



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

WELLINGTON DOS SANTOS JÚNIOR

**RESPOSTA AGRONÔMICA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DE
DIFERENTES TRATAMENTOS DE FUNDO DE SULCO**

AREIA

2024

WELLINGTON DOS SANTOS JÚNIOR

**RESPOSTA AGRONÔMICA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DE
DIFERENTES TRATAMENTOS DE FUNDO DE SULCO**

Trabalho de Graduação apresentado à
Coordenação do Curso de Agronomia do Centro
de Ciências Agrárias da Universidade Federal da
Paraíba, em cumprimento às exigências para a
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Bandeira de
Albuquerque

AREIA

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

J95r Santos Junior, Wellington dos.

Resposta agrônômica da cana-de-açúcar em função de
diferentes tratamentos de fundo de sulco / Wellington
Dos Santos Junior. - Areia, 2024.
41 f.

Orientação: Manoel Bandeira de Albuquerque.
TCC (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Adubação. 3. Nutrição. 4. Saccharum
spp. I. Albuquerque, Manoel Bandeira de. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635 (02)

WELLINGTON DOS SANTOS JÚNIOR

**RESPOSTA AGRONÔMICA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DE
DIFERENTES TRATAMENTOS DE FUNDO DE SULCO**

Trabalho de Graduação apresentado à
Coordenação do Curso de Agronomia do Centro
de Ciências Agrárias da Universidade Federal da
Paraíba, em cumprimento às exigências para a
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em: 29/10 /2024.

BANCA EXAMINADORA

MANOEL BANDEIRA DE
ALBUQUERQUE:02540236499

Assinado de forma digital por MANOEL BANDEIRA DE
ALBUQUERQUE:02540236499
Dados: 2024.11.05 13:34:11 -03'00'

Prof. Dr. Manoel Bandeira de Albuquerque – Orientador
CCA/UFPB



MSc. Lucilo José Morais de Almeida
Examinador



MSc. João Henrique Barbosa da Silva
Examinador

Todo esforço que depositei neste trabalho dedico a minha avó Marinete Maria (*in memorian*) que foi um exemplo de caráter e dignidade e por todo incentivo.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a minha mãe Dulcilene Maria Silva dos Santos por todo esforço feito para que não faltasse nada durante o curso. A minha irmã Rayane Silva dos Santos por todo incentivo.

Quero agradecer a Tainan por ter me presenteado com meu filho Pietro Dominic dos Santos, queria agradecer também por todo companheirismo, parceria e incentivo sem você nada seria possível.

Quero agradecer aos meus irmãos de outra mãe, João Antônio, Edvaldo Barbosa e Lucas Araruna pela amizade desde 2017, obrigado por toda parceria, conselhos e por deixarem toda graduação mais leve.

Quero agradecer a Rhadija por ter sido meu braço direito no Gesucro sem você como vice-presidente não teria feito uma gestão perfeita, agradecer também pela amizade e toda ajuda durante a graduação. Quero agradecer aos meus grandes amigos de graduação, Joel, Joseane, Josiele, Germana, Estephany, Jonatha, Matheus franco por toda amizade, companheirismo e ajuda durante toda a graduação.

Agradeço a turma 2019.1 Kelson, Jonas, Livia, Valter, Carlos, Bruno, Antenor, Marcos, Diogo, Manuel, Thiago, Clara, Janine, João Pedro, João Victor, Sthefany, Elizabeth e Roberto por todas as brincadeiras e amizade.

Por fim quero agradecer os meus orientadores prof Dr Fabio Mielezrski, Prof Dr Manoel Bandeira e Prof Dr Bruno Malaquias por todo ensinamento, conselhos e oportunidades durante toda a graduação sem ajuda de vocês não me tornaria o que sou hoje, muito obrigado por tudo

RESUMO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, e essa cultura é responsável pela produção de etanol, açúcar e subprodutos de alta importância socioeconômica para o país. O Nordeste brasileiro é a terceira região do país com maior produção dessa cultura, sendo o estado da Paraíba responsável por forte participação dessa demanda nacional. Para o aumento da produtividade, a adubação é um fator chave que deve ser considerado no momento do plantio, acarretando em diversos efeitos positivos para as plantas. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a resposta agrônômica da cana-de-açúcar em função de diferentes tratamentos de fundo de sulco. O experimento de campo foi realizado entre Julho de 2023 a Julho de 2024 na Fazenda Experimental Chã-de-Jardim, pertencente à Universidade Federal da Paraíba, município de Areia, Brasil, utilizando um delineamento de blocos casualizados, com seis tratamentos, quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Os tratamentos consistiram em diferentes produtos aplicados em fundo de sulco, no momento do plantio. Foi avaliado à altura de colmos industrializáveis, diâmetro de colmo, número de entrenós, número de folhas, °Brix, número de perfilhos e a tonelada de cana por hectare. Os tratamentos não influenciaram a maioria das variáveis analisadas. O tratamento T6 (Produto A + Produto B 0,5 L + Produto C 0,3 L + Produto D 1,0 L) favoreceu o aumento do número de folhas, número de entrenós e produtividade da cana-de-açúcar. No entanto, a produtividade encontrada foi inferior à média do estado da Paraíba.

Palavras-chave: adubação; nutrição; *Saccharum* spp.

ABSTRACT

Brazil is the world's largest producer of sugarcane, and this crop is responsible for the production of ethanol, sugar, and by-products of high socioeconomic importance for the country. The Brazilian Northeast is the third region in the country with the largest production of this crop, with the state of Paraíba responsible for a strong share of this national demand. To increase productivity, fertilization is a key factor that must be considered at the time of planting, resulting in several positive effects for the plants. Therefore, the objective of this study was to evaluate the agronomic response of sugarcane to different furrow treatments. The field experiment was carried out between July 2023 and July 2024 at the Chã-de-Jardim Experimental Farm, belonging to the Federal University of Paraíba, municipality of Areia, Brazil, using a randomized block design, with six treatments, four replicates, totaling 24 experimental units. The treatments consisted of different products applied to the furrow bottom at the time of planting. The height of industrializable stalks, stalk diameter, number of internodes, number of leaves, °Brix, number of tillers and ton of sugarcane per hectare were evaluated. The treatments did not influence most of the variables analyzed. The T6 treatment (Product A + Product B 0.5 L + Product C 0.3 L + Product D 1.0 L) favored the increase in the number of leaves, number of internodes and productivity of sugarcane. However, the productivity found was lower than the average for the state of Paraíba.

Keywords: fertilization; nutrition; *Saccharum* spp.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução quanto a domesticação da cana-de-açúcar	12
Figura 2 – A aplicação de nutrientes depende da demanda da cultura e da dinâmica	13
Figura 3 – Adubação mineral (cana planta)	15
Figura 4 – Adubação mineral (cana soca).....	15
Figura 5 – Extração e exportação de macro e micronutrientes.....	17
Figura 6 – Produção de fertilizantes	20
Figura 7 – Maiores empresas de fertilizantes.....	20
Figura 8 – Precipitação pluviométrica (PPT), umidade relativa do ar (UR), temperatura máxima (T _{máx}) e mínima (T _{min}) durante o período de realização do experimento.....	22
Figura 9 – Teores médios de sólidos solúveis (°Brix) de cana-de-açúcar submetido a diferentes tratamentos de fundo de sulco.....	27
Figura 10 – Altura de colmos industrializáveis de cana-de-açúcar submetido a diferentes tratamentos de fundo de sulco.....	28
Figura 11 – Número de folhas de cana-de-açúcar submetido a diferentes tratamentos de fundo de sulco.....	29
Figura 12 – Diâmetro de colmo de cana-de-açúcar submetido a diferentes tratamentos de fundo de sulco.....	30
Figura 13 – Número de entrenós de cana-de-açúcar submetido a diferentes tratamentos de fundo de sulco.....	31
Figura 14 – Número de perfilhos de cana-de-açúcar submetido a diferentes tratamentos de fundo de sulco.....	32
Figura 15 – Toneladas de cana por hectare (TCH) de cana-de-açúcar submetido a diferentes tratamentos de fundo de sulco.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Extração e exportação de macro e micronutrientes para a produção de 100 toneladas de colmos.....	14
Tabela 2 – Croqui da área experimental	23
Tabela 3 – Atributos químicos do solo	23
Tabela 4 – Atributos físicos do solo	24
Tabela 5 – Tratamentos e dosagens dos produtos utilizados no experimento.....	24
Tabela 6 – Nutrientes presente nos produtos utilizados	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO DE LITERATURA	12
	2.1 Histórico da cana-de-açúcar	12
	2.2 Necessidade de fertilidade para a cana-de-açúcar.....	13
	2.3 Papel do NPK na fisiologia e uso de micronutrientes	16
	2.4 Organomineral como alternativa viável	17
	2.5 Extrato de algas como uma novidade interessante.....	18
	2.6 Consumo de adubos no Brasil	19
3	MATERIAL E MÉTODOS	22
	3.1 Área de estudo	22
	3.2 Delineamento experimental	22
	3.3 Material vegetal e manejo	23
	3.4 Variáveis analisadas.....	25
	3.5 Análise estatística	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5	CONCLUSÕES	35
	REFERÊNCIAS	36

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), atingindo anualmente uma produção média em torno de 622 milhões de toneladas, tendo como principal derivado de sua matéria-prima o etanol e açúcar, tornando essa cultura uma commodity relevante a nível social e econômico para o país (OLIVA *et al.*, 2021). O Nordeste do Brasil é reconhecido por ser o terceiro maior produtor mundial dessa cultura dentro do país, apresentando uma produtividade média de 63 t ha⁻¹ na safra 2023/24, contudo, inferior à média nacional do país de 85 t ha⁻¹ obtido no mesmo ano (CONAB, 2024). No estado da Paraíba, por sua vez, a produtividade registrada na referida safra foi de 60 t ha⁻¹, exemplifica essa disparidade regional e destacando a necessidade de estratégias que possam melhorar a eficiência e a competitividade da produção local.

Entre as principais causas para uma produtividade relativamente baixa, pode-se citar o déficit hídrico, danos ocasionados por insetos-praga e doenças e, a baixa fertilidade do solo (CRUSCIOL *et al.*, 2018; CAMARGO *et al.*, 2020), sendo a demanda nutricional um fator importante para manter os canaviais mais produtivos e com maior longevidade (SILVA *et al.*, 2021). O nitrogênio (N) é conhecido por ser o segundo nutriente mais relevante em termos de necessidade e o mais restritivo para o crescimento e desenvolvimento das plantas, ajudando na regulação metabólica, síntese de proteínas e na fotossíntese (SALVATO *et al.*, 2017; AZIMI *et al.*, 2021). O fósforo (P), por outro lado, é um nutriente crítico e exigido em pequena quantidade pela cana-de-açúcar em comparação com N e potássio (K), contudo, desempenha um papel crucial no desenvolvimento do perfilhamento e sistema radicular das plantas, influenciando consequentemente o stand inicial e longevidade da cultura (KINGSTON, 2014; ROSA *et al.*, 2020). Por fim, o K é um dos mais importantes nutrientes essenciais para as plantas, sendo responsável pela regulação da absorção, transporte e uso da água e outros nutrientes pelo vegetal (BHATT *et al.*, 2021).

Na cultura da cana-de-açúcar, a adubação pode ser realizada tanto via foliar quanto em fundo de sulco. A adubação foliar é utilizada com o intuito de fornecer nutrientes de forma rápida em situações específicas, especialmente em fases críticas do ciclo da planta, servindo como uma adubação complementar (NIU *et al.*, 2021). Por outro lado, a adubação em fundo de sulco é utilizada no momento do plantio, envolvendo principalmente a aplicação de fertilizantes NPK no sulco de plantio, permitindo que os nutrientes obtenham contato direto com as raízes desde o início do desenvolvimento (ALMEIDA *et al.*, 2023). Além da aplicação de adubos NPK no fundo dos sulcos, a utilização de produtos organominerais tem se destacado como uma

alternativa promissora para o setor sucroalcooleiro, como no caso dos produtos à base de extrato de algas (JACOMASSI *et al.*, 2022; CHEN *et al.*, 2023).

Os extratos de algas são considerados bioestimulantes que atuam no crescimento das culturas, melhoram a qualidade do rendimento e promovem diversos efeitos positivos para as plantas (CHEN *et al.*, 2021). Por apresentar hormônios naturais como auxina, citocinina, giberelina e outras substâncias ativas, a sua utilização na agricultura tem sido altamente empregada, como na cana-de-açúcar (CASTRO *et al.*, 2024). Vale salientar que, a utilização de práticas agrícolas como o uso de fertilizantes organomineral depende da eficiência e logística, podendo ajudar os produtores a obter maiores ganhos produtivos e oferecer uma alternativa economicamente viável e de forma sustentável (MORAES *et al.*, 2018). Além disso, por ser uma cultura semiperene, estudos com a cana-de-açúcar devem ser levados em consideração, especialmente utilizando produtos à base de extrato de algas em fundo de sulco (por ser uma prática comumente adotada de adubação), bem como comparando com fertilizantes minerais, buscando estabelecer parâmetros científicos que possam orientar e justificar sua utilização (CRUSCIOL *et al.*, 2021).

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a resposta agrônômica da cana-de-açúcar em função de diferentes tratamentos de fundo de sulco.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Histórico da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma cultura reconhecida a nível mundial, sendo cultivada por sua expressiva aptidão de sintetizar e armazenar elevadas concentrações de sacarose, o que explica a sua utilização na agricultura desde os tempos pré-históricos, chegando a modificações notórias quando comparado a cana nobre atual (MIRAJKAR *et al.*, 2019). Sendo descrita por Linneu em meados de 1753 (livro *Species Plantarum*) e citado por Hitchcock (1923), a cana-de-açúcar foi classificada como *Saccharum officinarum* e *Saccharum spicatum*, sendo sofrido diversas modificações ao longo do tempo (CESNIK *et al.*, 2004).

Dentro do gênero *Saccharum*, se tem seis espécies, sendo quatro domesticadas (*S. officinarum* L., *S. barberi* Jesweit, *S. sinense* Roxb. e *S. edule* Hassk) e 2 silvestres (*S. robustum* Brandes e Jeswiet ex Grassl e, *S. spontaneum* L.). As cultivares modernas de cana-de-açúcar são bem explanadas, sendo algumas derivadas por meio de hibridização interespecífica conduzido há um século através de criadores entre os diferentes grupos que eram cultivados anteriormente, sendo *S. officinarum* constituída pelas “canas nobres” (POMPIDOR *et al.*, 2021). Na Figura 1, observa-se um cronograma evolutivo quanto a domesticação da cana-de-açúcar.

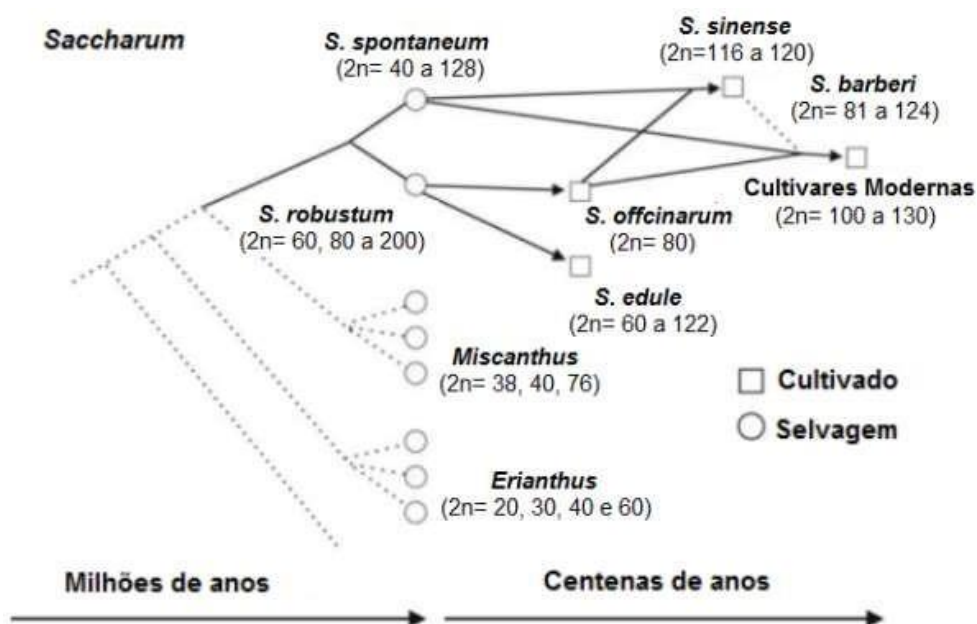


Figura 1 – Evolução quanto a domesticação da cana-de-açúcar. Fonte: D' Hont *et al.* (2008).

Os estudiosos apresentam uma teoria de que a cana-de-açúcar foi originada das ilhas do Arquipélago da Polinésia, sendo a espécie *S. robustum* originada no centro de expansão da Nova Guiné. O açúcar, por sua vez, originado da matéria-prima da cana-de-açúcar, existia na Índia desde 3000 a.C., denominada de Sarkara, sendo o cultivo dessa cultura limitado em países do Oriente Médio (Vale do rio Eufrates) (AUGUSTO, 2013). Os persas permaneceram em segredo a técnica de produção de açúcar, que foi negociada com os romanos por volta de 500 a.C. Foi a partir do século VIII, com a expansão das conquistas árabes no Ocidente, que o cultivo da cana-de-açúcar foi propagado por todo o mediterrâneo (CESNIK *et al.*, 2004). De acordo com os mesmos autores, no Brasil, as mudas começaram a serem conhecidas no país por volta de 1532, através de Martin Afonso de Souza.

2.2 Necessidade de fertilidade para a cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma cultura que necessita de uma boa fertilidade do solo para o seu desenvolvimento, com o intuito de fornecer os nutrientes necessários para as plantas ao longo de seu ciclo. Atualmente, essa cultura é responsável por cerca de 13,6% do consumo total de fertilizantes minerais no país, sendo 84,7% utilizado na região Centro-Sul (ANDA, 2017; CHERUBIN *et al.*, 2019). Assim sendo, a adubação equilibrada é uma prática essencial para garantir o crescimento vigoroso da cana-de-açúcar, o que irá responder em bons rendimentos produtivos, sendo a época de aplicação uma etapa importante que deve ser levada em consideração, como pode ser observado na Figura 2.

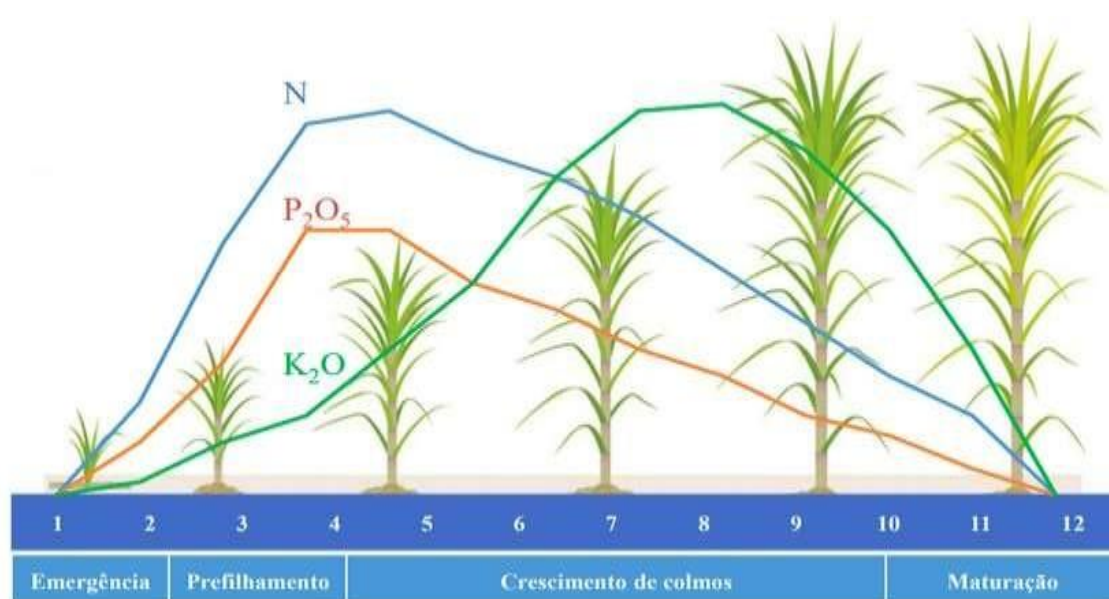


Figura 2 – A aplicação de nutrientes depende da demanda da cultura e da dinâmica. Fonte: Oliveira, E. C.

De modo geral, a necessidade da cana-de-açúcar pode ser descrita em relação aos nutrientes (macro e micro) que serão aplicados à cultura, ajustados ao nível esperado de produtividade e levando em consideração a época e local de aplicação dos nutrientes. Em relação a disponibilidade de nutrientes no solo, por outro lado, pode ser avaliada por meio de diagnósticos visuais, analisando a planta de forma integrada, o que permite identificar sinais de excesso ou escassez nutricional (CHBAGRO, 2020). Na Tabela 1, observa-se os valores nutricionais da planta quanto a extração e exportação de macro e micronutrientes para a produção de 100 toneladas de colmos.

Tabela 1. Extração e exportação de macro e micronutrientes para a produção de 100 toneladas de colmos.

Macronutrientes (kg.100 t ⁻¹)						
Partes da planta	N	P	K	Ca	Mg	S
Colmos	83	11	78	47	33	26
Folhas	60	8	96	40	16	18
Total	143	19	174	87	49	44
Micronutrientes (g.100 t ⁻¹)						
Partes da planta	B	Cu	Fe	Mn	Zn	-
Colmos	149	234	1.393	1.052	369	-
Folhas	86	105	5.525	1.420	223	-
Total	235	339	7.318	2.470	592	-

Fonte: Orlando (1993), citado por INPI (2002).

Em cana planta, a adubação de fundo de sulco utilizando nitrogênio (N) se dá em torno de 30 a 40 kg ha⁻¹, contudo, nutrientes como fósforo (P) e potássio (K) são utilizados com base nos teores desses nutrientes presentes no solo, o qual é observado por meio de uma análise de solo antes do plantio da cultura (CHBAGRO, 2020). Ainda em adubação de cana planta, quando constatado deficiência de nutrientes como zinco (Zn) e cobre (Cu), se recomenda aplicar valores de 5 kg ha⁻¹ de Zn e 4 kg ha⁻¹ de Cu nos sulcos. Na Figura 3, é possível observar valores quanto a adubação mineral na cana-de-açúcar, em especial, para cana planta.

N kg.ha ⁻¹	P - resina mg/dm ⁻³	P ₂ O ₅ kg.ha ⁻¹	K mmol _c /dm ³	K ₂ O ⁽²⁾ kg.ha ⁻¹
40	0 - 6 ⁽¹⁾	170	< 0,7	170
40	7 - 15 ⁽²⁾	150	0,8 - 1,5	140
40	16 - 40	100	1,6 - 3,0	110
40	> 40	70	3,1 - 5,0	80
			> 5,0	0

⁽¹⁾ Em solos com teor de argila < 25% utilizar 100 a 150kg de P₂O₅/ha em área total, acrescidos de 10kg de P₂O₅/ha no sulco de plantio.
⁽²⁾ Em Areias Quartzosas (Neossolos Quartzarênicos) e Latossolos aplicar no máximo 100kg de K₂O/ha no sulco de plantio, e o restante em cobertura, antes do fechamento do canavial.

Figura 3 – Adubação mineral (cana planta). Fonte: Embrapa.

Em cana soca, por outro lado, a adubação com N é recomendada seguindo a produtividade esperada da cultura, visto que a cana-de-açúcar necessita de 1 kg de N para cada tonelada de colmo, diferente do K e P, em que a aplicação da dose é estabelecida tanto conforme o teor presente no solo obtido da análise, como pela produtividade esperada (CHBAGRO, 2020). Na Figura 4, pode-se observar de forma mais clara essas informações.

Produtividade esperada (t ha ⁻¹)	N (kg.ha ⁻¹)	K ₂ O (kg.ha ⁻¹)
65 - 80	80	100
81 - 100	100	130
> 100	120	160

K (mmol _c .dm ⁻³)	K ₂ O (kg.ha ⁻¹)
< 1,5	150
1,6 - 3,0	110
> 3,0	80

Figura 4 – Adubação mineral (cana soca). Fonte: Embrapa.

No geral, a implementação de práticas de manejo de fertilidade, incluindo a análise do solo e a aplicação de fertilizantes de forma eficiente é fundamental para aumentar o rendimento da cana-de-açúcar e garantir bons resultados de produtividade.

2.3 Papel do NPK na fisiologia e uso de micronutrientes

Entende-se que a cana-de-açúcar necessita de uma fertilização adequada para o manejo eficiente da cultura, o que irá acarretar em uma boa safra com resultados significativos para a produção e, com isso, nutrientes como N, P e K são essenciais para esse papel, os quais devem ser utilizados de forma equilibrada nos canaviais (SOOMRO *et al.*, 2021). De acordo com os mesmos autores, o N se constitui por ser uma fração de 1% da matéria seca total de uma planta de cana-de-açúcar madura, desempenhando um papel relevante quanto carbono (C), hidrogênio (H) e Oxigênio (O), os quais juntos formam mais de 90% da matéria seca.

Ao considerar a produtividade esperada da cana-de-açúcar, é possível determinar as exigências nutricionais com base no seu ciclo (ponto crucial), visto que, para cana planta, a extração dos nutrientes é maior que na socaria. Quanto a absorção de N, por exemplo, a cana planta tende a se beneficiar da mineralização do N orgânico do solo, diferente da socaria, em que a demanda por N se torna maior para conseguir alcançar produtividades iguais às encontradas na cana planta, além de que algumas variedades também se mostram responder de forma diferente a depender de suas necessidades (YARA BRASIL, 2020).

Macronutrientes como N, P e K, bem como os micronutrientes, atuam diretamente no ciclo vegetal da cana-de-açúcar, influenciando as funções estruturais e fatores enzimáticos da planta (SANTANA *et al.*, 2023). Por exemplo, o N age na estrutura da planta, o que irá favorecer o seu crescimento e desenvolvimento (LIMA *et al.*, 2022), diferente do P, que atua no fornecimento de energia (ATPs) e estimula o crescimento e formação de raízes nas fases iniciais do desenvolvimento da planta (TEIXEIRA *et al.*, 2022) e, o K, tem como função principal a ativação enzimática, estimula a vegetação, o perfilhamento, controla o fechamento dos estômatos e, promove o armazenamento de açúcar e amido no colmo (ANDRADE *et al.*, 2021; MOSTOFA *et al.*, 2022). Macronutrientes secundários como Ca, Mg e S também são importantes para a cultura e atuam de forma positiva durante o seu ciclo.

Para produzir 120 t ha⁻¹ de cana-de-açúcar (correspondendo a 100 toneladas de colmos industrializáveis), a planta irá acumular em sua parte aérea em média 150 kg de N, 40 kg de P, 180 kg de K, 90 kg de Ca, 50 kg de Mg e 40 kg de S, e, se tratando dos micronutrientes, levando em consideração a mesma produção, tem-se acúmulos de 8 g de Fe, 3 g de Mn, 0,6 g de Zn, 0,4 g de Cu e 0,3 g de B (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Na Figura 5, observa-se essa apresentação.

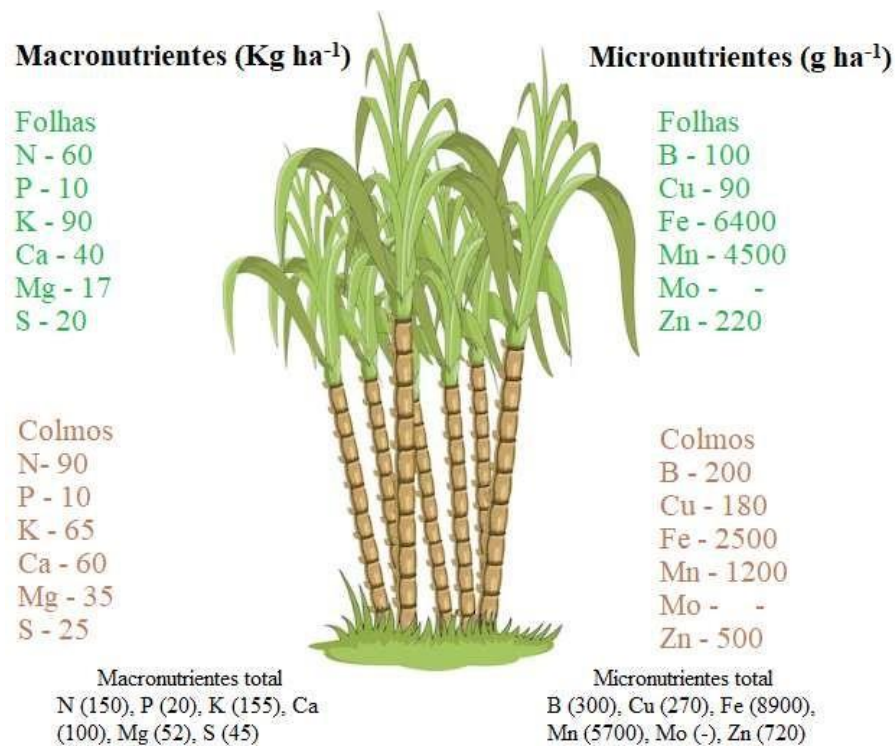


Figura 5 – Extração e exportação de macro e micronutrientes. Fonte: Elaboração própria com base nos dados de Mello Prado (2021).

Assim sendo, a utilização de NPK é essencial para a nutrição da cana-de-açúcar, desempenhando papéis fundamentais no crescimento, desenvolvimento e produtividade da planta. Contudo, se tem atualmente a necessidade de explorar alternativas que possam melhorar a eficiência da adubação na cana-de-açúcar e, nesse contexto, os fertilizantes organominerais ganham destaque como uma alternativa viável (CRUSCIOL *et al.*, 2020).

2.4 Organomineral como alternativa viável

A literatura atual aponta que, dentre os fertilizantes mais antigos usados na agricultura, tem-se os de origem orgânicas, sendo uma prática econômica e ambientalmente viável, especialmente por proporcionar a recuperação de diversos elementos químicos como NPK, além de contribuir positivamente para a estrutura física do solo, capacidade de absorção de água e fornecimento de nutrientes para as plantas (CRUSCIOL *et al.*, 2020). Os fertilizantes organominerais, por sua vez, se caracterizam por ser uma mistura de frações orgânicas e minerais, podendo ser produzido em diversas proporções de N, P e K adequadas à cultura (MACEDO *et al.*, 2008).

Em alguns estudos da literatura com a cana-de-açúcar, observou-se que após a aplicação de N organomineral o teor de biomassa e nutrientes eram comparáveis ou superior aos fertilizantes aplicados com N mineral (MARIANO *et al.*, 2016). Quanto ao P, os pesquisadores fizeram uso de compostos orgânicos em consonância ao fertilizante de P mineral, os quais constatarem melhorias na disponibilidade de fósforo no solo, especialmente por intermédio da redução na adsorção específica (VASCONCELOS *et al.*, 2017; BORGES *et al.*, 2019). Em relação ao K, por outro lado, Rosolem *et al.* (2018) estudaram a eficiência de fontes de potássio utilizando KCl regular e KCl revestido com ácido húmico (AH), em que observaram que o revestimento de KCl com AH pode controlar a liberação de potássio para a solução do solo, ajudando ainda na diminuição de perdas por lixiviação.

Com base no que foi mencionado, entende-se que os fertilizantes organominerais podem ser uma alternativa viável no setor canavieiro, no entanto, é preciso de mais estudos que mostrem sua eficiência a longo prazo, os quais ajudarão os produtores a um conhecimento mais profundo quanto a sua utilização para ganhos em rendimento produtivo, oferecendo ainda, um meio sustentável e economicamente viável para a cultura da cana-de-açúcar (MORAES *et al.*, 2018). Vale salientar também que a cana-de-açúcar ainda é uma cultura pouco explorada quanto ao uso de organominerais, tendo em vista que a maior parte das pesquisas se concentram em avaliar apenas o desempenho da cana planta, deixando em abertos os resultados quanto aos efeitos residuais em socaria (RAMOS *et al.*, 2018).

Nesse sentido, é importante que os estudos se expandam, especialmente nas avaliações da cultura em socaria, visto ser uma cultura semiperene, buscando relatar os efeitos residuais da aplicação do organomineral, o que ajudará na condução e desenvolvimento científicos mais precisos (CRUSCIOL *et al.*, 2020). Dessa forma, a utilização de extratos de algas surge como uma novidade promissora que pode potencializar o cultivo da cana-de-açúcar.

2.5 Extrato de algas como uma novidade interessante

A literatura científica mostra diversos estudos sobre as vantagens da aplicação de produtos à base de extrato de algas para as plantas, como por exemplo, na promoção de maior crescimento das plantas, das raízes, seu papel na floração, na frutificação e no crescimento das folhas (RENAUT *et al.*, 2019; YAO *et al.*, 2020; HUSSAIN *et al.*, 2021). Além disso, se tem uma alta tendência do uso de extratos de algas contra estresses abióticos, podendo ser citado a salinidade, a seca, congelamento e o calor (JITHESH *et al.*, 2019; COCETTA *et al.*, 2022).

De modo geral, os extratos de algas estimulam a síntese de pigmentos das plantas, como a clorofila, o que influencia na otimização da fotossíntese, melhora a absorção de água e nutrientes e como consequência, ocorre um efeito direto positivo na produtividade da cultura (YAKHIN *et al.*, 2017). Ainda, alguns tipos de extratos de algas possuem capacidade de estimular a atividade enzimática antioxidante, bem como o acúmulo celular de metabólitos de defesa, mitigando perdas de rendimento (GONZÁLEZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2020). Assim, seu uso na agricultura se torna uma forma interessante para potencializar o crescimento vegetal, além de melhorar a eficiência do uso de recursos e reduzir a necessidade de insumos químicos, contribuindo para uma agricultura mais sustentável e produtiva.

Em estudo realizado por Chen *et al.* (2023), investigando o uso de extrato de algas na resistência à seca na cana-de-açúcar, observaram que a sua melhorou a estrutura dos agregados do solo e promoveu o crescimento das raízes em solos mais profundos para aumentar a absorção de água, melhorando assim a resistência das plantas ao estresse hídrico. Arioli *et al.* (2020), ao estudarem os efeitos da aplicação de extrato de algas na produção de cana-de-açúcar, constataram melhorias na emergência das plantas e aumento no rendimento da cana, do açúcar e maior lucratividade do produtor. A pesquisa de Alcantara *et al.* (2023) buscou desenvolver um floculante natural a partir de algas vermelhas, a partir da extração de carragenina, encontrando no estudo alto desempenho de floculação de impurezas ao fazer uso do extrato de algas, além de verificar uma diminuição de 50% na dosagem de biofloculante.

2.6 Consumo de adubos no Brasil

De modo geral, o consumo de adubos no Brasil tem apresentado um crescimento significativo nas últimas décadas, o que reflete a intensificação da produção agrícola e a busca por aumentar a produtividade nas culturas, em especial, as que alta relevância para o país, como é o caso da cana-de-açúcar. Segundo os dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos – ANDA, em 2022 após as cotações dos fertilizantes terem acumulado uma alta de 200%, o volume destinado ao mercado brasileiro registrou uma queda de 10,4% em relação ao ano anterior, totalizando 41,078 milhões de toneladas (ANDA, 2022).

O Brasil é considerado o responsável por aproximadamente 8% do consumo global de fertilizantes, sendo o quarto país do mundo nessa liderança, atrás apenas da China, Índia e Estados Unidos (PNF, 2022). Na Figura 6, observa-se como se dá a produção dos principais fertilizantes com base nas matérias primas.

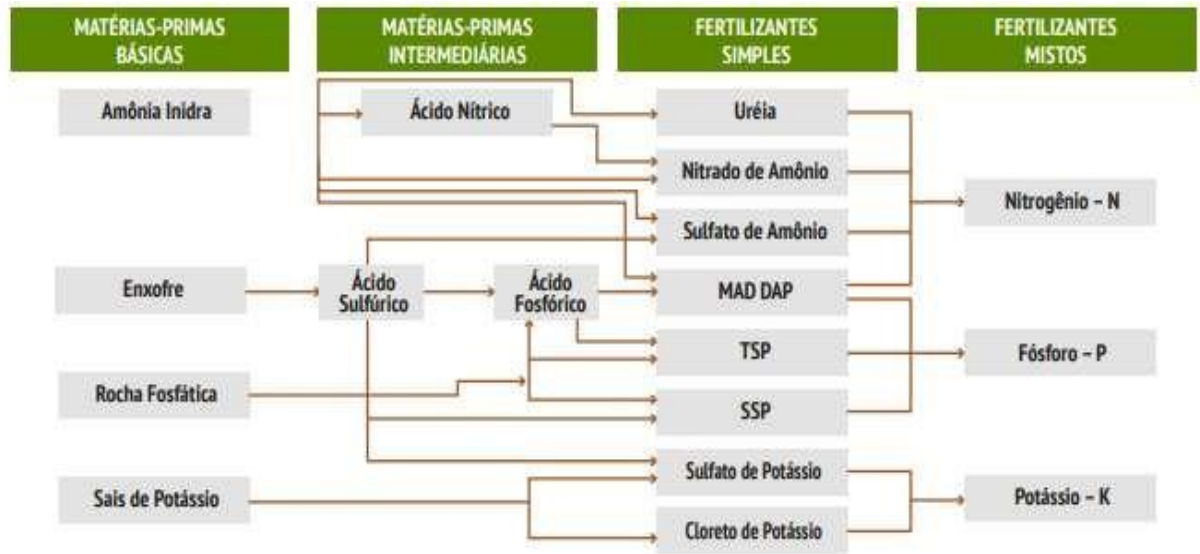


Figura 6 – Produção de fertilizantes. Fonte: ANDA, 2022.

Foi a partir de 2016 que o mercado passou por fusões significativas, visto que as “Sete Grandes empresas de fertilizantes” (Monsanto, Syngenta, Dupont, Bayer, Dow, Basf e ChemChina) foram reduzidas a quatro entidades: Monsanto/Bayer, Dupont/Dow, Syngenta/ChemChina e Basf). Na Figura 7, observa-se os principais líderes mundiais.



Figura 7 – Maiores empresas de fertilizantes. Fonte: Santos & Glass (2018).

O Brasil, por sua vez, é um país com vasta importância no mercado mundial de fertilizantes, não apenas por seu expressivo volume de insumos que são consumidos

internamente, como também pela demanda que possibilita poder de barganha ao país. Ainda, o consumo de adubos no Brasil depende especialmente do preço recebido pelos agricultores, além de ser influenciado por políticas agrícolas e evolução da tecnologia (PNF, 2020).

Entretanto, o aumento no consumo de adubos também levanta questões sobre a sustentabilidade da agricultura brasileira, visto que, o uso excessivo de fertilizantes pode levar à degradação do solo, contaminação de corpos d'água e emissão de gases de efeito estufa, implicando na necessidade de práticas mais sustentáveis e eficientes (GONÇALVES *et al.*, 2014).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

Um experimento de campo foi implantado entre Julho de 2023 a Julho de 2024 nas mediações da Fazenda Experimental Chã-de-Jardim (6° 57' 42" S, 35° 41' 43" W, e uma altitude de 573 m), pertencente à Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, localizado no município de Areia, Paraíba, Brasil. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região do estudo se classifica como Aw' (quente e úmido), com precipitação anual variando entre 1.000 a 1.400 mm (RIBEIRO *et al.*, 2018). Na Figura 8, observa-se os dados médios de precipitação, umidade relativa e temperatura durante a condução experimental.

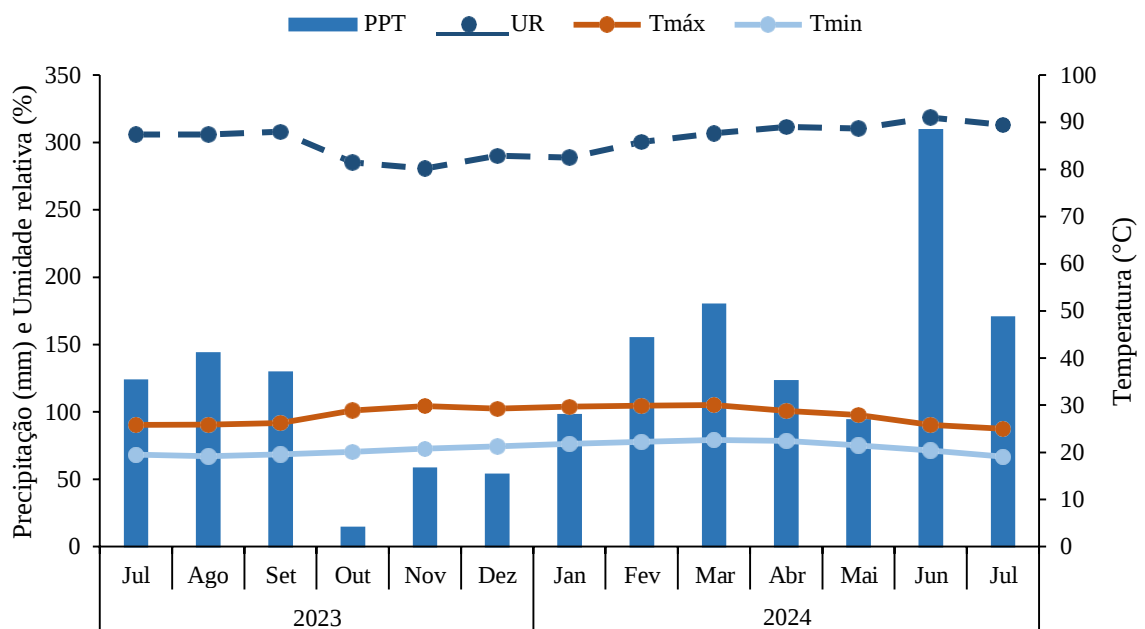


Figura 8 – Precipitação pluviométrica (PPT), umidade relativa do ar (UR), temperatura máxima (Tmáx) e mínima (Tmin) durante o período de realização do experimento. Fonte: Elaboração própria, com base nos dados do INMET (2024).

3.2 Delineamento experimental

O experimento de campo foi montado em delineamento de blocos casualizados (DBC), com seis tratamentos, quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Cada parcela apresentou 6 m de largura por 5 m de comprimento (área útil de 30 m²), com distância entre ruas de 1,5 m e entre blocos de 2,0 m. Ao total, a área experimental possuía 32 m de largura e

33 m de comprimento, apresentando uma área útil de 1.056 m² ou 0,1056 hectares. A Tabela 2 apresenta o croqui do experimento.

Tabela 2. Croqui da área experimental.

Croqui						
BLOCO 1	T6	T2	T4	T5	T3	T1
BLOCO 2	T3	T6	T1	T4	T2	T5
BLOCO 3	T5	T4	T2	T3	T6	T1
BLOCO 4	T1	T6	T3	T5	T2	T4

Fonte: Elaboração Própria (2024).

3.3 Material vegetal e manejo

Antes de iniciar a condução do experimento, foi realizado uma análise dos atributos químicos do solo, seguindo os protocolos da Embrapa (2017). Para tal, realizou-se coletas de solo em diferentes pontos da área estabelecida para o experimento, na camada arável de 0-0,20 m de profundidade, com posterior homogeneidade das amostras, a qual foi direcionada ao Laboratório de Solos da Universidade Federal da Paraíba. Os resultados da análise estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Atributos químicos do solo.

pH	P	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ +Al ⁺³	Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	SB	CTC	MO
H ₂ O	-mg dm ⁻³ -	Cmolc dm ⁻³								g kg ⁻¹
-										
5,8	1,13	30,02	0,05	6,53	0,10	3,80	1,67	5,60	12,13	38,32

(P e K): Extrator Mehlich⁻¹; (H + Al): Extrator Acetato de Cálcio; (Al, Ca, Mg): Extrator KCl; (SB): soma de bases; (CTC): capacidade de troca de cátions; (MO): matéria orgânica.

Ainda, foi realizado a análise dos atributos físicos do solo da área experimental antes da instalação do experimento, e os resultados estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4. Atributos físicos do solo.

Areia (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	Classe Textural
536	109	355	Argila Arenosa

Após o resultado da análise de solo, se observou a necessidade de utilização de calagem, a qual foi utilizado cerca de 3 meses antes da implantação do experimento. No momento do plantio, os sulcos foram abertos e a semente de cana (em torno de 10 meses) foi plantada de forma convencional no padrão ‘ponta e pé’, utilizando a variedade RB041443, com 15 a 18 gemas por metro linear, cortados em toletes de aproximadamente 60 cm. Todas as parcelas receberam adubação de fundação utilizando a formulação 09-40-00.

A variedade RB041443 utilizado no experimento foi escolhida por ser amplamente utilizada no Nordeste do país, em especial, no estado da Paraíba, além de apresentar boa resposta na região de estudo. No momento do plantio, foi realizado adubação de fundação bem como realizado a aplicação dos tratamentos, conforme a Tabela 5.

Tabela 5. Tratamentos e dosagens dos produtos utilizados no experimento.

Tratamentos e produtos	
T1	Testemunha absoluta
T2	Produto A + Produto B 0,5 L + Produto C 0,3 L
T3	Produto A + Produto B 0,5 L + Produto C 0,3 L + Produto D 0,25 L
T4	Produto A + Produto B 0,5 L + Produto C 0,3 L + Produto D 0,5 L
T5	Produto A + Produto B 0,5 L + Produto C 0,3 L + Produto D 0,75 L
T6	Produto A + Produto B 0,5 L + Produto C 0,3 L + Produto D 1,0 L
Dosagens dos produtos	
T1	Testemunha absoluta - 0 mL
T2	Produto A + 1,5 mL Produto B + 0,9ml Produto C
T3	Produto A + 1,5 mL Produto B + 0,9 mL Produto C + 0,75 mL Produto D
T4	Produto A + 1,5 mL Produto B + 0,9 mL Produto C + 1,5 mL Produto D
T5	Produto A + 1,5 mL Produto B + 0,9 mL Produto C + 2,25 mL Produto D
T6	Produto A + 1,5 mL Produto B + 0,9 mL Produto C + 3mL Produto D

Legenda: Dosagens com base na recomendação dos produtos.

Na Tabela 6, estão apresentados os nutrientes presentes em cada produto utilizado.

Tabela 6. Nutrientes presente nos produtos utilizados.

Produtos	Nutrientes
A	9% (N), 40% (P), 4% (Ca), 5% (S), 0,03% (B), 0,05% (Mn), 0,1% (Zn)
B	3% (N), 6,2% (Cu), 18,7% (Mn), 4,6% (Zn)
C	4% (N), 10,9% (B)
D	5,6% (N), 2,3% (K), 1,1% (Zn), 1,1% (B), 10% (CO)

3.4 Variáveis analisadas

Para observar o efeito dos tratamentos na resposta agronômica e rendimento da cana-de-açúcar, foi avaliado ao final do ciclo da cultura 5 plantas por parcela, realizando a colheita de forma manual e, em seguida, mensurando as seguintes características.

- ✓ Altura de colmos industrializáveis: Realizado com o auxílio de uma trena, medindo da base do colmo até a última inserção do ápice, próximo ao palmito (TEIXEIRA *et al.*, 2011). Os dados foram obtidos em centímetros.
- ✓ Diâmetro de colmo: Mensurado com o auxílio de paquímetro digital, medindo três pontos (base, meio e ápice) do colmo da cana-de-açúcar (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Os dados foram obtidos em centímetros.
- ✓ Número de entrenós: Mensurado pela contagem direta de cada entrenó presente nas plantas selecionadas, sendo contado da base até o início do palmito (OLIVEIRA *et al.*, 2014).
- ✓ Número de folhas: Mensurado pela contagem direta de todas as folhas fotossinteticamente ativas e abertas presentes na cana-de-açúcar (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

- ✓ °Brix: Coletado através de um refratômetro de campo, utilizando o teor de sólidos solúveis de dois pontos da cultura (base e ápice), sendo posteriormente realizado a média dos valores (CONSECANA, 2006).
- ✓ Número de perfilhos: Foi realizado a contagem direta do número de colmos presentes na área útil dos dois sulcos centrais de cada parcela (utilizando 2 metros lineares), sendo posteriormente calculado o número de perfilhos por metro (AQUINO; MEDINA, 2014).
- ✓ Tonelada de cana por hectare (TCH): A produtividade foi determinada com o auxílio de uma balança industrial de 500 Kg, a qual foi realizado a pesagem de todas as plantas presentes em 2 metros lineares de cada parcela (utilizando as 2 linhas centrais), sendo os valores obtidos em kg e aplicados posteriormente na Equação 1, determinada por Mariotti e Lascano (1969) citada por Arizono et al. (1998).

$$TCH = \frac{MTP}{AUP} \times 10 \quad \text{Equação 1}$$

Sendo:

TCH – Tonelada de cana por hectare; MTP – Massa total da parcela (kg) e, AUP – Área útil da parcela (m²).

3.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) pelo teste F, considerando uma probabilidade de 5% de significância. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$), utilizando o software R versão 4.2.0 (R CORE TEAM, 2023).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo, não foi observado diferença estatística significativa para a variável °Brix de plantas de cana-de-açúcar sob diferentes tratamentos de fundo de sulco (Figura 9).

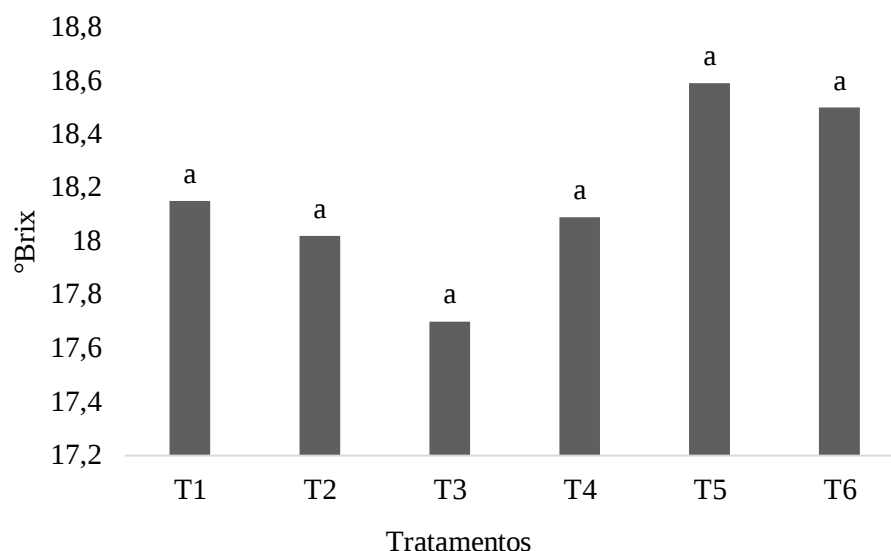


Figura 9 – Teores médios de sólidos solúveis (°Brix) de cana-de-açúcar submetido a diferentes tratamentos de fundo de sulco. Barras com as mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A avaliação do teor de sólidos solúveis (°Brix) na cana-de-açúcar é um fator importante para ser analisado, especialmente por ser uma variável que ajuda o produtor a identificar o momento adequado de realização da colheita da cultura (COSTA *et al.*, 2021). Possivelmente, a explicação para a não diferença significativa entre os tratamentos para essa variável pode estar relacionada à época de colheita em momento chuvoso (junho-julho), ou seja, a cana-de-açúcar não passou por estresse da seca que inicia na metade de Agosto e fica mais forte a partir de setembro (quando inicia as safras das usinas no Nordeste), logo, não acumulou a quantidade potencial máxima de Brix. A baixa precipitação registrada durante o crescimento inicial da cultura e desenvolvimento de colmos, limita a eficiência dos tratamentos na maturação (CRUZ *et al.*, 2009).

Da mesma forma que para o °Brix, também não foi observado diferença estatística entre os diferentes tratamentos para a variável altura de colmos industrializáveis (Figura 10).

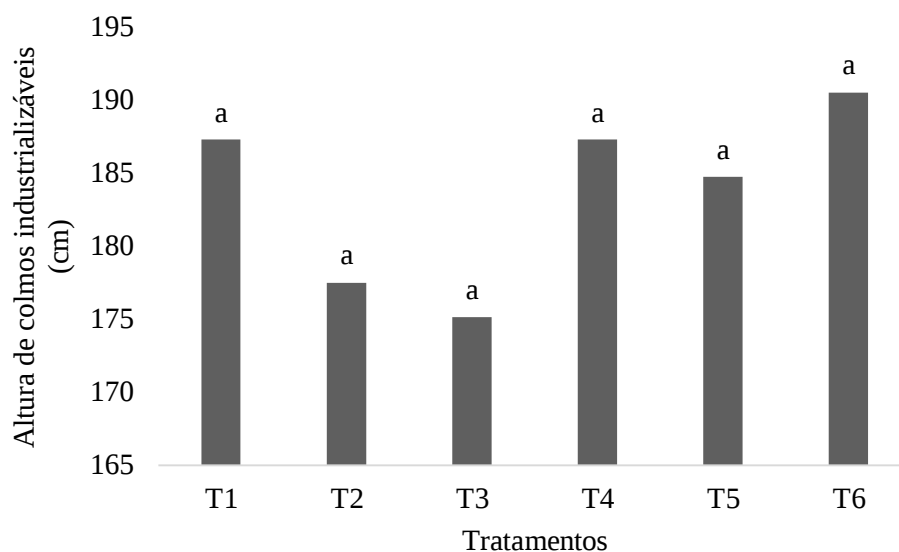


Figura 10 – Altura de colmos industrializáveis de cana-de-açúcar submetido a diferentes tratamentos de fundo de sulco. Barras com as mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Diversas publicações apontam a importância da altura da planta, em especial, a de colmos industrializáveis como uma estimativa de rendimento (GEIPEL *et al.*, 2014), sendo uma variável que caracteriza a diferença nos estágios de crescimento da cultura, em especial, para espécies de gramíneas da família Poaceae, como a cana-de-açúcar (YU *et al.*, 2020). Além disso, a altura de colmos industrializáveis é uma característica que influencia diretamente no rendimento produtivo da cana-de-açúcar (HAN *et al.*, 2019). Assim, os resultados obtidos nesta pesquisa apontam que, apesar da aplicação dos tratamentos em fundo de sulco, os mesmos não influenciaram o aumento da altura de colmos industrializáveis.

Ao avaliar o número de folhas abertas, se observou que entre os tratamentos, o T6 (Produto A + Produto B 0,5 L + Produto C 0,3 L + Produto D 1,0 L) apresentou os maiores valores para essa variável (Figura 11). Os demais tratamentos não diferiram entre si.

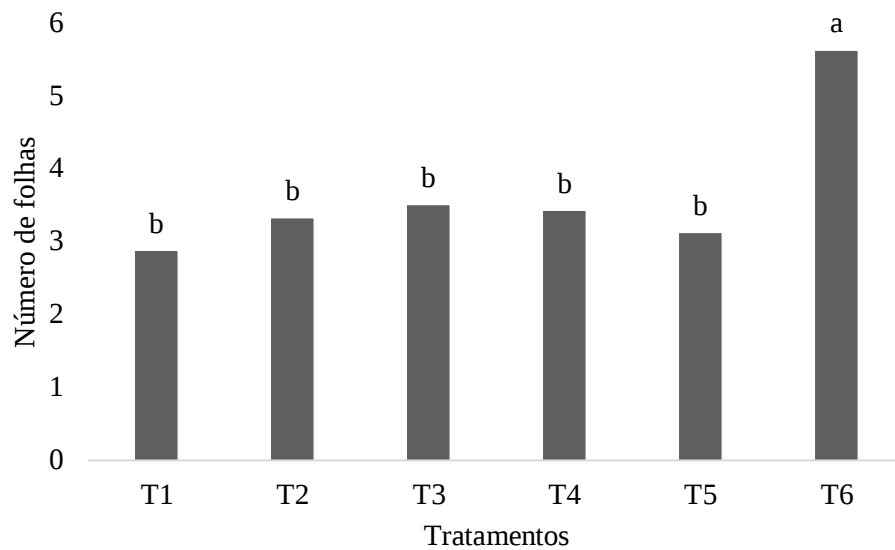


Figura 11 – Número de folhas de cana-de-açúcar submetido a diferentes tratamentos de fundo de sulco. Barras com as mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O maior número de folhas na cana-de-açúcar é desejável, especialmente por influenciar a produção de biomassa da planta e o acúmulo de sacarose (CRUZ *et al.*, 2021; MEHDI *et al.*, 2024). Assim sendo, a aplicação de produtos que influenciem essa variável é um fator importante a ser considerado, a exemplo de produtos à base de fertilizantes rico em multinutrientes e à base de extrato de algas, como constituído no tratamento T6. Além disso, a dosagem utilizada é um fator que irá influenciar diretamente a resposta do produto na cultura (DOTANIYA *et al.*, 2016).

Para o diâmetro de colmo de cana-de-açúcar, não foi observado diferença estatística entre os tratamentos analisados (Figura 12)

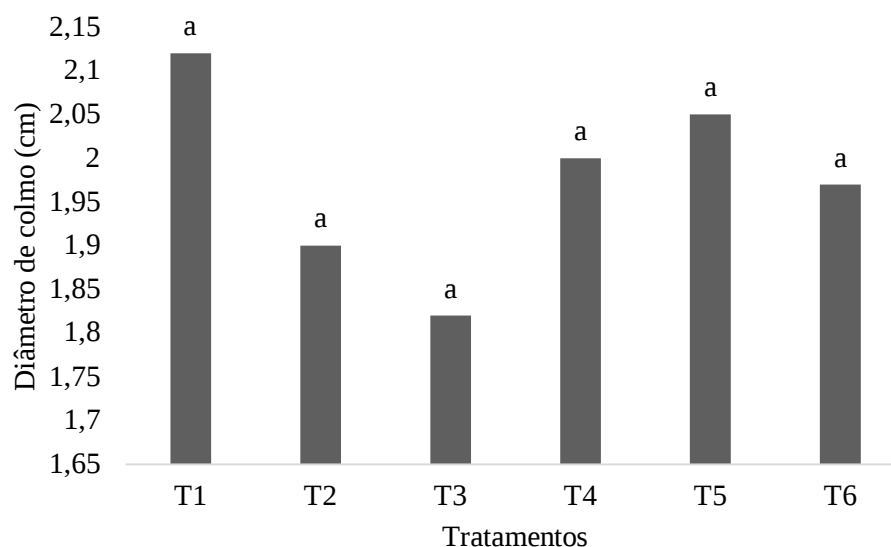


Figura 12 – Diâmetro de colmo de cana-de-açúcar submetido a diferentes tratamentos de fundo de sulco. Barras com as mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O diâmetro de colmo é um fator de produção que está fortemente direcionado ao acúmulo de sacarose da cana-de-açúcar, resultando na capacidade de armazenamento nas células do parênquima dessa região (MARAFON, 2012). A não diferenciação estatística observada nos tratamentos quando comparado a testemunha pode estar relacionada a diversos fatores intrínsecos, como o número de perfilhos e as condições ambientais, com destaque para a precipitação (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Além disso, os tratamentos utilizados podem não ter proporcionado melhorias na divisão meristemática das plantas, e consequentemente, não houve um estímulo no maior desenvolvimento do diâmetro do colmo (MEDEIROS, 2019).

Neste estudo, diferença estatística foi observado para o número de entrenós, com maiores valores observados para o tratamento T6 (Produto A + Produto B 0,5 L + Produto C 0,3 L + Produto D 1,0 L), com uma média de 22,5 entrenós (Figura 13). Ainda, os menores valores foram obtidos em plantas tratadas com o tratamento T2 (Produto A + Produto B 0,5 L + Produto C 0,3 L), apresentando uma média de 16,4 entrenós. Os demais tratamentos não diferiram estatisticamente da testemunha (T1).

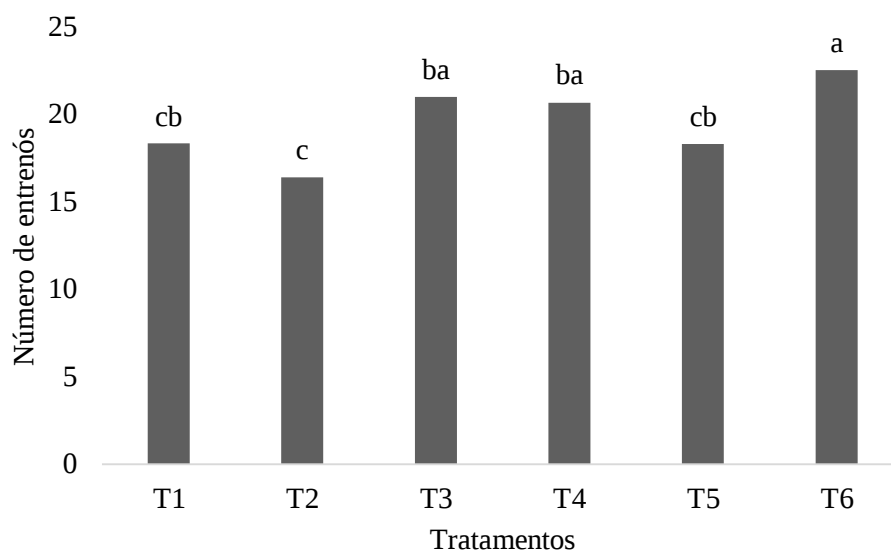


Figura 13 – Número de entrenós de cana-de-açúcar submetido a diferentes tratamentos de fundo de sulco. Barras com as mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O número de entrenós é um fator importante para a cana-de-açúcar, e por isso deve ser mensurado durante a fase de intenso crescimento do vegetal, aumentando de forma gradual desde a fase de crescimento até a maturação da planta (SILVA *et al.*, 2022). Alguns estudos mostram que, em condições de sequeiro, a cana-de-açúcar consegue emitir entre 12 a 24 entrenós por planta (HEMAPRABHA *et al.*, 2013). Os resultados obtidos neste estudo com o tratamento T6 (Produto A + Produto B 0,5 L + Produto C 0,3 L + Produto D 1,0 L) se mostram positivos, especialmente ao levar em consideração a quantidade de entrenós obtidos quando comparado a testemunha (T1) e aos demais tratamentos. Possivelmente, as dosagens dos produtos utilizados neste tratamento, em especial, o organomineral (extrato de algas – presente no produto D) foram suficientes e eficazes na promoção do número de entrenós da cultura, o que consequentemente irá favorecer o aumento da sacarose e lignina, favorecendo o rendimento industrial e produtividade (SILVA *et al.*, 2022).

Para o número de perfilhos, a testemunha (T1) apresentou os menores valores quando comparado aos demais tratamentos analisados, com uma média de 8 perfilhos por metro linear, não diferindo estatisticamente do tratamento T3 (Produto A + Produto B 0,5 L + Produto C 0,3 L + Produto D 0,25 L), o qual apresentou uma média de 9,5 perfilhos por metro linear e, do tratamento T4 (Produto A + Produto B 0,5 L + Produto C 0,3 L + Produto D 0,5 L),

apresentando cerca de 10 perfilhos por metro linear (Figura 14). Os demais tratamentos não apresentaram diferença estatística entre si.

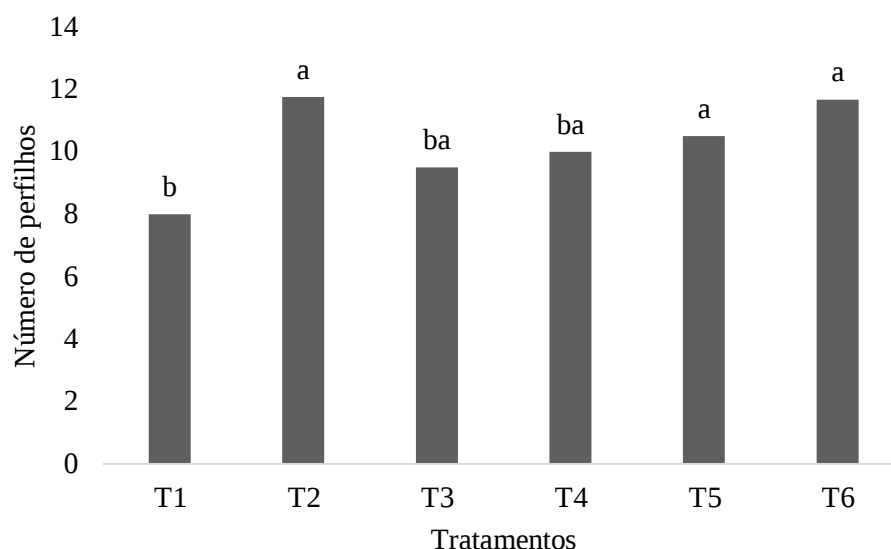


Figura 14 – Número de perfilhos de cana-de-açúcar submetido a diferentes tratamentos de fundo de sulco. Barras com as mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O número de perfilhos é um atributo que está diretamente relacionado a produção de cana-de-açúcar (COSTA *et al.*, 2016). Os bons resultados obtidos no T2, T5 e T6 são positivos e estão relacionados a eficiência dos nutrientes e as dosagens aplicados no solo, o que por consequência ocasionou um maior estímulo nas gemas da cultura, além de possivelmente terem melhorados as características físico-químicas do solo, aumentando assim o número de perfilhos (MIRANDA-STALDER; BURNQUIST, 2019). Além disso, de acordo com Oliveira *et al.* (2020), esses produtos podem ter inibido o ataque de fungos presentes no solo, os quais afetam o stand inicial da cultura, e consequentemente, a produtividade.

Quanto aos valores de toneladas de cana por hectare (TCH), se observou que entre os tratamentos estudados, o T5 (Produto A + Produto B 0,5 L + Produto C 0,3 L + Produto D 0,75 L) e T6 (Produto A + Produto B 0,5 L + Produto C 0,3 L + Produto D 1,0 L) responderam com os maiores valores (53,22 e 56,93 t ha⁻¹), respectivamente (Figura 15). Ainda, o tratamento T2 (Produto A + Produto B 0,5 L + Produto C 0,3 L) apresentou os menores valores de TCH (37,17 t ha⁻¹), não diferindo estatisticamente do T3 (Produto A + Produto B 0,5 L + Produto C 0,3 L + Produto D 0,25 L) e T4 (Produto A + Produto B 0,5 L + Produto C 0,3 L + Produto D 0,5 L),

os quais apresentaram (40,60 e 42,46 t ha⁻¹), respectivamente. A testemunha (T1) foi superior ao T2, mas não diferiu do T3 e T4, apresentando um valor médio de 44,78 t ha⁻¹.

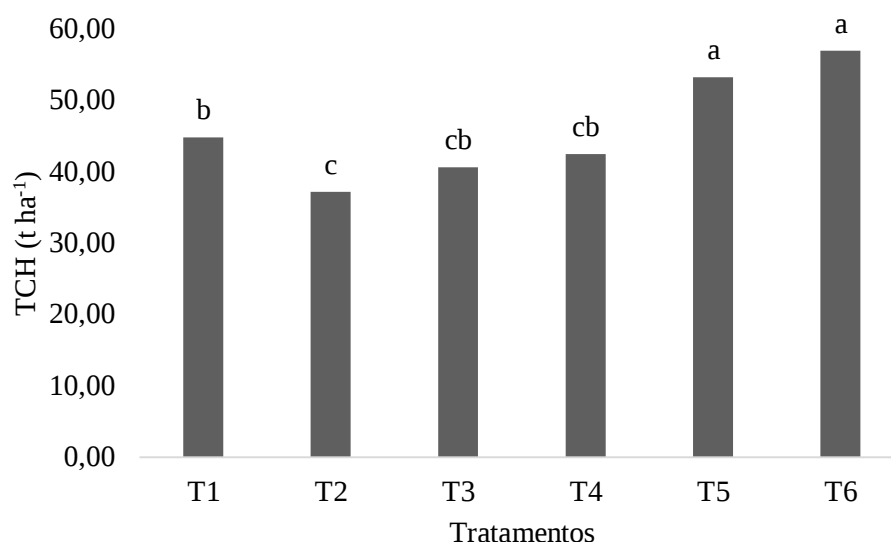


Figura 15 – Toneladas de cana por hectare (TCH) de cana-de-açúcar submetido a diferentes tratamentos de fundo de sulco. Barras com as mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apesar dos tratamentos T5 e T6 apresentarem os melhores desempenhos em TCH (53,22 e 56,93 t ha⁻¹), respectivamente, esses resultados se encontram inferiores à média da Paraíba, o qual registrou na safra 2023/24 cerca de 60, 53 t ha⁻¹ (CONAB, 2024). Contudo, os valores encontrados foram maiores que a média do estado do Rio Grande do Norte, em que apresentou na mesma safra valores de TCH em 52,75 t ha⁻¹ (CONAB, 2024). Os baixos valores de TCH obtidos neste estudo, em todos os tratamentos, estão relacionados ao florescimento precoce e pendoamento que ocorreu em todo o experimento.

De acordo com Pavani *et al.* (2023), o estágio de florescimento da cana-de-açúcar acarreta no esgotamento das reservas de sacarose acumulada no colmo, influenciando negativamente na redução na produtividade da cultura. Além disso, diversas variedades apresentam diferentes respostas à floração e, quando de forma abundante, ocorre a diminuição do peso da cana, teores de fibras e porcentagem de sacarose, influenciando na tonelagem de cana (RAO; KUMAR, 2003; SINGH *et al.*, 2019). Além disso, o manejo varietal está diretamente relacionado a baixa ou altas produtividades da cana-de-açúcar, em especial, a variedade utilizada, o ambiente de cultivo e as práticas de manejo adotadas (DESALEGN *et al.*, 2023).

Nesse sentido, apesar da eficiência dos tratamentos em fundo de sulco ser observado na produtividade, através da aplicação de nutrientes minerais e organomineral, mais estudos precisam ser realizados, especialmente estudando outras variedades que possam responder com maior eficiência.

5. CONCLUSÕES

Os tratamentos não influenciaram o °Brix, a altura de plantas e o diâmetro de colmo da cana-de-açúcar.

O tratamento T6 (Produto A + Produto B 0,5 L + Produto C 0,3 L + Produto D 1,0 L) favoreceu o aumento do número de folhas e número de entrenós.

O tratamento T5 (Produto A + Produto B 0,5 L + Produto C 0,3 L + Produto D 0,75 L) e T6 (Produto A + Produto B 0,5 L + Produto C 0,3 L + Produto D 1,0 L) proporcionaram no cultivo da cana-de-açúcar maior produtividade, no entanto, com valores inferiores à média do estado da Paraíba.

REFERÊNCIAS

- ALCANTARA, Giovanni Uema et al. Preparation of red seaweed extract for use as a flocculant agent in sugarcane juice and comparison between two experimental designs. **Industrial Crops and Products**, v. 205, p. 117530, 2023.
- ALMEIDA, Lucilo José Morais et al. Produtividade e viabilidade econômica de cana-de-açúcar em resposta aos manejos fitossanitários e nutricionais de fundo de sulco. **Revista Eletrônica Interdisciplinar**, v. 15, n. 2, 2023.
- ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos. 2022. Disponível em: <https://anda.org.br/>. Acesso em: 08 de outubro de 2024.
- ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**. 2017. Disponível em: <http://anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00>. Acesso em: 01 de outubro de 2024.
- ANDRADE, Aline Franciel et al. Biometric and physiological relationships and yield of sugarcane in relation to soil application of potassium. **Sugar Tech**, p. 1-12, 2021.
- AQUINO, Gisele Silva; MEDINA, Cristiane de Conti. Produtividade e índices biométricos e fisiológicos de cana-de-açúcar cultivada sob diferentes quantidades de palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 173-180, 2014.
- ARIOLI, T et al. Effect of seaweed extract application on sugarcane production. In: **Proc Aust Soc Sugar Cane Technol**. 2020. p. 393-396.
- ARIZONO, H. et al. Alternativas para avaliação de produção de cana-de-açúcar. **STAB, Açúcar, Alcool e Subprodutos**, v. 16, n. 5, p. 20, 1998.
- AZIMI, Shiva et al. A deep learning approach to measure stress level in plants due to Nitrogen deficiency. **Measurement**, v. 173, p. 108650, 2021.
- BHATT, Rajan et al. Yield and quality of ratoon sugarcane are improved by applying potassium under irrigation to potassium deficient soils. **Agronomy**, v. 11, n. 7, p. 1381, 2021.
- BORGES, Bernardo Melo Montes Nogueira et al. Organomineral phosphate fertilizer from sugarcane byproduct and its effects on soil phosphorus availability and sugarcane yield. **Geoderma**, v. 339, p. 20-30, 2019.
- CAMARGO, Mônica Sartori et al. Silicon fertilization improves physiological responses in sugarcane cultivars grown under water deficit. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 19, p. 81-91, 2019.
- CASTRO, Sérgio Gustavo Quassi et al. Combining seaweed extract from *Ascophyllum nodosum* with nutrients enhances stalk yield when applied in the dry season during sugarcane development. **Plant Stress**, v. 13, p. 100535, 2024.
- CESNIK, R. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas. 2004. 307p.

CHBAGRO. **Nutrição e Adubação da Cana-de-Açúcar**. 2020. Disponível em: <https://chbagro.com.br/blog/nutricao-e-adubacao-da-cana-de-acucar>. Acesso em: 01 de outubro de 2024.

CHEN, Diwen et al. Effects of seaweed extracts on the growth, physiological activity, cane yield and sucrose content of sugarcane in China. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 659130, 2021.

CHEN, Diwen et al. Effects of seaweed extracts on the growth, physiological activity, cane yield and sucrose content of sugarcane in China. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 659130, 2021.

CHEN, Diwen et al. Seaweed extract enhances drought resistance in sugarcane via modulating root configuration and soil physicochemical properties. **Industrial Crops and Products**, v. 194, p. 116321, 2023.

CHERUBIN, Maurício R. et al. Sugarcane straw removal: implications to soil fertility and fertilizer demand in Brazil. **BioEnergy Research**, v. 12, p. 888-900, 2019.

COCETTA, Giacomo et al. Priming treatments with biostimulants to cope the short-term heat stress response: A transcriptomic profile evaluation. **Plants**, v. 11, n. 9, p. 1130, 2022.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira**. 2º Levantamento, v. 12, n. 2, 2024. Disponível em: file:///C:/Users/dell/Downloads/E-book_BoletimZdeZSafrasZcana_2ZlevZ2024%20(4).pdf. Acesso em: 01 de outubro de 2024.

CONSECANA. **Manual de instruções**. Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar, Álcool do Estado de São Paulo. v. 5, p. 112, ed. Piracicaba: CONSECANA, 2006.

COSTA, C. T. S et al. Growth and productivity of sugarcane varieties under various irrigation levels. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 4, p. 945-955, 2016.

COSTA, Marcus V. Americano da et al. Ultrabrix: A device for measuring the soluble solids content in sugarcane. **Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 1227, 2021.

CRUSCIOL, Carlos Alexandre Costa et al. Methods and extractants to evaluate silicon availability for sugarcane. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 916, 2018.

CRUSCIOL, Carlos Alexandre Costa et al. Organomineral fertilizer as source of P and K for sugarcane. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 5398, 2020.

CRUZ, L. P et al. Morpho-physiological bases of biomass production by energy cane and sugarcane: A comparative study. **Industrial Crops and Products**, v. 171, p. 113884, 2021.

CRUZ, Sihélio Júlio Silva et al. Efeito da adubação fosfata sobre o acúmulo de biomassa e teor de brix de duas variedades de cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 2, 2009.

DESALEGN, Belete et al. Sugarcane productivity and sugar yield improvement: Selecting variety, nitrogen fertilizer rate, and bioregulator as a first-line treatment. **Heliyon**, v. 9, n. 4, 2023.

D'HONT, Angélique et al. Sugarcane: a major source of sweetness, alcohol, and bio-energy. In: **Genomics of tropical crop plants**. New York, NY: Springer New York, 2008. p. 483-513.

DOTANIYA, M. L. et al. Use of sugarcane industrial by-products for improving sugarcane productivity and soil health. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 5, p. 185-194, 2016.

GEIPEL, Jakob et al. Combined spectral and spatial modeling of corn yield based on aerial images and crop surface models acquired with an unmanned aircraft system. **Remote Sensing**, v. 6, n. 11, p. 10335-10355, 2014.

GONÇALVES JR, Affonso Celso et al. Heavy metal contamination in brazilian agricultural soils due to application of fertilizers. **Environmental Risk Assessment of Soil Contamination**, v. 4, n. 1, p. 105-135, 2014.

GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, Mario Felipe et al. Physiological, ecological, and biochemical implications in tomato plants of two plant biostimulants: Arbuscular mycorrhizal fungi and seaweed extract. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 999, 2020.

HAN, L et al. Modeling maize aboveground biomass based on machine learning approaches using UAV remote-sensing data. **Plant Methods**, v. 15, n. 1, p. 1-19, 2019.

HEMAPRABHA, G et al. Evaluation of drought tolerance potential of elite genotypes and progenies of sugarcane (*Saccharum* sp. hybrids). **Sugar Tech**, v. 15, n. 1, p. 9-16, 2013.

HITCHCOCK, Albert Spear. Type species of the first 100 genera of Linnaeus' Species plantarum. **American Journal of Botany**, v. 10, n. 9, p. 510-514, 1923.

HUSSAIN, Hashmath Inayath et al. The effect of seaweed extract on tomato plant growth, productivity and soil. **Journal of Applied Phycology**, v. 33, n. 2, p. 1305-1314, 2021.

JACOMASSI, Lucas Moraes et al. A seaweed extract-based biostimulant mitigates drought stress in sugarcane. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 865291, 2022.

JITHESH, M. N. et al. Physiological and transcriptomics analyses reveal that *Ascophyllum nodosum* extracts induce salinity tolerance in *Arabidopsis* by regulating the expression of stress responsive genes. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 38, p. 463-478, 2019.

KINGSTON, Graham. Mineral nutrition of sugarcane. **Sugarcane: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology**, p. 85-120, 2013.

LIMA, Amanda Michele Santos et al. Integrated application of nitrogen, molybdenum and plant growth-promoting rhizobacterium can enhance the sugarcane growth. **Sugar Tech**, v. 24, n. 6, p. 1748-1765, 2022.

MACEDO, Isaias C et al. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n. 7, p. 582-595, 2008.

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

MARIANO, Eduardo et al. Biomass and nutrient content by sugarcane as affected by fertilizer nitrogen sources. **Crop Science**, v. 56, n. 3, p. 1234-1244, 2016.

MARIOTTI, J. A.; LASCANO, O. G. Estudios de muestro para la evaluacion del rendimiento de la caña de azucar. **Revista Industrial y Agrícola de Tucumán**, v. 46, n. 2, p. 37-44, 1969.

MEDEIROS, Matheus Henrique. **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.

MEHDI, Faisal et al. Factors affecting the production of sugarcane yield and sucrose accumulation: suggested potential biological solutions. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1374228, 2024.

MELLO PRADO, R. D. **Nutrição de plantas**. Editora Unesp, 2021.

MIRAJKAR, Shriram J. et al. Sugarcane (*Saccharum* spp.): breeding and genomics. **Advances in Plant Breeding Strategies: Industrial and Food Crops: Volume 6**, p. 363-406, 2019.

MIRANDA-STALDER, S. H.; BURNQUIST, H. L. A importância dos subprodutos da cana-de-açúcar no desempenho do setor agroindustrial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 34, n. 3, p. 103-119, 2019.

MORAES, Emmerson Rodrigues et al. **Sugarcane: organo-mineral fertilizers and biostimulants**. London, UK: IntechOpen, 2018.

MOSTOFA, Mohammad Golam et al. Potassium in plant physiological adaptation to abiotic stresses. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 186, p. 279-289, 2022.

NIU, Junhao et al. Effects of foliar fertilization: a review of current status and future perspectives. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, p. 104-118, 2021.

OLIVA, Katerin Manuelita Encina et al. Amorphous silica-based fertilizer increases stalks and sugar yield and resistance to stalk borer in sugarcane grown under field conditions. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n. 3, p. 2518-2529, 2021.

OLIVEIRA, Anderson Ramos et al. Biometria de cultivares de cana-de-açúcar sob diferentes reposições hídricas no vale do Submédio São Francisco. **Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2014.

OLIVEIRA, F. M. O et al. Características agrotecnológicas de cana-de-açúcar em diferentes épocas de supressão de irrigação e níveis de adubação. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 3, p. 1587-1606, 2014.

OLIVEIRA, M. H. R et al. Influência da aplicação de inseticidas no índice de infestação de coração morto em cana de açúcar. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 4661-4672, 2020.

OLIVEIRA, M. W.; MACÊDO, G. A. R.; MARTINS, J. A.; SILVA, V. S. G.; OLIVEIRA, A. B. Mineral nutrition and fertilization of sugarcane. **Sugarcane. Technology and Research**, v. 1, p. 169-191, 2018.

ORLANDO F. J. **Calagem e adubação da cana-de-açúcar**. In: CÂMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E. A. M. (eds.). Produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: FEALQ/ USP, 1993. p.133-146.

PAVANI, Gongati et al. Flowering in sugarcane-insights from the grasses. **3 Biotech**, v. 13, n. 5, p. 154, 2023.

PNF – Produção Nacional de Fertilizantes. **Estudo estratégico**. 2020. Disponível em: https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae_publicacao_fertilizantes_v10.pdf. Acesso em: em: 08 de outubro de 2024.

PNF – Produção Nacional de Fertilizantes. **O Plano Nacional de Fertilizantes**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes/o-plano-nacional-de-fertilizantes>. Acesso em: em: 08 de outubro de 2024.

POMPIDOR, Nicolas et al. Three founding ancestral genomes involved in the origin of sugarcane. **Annals of Botany**, v. 127, n. 6, p. 827-840, 2021.

RAMOS, Lucelia Alves et al. Effect of organo-mineral fertilizer and poultry litter waste on sugarcane yield and some plant and soil chemical properties. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 1, p. 20-27, 2017.

RAO, P. N. G; KUMAR, K N. Effect of flowering on juice quality and fibre content in sugarcane. **Sugar Tech**, v. 5, p. 185-187, 2003.

R CORE TEAM. **R: A language and Environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023.

RENAUT, Sébastien et al. A commercial seaweed extract structured microbial communities associated with tomato and pepper roots and significantly increased crop yield. **Microbial Biotechnology**, v. 12, n. 6, p. 1346-1358, 2019.

ROSA, Poliana Aparecida Leonel et al. Inoculation with growth-promoting bacteria associated with the reduction of phosphate fertilization in sugarcane. **Frontiers in Environmental Science**, v. 8, p. 32, 2020.

ROSOLEM, Ciro A. et al. Potassium fertilisation with humic acid coated KCl in a sandy clay loam tropical soil. **Soil Research**, v. 56, n. 3, p. 244-251, 2017.

SALVATO, Fernanda et al. Luxurious nitrogen fertilization of two sugar cane genotypes contrasting for lignin composition causes changes in the stem proteome related to carbon,

nitrogen, and oxidant metabolism but does not alter lignin content. **Journal of Proteome Research**, v. 16, n. 10, p. 3688-3703, 2017.

SANTANA, Rafaela Silva et al. Dry matter accumulation and macronutrient uptake in sugarcane varieties. **Journal of Plant Nutrition**, v. 46, n. 14, p. 3385-3401, 2023.

SANTOS, Maureen; GLASS, Verena (Org.). **Atlas do agronegócio: fatos e números sobre as corporações que controlam o que comemos**. Rio de Janeiro: Fundação Heinrich Böll, 2018.

SILVA, L. D. R. **Desenvolvimento vegetativo de genótipos de cana-de-açúcar oriundos de micropropagação**. 2022. 35p. TCC (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2022.

SILVA, Leila C. et al. Nutrient balance in sugarcane in Brazil: Diagnosis, use and application in modern agriculture. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, n. 14, p. 2167-2189, 2021.

SINGH, Pratap et al. Effect of arrowing/flowering on juice quality of sugarcane. **J Indian J Sugarcane Technol**, v. 34, p. 82-84, 2019.

SOOMRO, Abdul Fatah et al. 02. Effect of inorganic NPK fertilizers under different proportions on growth, yield and juice quality of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). **Pure and Applied Biology (PAB)**, v. 3, n. 1, p. 10-18, 2021.

TEIXEIRA, Cicero et al. Crescimento e produtividade de quatro variedades de cana-de-açúcar no quarto ciclo de cultivo. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 56-63, 2011.

TEIXEIRA, Gelza Carliane Marques et al. Silicon as a sustainable option to increase biomass with less water by inducing carbon: nitrogen: phosphorus stoichiometric homeostasis in sugarcane and energy cane. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 826512, 2022.

VASCONCELOS, Ricardo L et al. Filter cake in industrial quality and in the physiological and acid phosphatase activities in cane-plant. **Industrial Crops and Products**, v. 105, p. 133-141, 2017.

YAKHIN, Oleg I. et al. Biostimulants in plant science: a global perspective. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 2049, 2017.

YAO, Yuanyuan et al. Seaweed extract improved yields, leaf photosynthesis, ripening time, and net returns of tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.). **ACS Omega**, v. 5, n. 8, p. 4242-4249, 2020.

YARA BRASIL. **Resumo Nutricional da Cana-de-Açúcar**. 2020. Disponível em: <https://www.yarabrasil.com.br/conteudo-agronomico/blog/resumo-nutricional-da-cana-deacucar/>. Acesso em: 08 de outubro de 2024.

YU, Danyang et al. Improvement of sugarcane yield estimation by assimilating UAV-derived plant height observations. **European Journal of Agronomy**, v. 121, p. 126159, 2020.