



POTENCIAL DE DIFERENTES FERTILIZANTES FOLIARES NO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO EM CANA-PLANTA

Potential of different leaf fertilizers on growth and production in cane plant

Leandro Oliveira Campos¹, Soraya Freitas Campos², Aurelio Rúbio Neto³, José Milton Alves³, Liliane Santos de Camargos⁴, Jailson Vieira Aguiar⁴, Thiago Marçal Maia⁵,
³Lucas Anjos Souza

¹Instituto Federal do Tocantins – IFTO, TO. ²Instituto Federal do Maranhão – IFMA, MA.

³Instituto Federal Goiano (IF Goiano), GO. ⁴Universidade Estadual Paulista – UNESP, SP.

⁵Associação dos Produtores de Matérias-Primas para as Indústrias de Bioenergia de Goiás – APMPBioenergia, GO.

Email: leandro.campos@ifto.edu.br; soraya.silva@ifma.edu.br; aurelio.rubio@ifgoiano.edu.br; jmiltonalves@gmail.com; liliane.camargos@unesp.br; jailson.aguiar@unesp.br; agromaia@hotmail.com; lucas.souza@ifgoiano.edu.br

RESUMO – A eficiência de fertilizantes foliares é essencial para a cana-de-açúcar, pois pode melhorar o uso de nutrientes e reduzir impactos ambientais, especialmente no contexto de uma agricultura mais sustentável. Este estudo avaliou os efeitos de quatro fertilizantes foliares (FH+ Vigor, Vitale Nitro, Tardus N e N Top) sobre os parâmetros fotossintéticos e a produtividade da cana-de-açúcar. Utilizou-se delineamento experimental em blocos ao acaso, com cinco blocos e um tratamento controle. Houve aumento em parâmetros como transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO₂, especialmente com os produtos FH+ Vigor e Vitale Nitro. No entanto, esses ganhos não se traduziram em maior biomassa ou qualidade da matéria-prima. Apesar da ausência de impacto na produtividade, o estudo destaca que a escolha adequada de fertilizantes foliares e seu manejo podem otimizar o desempenho fisiológico das plantas em condições específicas. Esses resultados reforçam a importância de estratégias personalizadas para maximizar a eficiência do uso de fertilizantes.

Palavras-chave: *Saccharum spp*; nitrogênio; trocas gasosas; sustentabilidade; agricultura de precisão.

ABSTRACT – The efficiency of foliar fertilizers is crucial for sugarcane as it can enhance nutrient utilization and reduce environmental impacts, particularly within the context of more sustainable agriculture. This study evaluated the effects of four foliar fertilizers (FH+ Vigor, Vitale Nitro, Tardus N, and N Top) on the photosynthetic parameters and productivity of sugarcane. A randomized block design was used, with five blocks and a control treatment. Increases were observed in parameters such as transpiration, stomatal conductance, and internal CO₂ concentration, particularly with FH+ Vigor and Vitale Nitro. However, these improvements did not translate into greater biomass or raw material quality. Despite the lack of impact on productivity, the study highlights that the proper selection and management of foliar fertilizers can optimize plant physiological performance under specific conditions. These results emphasize the importance of tailored strategies to maximize fertilizer efficiency.

Keywords: *Saccharum spp.*; nitrogen; gas exchange; sustainability; precision agriculture.

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma cultura que desempenha um papel estratégico no agronegócio brasileiro, destacando-se pelos expressivos resultados na produção e exportação de açúcar. Além disso, contribui de forma significativa para a matriz energética, seja como fonte de etanol utilizado como biocombustível, seja na geração de energia elétrica a partir do bagaço (Santos *et al.*, 2024).

O rápido crescimento da população mundial tem gerado uma crescente necessidade de alimentos e fontes de energia renovável, impulsionando a agricultura moderna a adotar tecnologias alternativas para elevar a produtividade (FAO, 2021; Hervatin *et al.*, 2024). Para atender a essas demandas, as práticas de adubação no Brasil atualmente se baseiam na análise da fertilidade do solo e no monitoramento do estado nutricional das plantas por meio de exames de tecido foliar. Essas estratégias são associadas à qualidade da matéria-prima, buscando maximizar a lucratividade.

Diversas técnicas estão disponíveis para a aplicação de fertilizantes, e a fertilização foliar se destaca por suprir diretamente às plantas os nutrientes essenciais através de suas folhas (KAYA; ASHRAF, 2024). A adubação foliar é uma prática comum em culturas perenes e, ocasionalmente, utilizada em culturas anuais como forma de suplementar nutrientes específicos. No caso da cana-de-açúcar, essa técnica tem recebido pouca atenção em pesquisas, devido à necessidade de aplicações aéreas combinadas com a definição precisa do estágio ideal para a cultura. Isso limita seu uso principalmente às usinas, dificultando uma avaliação metodológica mais consistente dentro do contexto científico (Silva *et al.*, 2018).

No mercado, existem diversos fertilizantes foliares que podem ser utilizados como complementação nutricional na cultura da cana-de-açúcar. No entanto, há poucas informações sobre a real eficiência e resposta fisiológica desses produtos. Em estudo realizado por Batista *et al.*, (2024) com cana-de-açúcar, conduzido na fazenda experimental Chã de Jardim da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), no município de Areia-PB, foi avaliada a resposta da adubação foliar com doses de micronutrientes em dois ciclos do genótipo RB92579 em condições de sequeiro no Brejo Paraibano. Os fertilizantes foliares promoveram melhores resultados para cana-soca, onde as doses fracionadas mostraram maior eficiência.

Outro estudo, realizado por Hervatin *et al.* (2024), avaliou o impacto da aplicação foliar de nutrientes (N, B, Cu e Zn) juntamente com um regulador de crescimento como bioestimulante (compostos como ácido indolbutírico, ácido giberélico e cinetina) no metabolismo da cana-de-açúcar, produção de colmos e açúcar, e qualidade. A aplicação foliar do bioestimulante e nutrientes promoveu eficientemente o crescimento, a produtividade e a qualidade nas estações de colheita inicial, média-tardia e final da cana-de-açúcar.

O nitrogênio é o segundo nutriente mineral mais importante para a cultura da cana-de-açúcar, sendo aplicado no solo anualmente para garantir a longevidade e a produtividade do canavial (Castro, 2022). O nutriente é um dos principais macronutrientes indispensáveis para o desenvolvimento das plantas, essencial para o metabolismo, a divisão celular e a expansão da área fotossintética. Além disso, é um componente fundamental das proteínas, ácidos nucleicos e da clorofila (Hashimoto da Silva *et al.*, 2023).

Em um estudo realizado por Moraes *et al.* (2023) mostrou que o uso de nitrogênio em cana-de-açúcar, especialmente na forma de nitrato de amônio, proporcionou efeitos positivos em variáveis biométricas (como altura da planta, diâmetro do colmo, número e comprimento de entrenós) e na produtividade de colmos.

No entanto, a baixa eficiência na utilização do nitrogênio proveniente de fertilizantes ainda é um desafio global que compromete a sustentabilidade na produção de cana-de-açúcar. A eficiência do uso desse nutriente pode ser aumentada por meio da implementação de práticas avançadas de manejo de fertilizantes, contribuindo para a redução dos impactos ambientais associados ao cultivo (Castro *et al.*, 2019).

Portanto a adubação nitrogenada aliada ao método de aplicação foliar surge como uma abordagem promissora para alinhar de forma precisa as demandas nutricionais das plantas com o momento ideal de aplicação do nutriente. Esse método contribui significativamente para minimizar as perdas de nitrogênio para o ambiente, frequentemente observadas nos métodos tradicionais de fertilização baseados no solo (Castro *et al.*, 2023).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de fertilizantes foliares nitrogenados no desempenho fotossintético, produção e qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar. Existem diversas formulações e métodos de aplicação disponíveis no mercado, cada um com suas características em relação

à absorção, custo e impacto ambiental. Por isso, o teste com produtos diferentes permite uma análise comparativa da eficiência desses fertilizantes, a fim de identificar qual proporciona melhores resultados para as culturas locais, levando em conta fatores como a absorção foliar, o custo-benefício e a sustentabilidade do uso desses insumos. Além disso, essa investigação contribui para o conhecimento sobre práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis, ajudando os produtores a tomar decisões mais informadas sobre o uso de fertilizantes em suas lavouras.

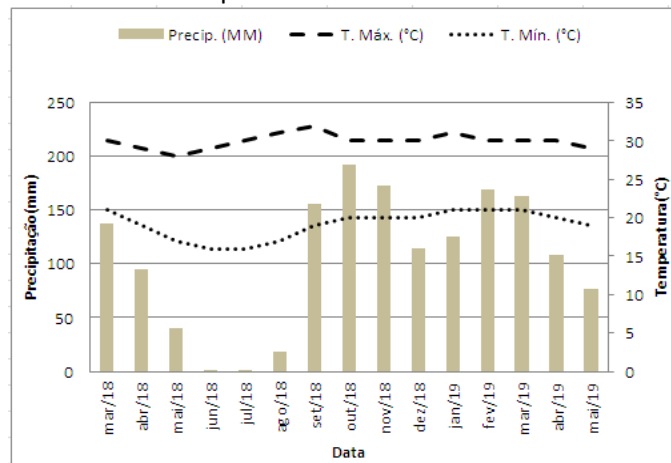
2. METODOLOGIA

O experimento foi instalado em Rio Verde - GO, entre março de 2018 a maio de 2019. O preparo da área experimental consistiu em uma aração e duas gradagens seguido de sulcação e adubação com a aplicação 100 kg/ha de N, 150 kg/ha de P e 100 kg/ha de K, utilizando respectivamente, as seguintes fontes: ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio com base nas recomendações. Foi utilizada a variedade RB966928 no sistema de plantio manual de forma contínua, com espaçamento entre sulcos de 1.5 m.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, contendo 4 tratamentos, mais o controle, distribuídos em cinco blocos. Cada parcela experimental foi composta por 6 linhas de 6 m, com 4,5 m de espaçamento entre parcelas.

Foi utilizado um pulverizador costal pressurizado por CO₂ comprimido, conectado em reservatório plástico contendo a calda. A vazão utilizada foi de 200 L/ha, temperatura de 22°C, umidade relativa 81,4% e velocidade do vento 2 m/s. As variáveis meteorológicas (figura 1) utilizadas para monitorar as condições meteorológicas do local de estudo foram obtidas do banco de dados do sistema Agritempo.

Figura 1. Condições climáticas durante o experimento.



Fonte: Agritempo. T. Min. (C): Temperatura mínima registrada em graus Celsius. T. Max. (C): Temperatura máxima registrada em graus Celsius. Precip. (mm): Quantidade de chuva acumulada em milímetros.

As aplicações dos fertilizantes foliares foram realizadas no mês de novembro, período em que se inicia a estação chuvosa na região e em pleno desenvolvimento vegetativo e utilizando a recomendação comercial de cada produto conforme as especificações abaixo (tabela 1).

Tabela 1. Informações dos tratamentos e especificações de cada produto.

Tratamentos	Informações técnicas da aplicação
Controle	Sem aplicação de fertilizantes
FH + Vigor	Recomendação de 4 kg/ha. Contém 5% de N; 8,8% de S; 4,5% de B; 1,5% de Mo e 10% de Zn (solúveis em água)
Vitale Nitro	Recomendação de 5 L/ha. Contém 30% de N: 19,8% N-nítrico; 6,3% N-amoniaco; 3,9% N-amídico. 3% de S. Densidade: 1,28 g/mL.
Tardus N	Recomendação de 15 L/ha. 27% de N. Densidade: 1,23 g/mL.
N Top	Recomendação de 15 L/ha. 28% de N em água, resina, ureia-formaldeído e uréia.

Fonte: Os autores.

A escolha de realizar o teste com os quatro produtos foliares à base de nitrogênio tem como base uma análise preliminar, em colaboração com a Associação de Produtores de Matéria Prima de Rio Verde, que revelou os fertilizantes nitrogenados mais utilizados pelos produtores na região sudoeste goiana. A partir dessa informação, a decisão de testar diferentes produtos nitrogenados visa estudar a eficiência desses fertilizantes na otimização da produção agrícola, considerando as particularidades da região.

A fim de analisar a performance fisiológica das plantas, foi realizada análise de trocas gasosas utilizando um analisador de gases por infra-vermelho (IRGA Li-cor – Li6800 XT), dois dias antes e dois dias após a aplicação dos fertilizantes foliares, no período de 8h00min às 11h00min. Foram determinados os seguintes parâmetros: taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), transpiração foliar (E), condutância estomática (gsw), concentração interna de CO₂ (Ci), relação concentração interna e externa de carbono (Ci/Ca), eficiência instantânea de carboxilação (EiC), eficiência no uso da água (EUA).

Os dados biométricos foram determinados após o corte das plantas, de acordo com as seguintes especificações: Estatura média do colmo (EMC) foi determinada em metros medindo o comprimento do caule a partir da base até o início da lâmina da folha +1; Diâmetro médio da base do colmo (DBC) foi determinado em milímetros utilizando um paquímetro e as leituras realizadas no centro do primeiro entrenó da base do colmo, sem a presença da bainha da folha; Biomassa (BM); estimada massa de colmos em dois metros lineares utilizando uma balança portátil; Número de perfilho (NP) estimado através da contagem dos colmos em 2 metros lineares das duas linhas centrais.; Massa do colmo (MC) calculada a partir da seguinte equação: $MC = BM/NP$; Número de folhas completamente abertas (NFCA) determinado pela contagem das folhas completamente abertas; Área foliar (AF) determinada por meio da contagem do número de folhas verdes (folha totalmente expandida com o mínimo de 50% de área verde, contada a partir da folha +1) e pelas medições do comprimento e da largura da porção mediana das folhas +3; Índice de área foliar (IAF) que segundo Marafon (2012) é calculado através da expressão: $IAF (m^2 m^{-2}) = NPI \times AF / S$, em que NPI corresponde ao número de perfilho, AF à área foliar por perfilho (m²) e S é a área do terreno em m² utilizada para a avaliação.

A produção de colmos foi realizada após o corte e aferição da massa de colmos em dois metros lineares utilizando uma balança portátil; a partir desses dados a produção por hectare foi estimada e comparada com a estimativa teórica (não destrutiva) TCHE aplicando a fórmula citada por Marafon, (2012) de acordo com a expressão $TCHe = D2 \times NPI \times EMC \times (0,007854/ESP)$, em que a TCHe corresponde à produtividade estimada em toneladas de cana por hectare, D ao diâmetro dos colmos (cm), NPI ao número de perfilho industrializáveis por metro linear, EMC à estatura média dos colmos (cm), ESP ao espaçamento entre sulcos (m) e 0,007854 ao fator de correção apropriado para a cana-de-açúcar.

Foram analisados os seguintes indicadores de qualidade: Leitura de BRIX (teor de sólidos solúveis por cento, em peso, de caldo) realizada em refratômetro digital, de leitura automática, com correção automática de temperatura; Peso do bolo úmido (PBU) obtido em balança semianalítica e utilizado para o cálculo da fibra da cana; Leitura sacarimétrica (L.AI) determinada em sacarímetro digital, automático, com peso normal igual a 26 g (vinte e seis gramas), resolução de 0,01ºZ (um centésimo de grau de açúcar) e calibrado a 20ºC (vinte graus Celsius), em comprimento de onda de 587 e 589,4 nm (quinhentos e oitenta e sete e quinhentos e oitenta e nove e quatro décimos nanômetros); Leitura sacarimétrica com correção (L.POL); Pol Caldo (S) - teor de sacarose aparente por cento, em peso, de caldo calculada pela equação seguinte: $S = LPb (0,2605 - 0,0009882 \times B)$; A fibra da cana (F) calculada pela equação: $F = 0,08 \times PBU + 0,876$, em que: PBU = peso do bagaço úmido da prensa, em gramas; Açúcares redutores do caldo (AR caldo) - teor de açúcares redutores (AR) por cento, em peso, de caldo foi calculado pela equação: $AR \% \text{ caldo} = 3,641 - 0,0343 \times Q$, onde: Q representa a pureza aparente do caldo, expressa em porcentagem.; Açúcares redutores da cana (AR cana) realizado pela equação: $ARC = AR \times (1 - 0,01 \times F) \times C$; Pol cana (PC) calculada pela equação: $PC = S \times (1 - 0,01 \times F) \times C$, em que: S = pol do caldo; F = fibra da cana; Pureza do caldo (Q) definida como a porcentagem de pol em relação ao brix, calculada pela equação: $Q = 100 \times S \div B$, em que: S = pol do caldo; B representa brix do caldo; Açúcar total recuperável (ATR) calculado pela equação: $ATR = 10 \times PC \times 1,05263 \times 0,905 + 10 \times ARC \times 0,905$ ou, $ATR = 9,5263 \times PC + 9,05 \times ARC$, em que: $10 \times PC$ = por tonelada de cana $1,05263$ = coeficiente estequiométrico para a conversão da sacarose em açúcares redutores $0,905$ = coeficiente de recuperação, para perda industrial de 9,5% (nove e meio por cento) $10 \times ARC$ = açúcares redutores por tonelada de cana.

Quanto a caracterização química de formas nitrogenadas nos fertilizantes foliares, foi realizada a quantificação de proteínas solúveis totais foi realizada de acordo com o método proposto por Bradford

(1976), usando albumina sérica bovina (bsa) como padrão para construção da curva analítica. A quantificação de aminoácidos solúveis totais foi realizada de acordo com o método proposto por Yemm & Cocking (1955), usando glicina como padrão para construção da curva analítica. A quantificação de nitrato foi realizada pelo método proposto por Cataldo *et al.* (1975), usando nitrato de potássio como padrão para construção da curva analítica.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

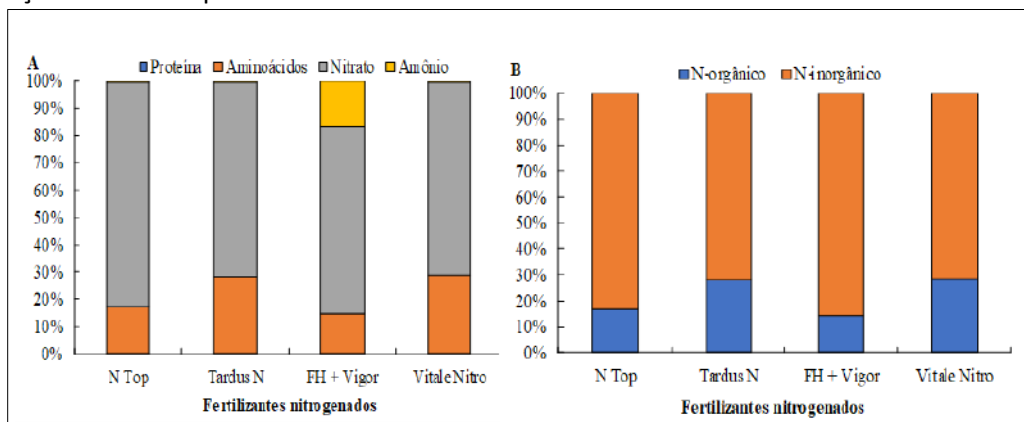
Para compreender a relação multivariada entre os tratamentos e o conjunto de variáveis agrônomicas e industriais, foram realizadas a Análise de Componentes Principais (PCA) e a Análise de Cluster Hierárquico pelo método de Ward, utilizando a distância euclidiana como medida de dissimilaridade. A PCA foi utilizada para gerar um gráfico biplot, permitindo a visualização da influência dos tratamentos sobre as variáveis-resposta, enquanto a análise de cluster foi empregada para agrupar os tratamentos com base em suas similaridades. A aplicação de técnicas de análise multivariada para interpretar a complexa interação de dados em experimentos com cana-de-açúcar é uma abordagem robusta e consolidada, utilizada tanto para avaliar a resposta a manejos quanto para a caracterização da variabilidade espacial (Silva *et al.*, 2024).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Efeito da aplicação de fertilizantes nitrogenados foliares nas trocas gasosas de cana-de-açúcar

Os fertilizantes foliares testados apresentaram formas distintas de nitrogênio (N), com predomínio das formas inorgânicas, como nitrato e amônio, representando mais de 70% da composição dos produtos. Além disso, os componentes mais representativos em todos os produtos foram aminoácidos e nitrato, que são bem aproveitados pelas plantas tanto via solo quanto via foliar. Os aminoácidos são fundamentais para o metabolismo das plantas, pois participam diretamente da síntese de proteínas, atuam como precursores de substâncias reguladoras e estimulam diversas funções fisiológicas (Vieira *et al.*, 2021).

Figura 2. Proporção relativa de proteínas.



Fonte: Os autores.

O nitrato, por sua vez, representa a principal forma de nitrogênio disponível para a nutrição vegetal na maioria dos solos cultivados e em diversos ambientes naturais (Vidal *et al.* 2020).

Ao avaliar as trocas gasosas, observou-se uma elevação significativa na transpiração com a aplicação de Vitale Nitro (6,92) e, em menor grau, com N Top (5,90). Por outro lado, o tratamento FH + Vigor (4,88) demonstrou um efeito redutor na transpiração quando comparado ao controle, caracterizando-se como uma opção que favorece a economia de água.

Além do aumento na transpiração foliar (E), o Vitale Nitro e N Top apresentaram aumento na condutância estomática (gsw), confirmando a tendência e mostrando que os mesmos induzem maior abertura estomática, favorecendo troca gasosa, mas com maior perda de água. Uma pesquisa recente conduzida por Andrade *et al.* (2024) investigou a eficácia da adubação foliar como suplemento ao manejo de nitrogênio (N) na cana-de-açúcar. O estudo comparou diferentes estratégias que integravam a aplicação de N via solo e foliar, avaliando a recuperação do nutriente pela planta e suas reações fisiológicas. Os resultados indicam que a nutrição nitrogenada da cana-de-açúcar é otimizada com o uso da fertilização foliar. Essa abordagem demonstrou ser uma ferramenta eficaz para elevar a eficiência do aproveitamento

do N, o que aponta para a possibilidade de diminuir as doses aplicadas no solo, mantendo a saúde e o pleno funcionamento fisiológico da cultura.

Os tratamentos FH + Vigor e Vitale Nitro promoveram aumento significativo na concentração interna de CO₂ (Ci). No entanto, quanto à taxa de assimilação líquida de CO₂, nenhum dos fertilizantes avaliados apresentou desempenho superior ao tratamento controle, sugerindo ausência de efeito positivo expressivo. A elevação de Ci associada à redução na assimilação de CO₂ indica que a limitação estomática foi atenuada, deslocando o ponto crítico da fotossíntese para processos bioquímicos internos. Nesse contexto, a eficiência fotossintética passa a depender principalmente da capacidade de regeneração de RuBP e do transporte de elétrons para suprir a maior demanda de fixação de carbono (TANG *et al.*, 2025).

No entanto, a eficiência instantânea de carboxilação (EiC) diminuiu na maioria dos tratamentos, à exceção do Tardus N. Isso pode ser atribuído à baixa eficiência de conversão de CO₂ em biomassa em estágios avançados do ciclo da planta, como sugerido por Andrade *et al.* (2024).

A eficiência no uso da água (EUA) também diminuiu, refletindo o aumento da taxa de transpiração. Esse resultado é coerente com Silva *et al.* (2015), que destacam que altos níveis de transpiração geralmente indicam ótima disponibilidade hídrica. Em contraste, a falta de variação significativa na assimilação líquida de CO₂(A) reforça que a resposta fisiológica das plantas foi limitada pelo manejo adotado.

Tabela 2. Efeito da aplicação de fertilizantes foliares nas trocas gasosas de cana-de-açúcar

	Tratamentos				
	Controle	FH +Vigor	Vitale Nitro	Tardus N	N Top
A	27,82±2,39	24,92±1,93	23,78±0,86	25,05±1,02	27,54±2,06
E	5,53±0,88	4,88±0,58	6,92±1,63	5,23±0,65	5,90±1,18
gsw	0,36±0,07	0,30±0,04	0,45±0,12	0,34±0,05	0,40±0,11
EUA	5,42±0,65	5,24±0,26	4,25±0,90	5,02±0,48	5,29±0,78
EiC	0,13±0,01	0,11±0,01	0,10±0,01	0,11±0,01	0,13±0,01
Ci	219,05±20,25	226,01±7,65	252,61±24,33	233,61±14,20	221,14±25,87
Ci/Ca	0,59±0,06	0,60±0,02	0,67±0,07	0,62±0,04	0,59±0,07

Fonte: elaboração do próprio autor. Assimilação líquida de CO₂ (A), transpiração (E), condutância estomática (gsw), eficiência do uso da água (EUA), eficiência instantânea de carboxilação (EiC); concentração interna de CO₂(Ci), razão concentração interna e externa de CO₂ (Ci/Ca).

Fonte: Os autores.

3.2. Crescimento e produção

Os resultados apresentados na Tabela 3 indicam que a aplicação foliar de fertilizantes nitrogenados promoveu incrementos numéricos em praticamente todas as variáveis avaliadas no crescimento e na produção da cana-de-açúcar, em comparação ao controle. Embora as diferenças não tenham sido estatisticamente significativas ($p > 0,05$), observou-se uma tendência de aumento nos parâmetros biométricos e produtivos, principalmente nos tratamentos Vitale Nitro e Tardus N.

O tratamento Tardus N apresentou os maiores valores médios de biomassa ($19,52 \pm 2,28$ g) e produtividade estimada ($161,93 \pm 33,47$ t ha⁻¹), representando um incremento de aproximadamente 17% em relação ao controle ($133,30 \pm 19,38$ t ha⁻¹). De modo semelhante, o Vitale Nitro resultou em elevação da área foliar ($2.303,20 \pm 162,88$ cm²) e do índice de área foliar (21.290 ± 1.685), refletindo maior expansão da superfície fotossintética e potencial assimilatório da cultura. Esses ganhos, ainda que sem significância estatística, são relevantes do ponto de vista fisiológico e agrônomo, sugerindo melhor aproveitamento do nitrogênio absorvido via folhas e maior eficiência na fotossíntese e no uso da água.

Embora tenha sido observado que os tratamentos com Vitale e Tradus N tenham alcançado uma média superior em TChE em relação ao controle e aos demais, isso não se refletiu em diferença estatística. Resultados semelhantes foram encontrados por Nicchio *et al.* (2016), que relataram baixa influência da aplicação foliar de nitrogênio nos parâmetros biométricos da cana-planta, embora tenham destacado maior eficiência em rebrotas.

A ausência de resposta significativa pode ser explicada pela aplicação tardia (240 dias após o plantio), considerando que Andrade *et al.* (2024) observaram maior eficiência na conversão de N em biomassa com aplicações foliares precoces (163 dias após o plantio). Além disso, a fertilização inicial com N no solo provavelmente foi suficiente para atender à demanda nutricional no estágio vegetativo, reduzindo a necessidade de suplementação foliar, como discutido por Pereira *et al.* (2020).

Tabela 3. Efeito da aplicação de fertilizantes nitrogenados foliares no crescimento e produção de cana-de-açúcar.

	Tratamentos				
	Controle	FH + Vigor	Vitale Nitro	Tardus N	N Top
B.M.	16,42±3,1 a	14,76±1,17 a	17,33±0,55 a	19,52 ±2,28 a	17,24±2,14 a
N.P.	11±1,1 a	11,10 ±0,80 a	11,60 ±0,73 a	12,20±1,17 a	12,10 ±1,41 a
M.C.	1,48±0,1 a	1,33±0,06 a	1,52±0,11 a	1,60±0,11 a	1,43±0,08 a
D.C.	27,1±1,04 a	27,23±0,66 a	28,03±0,52 a	27,28±1,42 a	27,02±0,30 a
C.C.	3,1±0,15 a	3,17±0,05 a	3,18±0,02 a	3,23±0,17 a	3,16±0,07 a
N.F.C.A.	9,50± 0,63 a	9,67±0,13 a	9,97±0,54 a	9,47±0,33 a	9,73±0,68 a
A.F.	1909,96±159,19 a	2097,14±145,9 1 a	2303,20±162,8 8 a	2235,02±154, 95 a	2297,20±248, 52 a
I.A.F.	18565±1814 a	18565±1814 a	21290±1685 a	21596±1936 a	22112±2952 a
TChE	133,30±19,38 a	136,62±10,66 a	150, 89±5,51 a	161, 93±33,47 a	146, 90±18,32 a

Fonte: Os autores.

Nota: (BM) biomassa; (NP) número de perfilho; (MC) massa do colmo; (DC) diâmetro do colmo; (CC) comprimento do colmo; (NFCA) número de folhas completamente abertas; (AF) área foliar; (IAF) índice de área foliar (TCHE) produtividade estimada de colmo. Médias seguidas pela mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. De acordo com o teste estatístico realizado, médias com letras iguais não diferem significativamente, e médias com letras diferentes são significativamente diferentes entre si.

Os resultados do trabalho realizado por Pereira *et al.* (2020), destaca a importância do fator disponibilidade, pois observou que a planta respondeu positivamente a adubação foliar com a ausência de N fornecido no solo, observando também que quando a disponibilidade de N foi alta a planta não respondeu, ou respondeu negativamente.

Por outro lado, Andrade (2021) demonstrou que a adubação foliar pode promover incrementos significativos no acúmulo de biomassa das folhas (verdes e secas) e na parte aérea da cana-de-açúcar, especialmente quando a aplicação é realizada de forma parcelada. Além disso, foi observado um aumento na altura das plantas e no número de entrenós. No entanto, o mesmo estudo indicou que a aplicação de nitrogênio via foliar pode reduzir o comprimento e o diâmetro dos entrenós, destacando a necessidade de um manejo criterioso para evitar efeitos negativos no desenvolvimento das plantas.

Esses achados são parcialmente consistentes com os resultados do presente estudo, onde a fertilização inicial com nitrogênio no solo parece ter atendido à demanda nutricional no estágio vegetativo, reduzindo a necessidade de suplementação foliar. Pereira *et al.* (2020) reforçaram que a resposta da planta à adubação foliar é mais evidente em condições de baixa disponibilidade de nitrogênio no solo, mas pode ser limitada ou até negativa quando o suprimento inicial de nitrogênio é suficiente.

Levando em consideração os resultados deste experimento, presume-se que fatores como o momento de aplicação e a disponibilidade hídrica foram determinantes para a ausência de incrementos significativos na produção de cana-de-açúcar. Ajustes no manejo da fertilização nitrogenada, considerando as condições edafoclimáticas, podem otimizar a produtividade e reduzir perdas de fertilizantes, conforme discutido por Castro *et al.* (2019).

Neste estudo, a fertilização foliar foi realizada 240 dias após o plantio. Andrade (2024) destacou que o momento da aplicação é crucial, sendo que aplicações realizadas aos 163 dias após o plantio resultaram em maior capacidade de conversão do nitrogênio em biomassa. Portanto, o manejo adequado das aplicações foliares pode contribuir para alinhar as demandas nutricionais da planta com os estágios ideais de desenvolvimento.

3.3. Qualidade industrial

A Tabela 4 apresenta os parâmetros de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar submetida aos diferentes tratamentos. Observa-se que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos para as variáveis analisadas.

Os valores de BRUX variaram de 19,75 a 20,31 °Brix, indicando que todos os tratamentos apresentaram teor de sólidos solúveis semelhante ao controle (20,18 °Brix). Esse resultado evidencia que a aplicação dos produtos não interferiu de forma significativa na concentração de açúcares solúveis do caldo.

Para POL do caldo, os tratamentos Vitale Nitro (18,48%) e Tardus N (18,37%) apresentaram valores estatisticamente iguais ao controle (18,46%), enquanto FH + Vigor e N Top exibiram valores inferiores (17,97% e 17,85%, respectivamente). O fornecimento elevado de nitrogênio tende a favorecer o crescimento vegetativo da cana, porém o acúmulo de sacarose nos colmos pode reduzir (NASCIMENTO *et al.* 2021).

No que se refere ao açúcar total recuperável (ATR), que representa o principal indicador da qualidade industrial da cana, não houve diferença estatística entre os tratamentos, embora o Vitale Nitro (157,64 kg t⁻¹) tenha apresentado o maior valor numérico, seguido do controle (157,13 kg t⁻¹) e do Tardus N (156,69 kg t⁻¹). Essa tendência indica que o Vitale Nitro pode ter contribuído discretamente para o acúmulo de sacarose, possivelmente em razão do aporte nitrogenado mais equilibrado e do estímulo ao metabolismo fotossintético.

Esses resultados são consistentes com Nicchio *et al.* (2016), que relataram baixa influência do N foliar na qualidade tecnológica da cana. Silva (2010) também encontrou respostas limitadas da aplicação de fertilizantes líquidos associados a biorreguladores, com melhorias apenas em produtividade.

Para as práticas agrícolas brasileiras, recomenda-se ajustar o momento da aplicação foliar e combinar essa técnica com estratégias de manejo do solo para maximizar a eficiência do uso do nitrogênio.

Tabela 4. Comparação da qualidade industrial da cana entre os tratamentos.

	Tratamentos				
	Controle	FH + Vigor	Vitale Nitro	Tardus N	N Top
PBU	126,72±1,41a	125,42±3,82 a	124,99±1,09 a	126,55±2,40 a	123,16±2,85 a
BRUX	20,18±0,19 a	19,75±0,09 a	20,16±0,14 a	20,31±0,21 a	19,80±0,18 a
L.AI	20,18±0,19 a	19,75±0,09 a	20,16±0,14 a	75,90±1,11 b	73,58±1,11 a
L. POL	76,75±0,71 b	74,56±0,52 a	76,84±0,57 b	76,43±1,12 b	74,09±1,12 a
POL Caldo	18,46±0,16 b	17,97±0,12 a	18,48±0,13 b	18,37±0,25 b	17,85±0,50 a
Fibra	11,01±0,11 a	10,91±0,30 a	10,88±0,09 a	11,00±0,19 a	10,73±0,23 a
A.R. Caldo	0,50±0,02 a	0,52±0,01 a	0,50±0,02 a	0,54±0,02 a	0,54±0,02 a
P.O.L.CAN A	15,90±0,12 a	15,51±0,12 a	15,96±0,12 a	15,83±0,17 a	15,45±0,25 a
AR CANA	0,43±0,02 a	0,45±0,01 b	0,43±0,01 a	0,46±0,01 b	0,48±0,01 b
Q	91,49±0,51 a	90,99±0,31 a	91,71±0,46 a	90,44±0,42 a	90,12±0,50 a
ATR	157,13±0,90 a	153,43±0,80a	157,644±0,90 a	156,698±1,26a	153,18±1,84a

Fonte: Os autores.

Nota:(PBU) peso do bolo úmido; BRUX, (L.AI) leitura sacarimétrica, com clarificante; (L.POL) leitura sacarimétrica com correção, Pol do caldo; Fibra, (AR caldo) açúcares redutores do caldo; (AR cana) açúcares redutores da cana; POL CANA, (Q) pureza do caldo: ATR, açúcar total recuperável. As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. De acordo com o teste estatístico realizado, médias com letras iguais não diferem significativamente, e médias com letras diferentes são significativamente diferentes entre si.

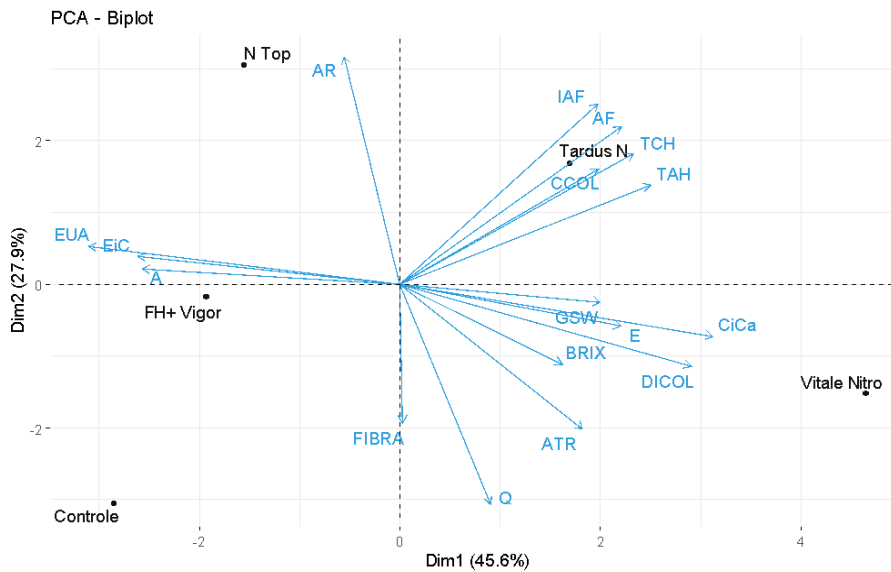
3.4. A análise multivariada dos dados

Para uma compreensão integrada da relação entre os tratamentos e o conjunto de variáveis analisadas, a análise de componentes principais e agrupamento demonstrou distinção entre os tratamentos foliares aplicados à cana-de-açúcar. A clara separação dos grupos revelou o efeito distinto de cada tratamento sobre as variáveis agrônômicas e industriais. A eficácia dessas técnicas estatísticas para

interpretar dados complexos na cultura é corroborada por estudos recentes, como o de Silva *et al.* (2024), que empregaram as mesmas ferramentas para otimizar delineamentos experimentais. Costa *et al.* (2022), ao avaliarem o efeito da fertirrigação com silício em cana-de-açúcar, também empregaram a Análise de Cluster e Componentes Principais. Em seu estudo, a técnica foi eficaz para demonstrar como os efeitos do silício agrupavam os tratamentos de forma distinta, indicando que a intensidade dos efeitos benéficos variava conforme o solo e as condições hídricas.

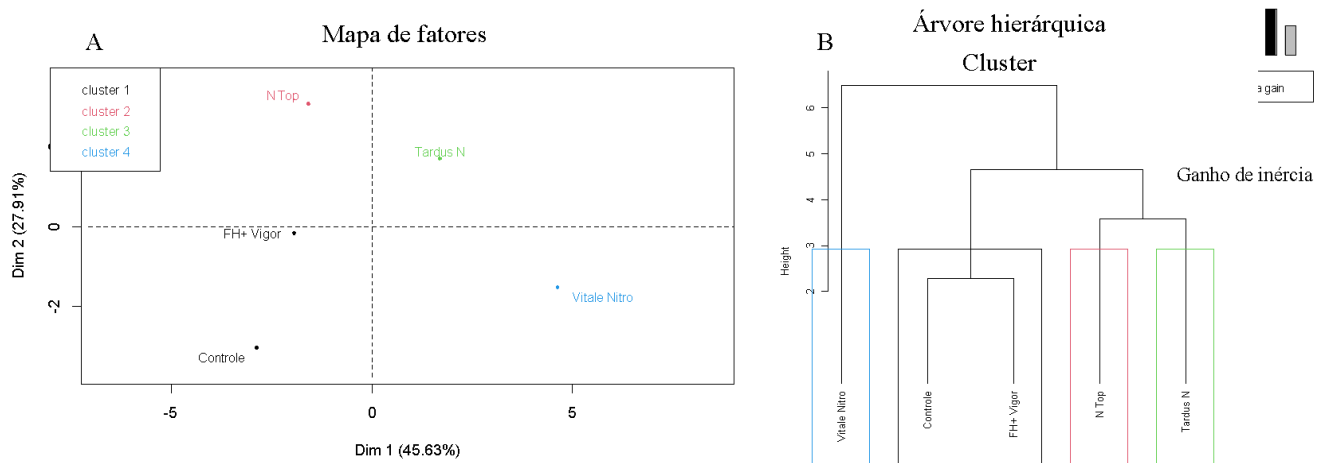
Neste trabalho, a Análise de Componentes Principais (PCA) explicou 73,54% da variação total dos dados nos dois primeiros eixos (Dim 1 = 45,63%; Dim 2 = 27,91%) (Figura 3). O mapa de fatores e análise de cluster demonstraram a formação de quatro grupos distintos (Figura 4A e 4B). Nessas análises é possível notar que o tratamento utilizando Tardus N foi mais eficiente na promoção de aumento de produtividade (TCH e TAH) sendo o único do grupo em contraste com o grupo formado por FH+Vigor e controle, os quais apresentaram menores valores para essas variáveis.

Figura 3. Biplot de PCA com variáveis de crescimento, produção e tecnológica para diferentes tratamentos de fertilizantes foliares em cana-de-açúcar.



Fonte: Os autores.

Figura 4. Mapa de fatores (A) e árvore hierárquica (B) para os diferentes tratamentos de fertilizantes foliares em cana-de-açúcar.



Fonte: Os autores.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação foliar dos fertilizantes nitrogenados testados (FH+ Vigor, Vitale Nitro, Tardus N e N Top) promoveu respostas fisiológicas específicas, como o aumento da transpiração e da condutância estomática.

No entanto, essas alterações não foram suficientes para modificar de forma significativa os parâmetros produtivos, biométricos ou a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar nas condições avaliadas.

Este comportamento sugere que, nas condições deste experimento, a aplicação realizada aos 240 dias após o plantio ocorreu em um estágio de desenvolvimento no qual a disponibilidade de nitrogênio no sistema solo-planta era suficiente para suprir a demanda da cultura, tornando a complementação foliar desnecessária naquele momento. A ausência de resposta produtiva indica que o suprimento de nitrogênio via solo, realizado no plantio, foi adequado para atender às exigências nutricionais da planta até o estágio avançado em que a fertilização foliar foi introduzida. Portanto, para otimizar a eficiência desses insumos, recomenda-se que estudos futuros considerem aplicações em estágios fenológicos mais precoces ou em condições de menor disponibilidade de N no solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Associação de Produtores de Matéria Prima de Rio Verde -GO, FAPEG, IF GOIANO, FAPESP, FEIS-UNESP (Laboratório de Fisiologia do Metabolismo Vegetal), por todo suporte fornecido durante a realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS

AGRITEMPO. **Pesquisa Agrometeorológica para o estado de Goiás**. Brasília: Embrapa, 2024. Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br/br/estado/GO/pesquisa/>. Acesso em: 13 out. 2025.

ANDRADE, J. J. **Eficiência da adubação nitrogenada foliar na cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado) - UFRPE/ Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2021. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/8836>. Acesso em: 28 jan. 2025.

ANDRADE, J. J. D.; OLIVEIRA, E. C. A.; LIMA, A. M. S.; AMORIM, G. P. S.; OLIVEIRA, E. S.; FREIRE, F. J.; ADELINO, W. S. M.; OLIVEIRA FILHO, E. C. A. O. A fertilização foliar melhora a nutrição nitrogenada da cana-de-açúcar. **Agricultura**, v. 14, n. 11, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture14111984>. Acesso em: 28. jan. 2025.

BATISTA, A. M. A.; SILVA, J. H. B.; MARCIANO, L. E. A.; NASCIMENTO, M. A.; SILVA, A. V.; MIELEZRSKI, F. Influência da adubação foliar na cultura da cana-de-açúcar no Brejo Paraibano. **Rev. Agro Amb**, v. 17, n. 1, e11596, 2024. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2024v17n1e11596>. Acesso em: 21. jan. 2025.

BRADFORD, M. M. Rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing principle of proteindye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3). Acesso em: 9 mar. 2018.

CASTRO, S. A. Q.; SERMARINI, R. A.; ROSSI, M. L.; CASTRO, R. R. L.; TRIVELIN, P. C. O.; LINHARES, F. S. A otimização da fertilização foliar com N na cana-de-açúcar depende do genótipo da planta. **Physiol. Plant.**, v. 175, p. 14085., 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ppl.14085>. Acesso em: 21 jan. 2025.

CASTRO, S. A. Q. **Aproveitamento do N-fertilizante (N-ureia) pela cana-de-açúcar aplicado por via foliar no período de máximo crescimento da cultura em complemento à adubação de solo**. Tese (Doutorado) - USP Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/t.11.2022.tde-13092022-110622>. Acesso em: 27 jan. 2025.

CASTRO, S. G. Q.; ROSSI NETO, J.; KÖLLN, O. T.; BORGES, B. M. M. N.; FRANCO, H. C. J. Decision-making on the optimum timing for nitrogen fertilization on sugarcane ratoon. **Sci. Agric.**, v. 76, n. 3, p. 237-242, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2017-0365>. Acesso em: 27 jan. 2025

CATALDO, D. A.; MARROM, M.; SCHAREDER, L. E.; JOVENS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant-tissue by nitration of salicylic-acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 6, n. 1, p. 71-80, 1975. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103627509366547>. Acesso em: 09. mar. 2018.

COSTA, M. G.; SARAH, M. M. dos S.; PRADO, R. de M.; PALARETTI, L. F.; PICCOLO, M. de C.; SOUZA JÚNIOR, J. P. de. O impacto do Si na homeostase estequiométrica de C, N e P favorece a nutrição e o acúmulo de massa seca do caule em cana-de-açúcar cultivada em solos tropicais com diferentes regimes hídricos. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.949909>. Acesso em: 05. nov. 2025.

FAO. Organização das nações unidas para agricultura e alimentação: FAO no Brasil. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021.

HASHIMOTO DA SILVA, M.; SILVA, M. A. A.; DUARTE, E. R.; BONETTI, R. A. T.; PALUDETTO, A.; MIYSHIRO, C. A. A relação do nitrogênio com o desenvolvimento das plantas e suas formas de disponibilidade. RECIMA21 - **Revista Científica Multidisciplinar** - ISSN 2675-6218, v. 5, n. 1, p. e514762, 28 dez. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.47820/recima21.v5i1.4762>. Acesso: 17 jan. 2025.

HERVATIN, C. M.; PRADO FILHO, A. P. A.; MOMESSO, L.; JACOMASSI, L. M.; CRUSCIOL, C. A. C. The frequency and phenological stage of foliar application of nutrients and biostimulant can increase sugarcane yield and biomass and bioenergy productions. **Crop Science**, v. 64, n. 2, p. 870–886, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/csc2.21196>. Acesso: 17 jan. 2025.

KAYA, C.; ASHRAF, M. Foliar Fertilization: A Potential Strategy for Improving Plant Salt Tolerance. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 43, n. 2, p. 94–115, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07352689.2023.2270253>. Acesso em: 17 jan.20

MARAFON, A. C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático** / Anderson Carlos Marafon. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29 p.

MORAES, G. S.; SANTOS, L. N. S.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; SILVA, E. C.; CUNHA, G. N. Desenvolvimento e produtividade de cana-de-açúcar irrigada e adubada com diferentes fontes de nitrogênio. **IRRIGA**, v. 28, n. 2, p. 439–453, 30 jun. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.15809/irriga.2023v28n2p439-453>. Acesso: 17 jan. 2025.

NASCIMENTO, J. M. do; SOUZA, C. M. A. de; ARCOVERDE, S. N. S.; ALTOMAR, P. H. Aplicação de maturador e fertilizante foliar em cana-de-açúcar. **Engenharia na Agricultura - Reveng**, v. 30, n. 1, p. 51-65, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2021v30n1p51-65>. Acesso em: 17 jan. 2025.

NICCHIO, B.; GUSTAVO, A. S.; LUCÉLIA, A. R.; HAMILTON, S. P.; GASPAR, H. K. Aplicação de fertilizante foliar, no desenvolvimento, produção e qualidade de soqueira de cana-de-açúcar. *In*: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 10. 2016, Ribeirão Preto. **Anais [...]** Ribeirão Preto: STAB Região Sul, 2016. p. 192-196.

PEREIRA, M. J.; SANTOS, R. L.; SILVA, CLEYBSON, J. C.; COSTA, L. S.; SANTOS, R.V.S.; MONTE I. R.; SILVA, I. C.; SANTOS, J. A.; SANTOS, M. B. C. Desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar sob aplicação foliar de Nitrogênio. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, e297985359, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5359>. Acesso: 20 set. 2021.

SANTOS, L. M.; LEAL, C. R.; ANDRADE, C. L. L.; CABRAL FILHO, F. R.; VENTURA, M. V. Application of algae extract in sugarcane. **Revista Brasileira de Pulverização Agrícola**, v. 1, n. 2, p. 1-8, 2024.

SILVA, D. B.; LIMA, S. F.; ANDRADE, M. G. O.; CAMILO, L. J.; MONQUEIRO, A. S. A.; ZANELLA, M. S. Efeito da adubação foliar na biometria, produtividade e características tecnológicas de variedades de cana-de-açúcar. *In*: ZUFFO, A.M.; SLENNER, F. (org.). *In*: **Elementos da natureza e propriedades do solo**. Ponta Grossa: Atena, 2018.

SILVA, F. G.; DUTRA W. F.; DUTRA, A.F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L. M. B. and MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Bras. Eng. Agríc.**

Ambiental, v. 19, n. 10, p. 946–952, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p946-952>. Acesso: 23 jul. 2020.

SILVA, G. H. da; PEREIRA, K. D.; CARNEIRO, A. P. S.; FERREIRA, M. de P.; SANTOS, G. R. dos; PETERNELLI, L. A. Geostatistics and multivariate analysis to determine experimental blocks for sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 59, p. e20230076, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2024.v59.03373>.

SILVA, M. A.; CATO, S. C.; COSTA, A. G. F. Produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar submetida à aplicação de biorregulador e fertilizantes líquidos. **Revista Ciência Rural**, v. 40, n. 4, p. 774-780, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000057>. Acesso: 12 jan. 2018.

TANG, X.; ZHAO, J.; ZHOU, J.; ZHU, Q.; SHENG, X.; YUE, C. Elevated CO₂ shifts photosynthetic constraint from stomatal to biochemical limitations during induction in *Populus tomentosa* and *Eucalyptus robusta*. **Plants, Basel**, v. 14, n. 1, art. 47, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants14010047>. Acesso em: 27 jan. 2025.

VIDAL, E. A.; ALVAREZ, J. M.; ARAUS, V.; RIVERAS, E.; BROOKS, M. D.; KROUK, G.; RUFFEL, S.; LEJAY, L.; CRAWFORD, N. M.; CORUZZI, G. M.; GUTIÉRREZ R. A. Nitrate in 2020: Thirty years from transport to signaling networks. **The Plant Cell**, v. 32, n. 7, p. 2094–2119, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1105/tpc.19.00748>. Acesso em: 27 jan. 2025.

VIEIRA, N. B.; LIMA, S. F. de; CONTARDI, L. M.; ANDRADE, M. G. de O.; REIS, B. de O.; BERNARDO, V. F.; ABREU, M. S.; THOMÉ, S. E. N.; VANZO, C. O. Utilização do 2,4-D como regulador de crescimento e fertilizante foliar com aminoácido na cultura do feijão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e14210414262, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.14262>. Acesso em: 23 jan. 2025.

YEMM, E. W.; COCKING, E. C. The determination of aminoacids with ninhydrin. **Analyst, Cambridge**, v. 80, n. 948, p. 209-213, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/an9558000209>. Acesso: 13 out 2019.