop Protection-The challenge and use of heterogeneity**. Dordrecht: Springer, 2010. 441p. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9277-9

OLDONI, F. C. A.; LIMA, A. M. N.; CAVALCANTE, I. H. L.; SOUSA, K. D. S. M. D.; CARNEIRO, M. A., CARVALHO, I. R. B. D. Boron fertilizing management on fruit production and quality of mango cv. Palmer in semiarid. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, p.e-622, 2018. https://doi.org/10.1590/0100-29452018622

PARTNUDE, E.; NELSON, S. **Boron deficiency of palms in Hawaii**. Hawaii: University of Hawaii, 2012. 6 p.

PASSOS, C. D.; PASSOS, E. E. M.; ARAGÃO, W. M. Comportamento Fenológico do Coqueiro Anão Verde nos Tabuleiros Costeiros de Sergipe. **Revista Brasileira De Biociências**, v. 5, p. 393-395, 2007.

PATIL, H.; TANK, R. V.; BENNURMATH, P.; DONI, S. Role of zinc, copper and boron in fruit crops: A review. **International Journal of Chemical Studies** v.6, n. 1, p. 45-1040, 2018.

PAUL, A.; C. NAIR C. Effect of foliar application of nutrients on quality characters of banana (Musa AAB) Nendran. **International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture,** v.7, p. 101-04, 2015.

PINHO, L. G. R.; MONNERAT, P. H.; PIRES, A. A.; MARCIANO, C. R.; SOARES, Y. J. B. Distribuição de nutrientes e sintomas visuais de deficiência de boro em raízes de coqueiro-anão verde. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2581-2590, 2008. https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600035

PINHO, L. G. R.; MONNERAT, P. H.; PIRES, A. A.; SANTOS, A. L. A. Absorção e redistribuição de boro em coqueiro-anão-verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.12, p.1769-1775, 2008.

PINHO, L. G. R.; MONNERAT, P. H.; PIRES, A. A.; SANTOS. Absorção e redistribuição de boro em coqueiro-anão-verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.12, p.1769-1775, 2008. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008001200018

PINHO, L.G.R.; CAMPOSTRINI, E.; MONNERT, P.H.; NETTO, A.T.; PIRES, A.A.; MARCIANO, C.R.; YASKA, J.B.S. Boron deficiency affects gas exchange and photochemical efficiency (JPI test parameters) in green dwarf coconut. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n.3, p.439-451, 2010. https://doi.org/10.1080/01904160903470471.

PORTELA, E.; VALE, R.; ABREU, M. M. Carências de boro no interior: norte e centro-de Portugal. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 484-517, 2015.

POZA-VIEJO, L.; ABREU, I.; GONZÁLEZ-GARCÍA, M. P.; ALLAUCA, P.; BONILLA, I.; BOLAÑOS, L.; REGUERA, M. Boron deficiency inhibits root growth by controlling meristem activity under cytokinin regulation. **Plant science**, v. 270, p.176-189, 2018. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.02.005.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas.** Jaboticabal: UNESP, 2008. 407 p.

PRADO, R. M. **Mineral nutrition of tropical plants**. Jaboticabal: UNESP, 2021. 349 p. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71262-4_10.

QUDDUS , A.; SIDDIKY, A.; ALI, R.; AHMED, R, SARKER, K. K; ARFIN, S. Influence of boron and zinc on yield, nutrient uptake and quality of strawberry. **Journal of Plant Nutrition**, v. 45, n.6, p. 866-882, 2022. https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1998528

QUILES-PANDO, C.; NAVARRO-GOCHICOA, M.T.; HERRERA-RODRÍGUEZ, M.B.; CAMACHO-CRISTÓBAL, J.J.; GONZÁLEZ-FONTES, A.; REXACH, J. Boron deficiency increases cytosolic Ca^{2+} levels mainly via Ca^{2+} influx from the apoplast in *Arabidopsis thaliana* roots. **International Journal of Molecular Sciences,** v. 20, n. 9, p. 1-16, 2019. https://doi.org/10.3390/ijms20092297

RAESE, J.T.; PARISH, C.L.; STAIFF, D.C. Nutrition of apple and pear trees with foliar sprays, trunk injections or soil applications of iron compounds. **Journal of Plant Nutrition**, v. 9, p. 987-999, 1986.

RANASINGHE, C. S.; FERNANDO, W. P. K. K; ZANNER, S. M. M.; MUBARAK, A. M. Analysis of residue levels in kernel and nut water of coconut palms injected with monocrotophos. **Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka**, v. 31, n. 3-4, p.431-436, 2003. http://dx.doi.org/10.4038/jnsfsr.v31i3-4.2470.

REIL, W.; BEUTEL, J.; HEMSTREET, C.; SEYMAN, W. Trunk injection corrects iron and zinc deficiency in pear trees. **California Agriculture**,v.32, n.10, p.22-24, 1978.

RIAZ, M.; YAN, L.; WU, X.; HUSSAIN, S.; AZIZ, O.; JIANG, C. Boron supply maintains efficient antioxidant system, cell wall components and reduces aluminum concentration in roots of trifoliate orange. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 137, p. 93-101, 2019. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.02.003

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais** – 5ª Aproximação. Viçosa-MG. 359p. 1999.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, 1999. 359 p. (CFSEMG, 5)

RIBEIRO, G.; MONNERAT, P. H.; CAMPANHARO, M.; RABELLO, W. S. Adubação potássica aplicada na axila foliar e no solo em coqueiro anão verde. **Revista Ceres**, v. 63, p. 68-75, 2016. https://doi.org/10.1590/0034-737X201663010010.

ROACH, W.A. III. Injection for the Diagnosis and Cure of Physiological Disorders of Fruiot Trees. **Annals of applied Biology,** v. 21, n.2, p.333-343, 1934. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1934.tb06910.x

ROACH, W.A. Tree Injection: A Progress Report. **Annals of applied Biology**. v. 6, p. 137-141, 1933.

ROBERTS, W.O.; LANDAU, N. Multiple mineral deficiencies in fruit trees: injections as a first aid treatment. **Journal of Pomology and Horticultural Science**, v. 23, n.2, p. 80-91, 1947. https://doi.org/10.1080/03683621.1947.11513656.

RODRÍGUEZ, M. V. G.; CASTILLO, J. D. D. L.; TINAUT, M. C Phenylalanine ammonia-lyase activity and ortho-diphenolic content with regard to boron nutrition in sunflower leaves. **Journal of plant nutrition**, v. 10, n. 17, p. 2231-2245, 1987. https://doi.org/10.1080/01904168709363774

RODRIGUEZ, M. V. G.; CASTILLO, J. D. D. L.; TINAUT, M. C. Polyphenol oxidase activity and ortho-diphenolic content in sunflower leaves in relation to boron nutrition. **Journal of plant nutrition**, v. 10, n. 17, p. 2195-2209, 1987. https://doi.org/10.1080/01904168709363774

ROSOLEM, C. A.; BOGIANI, J. C. **Nutrição e estresses nutricionais em algodoeiro**. In: O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes. Cuiabá: IMAMT, 2014. 123 p.

SA, A. A D.; ERMANI, P. R.; NAVA, G.; AMARANTE, C. V. T. D. Influência de formas de aplicação de boro na qualidade e no rendimento de maçãs (*Malus domestica*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, p. 487-494, 2014. https://doi.org/10.1590/0100-2945-171/13 .

SABATER, B.; RODRIGUEZ, M. T. Control of chlorophyll degradation in detached leaves of barley and oat through effect of kinetin on chlorophyllase levels. **Physiologia Plantarum** , v. n. 43, p.274-276. 1978 https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1978.tb02577

SALDANHA, E. C. M.; SILVA JUNIOR, M. L. D.; OKUMURA, R. S.; WADT, P. G. S. Normas DRIS para a cultura do coqueiro híbrido no estado do Pará. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 99-109, 2015. https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n411rc.

SALEH, J.; H.; YAAGHOOB, H.; GHOREISHI, M. Is Trunk Injection More Efficient Than Other Iron Fertilization Methods in Date Palms Grown in Calcareous Soils? **Journal of Advanced Agricultural Technologies**, v. 3, n. 3, 2016. http://dx.doi.org/10.18178/joaat.3.3.160-163.

SAMREEN, T.; DEGRYSE, F.; BAIRD, R.; DA SILVA, R. C.; ZAHIR, Z. A.; NAZIR, M. Z.; WAKEEL, A.; MUNTAHA, S. T.; MCLAUGHLIN, M. Development and testing of improved efficiency boron-enriched diammonium phosphate fertilizers. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.21, p. 1134-1143, 2021. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00428-w.

SANTOS, A. L.; MONNERAT, P. HENRIQUE; CARVALHO, A. C. Estabelecimento de normas DRIS para o diagnóstico nutricional do coqueiro-anão verde na região norte fluminense. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, p. 330-334, 2004. https://doi.org/10.1590/S0100-29452004000200035

SANTOS, A.L.; MONNERAT, P.H.; ALVES, E.A.B. Teor foliar de boro em função da aplicação de bórax na axila foliar de coqueiro anão verde no Norte Fluminense. **Pesquisa Agropecuária e Desenvolvimento Sustentável**, v.1, p.165-171, 2003.

SANTOS, G. C. G.; VALLADARES, G. S.; ABREU, C. A.; DE CAMARGO, O. A.; GREGO, C. R. Assessment of copper and zinc in soils of a vineyard region in the state of São Paulo, Brazil. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2013, p. 1-11, 2013. https://doi.org/10.1155/2013/790795

SANTOS, J. M. **Diagnose do estado nutricional do coqueiro anão na região do Vale do Saõ Francisco**. 2018. 40 f. Monografia (Bacharel em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

SHAABAN, M.M. Injection fertilization: a full nutritional technique for fruit trees saves 90-95% of fertilizers and maintains a clean environment. **Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology,** v. 3, n. 1, p. 22-27, 2009.

SHAABAN, M. M. **Trunk nutrition**. In: Advances in Citrus Nutrition. Dordrecht: Springer, 2012. 478 p. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4171-3

SHAPIRO, S.S. WILK, M B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965. https://doi.org/10.2307/2333709

SHELP, B J. Physiology and biochemistry of boron in plants. **Boron and its role in crop production**, p. 53-85, 1993.

SHORROCKS, V. M. The occurrence and correction of boron deficiency. **Plant and soil**, v. 193, n. 1, p. 121-148, 1997. https://doi.org/10.1023/A:1004216126069.

SILVA, A. M. **Adubação com potássio e boro sobre a produtividade, qualidade do fruto e teor de prolina em laranjeira'Pêra'**. 2016. 83 f. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos, 2009.634 p. (Embrapa. Informação tecnológica, 2).

SILVA, J. L. F.; PRADO, R. D. M.; SOUZA JUNIOR, J. P.; TENESACA, L. F. L.; SILVA, D. L.; PINSETTA JUNIOR, J. S. Feasibility of silicon addition to boron foliar spraying in cauliflowers. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n. 3, p. 2448-2455, 2021. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00536-7.

SILVA, R. A.; CAVALCANTE, L. F.; DE ALENCAR PAES, R.; DE HOLANDA, J. S.; COMASSETTO, F. Avaliação do estado nutricional do coqueiro anão verde fertirrigado com nitrogênio e potássio. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 1, p. 119-130, 2009. https://www.redalyc.org/pdf/2371/237117625019.pdf.

SILVA, R. C.; BAIRD, R.; DEGRYSE, F.; MCLAUGHLIN, M. J. Slow and fast-release boron sources in potash fertilizers: spatial variability, nutrient dissolution and plant uptake. **Soil Science Society of America Journal**, v. 82, n. 6, p. 1437-1448, 2018. https://doi.org/10.2136/sssaj2018.02.0065

SINGH, H. P.; BATISH, D. R.; KOHLI, R.V.; ARORA, K. Arsenic-induced root growth inhibition in mung bean (*Phaseolus aureus* Roxb.) is due to oxidative stress resulting from enhanced lipid peroxidation. **Plant Growth Regulation**, v. 53, p. 65-73, 2007. https://doi.org/10.1002/ldr.2385.

SOARES, M. R.; CASAGRANDE, J. C; ALLEONI, L. R. Adsorção de boro em solos ácricos em função da variação do pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, 2008. https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100011

SOBRAL, F. L. **Nutrição e adubação do coqueiro**. In: FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. A cultura do coqueiro no Brasil. Aracaju: Embrapa-SPI, 1998. 129-157.

SOBRAL, L. F.; FREITAS, J.; HOLANDA, J. S.; FONTES, H. R.; CUENCA, M. A. G.; RESENDE, R. S. **Coqueiro-anão verde**. In: NAUMOV, A.; CRISOSTOMO, L. A. C. Adubando para alta produtividade e qualidade: fruteiras tropicais do Brasil: Fortaleza, Embrapa, 2009. p. 89-103.

SOBRAL, L. F.; NOGUEIRA, L. C. Influência de nitrogênio e potássio, via fertirrigação, em atributos do solo, níveis críticos foliares e produção do coqueiro-anão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1675-1682, 2008. https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400032

SOTTA, N.; DUNCAN, S; TANAKA, M.; SATO, T.; MARE´E, A.F.M.; FUJIWARA, T.; GRIENEISEN, V.A. Rapid transporter regulation prevents substrate flow traffic jams in boron transport. **eLIFE**, p. 1-27, 2017. https://doi.org/10.7554/elife.27038.

SOURI, M. K.; HATAMIAN, M.; TESFAMARIAM, T. Aminochelates in plant nutrition: a review. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 1, p. 67-78, 2019. https://doi.org/10.1186/s40538-019-0170-3.

REHMAN, A. U.; FAROOQ, M.; RASHID, A.; NADEEM, F.; STUERZ, S.; ASCH, F.; SIDDIQUE, K. H.; REHMAN, A. Boron nutrition of rice in different production systems. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, n. 3, p. 25, 2018. https://doi.org/10.1007/s13593-018-0504-8

TABATA, S. I.; HIRAKIMOTO, T.; NISHIURA, M.; WATANABE, M. Synthesis of a Lewis-acidic boric acid ester monomer and effect of its addition to electrolyte solutions and polymer gel electrolytes on their ion transport properties. **Electrochimica acta**, v. 48, n. 14-16, p. 2105-2112, 2003. https://doi.org/10.1016/S0013-4686(03)00192-0

TABELIN, C. B.; HASHIMOTO, A.; IGARASHI, T.; YONEDA, T. Leaching of boron, arsenic and selenium from sedimentary rocks: II. pH dependence, speciation and mechanisms of release. **Science of the Total Environment**, v. 473, p. 244-253, 2014. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.029

TAIZ, I.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed. 3ª ed, 2004. 719 p.

TAKANO, J.; TANAKA, M.; TOYODA, A.; MIWA, K.; KASAI, K.; FUJI, K.; ONOUCHI, H. NAITO, S. FUJIWARA, T. Polar localization and degradation of Arabidopsis boron transporters through distinct trafficking pathways. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 11, p. 5220-5225, 2010. https://doi.org/10.1073/pnas.0910744107

TANAKA, M.; FUJIWARA, T. Physiological roles and transport mechanisms of boron: perspectives from plants. **European Journal of Physiology** v. 456, p. 671- 677, 2008. https://doi.org/10.1007/s00424-007-0370-8

TANAKA, Y.; NAKAMA, K.; KOIKE, A.; ISHIDA, T.; NISHIGAKI, S.; SHIBUYA, M.; KOYAMA, T. Effects of phosphorus fertilization on Citrus unshiu Marc. I. a study on translocation and distribution of phosphorus applied to the soil or injected into the trunk of citrus trees using P32 as a tracer. **Journal of the Japonese Society for Horicultural Science**. v.29, p.63-69, 1960.

TARIQ, M.; MOTT, C. J. B. The significance of boron in plant nutrition and environment a review. **Journal of Agronomy**, v 6, p.1-10, 2007. https://doi.org/10.3923/ja.2007.1.10

THOMAS, E.E.; HAAS, A.R.C. Injection method as a means of improving chlorotic orange trees. **Botanical Gazette**, v.86, p. 355-362, 1928. https://doi.org/10.1086/333905

JUAN, T.; ZHABG, C.; XIONG, Y.; KONG, C. Effects of infusion fertilizer on the fruit quality of citrus. **Journal of Anhui Agricultural Sciences**, v. 35, n.34, p.747-754, 2007.

TIAN, S.L.; SUN, X.L.; SHEN, G.N.; XU, L. Effects of compound fertilizer of (NH2) 2CO and KH2PO4 on the chestnut photosynthesis characteristics, growth and fruiting. **The Journal of Applied Ecology**, v.26, p.747-754, 2015.

TOMICIOLI, R. M.; LEAL, F. T.; COELHO, A. P. Limitação da produtividade pela deficiência de boro nas culturas da soja, milho, feijão e café. **South American Sciences**, v. 2, n. 1, p. e21100-e21100, 2021. https://doi.org/10.17648/sas.v2i1.100

TRIANTAPHYLIDES C, HAVAUX M. Singlet oxygen in plants: production, detoxification and signaling. **Trends in plant science**, v. 14, n. 4, p. 219-228, 2009. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.01.008

TRIPATHY, B. C.; OELMÜLLER, R. Reactive oxygen species generation and signaling in plants**. Plant signaling & behavior**, v. 7, n. 12, p. 1621-1633, 2012. https://doi.org/10.4161/psb.22455.

TURHAN, A. Interactive effects of boron stress and mycorrhizal (AMF) treatments on tomato growth, yield, leaf chlorophyll and boron accumulation, and fruit characteristics**. Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 67, n. 14, p. 1974-1985, 2021. https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1818724

ULUISIK, I., KARAKAYA, H. C.; KOC, A. The importance of boron in biological systems. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 45, p. 156-162, 2018. https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2017.10.008

WALLACE, G.A.; WALLACE, A. Correction of iron deficiency in trees by injection with ferric ammonium citrate solutions. **Journal of plant nutrition**, v. 9, p. 981-986, 1986. http://dx.doi.org/10.1080/01904168609363498

WARINGTON, K. The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. **Annals of Botany**, v. 37, n. 148, p. 629-672, 1923.

WIMMER, M. A.; EICHERT, T. Mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations. **Plant science**, v. 203, p. 25-32, 2013. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.12.012

WISE, J. C.; VANWOERKOM, A. H.; ACIMOVIC, S. G.; SUNDIN, G. W.; CREGG, B. M.; VANDERVOORT, C. Trunk Injection: A Discriminating Delivering System for Horticulture Crop IPM. **Entomology, Ornithology & Herpetology**, v. 3, n. 2, p. 1-7, 2014. http://dx.doi.org/10.4172/2161-0983.1000126

WOJCIK, Pawel; WOJCIK, Marzena; KLAMKOWSKI, Krzysztof. Response of apple trees to boron fertilization under conditions of low soil boron availability. **Scientia horticulturae**, v. 116, n. 1, p. 58-64, 2008. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.10.032

WORLEY, R.E.; LITTRELL, R.H.; POLLES, S.G. Pressure trunk injection promising for pecan and other trees. **HortScience .** v. 11 n. 6, p. 590-591, 1976. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.11.6.590

WU, X.; RIAZ, M.; YAN, L.; DU, C.; LIU, Y.; JIANG. C. Boron deficiency in trifoliate orange induces changes in pectin composition and architecture of components in root cell walls. **Frontiers in plant science**, v. 8, p.1-10, 2017. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01882

XU, W.; WANG, P.; YUAN, L.; CHEN, X.; HU, X. Effects of Application Methods of Boron on Tomato Growth, Fruit Quality and Flavor. **Horticulturae**, v. 7, n. 8, p. 223, 2021. https://doi.org/10.3390/horticulturae7080223

YOSHIKAWA, F.T. Correcting iron deficiency of peach trees. **Journal of plant nutrition**, v.11 n, 6-11, p. 1387-1396, 1988. https://doi.org/10.1080/01904168809363896

YOUSEFI, H.; DALIR, N.; RAHNEMAIE, R.; BABAEI, A. The alleviation of salinity-induced stress by using boron in soilless grown rose. **Journal of plant nutrition**, v. 43, n. 4, p. 526-537, 2020. https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1685103

YU, J.; BROSCHAT, T. K.; LATHAM, W. G.; ELLIOTT, M. L. Dynamics and distribution of trunk injected phosphite in Coconut Palm. **HortScience** v. 50, p. 1327-1331, 2015. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.9.1327.

ZENEBON, O.; PASCUET N. S.; TIGLEA, P**. Métodos Fisico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: IAL, 2008. 1020 p.

ZHANG, Q., ACKAH, M., WANG, M., AMOAKO, F. K., SHI, Y., WANG, L.,ZHAO, W. The impact of boron nutrient supply in mulberry (Morus alba) response to metabolomics, enzyme activities, and physiological parameters. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 200, p. 1-22, 2023. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107649.

ZHOU T.; HUA Y.; XU F. Involvement of reactive oxygen species and Ca^{2+} in the differential responses to low-boron in rapeseed genotypes. **Plant Soil**, v. 419, p. 219-236, 2017. https://doi.org/10.1007/s11104-017-3337-3.

ZIMMERMANN, M.H.; ZIEGLER, H. List of sugars and sugar alcohols in sieve-tube exudates**. Encyclopedia of Plant Physiology**, p. 480-503, 1975.

ZOKAEE, K. M.; NEZAMI, S.; HAJIAMIRI, A. Rapid correction of iron deficiency in peach trees by direct injection of ferrous sulfate into the trunk. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.69, n.8, p. 1405-1418, 2023.