

USO DE ADITIVOS NA EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOLIAR EM CANA-DE-
AÇÚCAR (*Saccharum officinarum* L.)

por

DIOGO GUIMARÃES DE CARVALHO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Bioenergia e Grãos.

Rio Verde – GO

Agosto – 2025

USO DE ADITIVOS NA EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOLIAR EM CANA-DE-
AÇÚCAR (*Saccharum officinarum* L.)

por

DIOGO GUIMARÃES DE CARVALHO

Comitê de Orientação:

Orientador: Prof. Dr. José Milton Alves- IF goiano-Campus Rio Verde

Coorientador: Prof. Dr. Aurélio Rubio Neto-IF goiano-Campus Rio Verde

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

C331 Guimarães de Carvalho, Diogo
 USO DE ADITIVOS NA EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO
 FOLIAR EM CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum* L.)
 / Diogo Guimarães de Carvalho. Rio Verde 2025.

 43f. il.

 Orientador: Prof. Dr. José Milton Alves.
 Dissertação (Mestre) - Instituto Federal Goiano, curso de
0233154 - Mestrado Profissional em Bioenergia e Grãos -
Integral (Campus Rio Verde).
 1. Extrato de algas. 2. Aminoácidos. 3. Bioativos. 4. Nutrição de
 plantas. I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese (doutorado) | ☐ Artigo científico |
| ☒ Dissertação (mestrado) | ☐ Capítulo de livro |
| ☐ Monografia (especialização) | ☐ Livro |
| ☐ TCC (graduação) | ☐ Trabalho apresentado em evento |

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Diogo Guimarães de Carvalho

Matrícula:

2024102331540004

Título do trabalho:

Uso de aditivos na eficiência da adubação foliar em cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 06 / 10 / 2025

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
gov.br
DIOGO GUIMARÃES DE CARVALHO
Data: 06/10/2025 18:55:38-0380
Verifique em: <https://validar.jf.gov.br>

Rio Verde

Local

01 / 10 / 2025

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente
gov.br
JOSE MILTON ALVES
Data: 02/10/2025 13:00:57-0380
Verifique em: <https://validar.jf.gov.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 69/2025 - SREPG/CMPP/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

**ATA Nº 116 (CENTO E DEZESSEIS)
BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Ao primeiro dia do mês de agosto do ano de dois mil e vinte e cinco, às 14h00min (quatorze horas), reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão pública realizada na Sala 52 da Diretoria de Pós-Graduação, Pesquisa e Inovação do Campus Rio Verde, presencialmente, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, de autoria de **DIOGO GUIMARÃES DE CARVALHO**, discente do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Aurélio Rubio Neto, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor da Dissertação que, em 30 min, procedeu a apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o examinado, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos, e procedida às correções recomendadas, a Dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM BIOENERGIA E GRÃOS**, na área de concentração Agroenergia, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGBG da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade, se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Dissertação em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da Banca Examinadora.

Membros da Banca Examinadora

Nome	Instituição	Situação no Programa
Aurélio Rubio Neto	IF Goiano – Campus Rio Verde	Presidente
Mateus Neri Oliveira Reis	IF Goiano – Campus Rio Verde	Membro interno
Matheus Vinicius Abadia Ventura	Unibrás - Rio Verde	Membro externo

Documento assinado eletronicamente por:

- **Aurelio Rubio Neto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO**, em 01/08/2025 15:47:44.
- **Mateus Neri Oliveira Reis, 2025102344060003 - Discente**, em 01/08/2025 15:51:07.
- **Matheus Vinicius Abadia Ventura, 2022102344060002 - Discente**, em 01/08/2025 15:51:46.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 01/08/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 728095
Código de Autenticação: b37288b633



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 39/2025 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

USO DE ADITIVOS NA EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOLIAR EM CANA-DE-AÇÚCAR

Autor: Diogo Guimarães de Carvalho
Orientador: José Milton Alves

TITULAÇÃO: Mestre em Bioenergia e Grãos - Área de Concentração Agroenergia

APROVADO em 01 de agosto de 2025.

Assinado eletronicamente
Dr. Matheus Vinicius Abadia Ventura
Avaliador externo - Unibrás - Rio Verde

Assinado eletronicamente
Prof. Dr. Mateus Neri Oliveira Reis
Avaliador interno - IF Goiano Campus Rio Verde

Assinado eletronicamente
Prof. Dr. Aurélio Rubio Neto
Presidente da Banca - IF Goiano Campus Rio Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- **Aurelio Rubio Neto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 01/08/2025 15:46:48.
- **Mateus Neri Oliveira Reis, 2025102344060003 - Discente**, em 01/08/2025 15:50:33.
- **Matheus Vinicius Abadia Ventura, 2022102344060002 - Discente**, em 01/08/2025 15:51:40.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 01/08/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 728099
Código de Autenticação: 13ed7f6fc5



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão ao meu orientador, Professor Dr. José Milton Alves, por sua orientação, paciência e apoio incondicional ao longo deste processo. Agradeço também ao coorientador Professor Dr. Aurélio Rubio, pelo apoio e conselhos de grande importância para conclusão do mestrado, aos professores do programa de pós-graduação, Professor Dr. Matheus Ventura, Professor Dr. Mateus Neri e Professora Me. Thais Gonçalves, pelos conselhos e orientações que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a Deus, por me guiar, pela força e coragem durante esta longa jornada do mestrado, dedicação em especial à minha família, por seu amor e compreensão durante esses anos. Agradeço aos meus pais, Ana Furquim e Antônio Manuel, minhas irmãs, Aline Guimarães e Carla Guimarães, que sempre acreditaram em mim, a minha mulher, Maria Fernanda, pela paciência e encorajamento contínuo, aos meus filhos, Diogo filho e José Francisco, cuja presença e amor foram minha maior inspiração, ao grande amigo Me. Deucimar Lima, que me apresentou e incentivou a iniciar e finalizar o mestrado.

Por fim, agradeço a todos os participantes da pesquisa, Usina Denusa (gerente Antônio) pela disponibilização da área experimental, máquinas e funcionários, GM FERTILIZANTES pelos recursos financeiros, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano de Rio Verde-GO pelo acesso a laboratórios, bibliotecas, cujas contribuições foram essenciais para a realização deste estudo. Sem a colaboração de vocês, este trabalho não teria sido possível.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 MACRONUTRIENTES E MICRONUTRIENTES NA ADUBAÇÃO FOLIAR DA CANA-DE-AÇÚCAR	5
2.2 IMPORTÂNCIA DOS BIOESTIMULANTES NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR	7
2.3 AMINOÁCIDOS	8
2.4 EXTRATOS DE ALGAS MARINHAS	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
5. CONCLUSÃO	25
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

USO DE ADITIVOS NA EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOLIAR EM CANA-DE-

AÇÚCAR (*Saccharum officinarum* L.)

por

DIOGO GUIMARÃES DE CARVALHO

Sob Orientação do Prof. Dr. José Milton Alves

RESUMO

O objetivou-se avaliar o efeito das doses de adubação foliar com macronutrientes e micronutrientes em cana de açúcar de segundo corte, com e sem a utilização de aditivos. O experimento foi realizado na área experimental da Usina Denusa, em Jandaia-GO, Brasil, utilizando a variedade CTC9001. O solo da região é um Latossolo Vermelho Eutrófico, com pH 5,9, e recebeu adubação básica com P e K na abertura dos sulcos de plantio. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, modelo fatorial 4x5 com quatro repetições, sendo quatro produtos foliares e cinco doses diferentes (0 (controle), 2, 4, 8 e 16 L ha⁻¹), aplicados dia 10 de dezembro de 2021, na cana-de-açúcar do segundo corte. Foram avaliados parâmetros como: número de perfilhos (NP), diâmetro médio de colmo (DM), altura do colmo (AC), produtividade, açúcar total recuperável (ATR), porcentagem de sacarose aparente no caldo (POL), pureza do caldo (Pureza) e teor de fibra (Fibra). Os resultados mostraram que a adubação foliar não influenciou os parâmetros NP, DM, AC, POL, PUREZA e FIBRA. Em contrapartida, a variável PROD apresentou resposta diferenciada em função dos tratamentos, indicando efeito positivo do uso conjunto de nutrientes e bioestimulantes, com incremento médio de 3 t ha⁻¹ em relação ao controle, independentemente da dose aplicada.

PALAVRAS-CHAVE: extrato de algas, aminoácidos, bioativos, nutrição de plantas.

USE OF ADDITIVES IN THE EFFICIENCY OF FOLIAR FERTILIZATION IN
SUGARCANE (*Saccharum officinarum* L.)

by

DIOGO GUIMARÃES DE CARVALHO

Under the supervision of Prof. Dr. José Milton Alves

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of foliar fertilizer rates with macronutrients and micronutrients on second-cut sugarcane, with and without additives. The experiment was carried out in the experimental area of the Denusa Mill, in Jandaia, Goiás, Brazil, using the CTC9001 variety. The soil in the region is a Eutrophic Red Latosol, with a pH of 5.9, and received basic fertilization with P and K at the opening of the planting furrows. A randomized complete block design was used, in a 4x5 factorial model with four replicates, consisting of four foliar products and five different rates (0 (control), 2, 4, 8, and 16 L ha⁻¹), applied on December 10, 2021, to second-cut sugarcane. The following parameters were evaluated: number of tillers (NP), average stem diameter (DM), stem height (AC), productivity, total recoverable sugar (ATR), percentage of apparent sucrose in the broth (POL), broth purity (Purity) and fiber content (Fiber). The results showed that foliar fertilization did not influence the parameters NP, DM, AC, POL, PURITY and FIBER. On the other hand, the PROD variable showed a differentiated response according to the treatments, indicating a positive effect of the combined use of nutrients and biostimulants, with an average increase of 3 t ha⁻¹ in relation to the control, regardless of the dose applied.

KEYWORDS: seaweed extract, amino acids, bioactives, plant nutrition.

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) desempenha papel central na economia brasileira, sendo a matéria-prima principal para a indústria sucroalcooleira, responsável pela produção de açúcar, álcool, biodiesel e biomassa (Antune *et al.*, 2019; Vandenberghe *et al.*, 2022). Esse setor tem sido uma fonte crucial de divisas para o Brasil, e a previsão otimista para a safra 23/24 revela aumento na produtividade, alcançando 652,9 milhões de toneladas, acréscimo significativo em relação à temporada anterior (CONAB, 2023).

Esse crescimento é atribuído à melhoria no desempenho das lavouras, impulsionado por condições climáticas favoráveis (Li, 2023; Viana *et al.*, 2023). Ainda assim, mesmo com a projeção promissora, é essencial considerar a necessidade de aprimorar técnicas e práticas na agricultura da cana-de-açúcar (De Oliveira Gonçalves *et al.*, 2023; Sanches *et al.*, 2023).

Uma vertente significativa dessas pesquisas concentra-se na adubação com micronutrientes e no uso aminoácidos obtidos através de fermentação biológica e extrato de algas (Chen *et al.*, 2021; El-Sharnoby *et al.*, 2021; Braun & Colla, 2023). As aplicações foliares, em particular, têm sido objeto de estudo desde os anos 1990 e têm demonstrado melhorias no desenvolvimento uniforme das culturas, além de aumentos significativos na produtividade (Yakhinet *et al.*, 2017; Paradiković *et al.*, 2019). No entanto, há divergências terminológicas, pois enquanto internacionalmente utiliza-se o termo "bioestimulantes", no Brasil o termo reconhecido é "bioativador", não sendo oficialmente reconhecido pelo MAPA (Brasil, 2020).

Os bioestimulantes, contendo aminoácidos, extrato de algas, macro e micronutrientes em suas formulações, atuam como sinalizadores na fisiologia das plantas, visando potencializar o desenvolvimento das culturas (Carillo *et al.*, 2020; Ali *et al.*, 2021; Kapoore *et al.*, 2021; Munaro *et al.*, 2021). Sua utilização visa melhorar o balanço hormonal nas plantas, resultando

em aumento no desenvolvimento vegetal, aproveitando ao máximo o potencial genético das plantas (Baltazar *et al.*, 2021; Bello *et al.*, 2021; Kapoore *et al.*, 2021; Kisvarga *et al.*, 2022). Esses produtos têm se mostrado eficazes não só no enraizamento, mas também na melhoria da produtividade, vigor e na resistência das plantas a estresses bióticos e nutricionais (Parađiković *et al.*, 2019; Ronga *et al.*, 2019; Wozniak *et al.*, 2020; Ali *et al.*, 2021; González-Pérez *et al.*, 2022).

Considerando a expansão da cultura da cana-de-açúcar em Goiás e os desafios relacionados à baixa produtividade e ao uso inadequado de fertilizantes foliares, torna-se imperativo investir em pesquisas que identifiquem doses e produtos adequados, visando aprimorar o rendimento dos canaviais. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação foliar de diferentes formulações de fertilizantes contendo macro e micronutrientes, isoladamente ou em combinação com bioestimulantes à base de aminoácidos e extrato de algas, sobre o desenvolvimento agrônomo, a produtividade e a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (variedade CTC9001) em segundo corte.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Macronutrientes e micronutrientes na adubação foliar da cana-de-açúcar

O Brasil é reconhecido como um dos principais produtores agrícolas do mundo, pela extensão de terras aptas para cultivo e às favoráveis condições tropicais que permitem a produção ao longo de todo o ano (Camargo *et al.*, 2017; Pimenta *et al.*, 2021). Apesar da alta produção de cana-de-açúcar no país, a média de rendimento fica em torno de 70 toneladas ha⁻¹, um número considerado baixo frente ao potencial genético das novas variedades disponíveis e aos altos custos de produção (De Mato; Santos & Eichler, 2020; Cursi *et al.*, 2022). Essa situação está intimamente ligada ao manejo inadequado dos solos tropicais, os quais são altamente intemperizados, ácidos e deficientes em nutrientes (Lal, 2019; Agegnehu *et al.*, 2021; Basak *et al.*, 2022).

A escassez de micronutrientes limita a obtenção de altos rendimentos agrícolas, principalmente pela interação desses nutrientes com substâncias como fosfatos e carbonatos, formando precipitados químicos ou interagindo com partículas de argila e outros compostos minerais, o que os torna inacessíveis para as plantas (Dhaliwal *et al.*, 2021; Mardamootoo *et al.*, 2021). Além disso, o cultivo intenso, o uso de fertilizantes sem micronutrientes e a aplicação insuficiente de resíduos orgânicos contribuem para a expansão de áreas com deficiência desses elementos (Dhaliwal *et al.*, 2019; Ashitha *et al.*, 2021; Yahaya *et al.*, 2023).

A eficácia da aplicação de micronutrientes via adubação foliar é crucial para processos metabólicos importantes, funcionando como substrato ou ativador de enzimas (Tripathiet *al.*, 2015; Tavantiet *al.*, 2021). Essas funções metabólicas são essenciais para a estrutura orgânica

vital, constituindo enzimas específicas ou atuando como catalisadores, influenciando a velocidade de diversas reações no metabolismo das plantas (Kaur *et al.*, 2023).

Estudos têm evidenciado que a aplicação foliar de macro e micronutrientes aumenta a produtividade da cana-de-açúcar (Mellis *et al.*, 2016; Mangrio *et al.*, 2020; Majeed *et al.*, 2022). Os nutrientes desempenham papéis vitais no crescimento e na saúde das plantas (Shrivastav *et al.*, 2020). O nitrogênio (N) é fundamental para a formação de proteínas e ácidos nucleicos (Barker; Bryson, 2016; Yang *et al.*, 2019). O fósforo (P) é essencial na produção de energia e na formação de DNA e RNA (Malhotra *et al.*, 2018; Jupp *et al.*, 2021). O potássio (K) regula a troca de água e gases, ativando enzimas e facilitando o transporte de carboidratos (Hasanuzzaman *et al.*, 2018; Sardans & Peñuelas, 2021).

O boro (B) desempenha função crucial no metabolismo de carboidratos e no transporte de açúcares pelas membranas, sendo essencial para o crescimento da cana-de-açúcar (Karthika *et al.*, 2018; Shahid *et al.*, 2018). Além disso, está envolvido na formação de ácidos nucleicos, fitohormônios, estruturação da parede celular e divisão celular (Bolaños *et al.*, 2023; Shireen *et al.*, 2018). O cobre (Cu) atua como ativador de várias enzimas e é fundamental na fotossíntese, desempenhando papel importante no transporte de elétrons (Mustafa *et al.*, 2018; Rehman *et al.*, 2019). O manganês (Mn) é essencial em múltiplas reações metabólicas, síntese proteica, multiplicação celular e atividade enzimática (Alejandro *et al.*, 2020; Cakmak *et al.*, 2023). Já o zinco (Zn) é essencial na síntese de componentes fundamentais para o crescimento e alongação das plantas (Rudani *et al.*, 2018; Noulas *et al.*, 2018).

O molibdênio (Mo) é essencial na produção de aminoácidos e a fixação biológica de N, a deficiência de Mo na cana-de-açúcar pode resultar em problemas de crescimento, redução na produção de biomassa e, potencialmente, na diminuição da eficiência do uso de N, afetando negativamente a saúde e o rendimento da cultura (Bhatt, 2020; Mellis *et al.*, 2022).

Compreender as múltiplas funções metabólicas e estruturais dos nutrientes, juntamente com suas demandas durante o ciclo de cultivo, simplifica a gestão e contribui para aprimorar a qualidade e a produtividade da cultura (Gupta *et al.*, 2017; Zenda *et al.*, 2021). Um fornecimento adequado de macro e micronutrientes no momento correto é fundamental para alcançar rendimentos satisfatórios e garantir renda sustentável durante todos os ciclos da cultura (Nadeem *et al.*, 2018; Selim *et al.*, 2020). A aplicação de fertilizantes foliares pode ter efeito benéfico em cenários de estresse hídrico, influenciando diversas atividades celulares, como regulação da abertura e fechamento estomáticos, ajuste osmótico dos tecidos e atividades enzimáticas, minimizando os efeitos prejudiciais do estresse hídrico (Niu *et al.*, 2021; Vaghar *et al.*, 2020).

2.2. Importância dos bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar é uma das principais *commodities* agrícolas do Brasil, que busca lançar novos cultivares, visando um canavial mais longo e altamente produtivo (Antune *et al.*, 2019; De Matos *et al.*, 2020). A implementação de novas tecnologias como o uso de aditivos (extrato de algas; aminoácidos) podem auxiliar no aumento da produtividade dessa cultura, proporcionando alterações em processos vitais e estruturais, incrementos no Açúcar Total Recuperável (ATR), qualidade maior na maturação e aumento na produtividade (De Vasconcelos *et al.*, 2019; González-Pérez *et al.*, 2022; Braun *et al.*, 2023).

Visando respostas mais consistentes na cultura da cana-de-açúcar, muitos trabalhos relacionados à adubação foliar com micronutrientes e aminoácidos à base de extrato de algas vem sendo realizados no Brasil (De Olivera *et al.*, 2018; Jacomassi *et al.*, 2022). Nesse contexto, aplicações foliares vêm sendo estudadas desde a década de 1990 e trabalhos vêm apresentando melhora no desenvolvimento mais uniforme das culturas (Paradiković *et al.*, 2019) e melhoras no incremento de produtividade (Yakhin *et al.*, 2017).

Com a utilização de técnicas avançadas para o cultivo de cana-de-açúcar, aumentos quantitativos e qualitativos na produção podem ser alcançados com a aplicação de bioestimulantes (Zulfiqar & Ashraf, 2021; De Silva *et al.*, 2022; Desalegan *et al.*, 2023). Os efeitos destes bioestimulantes são dependentes da espécie vegetal (Macedo & Castro, 2015). Na cana-de-açúcar, os bioestimulantes podem aumentar a produção, incrementando o teor de sacarose, assim como aumentar a produtividade da cana-de-açúcar (Silva *et al.*, 2010; Santos *et al.*, 2020).

Desse modo, o Stimulate[®] é um bioestimulante composto por fitormônios como auxinas, giberelinas e citocininas, que atuam de forma sinérgica na promoção do crescimento vegetal, estimulando o enraizamento, o alongamento e a divisão celular. Essas características fisiológicas contribuem para sua ampla eficácia no manejo das plantas, sendo, por isso, o bioestimulante mais utilizado no Brasil (Macedo & Castro, 2015).

O uso de Stimulate[®], em algumas culturas, tem apresentado resultados positivos sobre a germinação de sementes, desenvolvimento de raízes, absorção de nutrientes e água e produtividade (Calvo *et al.*, 2014; Gonçalves *et al.*, 2018; Thiengo *et al.*, 2020). Em alguns trabalhos têm sido relatados efeitos positivos da aplicação de Stimulate[®] em cana-de-açúcar, com ganhos significativos em crescimento e produtividade da cultura (Silva *et al.*, 2010; Celestrino *et al.*, 2019), embora também haja relato de ausência de resposta (Silva *et al.*, 2008).

2.3. Aminoácidos

A cana-de-açúcar é conhecida por seu tipo de metabolismo C4, mostrando-se mais eficaz na captura de CO₂ em comparação com as plantas do tipo C3, além de utilizar água de maneira mais eficiente e transpirar em taxas adaptadas no ambiente de cultivo (Patel *et al.*, 2021; Sales *et al.*, 2018; Sales *et al.*, 2021). No entanto, as condições climáticas exercem impacto significativo na capacidade produtiva (De Medeiros Silva *et al.*, 2019; Chen *et al.*,

2023; Huang *et al.*, 2023). Para um cultivo satisfatório, a cana-de-açúcar demanda condições ambientais favoráveis, incluindo disponibilidade de água entre 1200 e 2500 mm e temperaturas variando entre 25°C e 35°C durante o desenvolvimento dos colmos (Hiloidhari *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2023; Tayade *et al.*, 2023).

Recentemente, houve um aumento significativo no interesse pela implementação de práticas sustentáveis na produção agrícola, visando otimizar tanto a qualidade quanto o rendimento das culturas (Sarkar *et al.*, 2020; Bertola *et al.*, 2021). Os bioestimulantes comerciais, que incluem aminoácidos, emergiram como uma abordagem moderna e ecologicamente consciente para aprimorar o crescimento, desenvolvimento das plantas, produtividade das colheitas e a eficiência na absorção de nutrientes (Malik *et al.*, 2020; Castiglione *et al.*, 2021; Santini *et al.*, 2021).

Os aminoácidos, elementos essenciais das proteínas e precursores de substâncias reguladoras do metabolismo vegetal, podem ampliar a produção e a resistência aos estresses derivados de temperaturas elevadas e escassez de água (Batista-Silva *et al.*, 2019; Godoy *et al.*, 2021; Ozturk *et al.*, 2021). A aplicação foliar de aminoácidos representa uma estratégia interessante para mitigar os efeitos do estresse hídrico, melhorando as características fisiológicas das plantas e otimizando a produção de enzimas, proteínas e hormônios (Sh Sadak *et al.*, 2015; Ahmad *et al.*, 2019; De Vasconcelos & Chaves, 2019; Alfosea-Simón *et al.*, 2020; Franzoni *et al.*, 2021).

Aminoácidos como o ácido glutâmico, ácido aspártico e alanina estão entre aqueles utilizados nos bioestimulantes (Baroccio *et al.*, 2017; Alfosea-Simón *et al.*, 2021; Radkowski *et al.*, 2020; Zamljen *et al.*, 2022). Eles são acrescentados na forma livre ou como parte das proteínas já hidrolisadas (Mustăţea *et al.*, 2019; Alfosea-Simón *et al.*, 2021). O ácido glutâmico desempenha papel crucial no metabolismo do nitrogênio, intervindo na absorção desse elemento pelas plantas e nas reações das amino transferases (Du *et al.*, 2020; Gonzalez-

Lopez *et al.*, 2021; Asgher *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2023). Além de ser aminoácido por si só, é precursor de outros como o ácido aspártico, serina, alanina, lisina e prolina (Alfosea-Simón *et al.*, 2021). A alanina, produzida a partir do ácido glutâmico, possui papel dual no metabolismo de carbono e nitrogênio, associando-se à síntese de clorofila e à atividade fotossintética (Xiaochuang *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2022; Huang *et al.*, 2023). Já o ácido aspártico é derivado de uma reação entre o glutamato e o oxaloacetato, metabolizando-se para produzir aminoácidos como lisina, treonina, metionina e isoleucina (Ali *et al.*, 2019; Han *et al.*, 2021; Lei *et al.*, 2022).

2.4 Extratos de algas marinhas

Os bioestimulantes são produtos utilizados na agricultura para promover o crescimento, o desenvolvimento e a resistência das plantas a estresses bióticos (como pragas e doenças) e abióticos (seca, salinidade) (Bulgari *et al.*, 2019; Nephali *et al.*, 2020; Rai *et al.*, 2021). Eles podem ser de origem biológica, como extratos de algas, aminoácidos, ácidos húmicos e fúlvicos, entre outros compostos (Drobek *et al.*, 2019; Cristofano *et al.*, 2021; Popa *et al.*, 2022).

A aplicação de bioestimulantes, seja diretamente nas folhas ou no solo, tem sido adotada em várias culturas com o propósito de aprimorar a fisiologia e o metabolismo das plantas, inclusive na agricultura orgânica (Du Jardin *et al.*, 2020; Boukhari *et al.*, 2020; Malik *et al.*, 2020). Os extratos derivados de algas marinhas estão em ascensão e mostraram-se benéficos na ampliação da resistência das culturas agrícolas à seca (Ali *et al.*, 2021; Deolu-Ajayi *et al.*, 2022; Samuels *et al.*, 2022). Principalmente provenientes de algas marrons, como a *Ascophyllum nodosum*, embora espécies de algas verdes ou vermelhas também sejam usadas como fontes de matéria-prima (Shukla *et al.*, 2019; De Saeger *et al.*, 2020; Repke *et al.*, 2022). Os biofertilizantes formulados a partir de extratos de algas ou de algas processadas são

produtos obtidos através da extração e processamento desses organismos (Guo *et al.*, 2020; Ammar *et al.*, 2022). O extrato de algas marinhas, em algumas situações, é rotulado como biofertilizante (Das *et al.*, 2019; Iqbal *et al.*, 2021). Apesar de a legislação brasileira não adotar a designação "bioestimulante" para o extrato de algas marinhas, estudos científicos recentes classificam-nos como substâncias bioestimulantes, fornecendo variedade de compostos, como aminoácidos, ácidos graxos, polissacarídeos, hormônios vegetais, enzimas, peptídeos bioativos, além de macro e micronutrientes (Bello *et al.*, 2021; Kapoore *et al.*, 2021; Munaro *et al.*, 2021).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Usina Denusa, localizada no município de Jandaia, Goiás, Brasil, (Rod. BR - 060 km 274, Zona Rural) sob as coordenadas geográficas de latitude 17°02'56"S e longitude 50°08'45" O e altitude de 650 m, utilizando variedade CTC9001, apresenta porte ereto, alto perfilhamento, elevado teor ATR e precoce.

A região apresenta temperatura média anual de 21°C, sendo os meses de maio a agosto caracterizados por temperaturas mais baixas, atingindo valores próximos a 10 °C ou até inferiores. A precipitação média anual na região alcança 1.600 mm.

Quanto às características do solo na área experimental, trata-se de um Latossolo Vermelho Eutrófico, com composição de 44,26% de argila. Amostras de solo foram previamente coletadas na profundidade de 0 a 20 cm e encaminhadas ao laboratório para análise, visando a determinação dos atributos físico-químicos do solo. Essa análise foi fundamental para compreender a composição e a qualidade do solo na área de estudo.

As características químicas e físicas do solo são apresentadas a seguir para a profundidade de 0-20 cm: pH = 5,9; Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Al³⁺, CTC e H+Al (4,14; 0,87; 0,17; 0,00;

6,1 e 2,32 cmol_c dm⁻³ respectivamente); P (resina), Zn, B, Cu, Fe e Mn (1,60; 0,81; 0,51; 3,6; 12,64 e 5,95 mg dm⁻³); V%= 69; M.O.=27,1 g kg⁻¹; SB= 5,27cmol_c dm⁻³.

Foram realizadas as operações de preparo de solo e a adubação básica de uma única vez com base nos resultados da análise de solo, durante a abertura dos sulcos de plantio, fornecendo P₂O₅ (superfosfato simples) e K₂O (cloreto de potássio), na base de 120 e 40 kg ha⁻¹, respectivamente.

As parcelas foram formadas por: 8 linhas com 10 m linear, em que foram feitas as avaliações nas 6 linhas centrais. O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, sendo utilizado o modelo fatorial 4x5 com quatro repetições, sendo 4 produtos: Produto 1 - 11% N; 16% P₂O₅; 3% K₂O; 1% B; Zn - Mn 0,2%; 0,15% Cu - Mo; 0,1% Mg e sem aditivo; Produto 2 - 11% N; 16% P₂O₅; 3% K₂O; 1% B; Zn - Mn 0,2%; 0,15% Cu - Mo; 0,1% Mg; 6% de aditivo de aminoácidos; Produto 3 - 11% N; 16% P₂O₅; 3% K₂O; 1% B; Zn - Mn 0,2%; 0,15% Cu - Mo; 0,1% Mg; 4% utilizando como aditivo o extrato de algas (EA) e Produto 4 - 11% N; 16% P₂O₅; 3% K₂O; 1% B; Zn - Mn 0,2%; 0,15% Cu - Mo; 0,1% Mg; 6% de aditivos a combinação de aminoácidos e 6% de extrato de algas (EA). Matérias primas utilizadas na formulação: ureia pecuária, ácido fosfórico alimentício, cloreto de potássio industrial, ácido bórico, sulfato de manganês, sulfato de zinco, sulfato de cobre, molibdato de sódio, nitrato magnésio, aminoácidos e extrato de algas naturais. Produto formulado e produzido nas instalações do GM Indústria.

Em cada um dos quatro produtos avaliados foram empregadas cinco doses (0 (controle), 2, 4, 8 e 16 litros ha⁻¹). As aplicações das doses dos produtos foram realizadas utilizando pulverizador costal (Teejet®) com pressão constante mantida por CO₂ comprimido, munido de barra com seis pontas de pulverização e bico tipo leque, modelo XR110VP. Utilizando equipamento de pressão de serviço constante, CO₂ comprimidos, proporcionando volume de calda de 150 L ha⁻¹.

A aplicação dos fertilizantes foliares foi realizada de no dia 10 de dezembro de 2021, na cana de segundo corte, de 130 a 150 dias antes da colheita (DAC). Todos os tratamentos foram distribuídos manualmente em cada parcela.

Foram avaliadas as seguintes variáveis para determinação do efeito dos tratamentos no desenvolvimento da cana de açúcar: (1) número de perfilhos viáveis (NP), (2) diâmetro médio de colmo (DM), (3) altura do colmo (AC) e (4) produtividade (PROD), (5) ATR (Açúcar Total Recuperado), (6) POL (% em massa de sacarose em uma solução açucarada de peso normal), (7) Pureza (POL/Brix), a pureza é determinada pela relação $\text{POL/Brix} \times 100$ (Brix: porcentagem em massa de sólidos solúveis contidos em uma solução de sacarose quimicamente pura), quanto maior a pureza da cana, melhor a qualidade da matéria prima para recuperar açúcar, e (8) Fibra (reflete na eficiência da extração da moenda). O experimento foi realizado com seis linhas centrais, porém as avaliações foram realizadas nas três linhas centrais, dispensando as linhas laterais.

Para avaliação de NP foram contadas todas as plantas que estiverem disponíveis nas três linhas centrais de cada parcela, foram amostrados na semana anterior a colheita mecânica, e foram dispostas em número de plantas por metro linear.

Para determinação de DM foi utilizado um paquímetro medindo seis plantas por linha, retiradas aleatoriamente dentro das seis linhas centrais na semana anterior à colheita e os resultados foram obtidos por diâmetro médio de colmo por parcela em centímetros (cm).

Para determinação de AC, foram utilizadas as mesmas plantas da amostragem de diâmetro médio, com auxílio de uma trena, na semana anterior a colheita, e os resultados foram demonstrados em altura média de cana por parcela em centímetros (cm). Nas avaliações de diâmetro médio de colmo e altura média de cana, as canas foram amostradas por parcela, foram seccionadas na altura de corte mecânico (3 cm), agrupadas em feixes de dez canas, etiquetadas e levadas para fora da área do ensaio para facilitar a mensuração das mesmas.

Para a avaliação do efeito dos tratamentos na determinação da PROD em Tonelada de Cana por Hectare (TCH), a colheita foi realizada aos treze meses após a data de colheita anterior, devido ao ambiente de produção (C1) e ao estágio de corte que se encontra a variedade, seguindo a matriz de produção desenvolvida pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC - Centro de Cana). Foi realizada a tara da balança a cada linha. Foram colhidas por inteiro as seis linhas centrais de cada parcela, desprezando as duas linhas laterais, com o auxílio de colhedora de cana John Deere®, modelo 3520 e pesadas em caminhão transbordo instrumentado com célula de carga no chassi. Depois de colhida, a cana foi enviada para a indústria para seu processamento.

Para as determinações de ATR, POL, Pureza e Fibra foram amostradas 10 canas por parcela aleatoriamente, dentro das três linhas centrais, e enviadas ao laboratório próprio da empresa, no dia anterior à colheita.

Na análise estatística foi feito a ANOVA para avaliação do efeito dos tratamentos, quando foi observado efeito significativo foi utilizado teste de médias (Tukey 5%) e para as doses foi realizada a análise de variância de regressão para os modelos lineares e quadráticos.

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 está representada a análise variância para interpretação dos resultados onde não foi observada interação entre tratamentos e doses. A aplicação da adubação foliar não afetou os parâmetros de NP, DM, AC, ATR, POL, PUREZA e FIBRA. Em contrapartida, para a produtividade (PROD) houve diferença significativa para o fator tratamentos. As cinco doses aplicadas de cada produto (0, 2, 4, 8 e 16 t ha⁻¹) não seguiram nenhum modelo significativo na análise de variância da regressão em nenhuma das variáveis estudadas.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para Número de perfilhos viáveis (NP), diâmetro médio de colmo (DM), altura do colmo (AC), POL (% em massa de sacarose em uma solução açucarada de peso normal), Pureza (POL/Brix; %), Fibra (reflete na eficiência da extração da moenda) e produtividade (PROD) no segundo corte da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) após aplicação de diferentes doses de adubos foliares.

Fonte de Variação	GL	QM							
		NP (m linear)	DM (mm)	AC (cm)	ATR (kg t ⁻¹)	POL (%)	PUREZA (%)	FIBRA (%)	PROD (t ha ⁻¹)
Tratamentos	3	1,24 ^{ns}	1,80 ^{ns}	347,89 ^{ns}	59,47 ^{ns}	0,58 ^{ns}	2,10 ^{ns}	0,42 ^{ns}	3125,31 [*]
Doses	4	60,20 ^{ns}	0,91 ^{ns}	84,46 ^{ns}	66,18 ^{ns}	0,10 ^{ns}	3,35 ^{ns}	0,08 ^{ns}	380,68 ^{ns}
Blocos	3	370,84 ^{ns}	7,83 ^{ns}	5545,59 ^{ns}	20,63 ^{ns}	0,98 ^{ns}	4,13 ^{ns}	0,23 ^{ns}	1808,90 ^{ns}
Tratamentos*Doses	12	175,89 ^{ns}	1,23 ^{ns}	238,77 ^{ns}	18,13 ^{ns}	0,42 ^{ns}	3,76 ^{ns}	0,32 ^{ns}	922,21 ^{ns}
Resíduo	57	123,51	1,43	140,93	30,44	0,45	3,30	0,28	833,70
CV (%)		8,01	4,43	3,65	3,66	4,43	2,39	5,23	14,37

Grau de liberdade (GL), quadrado médio (QM) e coeficiente de variação (CV). ** e * significativos ao nível de 1e 5% de probabilidade, respectivamente; ns, não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. Número de perfilhos viáveis (NP), diâmetro médio de colmo, altura do colmo (AC), POL (% em massa de sacarose em uma solução açucarada de peso normal), Pureza (POL/Brix; %), Fibra (reflete na eficiência da extração da moenda) e produtividade (Prod).

A adubação foliar com macronutrientes e micronutrientes em cana-de-açúcar de segundo corte com a utilização de bioestimulantes de extrato de algas e aminoácidos não diferiu do controle para variável NP (Figura 1). Esses resultados corroboram aos obtidos por Santos *et al.* (2020) ao avaliar o efeito da aplicação de quatro bioestimulantes à base de reguladores de crescimento e extrato de algas, em fertirrigação, observaram que não houve aumento no NP por metro linear na cana-de-açúcar, em cultivos nos estados de São Paulo e Minas Gerais. Entretanto, estudos realizados por Silva *et al.* (2008) sugerem que a aplicação de bioestimulantes enraizadores aumentam o NP na cana-de-açúcar. Igualmente, Medeiros *et al.* (2019), observaram que a aplicação de bioestimulantes na cana-de-açúcar, resultou em aumento no número de perfilhos, apesar de não ter influenciado no diâmetro de colmo. Em relação ao diâmetro de colmo da cana-de-açúcar, Giolo *et al.* (2021) também não observaram diferença significativa com a aplicação de bioestimulante.

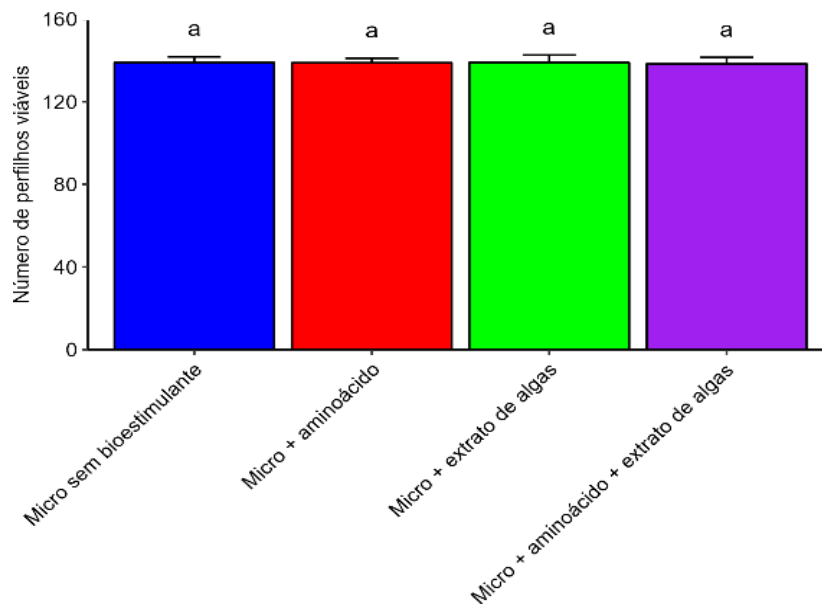


Figura 1. Número de perfilhos viáveis (m linear) de plantas de cana-de-açúcar após aplicação de diferentes adubos foliares. Médias seguidas pela mesma letra não foram significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 0,05% de probabilidade.

A adubação foliar com macronutrientes e micronutrientes em cana-de-açúcar de segundo corte com a utilização de bioestimulantes de extrato de algas e aminoácidos não diferiu do controle para variável DM (Figura 2). Corroborando com Uribe *et al.* (2013) ao avaliar o terceiro ciclo de produção da cana-de-açúcar, aos 365 dias, não observaram diferença significativa para DM com a aplicação de 140 kg ha⁻¹. Entretanto, Pereira *et al.* (2020) ao avaliar os efeitos ao avaliar o desenvolvimentos de duas variedades de cana-de-açúcar (RB992506 e CTC961007) sob adubação foliar proporcionou incremento diâmetro médio e altura do colmo variando entre 26 a 48%. O DM constitui um atributo produtivo intimamente associado ao acúmulo de sacarose na cana-de-açúcar, refletindo diretamente na capacidade de armazenamento nos tecidos parenquimáticos dessa estrutura (Marafon, 2012). A ausência de diferenciação estatística significativa entre os tratamentos avaliados e a testemunha pode ser

atribuída a fatores intrínsecos da cultura, tais como o NP emitidos (Oliveira *et al.*, 2014). Ademais, os tratamentos aplicados possivelmente não induziram alterações expressivas na atividade meristemática, o que limitou o estímulo ao incremento no diâmetro do colmo (Medeiros, 2019).

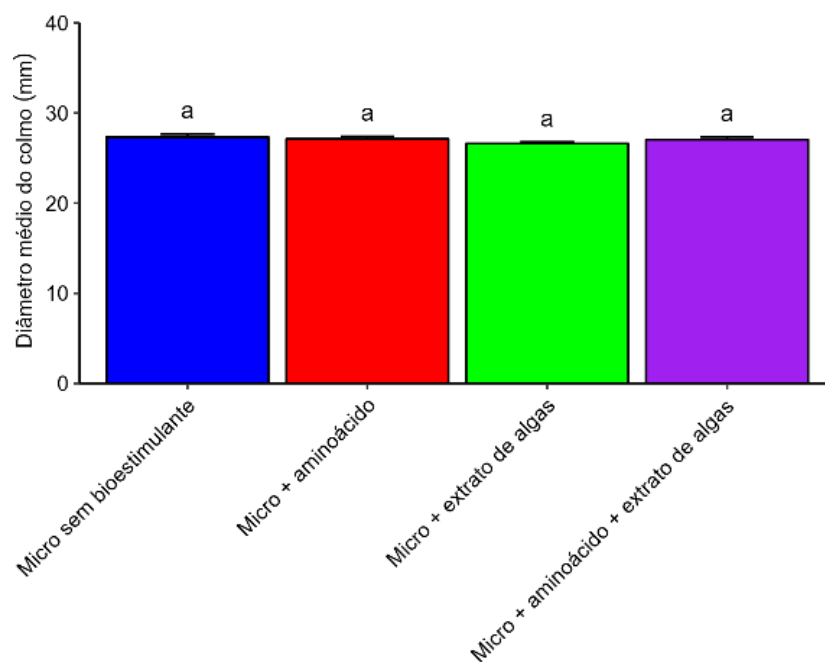


Figura 2. Diâmetro de colmo (mm) de plantas de cana-de-açúcar após aplicação de diferentes adubos foliares. Médias seguidas pela mesma letra não foram significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 0,05% de probabilidade.

A adubação foliar com macronutrientes e micronutrientes em cana-de-açúcar de segundo corte com a utilização de bioestimulantes de extrato de algas e aminoácidos não diferiu do controle para variável AC (Figura 3). Entretanto, Alves (2023) ao avaliar o efeito da aplicação de extrato de algas e aminoácidos na cultura da cana-de-açúcar observou diferença significativa quando aplicado os bioestimulantes, indicando que possivelmente o extrato de algas pode ter sido eficiente. Corroborando com Deshmulk & Phonde (2013) ao avaliar o efeito da aplicação de extrato de algas marinhas sobre o desenvolvimento vegetativo e a

produtividade da cana-de-açúcar evidenciou resultados promissores, uma vez que, sua utilização promoveu incremento no perfilhamento e no crescimento vegetativo das plantas, refletindo em elevação significativa da produtividade e do teor de açúcar obtido. Diversos estudos destacam a relevância da altura das plantas, particularmente a dos colmos passíveis de industrialização, como um parâmetro robusto para a estimativa do rendimento da cultura (Geipel *et al.*, 2014). Tal variável constitui um indicador morfofisiológico capaz de expressar as diferenças entre os estágios fenológicos do desenvolvimento, sobretudo em gramíneas pertencentes à família *Poaceae*, como a cana-de-açúcar (Yu *et al.*, 2020). Ademais, a altura dos colmos industrializáveis configura-se como um atributo agrônômico de impacto direto sobre a produtividade da cana-de-açúcar, influenciando significativamente o rendimento final da cultura (Han *et al.*, 2019).

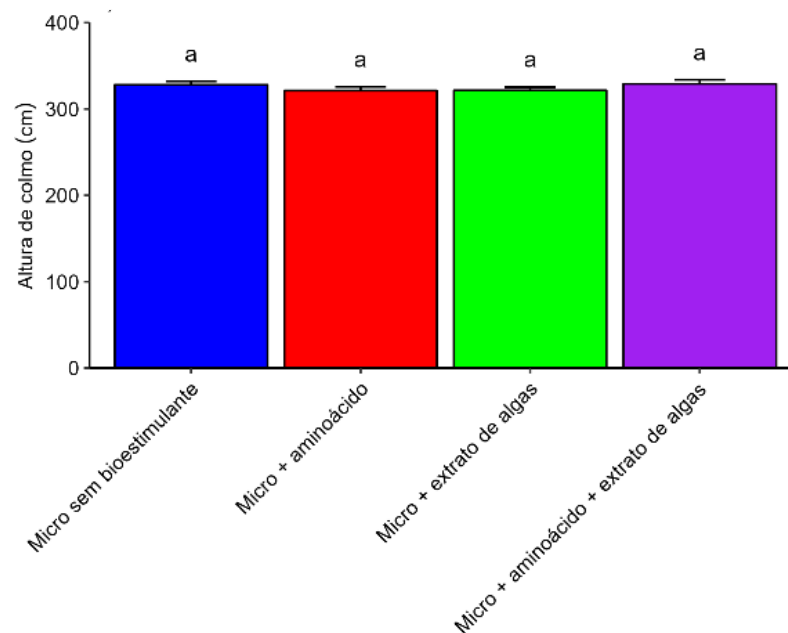


Figura 3. Altura de colmo (cm) de plantas de cana-de-açúcar após aplicação de diferentes adubos foliares. Médias seguidas pela mesma letra não foram significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 0,05% de probabilidade.

A adubação foliar com macronutrientes e micronutrientes em cana-de-açúcar de segundo corte com a utilização de bioestimulantes de extrato de algas e aminoácidos não diferiu do controle para variável ATR (Figura 4). Entretanto, estudos conduzidos por Oliveira *et al.* (2018) e Brozeguini (2023) observaram que a aplicação de bioestimulantes à base de extratos de algas e aminoácidos pode promover melhorias no crescimento vegetativo e na produtividade da cana-de-açúcar, mas sem alterações significativas nos parâmetros tecnológicos, como o ATR. Esses resultados sugerem que, sob condições adequadas de manejo e fertilidade, o ATR pode apresentar relativa estabilidade diante da aplicação desses tratamentos.

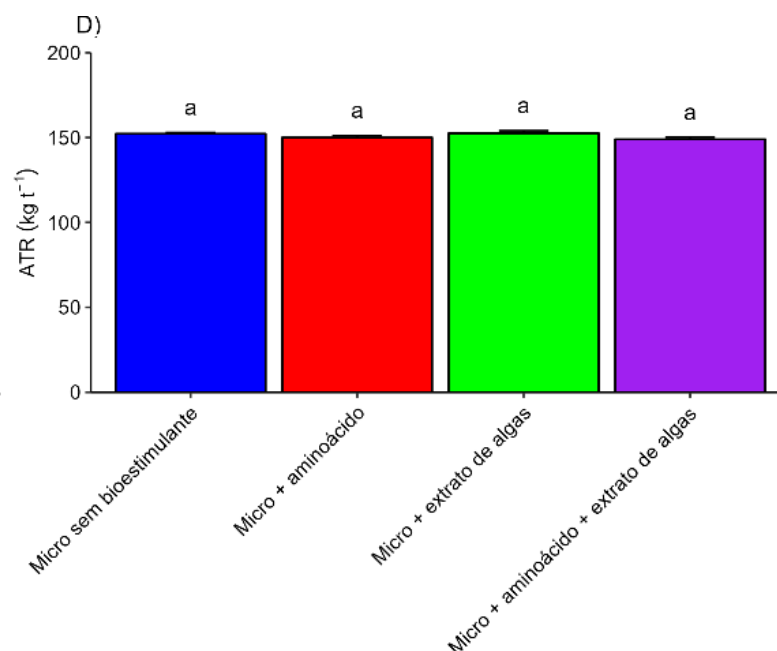


Figura 4. Açúcar total recuperado (kg/t) de plantas de cana-de-açúcar após aplicação de diferentes adubos foliares. Médias seguidas pela mesma letra não foram significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 0,05% de probabilidade.

A adubação foliar com macronutrientes e micronutrientes em cana-de-açúcar de segundo corte com a utilização de bioestimulantes de extrato de algas e aminoácidos não diferiu do controle para variável POL (Figura 5). Entretanto, Silva *et al.* (2024) observaram que a aplicação de bioestimulantes pode promover incrementos na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, incluindo POL, embora tais efeitos sejam inconsistentes e fortemente influenciados pelas condições específicas de cultivo.

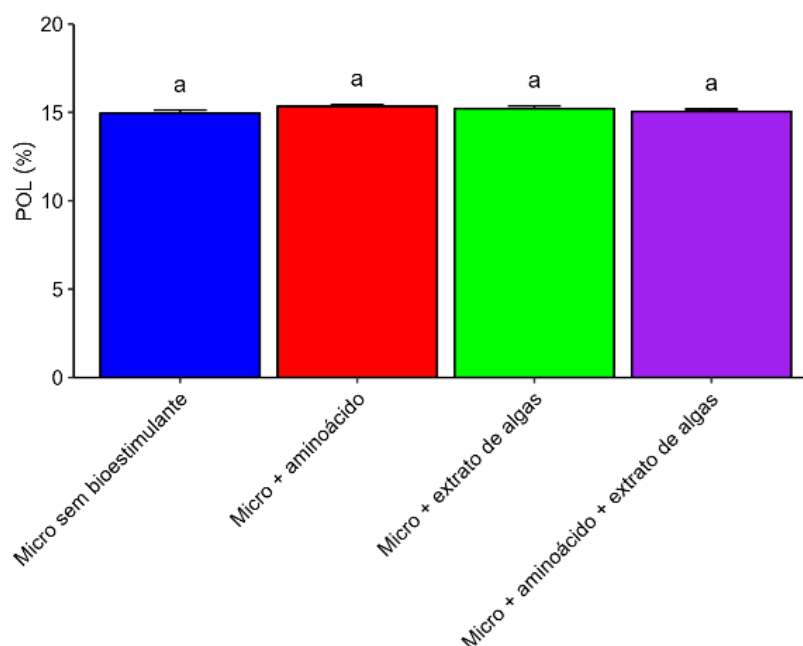


Figura 5. Porcentagem em massa de sacarose em uma solução açucarada de peso normal (POL) (%) de plantas de cana-de-açúcar após aplicação de diferentes adubos foliares. Médias seguidas pela mesma letra não foram significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 0,05% de probabilidade.

A adubação foliar com macronutrientes e micronutrientes em cana-de-açúcar de segundo corte, associada à aplicação de bioestimulantes à base de extrato de algas e aminoácidos, não promoveu alterações significativas na Pureza em relação ao controle (Figura 6). Em contraste, Maradiaga *et al.* (2018) relataram incremento na pureza e no rendimento comercial da cana-planta RB 867515 com a utilização de extratos de bioestimulantes,

indicando que os compostos bioativos presentes em algas podem modular positivamente os processos metabólicos envolvidos na síntese e acúmulo de sacarose, refletindo em maior eficiência na produção industrial de açúcar.

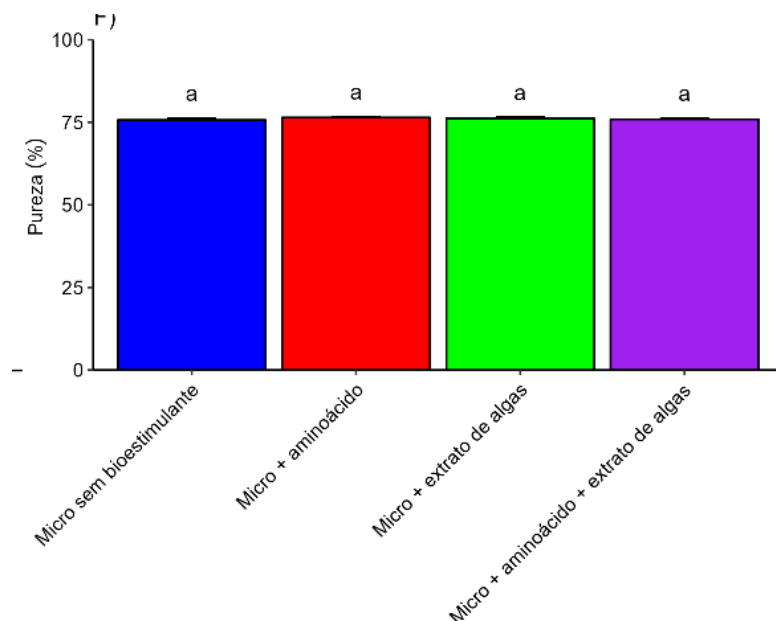


Figura 6. Pureza de cana-de-açúcar após aplicação de diferentes adubos foliares (%). Médias seguidas pela mesma letra não foram significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 0,05% de probabilidade.

A adubação foliar com macronutrientes e micronutrientes em cana-de-açúcar de segundo corte com a utilização de bioestimulantes de extrato de algas e aminoácidos não diferiu do controle para variável Fibra. Corroborando com Oliveira *et al.* (2011) ao avaliar a aplicação de produtos comerciais contendo aminoácidos e extrato de algas marinhas na variedade RB867515 de cana-de-açúcar. Os resultados indicaram que, apesar de melhorias na eficiência nutricional e na produtividade de colmos, não houve alteração significativa no teor de fibra da planta. De acordo com o autor, os bioestimulantes podem influenciar aspectos como crescimento e acúmulo de sacarose, mas não necessariamente afetam a composição de fibra.

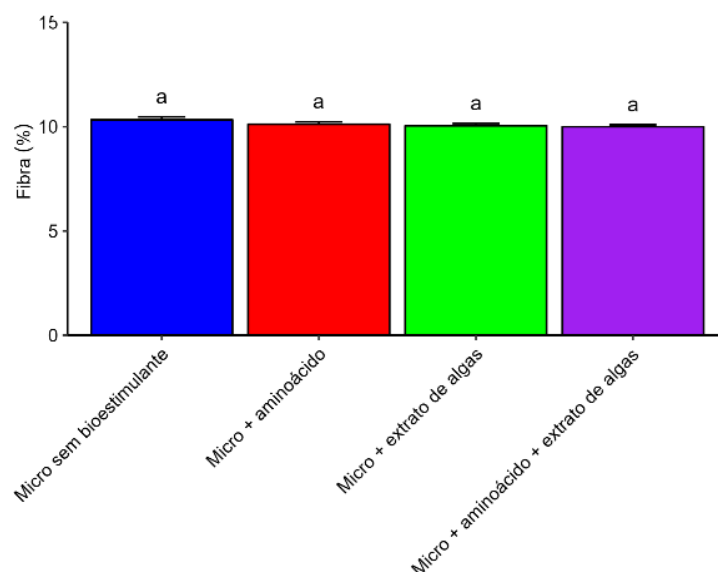


Figura 7. Fibra de cana-de-açúcar após aplicação de diferentes adubos foliares (%). Médias seguidas pela mesma letra não foram significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 0,05% de probabilidade.

Para a variável PROD, houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo que, a adubação foliar com macro nutrientes e micronutrientes mais a associação dos bioestimulantes de extrato de algas e aminoácidos, provocou um aumento de 3 t ha^{-1} na produtividade da cana-de-açúcar, independentemente da dose aplicada (Figura 8). Segundo Zilliani *et al.* (2015), a aplicação de bioestimulantes pode aumentar a área do sistema radicular, fazendo com que haja uma maior absorção de água, o que pode provocar um aumento na produtividade da planta. Corroborando com Oliveira *et al.* (2018) onde observou que a aplicação foliar de produtos contendo aminoácidos e extrato de algas marinhas resultou em melhorias na eficiência fotossintética e metabólica da planta, refletindo-se em maior produtividade de colmos da variedade RB867515. Outro estudo conduzido por Alves (2023) avaliando o uso de extratos de algas marinhas na cana-de-açúcar, observou resultados positivos no desenvolvimento vegetativo da cultura, incluindo aumento na produtividade de colmos. De acordo com o autor, os extratos de algas estimularam a divisão celular, melhoraram a atividade metabólica e

aumentaram a atividade fisiológica das plantas, o que contribuiu para o crescimento e desenvolvimento das raízes, promovendo maior absorção de água e nutrientes.

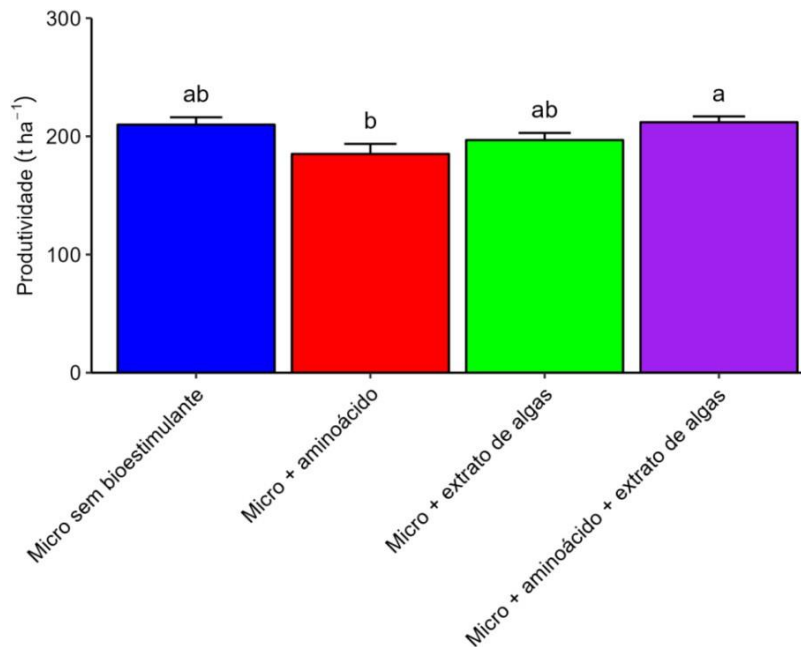


Figura 8. Produtividade das plantas de cana-de-açúcar após aplicação de diferentes adubos foliares. Médias seguidas pela mesma letra não foram significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 0,05% de probabilidade.

Este resultado corrobora com o obtido por Oliveira *et al.* (2017), que observaram que a aplicação de aminoácidos e extrato de algas marinhas aumentaram a produtividade da cana-de-açúcar em 39,5 kg ha⁻¹, apesar de não aumentar a qualidade industrial.

Igualmente, estudos realizados por Chen *et al.* (2021), sugerem que a aplicação de extrato de algas marinhas pode aumentar a produtividade da cana, sendo esse efeito mais evidente em condição de estresse hídrico, e significativo para a altura de planta e não alterando o diâmetro de caule. Deshmukhe Phonde (2013), também observaram que a pulverização de extrato de algas no solo e nas folhas aumentou a produtividade da cana-de-açúcar em 14,1 %.

Já os resultados relatados pela literatura para outras culturas são contraditórios, sendo que para a soja, Kocira *et al.* (2019) observaram um aumento de 25 % na produtividade da

soja, como consequência da aplicação de um produto a base de aminoácidos. Já Merotto *et al.* (2015) não observaram aumento de produtividade após a aplicação de um produto à base de micronutrientes complexados com aminoácidos.

Segundo Gazola *et al.* (2014), aplicações de ureia em conjunto com um produto a base de aminoácidos não aumentam a produtividade do milho. Em mandioca (*Manihote suculenta*), a aplicação de aminoácidos não trouxe ganhos na produtividade (Gazola *et al.*, 2015).

5. CONCLUSÃO

A adubação foliar com macronutrientes e micronutrientes, associada ou não ao uso de bioestimulantes à base de extrato de algas e aminoácidos, em cana-de-açúcar de segundo corte, não promoveu efeito significativo sobre as variáveis tecnológicas avaliadas (NP, DM, AC, ATR, POL, Pureza e Fibra), evidenciando que tais parâmetros apresentam relativa estabilidade diante das condições experimentais estudadas. Em contrapartida, a variável PROD apresentou resposta diferenciada em função dos tratamentos, indicando efeito positivo do uso conjunto de nutrientes e bioestimulantes, com incremento médio de 3 t ha⁻¹ em relação ao controle, independentemente da dose aplicada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, E.M.C. 2023. Desenvolvimento vegetativo de cana-de-açúcar sob a fixação biológica em associação de algas no brejo paraibano. Trabalho de Conclusão de Curso, UFP, Areia, 45 p.

Agegnehu, G.; Amede.T.; Erkossa,T.; Chilot, Y.; Henry,C.; Tyler. 2021. Extent and management of acid soils for sustainable crop production system in the tropical agroecosystems: a review. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 71(9): 852-869.

Ahmad, A.; Aslam, Z.; Ilyas, M.Z; Ameer, H.; Mahmood, A.; Rehan, M. 2019. Drought stress mitigation by foliar feeding of potassium and amino acids in wheat. *Journal of Environmental and Agricultural Sciences*, 18: 10-18.

Alejandro, S.; Holler, S.; Meier, B.; Peiter, E. 2020. Manganese in plants: from acquisition to subcellular allocation. *Frontiers in plant science*, 11: 300.

Alfosea-Simón, M.; Simón-Grao, S; Zavala-Gonzalez, E.A.; Cámara-Zapata, J.M.; Simón, I.; Martínez-Nicolás, J.J.; García-Sánchez, F. 2021. Physiological, nutritional and metabolomic responses of tomato plants after the foliar application of amino acids aspartic acid, glutamic acid and alanine. *Frontiers in plant science*, 11: 581234.

Alfosea-Simón, M.; Zavala-Gonzalez, E.A.; Cámara-Zapata, J.M.; Martínez-Nicolás, J.J.; Simón, I.; Simón-Grao, S.; García-Sánchez, F. 2020. Effect of foliar application of amino acids on the salinity tolerance of tomato plants cultivated under hydroponic system. *Scientia Horticulturae*, 272: 109509.

Ali, O.; Ramsubhag, A.; Jayaraman, J. 2021. Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. *Plants*, 10(3): 531.

Ali, Q., Haider. M.Z.; Shahid, S.; Aslam, N.; Shehzad, F.; Naseem, J.; Hussain, M. 2019. Role of amino acids in improving abiotic stress tolerance to plants. In *Plant tolerance to environmental stress*. CRC Press, 175-204.

Andrade, J.,P. R. C. Castro. 2021. Fertilizantes e aminoácidos – A chave para a tuberização da batata. *Campo e Negócios Online. Revista Hortifruti*.

Antunes, F. A.; Chandel, A.K.; Hilares, R.T.; Milessi, T. Travalia, B.; Ferrari, F.A.; Hernández-Pérez, A.F.; Ramos, L.; Marcelino, P.R.F.; Brumano, L.P.; Forte, M.B.S.; Santos, J.C.; Felipe, M.G.A.; Silva, S.S. 2019. Biofuel production from sugarcane in Brazil. *Sugarcane biofuels: Status, potential, and prospects of the sweet crop to fuel the world*, 99-121.

Asgher, M., Sehar, Z.; Rehaman, A.; Rashid, S.; Ahmed, T.S.P.; Khan, A. 2022. Exogenously-applied L-glutamic acid protects photosynthetic functions and enhances arsenic tolerance through increased nitrogen assimilation and antioxidant capacity in rice *Oryza sativa* L. *Environmental Pollution*, 301: 119008.

Ashitha, A.; Rakhimol. K.R.; Mathew, J. 2021. Fate of the conventional fertilizers in environment. In: *Controlled release fertilizers for sustainable agriculture*. Academic Press, 25-39.

Baltazar, M., Correia, S.; Guinan, K.J.; Sujeeth, N.; Bragança, R.; Gonçalves, B. 2021. Recent advances in the molecular effects of biostimulants in plants: An overview. *Biomolecules*, 11(8): 1096.

Barker, A.V.; Bryson, G.M. 2016. Nitrogen. In: *Handbook of plant nutrition*. CRC Press. 37-66.

Baroccio, F., Barilaro, N.; Tolomei, P.; Mascini, M. 2017. Classification of biostimulants origin using amino acids composition of hydrolyzed proteins. *Journal of Horticultural Science and Research*, 1: 30-35p.

Basak, B.B., Sarkar, B.; Saha, A.; Sarkar, A.; Mandal, S.; Biswas, J.K.; Wangh, H.; Bolan, N. 2022. Revamping highly weathered soils in the tropics with biochar application: What we know and what is needed. *Science of the Total Environment*, 822: 153461.

Batista-Silva, W.; Heinemann, B.; Rugen, N.; Nunes-Nesi, A.; Araújo, W.L. Braun, H.P.; Hildebrandt, T.M. 2019. The role of amino acid metabolism during abiotic stress release. *Plant, Cell & Environment*, 42(5): 1630-1644.

Becari, G.R.G. 2010. Resposta da cana-planta à aplicação de micronutrientes. *Inst. Agrônomo Campinas. Campinas (in Portuguese)*.

Bello, A. S.; Saadaou, I.; Bem-Hamad, R. 2021. “Beyond the source of bioenergy”: microalgae in modern agriculture as a biostimulant, biofertilizer, and anti-abiotic stress. *Agronomy*. 11(8): 1610p.

Bertola, M.; Ferrarini, A.; Visioli, G. 2021 . Improvement of soil microbial diversity through sustainable agricultural practices and its evaluation by-omics approaches: A perspective for the environment, food quality and human safety. *Microorganisms*, 9(7): 1400.

Bhatt, R. 2020. Resources management for sustainable sugarcane production. *Resources use efficiency in agriculture*. 647-693.

Bolaños, L.; Abreu, I.; Bonilla, I.; Camacho-Cristóbal, J.J.; Reguera, M. 2023. What can boron deficiency symptoms tell us about its function and regulation?. *Plants*, 12(4): 777.

Bolonhezi, A.C.; Ferreira, M.M. 2013. Substâncias húmicas aplicadas no sulco de plantio em variedades de cana-de-açúcar. *Revista Cultura Agrônomoica*, 22(1): 125-131.

Braun, J.C.A.; Colla, L.M. 2023. Use of microalgae for the development of biofertilizers and biostimulants. *BioEnergy Research*, 16(1): 289-310p.

Bulgari, R.; Cocetta, G.; Trivellini, A.; Vernieri, P.; Ferrante, A. 2015. Biostimulants and crop responses: a review. *Biological Agriculture & Horticulture*, 31(1): 1-17.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 61, de 8 de julho de 2020. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF, out. 2011.

Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-61-de-8-de-julho-de2020-266802148>

Brozeguini, V.G. 2023. Bioestimulantes no crescimento de colmos de cana-de-açúcar. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia), UFU, 25p.

Cakmak, I.; Brown, P.H.; Colmenero, J.M.; Husted, S.; Kutman, B.Y.; Nikolic, M.; Rengel, Z.; Schmidt, S.B.; Zhao, F.J. 2023. Micronutrients. In Marschner's Mineral Nutrition of Plants. Academic Press, 283-385.

Calvo, P.; Nelson, L.; Kloepper, J.W. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. Plant Soil, 383: 3-41.

Camargo, F.A.O.; Silva, I.S.; Merten, G.H.; Carlos, F.S.; Baveye, P.C.; Triplett, E.W. 2017. Brazilian agriculture in perspective: great expectations vs reality. Advances in agronomy, 141: 53-114.

Carillo, P.; Ciarmiello, L.F.; Woodrow, P.; Corrado, G.; Chiaiese, P.; Rouphael, Y. 2020. Enhancing sustainability by improving plant salt tolerance through macro-and micro-algal biostimulants, Biology, 9(9): 253.

Castiglione, A.M.; Mannino, G.; Contartese, V.; Berteà, C.M.; Ertani, A. 2021. Microbial biostimulants as response to modern agriculture needs: Composition, role and application of these innovative products. Plants, 10(8): 1533.

Celestrino, R.B.; Almeida, J.A.; Oliveira, V.A.B.; Vieira, S.C. 2019. Hormonal inductors in the radicular development and profiling of sugar cane. Applied Research & Agrotechnology, 12(1): 107-112.

Chen, D.; Zhou, W.; Yang, J.; Ao, J.; Huang, Y.; Shen, D.; Jiang, Y.; Huang, Z.; Shen, H. 2021. Effects of seaweed extracts on the growth, physiological activity, cane yield and sucrose content of sugarcane in China. Frontiers in Plant Science, 12: 659130.

Chen, Q.; Wang, Y.; Zhang, Z.; Liu, X.; Li, C.; Ma, F. 2022. Arginine increases tolerance to nitrogen deficiency in *Malus hupehensis* via alterations in photosynthetic capacity and amino acids metabolism. Frontiers in Plant Science. 12: 772086.

Chen, Y.; Yang, J.; Wang, Y.; Qi, J.; Luan, Q. 2023. The impact on climate change perception and adaptation of smallholder concepts: evidence from a sugarcane community, China. Environmental Impact Assessment Review, 102: 107213.

Conab – Companhia Nacional de Abastecimento. 2023. ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR, n.2 - Segundo levantamento, 15 setembro de 2023.

Cunha, F.M. 2007. Aspectos imunológicos e morfologia do canal alimentar de operários de *Nasutitermes coxipoensis* Holmgren Isoptera: Termitidae. Dissertação de Mestrado, UFRPE, Recife, 44p.

Cursi, D. E.; Hoffmann, H.P.; Barbosa, G.V.S; Bressiani, J.A.; Gazaffi, R.; Chapola, R.G.; Fernandes Júnior, AR.; Balsalobre, T.W.A; Diniz, C.A.; Santos, J.M.; Carneiro, M.S. 2022. History and current status of sugarcane breeding, germplasm development and molecular genetics in Brazil. *Sugar Tech*, 24(1): 112-133.

De Lucena Costa, N.; Daros, E.; Mores, A. 2011. Utilização de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). *Pubvet*, 5: 1136.

Deshmukh, P.S.; Phonde, D.B. Effect of seaweed extract on growth, yield and quality of sugarcane. 2013. **International Journal of Agricultural Sciences**, 9 (2): 750-753.

De Matos, M.; Santos, F.; Eichler, P. 2020. Sugarcane world scenario. *In: Sugarcane biorefinery, technology and perspectives.* Academic Press. 1-19.

De Medeiros Silva, W. K.; De Freitas, G.P.; Coelho Júnior, L.M.C.; Pinto, P.A.LA.; Abrahão, R. 2019. Effects of climate change on sugarcane production in the state of Paraíba Brazil: a panel data approach 1990–2015. *Climatic Change*, 154: 195-209.

De Oliveira Gonçalves, F.; Perna, R.F.; Lopes, E.S.; Tovar, L.P.; Maciel Filho, R.; Lopes, M.S. 2023. Strategies to ensure fuel security in Brazil considering a forecast of ethanol production. *Biomass*, 3(1): 1-17.

De Oliveira, C.P.; Alvarez, R.C.F.; Lima, S.F.; Contardi, L.M. 2013. Sugarcane productivity and technological quality using soil conditioner and biostimulants. *Revista Agrarian*, 6(21): 245-251.

De Vasconcelos, A.C.F.; Chaves, L.H.G. 2019. Biostimulants and their role in improving plant growth under abiotic stresses. *Biostimulants in Plant Science*, 3-16.

Dhaliwal, S.S.; Naresh, R.K.; Mandal, A.; Singh, R.; Dhaliwal, M.K. 2019. Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: a review. *Environmental and Sustainability Indicators*, 1: 100007.

Dhaliwal, S.S.; Sharma, V.; Verma, G. 2021. Agronomic strategies for improving micronutrient use efficiency in crops for nutritional and food security. *Input Use Efficiency for Food and Environmental Security*, 123-156.

Dong, K. 2007. Insect sodium channels and insecticide resistance. *Invertebrate Neuroscience*, 7: 17-30p.

Du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196: 3-14.

Du, Y.; Zhao, Q.; Chen, L.; Yao, X.; Xie, F. 2020. Effect of drought stress at reproductive stages on growth and nitrogen metabolism in soybean. *Agronomy*, 10(2): 302.

Elliott, M.; Janes, F. 1978. Synthetic pyrethroids – a new class of insecticide. *Chemical Society Reviews*, 7(4): 473-505.

El-Sharnoby, H.M.; Badr, E.A.; Elenen, F.F.A. 2021. Influence of foliar application of algae extract and nitrogen fertilization on yield and quality of sugar beet grown in reclaimed sandy soil. *SVU-International Journal of Agricultural Sciences*, 3(3): 1-15.

Franzoni, G.; Cocetta, G.; Ferrante, A. 2021. Effect of glutamic acid foliar applications on lettuce under water stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 27: 1059-1072.

Geipel, J.; Claupen, J.L.G. 2014. Combined spectral and spatial modeling of corn yield based on aerial images and crop surface models acquired with an unmanned aircraft system. *Remote Sensing*, 6 (11): 10335-10355.

Godoy, F.; Olivos-Hernández, K.; Stange, C.; Handford, M. 2021. Abiotic stress in crop species: improving tolerance by applying plant metabolites. *Plants*, 10(2): 186.

Gonçalves, B.H.L.; Souza, J.M.A.; Ferraz, R.A.; Tecchio, M.A.; Leonel, S. 2018. Efeito do bioestimulante Stimulate[®] no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro cv. BRS Rubi do Cerrado. *Revista de Ciências Agrárias*, 41(1): 147-155.

González-López, M.D.C.; Jijón-Moreno, S.; Dautt-Castro, M.; Ovando-Vázquez, C.; Ziv, T.; Horwitz, B.A.; Casas-Flores, S. 2021. Secretome analysis of *Arabidopsis*–*Trichoderma atroviride* interaction unveils new roles for the plant glutamate: glyoxylate aminotransferase GGAT1 in plant growth induced by the fungus and resistance against *Botrytis cinerea*. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(13): 6804.

González-Pérez, B. K., A.M. Rivas-Castillo.M.A. Valdez-Calderón &M.A. Gayosso-Morales. 2022. Microalgae as biostimulants: A new approach in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 38(1):4p.

Han, L.; Yang, G.; Dai, H.; Xu, B.; Yang, H.; Haikuan, F.; Li, Z.; Yang, X.D. 2019. Modeling maize aboveground biomass based on machine learning approaches using UAV remote-sensing data. *Plant Methods*, 15 (1): 1-19.

Han, M.; Zhang, C.; Suplo, P.; Sol, S.; Wang, M.Y.; Su, T. 2021. L-Aspartate: an essential metabolite for plant growth and stress acclimation. *Molecules*, 26(7): 1887.

Hasanuzzaman, M.; Bhuyan, M.B.; Nahar, K.; Hossain, M.S.; Mahmud, J.A.; Hossen, D.S.; Masud, A.A.C.; Moumita.; Fujita, M. 2018. Potassium: a vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy*, 8(3): 31.

Hodek, I.; Honek, A. 1996. The ecology of Coccinellidae. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 480p.

Huang, C.F.; Liu, W.Y.; Yu, C.P.; Wu, S.H.; Ku, M.S.B. 2023. C4 leaf development and evolution. *Current Opinion in Plant Biology*, 102454.

Huang, Y.; Wan, X.; Zhao, Z.; Liu, H.; Wen, Y.; Ge, W.W.X.; Zhao, C. 2023. Metabolomic analysis and pathway profiling of paramylon production in *Euglena gracilis* grown on different carbon sources. *International Journal of Biological Macromolecules*. 246: 125661.

Jacomassi, L.M.; Viveiros, J.O.; Oliveira, M.P.; Monesso, L.; Siqueira, G.F.; Crusciol, C.A.C. 2022. A seaweed extract-based biostimulant mitigates drought stress in sugarcane. *Frontiers in Plant Science*, 13: 865291.

Johnson, M.W.; Tabashnik, B.E. 1999. Enhanced biological control through pesticide selectivity, p. 297-317. In T.S. Bellows & T.W. Fisher eds., *Handbook of biological control*. San Diego, Academic Press, 1046 p.

Jupp, A.R.; Beijer, S.; Narain, G.C.; Schipper, W.; Slootweg, J.C. 2021. Phosphorus recovery and recycling—closing the loop. *Chemical Society Reviews*, 50(1): 87-101.

Kapoor, R.V.; Wood, E.E.; Llewellyn, C.A. 2021. Algae biostimulants: A critical look at microalgal biostimulants for sustainable agricultural practices. *Biotechnology Advances*, 49: 107754.

Kaur, H.; Kaur, H.; Kaur, H.; Srivastava, S. 2023. The beneficial roles of trace and ultratrace elements in plants. *Plant Growth Regulation*, 100(2): 219-236.

Khan, M. T.; Khan, I.A. 2019. Sugarcane biofuels: status, potential, and prospects of the sweet crop to fuel the world. Springer.

Kisvarga, S.; Farkas, D.; Boronkay, G.; Neményi, A.; Orlócio, L. 2022. Effects of biostimulants in horticulture, with emphasis on ornamental plant production. *Agronomy*, 12(5): 1043.

Lei, S., Rossi, S.; Huang, B. 2022. Metabolic and physiological regulation of aspartic acid-mediated enhancement of heat stress tolerance in perennial ryegrass. *Plants*, 11(2): 199.

Marafon, A.C. Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático. Embrapa Tabuleiros Costeiros-Documents, (INFOTECA-E), 2012. 31 p.

Macedo, W.R.; Castro, P.R.D.C. 2015. Biorreguladores, bioestimulantes e bioativadores na agricultura tropical. *Avanços Tecnológicos Aplicados à Pesquisa na Produção Vegetal*.

Majeed, A.; Rashid, I.; Niaz, A.; Ditta, A.; Sameen, A.; Al-Huqail, A.A.; Siddiqui, M.H. 2022. Balanced use of Zn, Cu, Fe, and B improves the yield and sucrose contents of sugarcane juice cultivated in sandy clay loam soil. *Agronomy*, 12(3): 696.

Malhotra, H.; Vandana.; Sharma, S.; Pandey, R. 2018. Phosphorus nutrition: plant growth in response to deficiency and excess. *Plant nutrients and abiotic stress tolerance*, 171-190.

Malik, A.; Mor, V.S.; Tokas, J.; Punia, H.; Malik, S.; Malik, K.; Sangwan, S.; Tomar, S.; Singh, P.; Himangini, N.S.; Ghiyal, V.; Babbar, N.; Singh, G.; Kumar, V.; Sandhya.; Karwasra, A. 2020. Biostimulant-treated seedlings under sustainable agriculture: A global perspective facing climate change. *Agronomy*. 11: 14.

Mangrio, N.; Kandhro, M.N.; Soomro, A.; Mari, N.; Shah, Z.U.H. 2020. Growth, yield and sucrose percent response of sugarcane to zinc and boron application. *Sarhad Journal of Agriculture*, 36(2): 459-469.

Mardamootoo, T.,C.C.; Preez, D.; Barnard, J.H. 2021. Phosphorus management issues for crop production: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 17(7): 939-952.

Maradiaga, W.D.; Evangelista, A.W.P.; Leandro, W.M.; Domingos, M.V.H.; Casaroli, D. 2018. *Lithothamnium* e vinhaça na produção de cana-de-açúcar orgânica irrigada e de sequeiro. *Irriga*, 23(2): 390–401.

Medeiros, M.H. Desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar fertilizada com organomineral à base de lodo de esgoto com e sem bioestimulante. 2019. 16p. (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Uberlândia, 2019.

Mellis, E. V., Quaggio, J.A.; Becari, G.R.G.; Teixeira, L.A.J.; Cantarella, H.; Dias, C.C. 2016. Effect of micronutrients soil supplementation on sugarcane in different production environments: cane plant cycle. *AgronomyJournal*, 108(5): 2060-2070.

Munaro, D.; Nunes, A.; Schmitz, C.; Bauer, C.; Coelho, D.S.; Oliveira, E.R.; Yunes, R.A.; Moura, S.; Maraschin, M. 2021. Metabolites produced by macro and microalgae as plant biostimulants. *Studies in Natural Products Chemistry*, 71: 87-120.

Mustafa, S.K.; Alsharif, M.A. 2018. Copper Cu an essential redox-active transition metal in living system: a review article. *American Journal of Analytical Chemistry*, 901: 15.

Mustățea, G.; Ungureanu, E.L.; Iorga, E. 2019. Protein acidic hydrolysis for amino acids analysis in food-progress over time: a short review. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 1: 131-2p.

Nephali, L.; Piater, L.A.; Dubery, I.A.; Patterson, V.; Huyser, J.; Burgess, K.; Tugizimana, F. 2020. Biostimulants for plant growth and mitigation of abiotic stresses: a metabolomics perspective. *Metabolites*, 10(12): 505.

Oliveira, F. M. O.; Batista, A.P.; Ferreira, M.F.T.; Aspiazú, I.; Pinto, F.M.; Silva, A.P.A. (2014). Características agrotecnológicas de cana-de-açúcar em diferentes épocas de supressão de irrigação e níveis de adubação. *Semina: Ciências Agrárias*, 35 (3): p. 1587-1606.

Oliveira, M.W.; Silva, V.S.; Oliveira, T.B.A.; Nogueira, C.H.C.; Franco Júnior, C.L.; Brito, F.S. 2018. Humic substances, amino acids and marine algae extract increase sugarcane productivity. *Revista de Ciências Agrárias*, 2018,41(2): 408-414

Ozturk, M.; Unal, B.T.; García-Cparrós, P.; Khurseed, A.; Gul, A.; Hasanuzzaman, M. 2021. Osmoregulation and its actions during the drought stress in plants. *Physiologia plantarum*, 172 (2): 1321-1335.

Paradiković, N.; Teklić, T.; Zeljković, S.; Lisjak, M.; Špoljarević, M. 2019. Biostimulants research in some horticultural plant species—A review. *Food Energy Security*, 8(2): e00162.

Pereira, M.J.; Santos, R.L.; Silva, C.J.C.; Ataíde, L.S.; Santos, R.V.S.; Monte, I.R.; Silva, I.C.; Santos, J.A.; Santos, M.B.C. 2020. Desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar sob aplicação foliar de nitrogênio. *Research, Society and Development*, 9 (8): 1-18.

Pimenta, F.M.; Speroto, A.T.; Costa, M.H.; Dionizio, E.A. 2021. Historical changes in land use and suitability for future agriculture expansion in Western Bahia, Brazil. *Remote Sensing*, 13(6): 1088.

Radkowski, A.; Radkowska, I.; Bocianowski, J.; Sladkovska, T.; Wolski, K. 2020. The effect of foliar application of an amino acid-based biostimulant on lawn functional value. *Agronomy*, 10(11): 1656.

Rehman, M.; Liu, L.; Wang, Q.; Saleem, M.H.; Bashir, S.; Ullah, S.; Peng, D.X. 2019. Copper environmental toxicology, recent advances, and future outlook: a review. *Environmental science and pollution research*, 26: 18003-18016.

Ronga, D., Biazzi, E.; Parati, K.; Carminati, D.; Carminati, E.; Tava, A. 2019. Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions. *Agronomy*, 9(4): 192.

Sanches, G. M.; Bordonal, R.O.; Magalhães, P.S.G.; Otto, R.; Chagas, M.F.; Cardoso, T.F.; Luciano, A.C.S. 2023. Towards greater sustainability of sugarcane production by precision agriculture to meet ethanol demands in south-central Brazil based on a life cycle assessment. *Biosystems Engineering*, 229: 57-68.

Santini, G.; Biondi, N.; Rodolfi, L.; Tredici, M.R. 2021. Plant biostimulants from cyanobacteria: an emerging strategy to improve yields and sustainability in agriculture. *Plants*, 10(4): 643.

Santos, G.A.; Nicchio, B.; Borges, M.A.; Gualberto, C.A.C.; Pereira, H.S.; Korndorfer, G.H. 2020. Effect of biostimulants on tilling, yield and quality component of sugarcane. *Brazilian Journal of Development*, 6(5): 29907-29918.

Santos, M.D.J. 2012. Extração e determinação de Mo em três argissolos do nordeste cultivados com cana-de-açúcar.

Sardans, J.; Peñuelas, J. 2021. Potassium control of plant functions: Ecological and agricultural implications. *Plants*, 10(2): 419.

Sadak, M.; Abdelhamid, M.T.; Schmidhalter, U. 2015. Effect of foliar application of aminoacids on plant yield and some physiological parameters in bean plants irrigated with seawater. *Acta biológica colombiana*, 20(1): 141-152.

Shahid, M.; Nayak, A.K.; Tripathi, R.; Katara, J.L.; Bihari, P.; Lal, B.; Gautam, P. 2018. Boron application improves yield of rice cultivars under high temperature stress during vegetative and reproductive stages. *International Journal of Biometeorology*, 62: 1375-1387.

Shireen, F.; Nawaz, M.A.; Chen, C.; Zhang, Q.; Zheng, Z.; Sohail, H.; Jingyu, S.; Cao, H.; Huang, Y.; Bié, Z. 2018. Boron: functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. *International journal of molecular sciences*, 19(7): 1856.

Silva, A.R.B. 2008. Avaliação da aplicação de Stimulate® no sulco de plantio de variedades de cana-de-açúcar. Simpósio Bras. Ecofisiol. Maturação e Maturadores em Cana de Açúcar. 1: 116-120p.

Silva, L.C. 2011. Diagnose nutricional de potencial de resposta à adubação em cana-de-açúcar *Saccharum spp.* na região de tabuleiros costeiros em Alagoas. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Silva, M.A.; Gava, C.J.C.; Caputo, M.M.; Pincelli, R.P.; Jerônimo, E.M.; Cruz, J.C.S. 2007. Uso de reguladores de crescimento como potencializadores do perfilhamento e da produtividade em cana-soca. *Bragantia*, 66(4): 545-552.

Silva, M.A.G.; Muniz, A.S.; Noda, A.Y.; Marchetti, M.E.; Mata, J.D.V.; Lourente, E.R.P. 2009. Metodologias e eficiência de extratores para zinco, cobre, ferro e manganês. *Acta Scientiarum Agronomy*, 31(3): 537-545.

Silva, M.D.A.; Cato, S.C.; Costa A.G.F. 2010. Produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar submetida à aplicação de biorregulador e fertilizantes líquidos. *Ciência Rural*, 40: 774-780.

Tavanti, T. R.; Melo, A.A.R.; Moreira, L.D.K.; Sanchez, D.E.J.; Silva, R.S.; Silva, R.M.; Reis, A.R. 2021. Micronutrient fertilization enhances ROS scavenging system for alleviation of abiotic stresses in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 160, 386-396.

Tripathi, D.K.; Singh, S.; Singh, S.; Mishra, S.; Chauhan, D.K.; Dubey, E. 2015. Micronutrients and their diverse role in agricultural crops: advances and future prospective. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37: 1-14.

Uribe, R.A.M.; Gava, G.J.C.; Saad, J.C.C.; Kolln, O.T. 2013. Ratoon sugarcane yield integrated drip-irrigation and nitrogen fertilization. *Revista Engenharia Agrícola*, 33(6): 1124-1133.

Vandenberghe, L.P.S.; Valladares-Diestra, K.K.; Bittencourt, G.A.; Torres, L.A.Z.; Vieira, S.; Karp, S.G.; Sydney, E.B.; Carvalho, J.C.; Soccol, V.T.; Soccol, C.R. 2022. Beyond sugar and ethanol: the future of sugarcane biorefineries in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 167: 112721.

Viana, J.L.; Souza, J.L.M.; Hoshida, A.K.; Oliveira, R.A.; Abreu, D.C.; Silva, W.M. 2023. Estimating sugarcane yield in a subtropical climate using climatic variables and soil water storage. *Sustainability*, 15(5): 4360.

Wozniak, E.; Blaszczyk, A.; Wiatrak, P.; Canady, M. 2020. Biostimulant mode of action: impact of biostimulant on whole-plant level. *The Chemical Biology of Plant Biostimulants*. 205-227 p.

Xiaochuang, C.; Meiyan, W.; Chunquan, Z.; Chu, Z.; Junhua, Z.; Lianfeng, Z.; Wu, L.; Qianyu, J. 2020. Glutamate dehydrogenase mediated amino acid metabolism after ammonium uptake enhances rice growth under aeration condition. *Plant Cell Reports*. 39: 363-379.

Yahaya, S.M.; Mahmud, A.A.; Abdullahi, M.; Haruna, A. 2023. Recent advances in the chemistry of nitrogen, phosphorus and potassium as fertilizers in soil: a review. *Pedosphere*. 33(3): 385-406.

Yakhin, O.I.; Lubyantsev, A.A.; Yakhin, L.A.; Brown, P.H. 2017. Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in plant science*. 7: 2049.

Yang, H.; Duan, Y.; Wu, Y.; Zhang, C.; Wu, L.W.; Lyu, L.; Li, W. 2023. Physiological and transcriptional responses of carbohydrate and nitrogen metabolism and ion balance in blueberry plants under nitrogen deficiency. *Plant Growth Regulation*, 101(2): 519-535.

Yang, Y.Y.; Gao, S.; Su, Y.; Lin, Z.; Guo, J.L.; Li, M.; Wang, Z.; Que, Y.; Xu, L. 2019. Transcripts and low nitrogen tolerance: regulatory and metabolic pathways in sugarcane under low nitrogen stress. *Environmental and Experimental Botany*, 163: 97-111.

Yu, Danyang.; Zha, Y., Shi, L.; Jin, X.; Hu, S.; Yang, Q.; Huangc, K.; Zeng, W. 2020. Improvement of sugarcane yield estimation by assimilating UAV-derived plant height observations. *European Journal of Agronomy*, 121: 126159.

Zamljen, T.; Medic, A.; Hudina, M.; Veberic, R.; Slatnar, A. 2022. Biostimulatory effects of amino acids on phenylalanine ammonia lyase, capsaicin synthase, and peroxidase activities in *Capsicum baccatum* L. *Biology*, 11(5): 674.

Zilliani, R.R. 2015. Influência de biorreguladores sobre a fisiologia e crescimento inicial de cana-de-açúcar submetida ao déficit hídrico.