

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO” - UNESP

FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

DANIEL HENRIQUE SANTANA RODRIGUES

**APLICAÇÃO DE FITO-HORMÔNIOS NA CANA-DE-AÇÚCAR NO PROCESSO DE
ISOPORIZAÇÃO**

Ilha Solteira - SP

2026

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - PPGA

DANIEL HENRIQUE SANTANA RODRIGUES

**APLICAÇÃO DE FITO-HORMÔNIOS NA CANA-DE-AÇÚCAR NO PROCESSO DE
ISOPORIZAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrônoma

Área de concentração: Sistemas de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo da Silva Viana

Ilha Solteira - SP

2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

R696a Rodrigues, Daniel Henrique Santana.
Aplicação de fito-hormônios na cana-de-açúcar no processo de isoporização
/ Daniel Henrique Santana Rodrigues. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2026
63 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônoma) - Universidade Estadual
Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira. Área de
conhecimento: Produção Vegetal, 2026

Orientador: Ronaldo da Silva Viana

Inclui bibliografia

1. Açúcar total recuperável . 2. Produtividade. 3. Reguladores. 4. *Saccharum*
Spp..

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A pesquisa apresenta potencial científico e tecnológico: contribuições na geração de plataforma tecnológica para o setor sucroalcooleiro, referente à aplicação de maturadores e prevenção da isoporização, considerando a produção de matéria-prima de elevada qualidade industrial. A cana-de-açúcar proporciona fonte de energia renovável para substituir, os combustíveis fósseis na matriz energética global.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The research demonstrates scientific and technological potential, contributing to the development of a technological platform for the sugarcane industry regarding the application of ripeners and the prevention of pithing, considering the production of raw material with high industrial quality. Sugarcane provides a renewable energy source to replace fossil fuels in the global energy matrix.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: APLICAÇÃO DE FITOHORMÔNIOS NA CANA-DE-AÇÚCAR NO PROCESSO DE ISOPORIZAÇÃO

AUTOR: DANIEL HENRIQUE SANTANA RODRIGUES

ORIENTADOR: RONALDO DA SILVA VIANA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia,
área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

 Documento assinado digitalmente
RONALDO DA SILVA VIANA
Data: 26/08/2026 12:53:43 -0300
Verifique em <https://validar.jti.gov.br>

Prof. Dr. RONALDO DA SILVA VIANA (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / UNESP / Câmpus de Dracena - FCAT

 Documento assinado digitalmente
GABRIELE GONÇALVES DE MENDONÇA
Data: 24/08/2026 20:37:24 -0300
Verifique em <https://validar.jti.gov.br>

Profa. Dra. GABRIELE GONÇALVES DE MENDONÇA (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS

 Documento assinado digitalmente
STEPHANY DOS SANTOS
Data: 24/08/2026 21:42:43 -0300
Verifique em <https://validar.jti.gov.br>

Dra. STEPHANY DOS SANTOS (Participação Virtual)
Serviço Nacional de Aprendizagem Rural - SENAR

Ilha Solteira, 21 de agosto de 2026.

Dedico este trabalho, em especial, aos meus pais, José Santana Rodrigues e Simone Valeria, que sempre foram a minha base, força e o incentivo para que eu chegasse até aqui. Dedico também à minha filha, Ana Beatriz Kuwaquino Santana, a razão do meu sorriso diário e a maior motivação para que eu busque, a cada dia, construir um futuro melhor. Vocês são tudo para mim!!

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por proporcionar a oportunidade de vivenciar toda essa trajetória na minha vida profissional. À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS) da Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), campus de Ilha Solteira, ao corpo docente e servidores técnico-administrativos, expresse minha gratidão pelo acolhimento, pela eficiência no suporte institucional e por compartilharem os conhecimentos que viabilizaram a minha formação acadêmica no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA).

Ao meu orientador Prof. Dr. Ronaldo da Silva Viana, o meu agradecimento pela orientação exemplar. Os seus ensinamentos valiosos foram fundamentais para o meu crescimento científico e profissional.

À minha comadre Profa Dra Sara da Silva Abes, que acompanha o meu crescimento acadêmico e profissional, com bons ensinamentos e orientações, desde a graduação em Agronomia, na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS).

Aos meus familiares, em especial aos meus amados pais, José Santana Rodrigues e Simone Valeria de Oliveira Ponce, pelo amor incondicional, apoio diário e por acreditarem no meu potencial. A minha companheira que está sempre me auxiliando e apoiando em meus passos Ana Paula Verni da Silva.

À Profa Dra Dthenifer Cordeiro Santana e Prof. Dr. Matheus Pereira de Brito Mateus pelo auxílio e contribuições nas análises estatísticas.

Aos colegas da pós-graduação do PPGA, FEIS, UNESP, campus de Ilha Solteira e ao Grupo de Experimentação e Extensão da Cultura da Cana-de-açúcar (GECANA), Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT), UNESP, campus de Dracena, sou imensamente grato, pelo apoio recebido.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001- Processo 88887.149406/2025-00.

“A persistência é o menor caminho para o êxito.”

(Charles Chaplin)

RESUMO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é cultivada, mundialmente, sob condições edafoclimáticas tropicais e subtropicais. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito dos fito-hormônios: ácido 2-cloro-etil-fosfônico (ETF) e florpirauxifen-benzil (FPB) na inibição da isoporização e na indução da qualidade tecnológica da cultivar CTC 9006. O delineamento experimental consistiu em blocos casualizados, arranjos em esquema fatorial, com 7 tratamentos e 5 repetições. Os tratamentos foram: 1. Controle; 2. Ácido 2-cloro-etil-fosfônico (ETF), uma aplicação (1×), dose de 0,66 L/ha; 3. Florpirauxifen-benzil (FPB), uma aplicação (1×), dose de 0,30 L/ha; 4. Ácido 2-cloro-etil-fosfônico (ETF), duas aplicações (2×), cada dose de 0,66 L/ha; 5. Florpirauxifen-benzil (FPB), duas aplicações (2×), cada dose de 0,30 L/ha; 6. Florpirauxifen-benzil (FPB) + Basic Plus (BP), uma aplicação (1×), dose de 0,30 L/ha; 7. Florpirauxifen-benzil (FPB) + Basic Plus (BP), duas aplicações (2×), cada dose de 0,30 L/ha. As amostragens e avaliações ocorreram aos 0, 45, 75, 105 e 120 dias, após a aplicação dos fito-hormônios. De cada parcela, foram coletados 13 colmos, dispostos nas linhas principais para avaliações dos níveis de isoporização, peso e atributos tecnológicos. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$) e Teste de Tukey a 5% de probabilidade. A análise de componentes principais (PCA) foi realizada para verificar a inter-relação entre as variáveis de qualidade tecnológica, períodos de amostragem, tratamentos e níveis de isoporização. O software utilizado foi o R versão 4.2.2. Fibra e Peso do bolo úmido (PBU) apresentaram interações consistentes entre tratamento e aplicação. O teor de fibra é altamente sensível a práticas de manejo e à fisiologia da planta. O biplot da PCA forneceu uma perspectiva integrada das variáveis tecnológicas e industriais da CTC 9006. Ácido 2-cloro-etil-fosfônico (ETF) e florpirauxifen-benzil (FPB) apresentaram padrões semelhantes entre tratamentos e amostragens durante o acúmulo de sacarose da CTC 9006. No entanto, a segunda aplicação pode não ser necessária. A isoporização exibiu uma tendência progressiva, mais acentuada durante o início do processo de maturação. O papel do Ácido 2-cloro-etil-fosfônico (ETF) e do florpirauxifen-benzil (FPB) na prevenção da isoporização requer mais investigações, especialmente quanto à necessidade de uma segunda aplicação para ambos os fito-hormônios.

Palavras-chave: açúcar total recuperável; produtividade, reguladores; *Saccharum spp.*

ABSTRACT

Sugarcane (*Saccharum* spp.) is cultivated worldwide under tropical and subtropical edaphoclimatic conditions. The objective of this study was to evaluate the effects of the plant growth regulators: 2-chloroethylphosphonic acid (ETF) and florpyrauxifen-benzyl (FPB) on pithing inhibition and technological quality enhancement in the cultivar CTC 9006. The experimental design consisted of randomized complete blocks, arranged in factorial scheme, with 7 treatments and 5 replications. The treatments were: 1. Control; 2. 2-Chloroethylphosphonic acid (ETF), single application (1×), dose of 0.66 L ha⁻¹; 3. Florpyrauxifen-benzyl (FPB), single application (1×), dose of 0.30 L ha⁻¹; 4. 2-Chloroethylphosphonic acid (ETF), two applications (2×), dose of 0.66 L ha⁻¹ each; 5. Florpyrauxifen-benzyl (FPB), two applications (2×), dose of 0.30 L ha⁻¹ each; 6. Florpyrauxifen-benzyl (FPB) + Basic Plus (BP), single application (1×), dose of 0.30 L ha⁻¹; 7. Florpyrauxifen-benzyl (FPB) + Basic Plus (BP), two applications (2×), dose of 0.30 L ha⁻¹ each. Sampling and evaluations were carried out at 0, 45, 75, 105, and 120 days after plant growth regulator application. Thirteen stalks were collected along the main rows from each plot, to evaluate pithing levels, weight, and technological quality attributes. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) using the F-test ($p < 0.05$), and means were compared by Tukey's test at a 5% probability level. Principal Component Analysis (PCA) was performed to examine the interrelationships among technological quality variables, sampling periods, treatments, and pithing levels, using R software version 4.2.2. Fiber and wet cake weight (WCW) showed interactions between treatment and application. Fiber was highly sensitive to plant physiological and management practices. The PCA biplot provided an integrated perspective on the technological and industrial parameters of the cultivar CTC 9006. Both 2-Chloroethylphosphonic acid (ETF) and Florpyrauxifen-benzyl (FPB) displayed similar patterns across treatments and sampling during sucrose accumulation of the CTC 9006. However, a second application may not be required. Pithing exhibited a progressive trend that was more pronounced during early ripening process. The specific roles of the 2-Chloroethylphosphonic acid (ETF) and Florpyrauxifen-benzyl (FPB) in preventing pithing require further investigations, particularly regarding the necessity of a second application for both plant growth regulators.

Keywords: total recoverable sugar; productivity; ripeners; *Saccharum* spp.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1**- Mapa de localização da usina sucroenergética, Fazenda Serenata e área experimental, Estado de São Paulo. **24**
- Figura 2** - Índice Pluviométrico das estações Santo Expedito e Menino Jesus Pr. **25**
- Figura 3** – Classificação dos níveis de isoporização **27**
- Figura 4** - Análise de componentes principais (PCA) para inter-relação das variáveis de qualidade tecnológica e os tratamentos. **34**
- Figura 5** - Correlação de Pearson entre as variáveis de qualidade tecnológica, considerando os períodos de avaliação. Símbolos: L1 (0 dias), L2 (45 dias), L3 (75 dias), L4 (105 dias), L5 (120 dias), Corr. - Correlação. Coeficientes seguidos por * e ** e *** são significantes para $p < 0.05$, $p < 0.01$ e $p < 0.001$, respectivamente. **44**
- Figura 6** - Correlação de Pearson entre as variáveis de qualidade tecnológica, considerando os tratamentos. Símbolos: M1. Controle, M2. ETF, $1 \times$, 0.66 L ha^{-1} , M3. FPB, $1 \times$, 0.30 L ha^{-1} , M4. ETF, $2 \times$, 0.66 L ha^{-1} cada, M5. FPB, $2 \times$, 0.30 L ha^{-1} cada, M6. FPB + BP, $1 \times$, 0.30 L ha^{-1} , M7. FPB + BP, $2 \times$, 0.30 L ha^{-1} cada. Corr. - Correlação. Coeficientes seguidos por * e ** e *** são significantes para $p < 0.05$, $p < 0.01$ e $p < 0.001$, respectivamente. **48**
- Figura 7** - Análise de componentes principais (PCA) para a inter-relação das variáveis descritoras do grau de isoporização, considerando os períodos de avaliação. Símbolos: E = Época ou período de avaliação. N Colmos = Número de colmos. **49**
- Figura 8** - Análise de componentes principais (PCA) para inter-relação das variáveis descritoras do nível de isoporização, considerando os tratamentos. Símbolos: 1. Controle, 2. ETF, $1 \times$, 0.66 L ha^{-1} , 3. FPB, $1 \times$, 0.30 L ha^{-1} , 4. ETF, $2 \times$, 0.66 L ha^{-1} cada, 5. FPB, $2 \times$, 0.30 L ha^{-1} cada, 6. FPB + BP, $1 \times$, 0.30 L ha^{-1} , 7. FPB + BP, $2 \times$, 0.30 L ha^{-1} cada. **51**
- Figura 9** - Correlação de Pearson entre as variáveis descritoras do nível de isoporização, considerando os períodos de avaliação e os tratamentos. Símbolos: E = Época ou período de avaliação. 1. Controle, 2. ETF, $1 \times$, 0.66 L ha^{-1} , 3. FPB, $1 \times$, 0.30 L ha^{-1} , 4. ETF, $2 \times$, 0.66 L ha^{-1} cada, 5. FPB, $2 \times$, 0.30 L ha^{-1} cada, 6. FPB + BP, $1 \times$, 0.30 L ha^{-1} , 7. FPB + BP, $2 \times$, 0.30 L ha^{-1} cada. **52**

LISTA DE QUADROS

- Quadro 1-** Correlação de Pearson positivas entre as variáveis de qualidade tecnológica, considerando os períodos de avaliação **42**
- Quadro 2 -** Correlação de Pearson negativas entre as variáveis de qualidade tecnológica, considerando os períodos de avaliação. **43**
- Quadro 3 -** Correlação de Pearson positivas entre as variáveis de qualidade tecnológica, considerando os maturadores nos tratamentos. **45**
- Quadro 4 -** Correlação de Pearson negativas entre as variáveis de qualidade tecnológica, considerando os maturadores nos tratamentos. **47**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise de variâncias (quadrados médios) das variáveis de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, CTC 9006. **29**

Tabela 2 - Classificação dos fatores, autovalores, percentuais de variação e percentuais de variação acumulada. **33**

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Aplicação
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil.
AR	Açúcares redutores do caldo
ARC	Açúcares redutores da cana
ART	Açúcares redutores totais
ATR	Açúcar total recuperável
Aw	Tipo climático da classificação de Köppen para o Brasil. A: Clima tropical e w: inverno seco
BRIX	Teor de sólidos solúveis do caldo
C4	Planta de via fotossintética C4. Refere-se a plantas (cana-de-açúcar e milho) que fixam o carbono em um composto de 4 carbonos, sendo muito eficientes no uso da água e da luz sob calor intenso.
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONSECANA	Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Alcool
COPERSUCAR	Cooperativa de Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo
CTC	Centro de Tecnologia Canavieira
CV	Coeficiente de Variação
DAA	dias, após aplicações
E	Época ou período de avaliação
ETF	Ácido 2-cloro-etil-fosfônico (Ethephon)
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
Fibra	Fibra da cana
FPB	Florpirauxifen-benzil

FV	Fonte de Variação
GL	Graus de Liberdade
IAC	Instituto Agronômico de Campinas
L1	0 dias
L2	45 dias
L3	75 dias
L4	105 dias
L5	120 dias
LSAC	Leitura sacarimétrica
M1	Controle
M2	ETF, 1×, 0.66 L ha ⁻¹
M3	FPB, 1×, 0.30 L ha ⁻¹
M4	ETF, 2×, 0.66 L ha ⁻¹ cada
M5	FPB, 2×, 0.30 L ha ⁻¹ cada
M6	FPB + BP, 1×, 0.30 L ha ⁻¹
M7	FPB + BP, 2×, 0.30 L ha ⁻¹ cada
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
NC	Número de colmos
NP	Número de perfílos
P10C	Peso médio de 10 colmos
PBU	Peso do bolo úmido
PC	Teor de sacarose aparente da cana
PCA	Análise de componentes principais
PCTS	Pagamento de Cana por Teor de Sacarose

POL	Teor de sacarose aparente do caldo Pureza - Pureza do caldo
RB	República do Brasil. Variedades de cana-de-açúcar desenvolvidas pela RIDESA (Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético)
RPA	Aeronave Remotamente Pilotada (<i>Remotely Piloted Aircraft</i>)
SP	São Paulo
T	Tratamento

LISTA DE SÍMBOLOS

L ha ⁻¹	Litro por hectare
gL ⁻¹	grama por litro
Kg	Quilograma
1×	uma aplicação
2×	duas aplicações
BP	<i>Basic plus</i>
r=1,0	Correlação perfeita positiva
r=-1,0	Correlação perfeita negativa
0,7 ≤ r < 1,0	Correlação forte positiva
-1,0 < r ≤ -0,7	Correlação forte negativa
0,1 ≤ r < 0,5	Correlação fraca positiva
-0,5 < r ≤ -0,1	Correlação fraca negativa
* e ** e ***	significante para p < 0.05, p < 0.01 e p < 0.001, respectivamente, pelo teste F.
%	Percentual
~	Aproximadamente
>	maior que
<	menor que
°	Grau
'	Minuto
"	Segundo
S	Sul (<i>South</i>)
W	Oeste (<i>West</i>)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	19
2.1	OBJETIVO GERAL	19
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	19
3	REVISÃO DE LITERATURA	20
3.1	CANA-DE-AÇÚCAR E CULTIVAR CTC 9006	20
3.2	FITO-HORMÔNIOS	21
3.3	ISOPORIZAÇÃO	22
4	MATERIAL E MÉTODOS	24
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1	QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA-DE-AÇÚCAR: CTC 9006	29
5.2	ISOPORIZAÇÃO	49
6	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS	54
	DADOS CURRICULARES	63

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar proporciona fonte de energia renovável e sustentável para substituir, estrategicamente, os combustíveis fósseis na matriz energética global (Molijn *et al.*, 2018; Huang *et al.*, 2020; Neves; Kalaki, 2020; Grandis *et al.*, 2024).

O processo de maturação fisiológica da cana-de-açúcar consiste na redução da taxa de desenvolvimento vegetativo, no entanto, sem afetar de forma relevante o processo de fotossíntese, sendo que os produtos fotossintetizados são transformados em açúcares para armazenamento nos tecidos da planta (Taiz *et al.*, 2017; Prado filho, 2019).

O florescimento da cana-de-açúcar é um estágio de desenvolvimento desejável para o melhoramento genético, porém, altamente indesejável para a produção comercial. Esse processo reduz o volume de caldo e o teor de sacarose nos tecidos do colmo, ao mesmo tempo em que aumenta o teor de fibra, elevando consequentemente a produção de bagaço. O consumo de sacarose provoca perda de água nos entrenós, levando ao processo de isoporização ou chocamento do colmo (formação de medula esponjosa) do ápice para a base (Caputo *et al.*, 2008; Silva; Segato, 2011; Silva Neto *et al.*, 2011; Moraes, 2021; Nascimento *et al.*, 2023).

A fase de maturação da cana-de-açúcar envolve a síntese de açúcares, a translocação e o armazenamento de sacarose no colmo para maximizar o rendimento agroindustrial. Consequentemente, a aplicação de fito-hormônios tornou-se uma estratégia consolidada de planejamento da colheita no setor sucroenergético para acelerar a maturação natural, garantindo matéria-prima de alta qualidade e otimizando o manejo de cultivares (Carmo, 2020; Beluci, 2021; Mastro, 2021; Vasanthan *et al.*, 2022; Ayele *et al.*, 2023).

O Ethephon (ETF), cujo ingrediente ativo é o ácido 2-cloro-etil-fosfônico, é classificado como um regulador de crescimento vegetal. Após a absorção pelos tecidos vegetais, ele é convertido em etileno, um fito-hormônio (MAPA, 2026).

O florigrauxifeno-benzil (FPB) é o ingrediente ativo de um hormônio sintético que interfere no metabolismo vegetal, restringindo a produção de giberelina e modulando o crescimento da planta e, ainda, pode inibir o florescimento e prevenir a isoporização do colmo. Essas condições adversas podem comprometer a produtividade e a qualidade da matéria-prima, afetando negativamente o teor de sacarose e o volume de caldo extraído (MAPA, 2026).

A isoporização do colmo ocorre em certas cultivares e está diretamente relacionada ao florescimento e à maturação da planta, caracterizando-se pela translocação de sacarose dos tecidos para sustentar a formação da inflorescência no ápice da planta (Nascimento *et al.* 2023; Calzado, 2024; Soares Filho, 2024).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito dos fito-hormônios, ácido 2-cloro-etil-fosfônico (ETF) e florpirauxifen-benzil (FPB), na inibição do florescimento, na redução da intensidade da isoporização e na indução da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, cultivar CTC 9006.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Verificar a evolução dos níveis de isoporização nos colmos, em diferentes períodos e tratamentos;

Analisar o impacto dos tratamentos nos parâmetros de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, CTC 9006;

Identificar as inter-relações multivariadas entre as variáveis de qualidade tecnológica e os níveis de isoporização ao longo do processo de maturação da cultivar CTC 9006.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CANA-DE-AÇÚCAR E CULTIVAR CTC 9006

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp., Poaceae) é uma planta monocotiledônea semiperene C4 cultivada, mundialmente, em condições edafoclimáticas tropicais e subtropicais (Shendryk *et al.*, 2020; FAO, 2026). Esta cultura representa uma grande relevância para a economia brasileira desde o período colonial (Rodrigues; ROSS, 2020). Uma grande expansão de áreas de produção de cana-de-açúcar no Brasil ocorreu a partir dos anos 2000, guiada pelo aumento da demanda do etanol e de fontes de energia alternativa (Gilio; Moraes, 2016).

Atualmente, a cana-de-açúcar é a matéria-prima principal para a produção de açúcar e etanol em nível global (Yang *et al.*, 2021; Otto *et al.*, 2022; Furtado *et al.*, 2023; FAO, 2026; Sica *et al.*, 2026). O Brasil ocupa posição de destaque mundial nas agroindústrias canavieiras. O setor sucroenergético brasileiro vivencia um processo de crescimento contínuo, estimulado pela crescente demanda do mercado interno e externo. As áreas de produção e de processamento de cana-de-açúcar potencializam a eficiência na geração de energia, tendo em vista a ampliação e a sustentabilidade. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com produção estimada em 709,1 milhões de toneladas na safra de 2025/26 (CONAB, 2026).

O ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar segue, basicamente, cinco fases fenológicas distintas, tais como: (a) germinação, com a brotação e a emergência dos brotos; (b) perfilhamento e estabelecimento da cultura, onde as plantas iniciam o desenvolvimento dos perfilhos; (c) crescimento inicial, em que a cobertura foliar se estabelece e ocorre o crescimento máximo, com o alongamento do colmo e o início do acúmulo de sacarose; (d) maturação, onde o alongamento do colmo tende a diminuir e, então, ocorre o intenso acúmulo de sacarose no colmo e a maturidade da cultura torna-se a fase dominante; (e) florescimento, onde o crescimento vegetativo cessa e as flores são produzidas (Rodrigues *et al.*, 2018; Shendryk *et al.*, 2020; Barbosa Júnior, 2021; Moraes, 2021).

A fase de maturação da cana-de-açúcar é um processo fisiológico de grande potencial para a maximização da produtividade agroindustrial, que envolve a síntese de açúcares nas folhas, a translocação dos produtos formados e a estocagem de sacarose no colmo (Espinoza Veliz, 2017; Germino, 2018; Beluci, 2021; Vasantha *et al.*, 2022; Ayele *et al.*, 2023).

Ao longo dos anos, genótipos diferentes de cana-de-açúcar foram produzidos por meio de cruzamentos seletivos e programas de melhoramento genético. A seleção de cultivares considerou fatores, tais como, produtividade, resistência a pragas e doenças, qualidade tecnológica para a produção de sacarose e etanol e, a resiliência ao estresse hídrico e climático. Atualmente, a produção contínua de novas cultivares de cana-de-açúcar é essencial para a sustentabilidade e competitividade agroindustrial no atendimento às demandas do mercado global (Oliva; Jacometti, 2023).

A cultivar CTC 9006, cultivada comercialmente na região noroeste do Estado de São Paulo, Brasil, apresenta um ciclo de maturação médio, época de florescimento em meio de safra, sendo que a intensidade de florescimento é ocasional e o grau de isoporização é médio. O desempenho da cultivar em resposta ao uso de maturadores químicos, tanto no manejo precoce para acúmulo de sacarose, quanto no manejo tardio para preservação de sacarose, depende da seleção do maturador, visto que cada produto exibe respostas distintas. O mês de maio é o indicado para o uso de maturador fisiológico para esta cultivar e a época de colheita pode abranger os meses de junho a setembro. Estudos recentes sobre o uso de maturadores, juntamente com suas respectivas doses e aditivos, permanecem limitados na literatura científica e revisada por pares, especialmente no que diz respeito à prevenção da isoporização dos colmos (CTC, 2026).

3.2 FITO-HORMÔNIOS

Fito-hormônios são maturadores químicos, que possuem a capacidade de alterar os processos fisiológicos da planta, podendo acarretar modificações na produção tecnológica de uma cultura. Esses compostos químicos retardam ou inibem o desenvolvimento vegetativo na cultura da cana-de-açúcar, incrementando o teor de sacarose, tornando possível o processo de maturação precoce, tendo em vista o incremento da produtividade de colmos, potencializando a qualidade genética de cultivares quanto ao acúmulo de sacarose (Viana *et al.*, 2017; Espinoza Veliz, 2017; Germino, 2018; Beluci, 2021).

No Brasil, diversos tipos de maturadores têm sido utilizados na cultura de cana-de-açúcar, dentre eles, destacam-se o etiltrinexapac, o sulfometuron-metil, o ethephon e o glifosato. Especificamente, em doses recomendadas na bula do produto comercial, promovem o estresse

químico às plantas, minimizando o crescimento dos colmos, sem trazer prejuízos à gema apical (Viana *et al.*, 2008; Viana *et al.*, 2015; Viana *et al.*, 2017; Germino, 2018; Hervatin, 2018; Rodrigues, 2019; Beluci, 2021; Mastro, 2021; Figueiredo, 2022).

O Ethephon, cujo ingrediente ativo é o ácido 2-cloro-etil-fosfônico (ETF), é classificado como regulador de crescimento vegetal. Após a absorção pelos tecidos vegetais, ele é convertido em etileno, um fito-hormônio, que influencia processos fisiológicos da planta. O ETF é um produto líquido que pode ser aplicado via pulverização. Uma vez absorvido pelos tecidos vegetais, ele transloca-se para o citoplasma, estimulando a planta a produzir uma maior quantidade de etileno endógeno, que promove a maturação e o crescimento do colmo, bem como, o controle do florescimento (Cunha *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2019; Khan *et al.*, 2024; Kowsalya *et al.*, 2025). Existem diversas formulações para o Ethephon no Brasil, sendo o Ethephon 720, o produto comercial, que contém uma concentração de Ethephon de 720 gL⁻¹ e 575 gL⁻¹, de outros ingredientes, registrado sob o nº 03292 (MAPA, 2026).

O florigrauxifen-benzil (FPB) ou arilpicolinato é um ingrediente ativo, concentrado e emulsionável, que possui a seguinte formulação: 25,00 gL⁻¹ de benzyl 4-amino-3-chloro-6-(4-chloro-2-fluoro-3-methoxyphenyl)-5-fluoropyridine-2-carboxylate (florigrauxifen-benzil), 19,91 gL⁻¹ de equivalente ácido do florigrauxifen-benzil e 900 gL⁻¹ de outros ingredientes. FPB é comercializado sob o nome Relicta, registrado sob o nº 32519 (MAPA, 2026). A planta acumula açúcares nos colmos, reduzindo o crescimento vegetativo, o que resulta em maior eficiência agroindustrial durante a colheita.

A aplicação do Ethephon na cana-de-açúcar e em outras culturas está bem estabelecida na literatura científica revisada por pares. No entanto, o uso do FPB tem sido restrito.

3.3 ISOPORIZAÇÃO

A intensidade do processo de florescimento reflete na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar e variam de acordo com a cultivar e condições climáticas (Caputo *et al.*, 2007). Ao emitir o pendão no ápice do colmo, o fluxo de açúcar produzido é drenado para a região reprodutiva, reduzindo a produtividade e a qualidade da matéria-prima para o setor sucroenergético, ocorrendo o processo de isoporização da cana-de-açúcar e a consequente perda de peso final (Morais, 2021).

A isoporização é uma desidratação dos tecidos no colmo que, ao perderem água, vão adquirindo a coloração branca. Esse processo se inicia nas partes internas do colmo, podendo evoluir para a periferia e, ao longo do comprimento, podendo variar conforme a cultivar (Caputo *et al.*, 2007; Caputo, 2008; Silva; Segato, 2011; Silva Neto *et al.*, 2011; Moraes, 2021; Nascimento *et al.*, 2023).

A isoporização ocorre em certas cultivares e está associada à maturação da cana-de-açúcar, relacionando-se à translocação de sacarose no colmo para a formação da inflorescência no ápice da planta (Nascimento *et al.* 2023; Calzado, 2024; Soares Filho, 2024). A isoporização pode comprometer o diâmetro do colmo de cultivares, afetando a qualidade tecnológica da matéria-prima em diferentes níveis (Silva Neto *et al.*, 2011).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área de plantio de cana soca, 3º corte, cultivar CTC 9006, em uma usina sucroenergética da região do noroeste paulista, Fazenda Serenata, Estado de São Paulo (Figura 1).

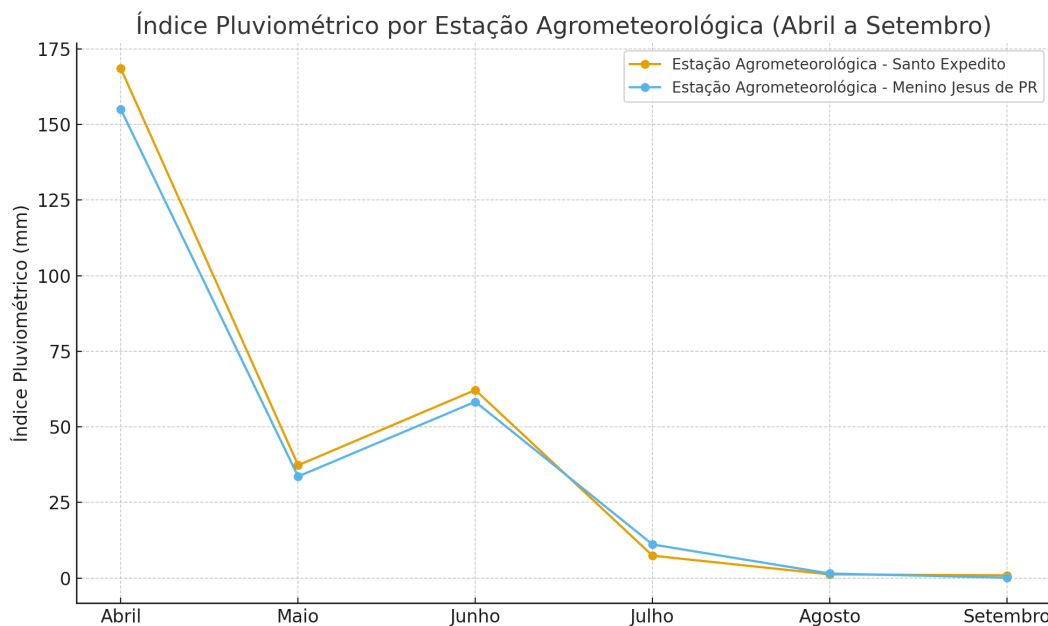
A região é predominantemente caracterizada por um tipo climático Aw, definido como tropical com um inverno seco, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (Alvares *et al.*, 2014). Os dados coletados pelas duas estações agrometeorológicas, localizadas próximas a Fazenda Serenata e referentes aos meses de abril a setembro de 2025, estão apresentados na figura 2.

Figura 1 - Mapa de localização da usina sucroenergética, Fazenda Serenata e área experimental, Estado de São Paulo



Fonte: Google Earth.

Figura 2 - Índice Pluviométrico das estações Santo Expedito e Menino Jesus Pr



Fonte: Fazenda Serenata, Estado de São Paulo (abril-setembro, 2025).

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, arranjos em esquema fatorial, 7 tratamentos e 5 repetições, totalizando 35 parcelas (4 sulcos x 20 metros). Cada parcela mediu 6 m x 20 m, perfazendo 120 m², e continha quatro linhas de cana-de-açúcar, espaçadas em 1,50 m. Um corredor de 2,5 m foi disposto entre os blocos e um espaçamento de 1 m entre as parcelas. Os produtos empregados foram o ácido 2-cloro-etil-fosfônico (ETF) e o florpirauxifen-benzil (FPB), adotando-se as doses recomendadas na bula dos produtos comerciais. Então, os seguintes procedimentos em cada um dos tratamentos foram estabelecidos:

1. Controle;
2. Ácido 2-cloro-etil-fosfônico (ETF), uma aplicação (1×), dose de 0,66 L/ha;
3. Florpirauxifen-benzil (FPB), uma aplicação (1×), dose de 0,30 L/ha;
4. Ácido 2-cloro-etil-fosfônico (ETF), duas aplicações (2×), cada dose de 0,66 L/ha;
5. Florpirauxifen-benzil (FPB), duas aplicações (2×), cada dose de 0,30 L/ha;
6. Florpirauxifen-benzil (FPB) + Basic Plus (BP), uma aplicação (1×), dose de 0,30 L/ha;
7. Florpirauxifen-benzil (FPB) + Basic Plus (BP), duas aplicações (2×), cada dose de 0,30 L/ha.

As aplicações foram feitas com o uso de um drone, verificando-se anteriormente as condições do clima, tais como, temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, operando a uma altura de 3,5 m e volume de calda de 20 L ha⁻¹. Este equipamento enquadra-se na Classe 2 (RPA, peso máximo de decolagem maior que 25 kg e até 150 kg), de acordo com as especificações da ANAC (2026).

As amostragens e avaliações foram realizadas aos 0, 45, 75, 105, 120 dias, após aplicações (DAA) dos fito-hormônios, sendo fundamentadas em parâmetros agrícolas e tecnológicos. Após 45 dias, realizou-se a segunda aplicação de ETF e FPB para os tratamentos 4, 5 e 7.

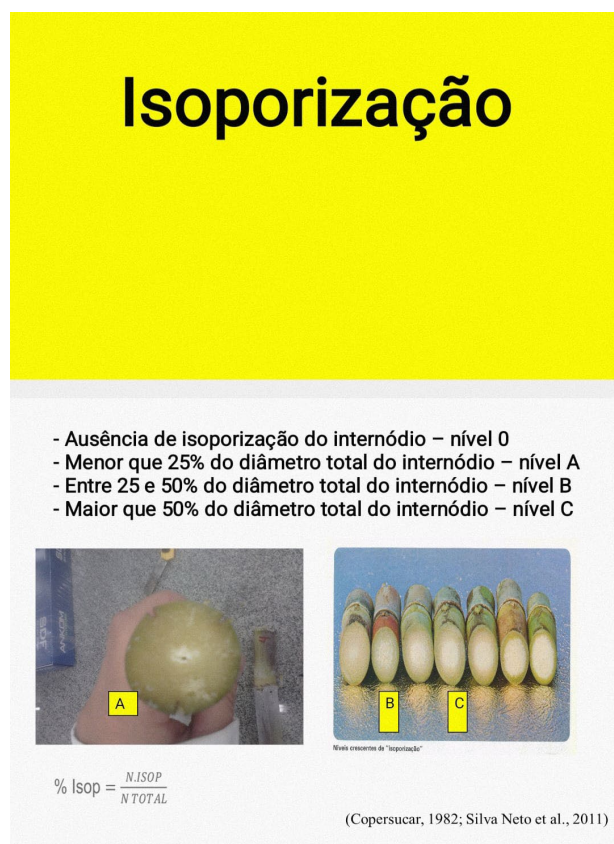
Foram coletados 13 colmos em cada parcela, dispostos nas linhas centrais, sendo 3 deles para a análise dos níveis de isoporização e, os 10 colmos restantes, para a determinação do peso e de qualidade tecnológica. Os colmos foram coletados, aleatoriamente, nas duas linhas centrais das parcelas. As folhas foram removidas juntamente com a bainha e o meristema apical foi retirado no ponto de quebra natural. A determinação do peso dos colmos foi realizada, utilizando uma balança digital de gancho. O perfilhamento foi avaliado pela contagem de perfilhos ao longo de um segmento de 5 m, com o auxílio de uma fita métrica.

Para a avaliação dos níveis de isoporização foram seccionados 3 colmos e analisados, considerando os internódios do colmo, de acordo com a classificação biométrica da cana-de-açúcar do Sistema de Kuijper (Horschutz *et al.*, 2022).

A classificação dos níveis de isoporização dos internódios do colmo foi feita, de acordo com o seguinte critério, como mostra a figura 3 (COPERSUCAR, 1980; Silva Neto *et al.*, 2011):

0. Nível 0 - Ausência de isoporização do internódio;
1. Nível A - até 25% do diâmetro total do internódio;
2. Nível B - entre 25 e 50 % do diâmetro total do internódio;
3. Nível C - maior que 50 % do diâmetro total do internódio.

Figura 3 - Classificação dos níveis de isoporização



Fonte: COPERSUCAR (1980) e Silva Neto *et al.* (2011)

As amostras foram encaminhadas ao laboratório de PCTS (Pagamento de Cana por Teor de Sacarose) para a análise de qualidade tecnológica, de teor de sacarose, após a aplicação de fito-hormônios em cada um dos períodos de amostragem.

Os parâmetros avaliados foram teor de sólidos solúveis do caldo (BRIX), teor de sacarose aparente do caldo (POL), teor de sacarose aparente da cana (PC), fibra da cana, pureza do caldo, peso do bolo úmido (PBU), açúcares redutores da cana (ARC), açúcares redutores do caldo (AR) e açúcar total recuperável (ATR), leitura sacarimétrica (LSAC), número de perfilhos (NP), peso médio de 10 colmos (P10C) de acordo com os métodos de determinações químicas e tecnológicas do CONSECANA (2015).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$) e, em caso de efeitos significativos, foram realizadas as análises, envolvendo o Teste de Tukey a 5% de probabilidade ou demais testes correlatos, sendo utilizado o programa estatístico SISVAR 5.6 (Ferreira, 2019).

Métodos de análise multivariada fatorial foram realizados a partir das médias dos resultados das repetições de cada tratamento e, para cada variável de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. Foi realizada a análise de componentes principais (PCA) para verificar a inter-relação entre as variáveis de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, períodos de amostragem, tratamentos e níveis de isoporização, utilizados no experimento. Por fim, foram construídos gráficos (“biplot” e “scatterplot”), para as respectivas análises, incluindo a correlação de Pearson entre as variáveis, os períodos de amostragem e os tratamentos. O software computacional utilizado foi o R versão 4.2.2. (Ossani; Cirillo, 2017).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA-DE-AÇÚCAR: CTC 9006

A análise de variância revelou que, embora algumas variáveis de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, cultivar CTC 9006, tenham apresentado significância estatística ($P < 0,05$), com o coeficiente de variação sendo inferior a 10% para a maioria delas, apenas fibra e PBU evidenciaram interações consistentes entre tratamento e aplicação. Esses resultados corroboram estudos que apontam a fibra como um parâmetro altamente sensível às condições fisiológicas da planta e às práticas de manejo (Bertollo, 2020; Nascimento *et al.*, 2023) conforme mostra a tabela 1.

Tabela 1 - Análise de variâncias (quadrados médios) das variáveis de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, CTC 9006.

(continua)

FV	GL	ATR				
		0	45	75	105	120
Bloco	4	11,48	40,84	19,62	66,78	11,26
Tratamento	3	225,44*	94,10	159,69	341,28*	38,79
Aplicação	1	28,24	160,08	0,43	32,76	0,31
T x A	3	14,58	8,61	45,51	19,35	1,57
Erro	28	25,44	60,56	55,25	36,58	20,12
CV (%)	-	4,31	6,34	5,93	4,40	3,19

FV	GL	BRIX				
		0	45	75	105	120
Bloco	4	0,11	0,61	0,58	1,24	0,17
Tratamento	3	3,59*	0,55	3,66*	4,12*	0,12
Aplicação	1	0,32	2,82	0,02	1,28	0,03
T x A	3	0,17	0,18	0,73	0,40	0,10
Erro	28	0,40	1,11	1,03	0,60	0,31
CV (%)	-	3,95	6,29	6,04	4,22	2,96

Tabela 1 - Análise de variâncias (quadrados médios) das variáveis de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, CTC 9006.

(continuação)

FV	GL	POL				
		0	45	75	105	120
Bloco	4	0,21	0,65	0,34	1,30	0,21
Tratamento	3	4,14*	1,80	2,74*	5,79*	0,17
Aplicação	1	1,45	2,05	0,01	0,17	0,04
T x A	3	0,31	0,16	0,96	0,43	0,07
Erro	28	0,44	1,04	0,90	0,65	0,32
CV (%)	-	5,07	7,45	6,71	5,09	3,46
FV	GL	AR				
		0	45	75	105	120
Bloco	4	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Tratamento	3	0,03*	0,02*	0,01	0,02	0,01
Aplicação	1	0,13*	0,01	0,01	0,01	0,01
T x A	3	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Erro	28	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
CV (%)	-	10,27	10,17	17,21	16,58	8,31
FV	GL	PUREZA				
		0	45	75	105	120
Bloco	4	9,71	6,06	8,48	12,90	3,17
Tratamento	3	24,16*	19,54*	13,25	14,28	1,18
Aplicação	1	109,39*	0,17	2,16	9,48	3,00
T x A	3	12,91	1,69	16,18	5,58	2,27
Erro	28	6,48	6,09	14,24	10,78	2,61
CV (%)	-	3,12	3,02	4,48	3,80	1,86

Tabela 1 - Análise de variâncias (quadrados médios) das variáveis de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, CTC 9006.

(conclusão)						
FV	GL	FIBRA				
		0	45	75	105	120
Bloco	4	0,06	0,02	0,11	0,28	0,40
Tratamento	3	0,41*	0,25	0,30	0,26	2,30
Aplicação	1	1,03*	0,11	0,20	0,34	0,05
<u>T x A</u>	3	0,05	0,06	<u>0,47*</u>	0,12	0,31
Erro	28	0,11	0,26	0,14	0,30	0,91
CV (%)	-	3,46	5,20	3,78	5,01	8,68
FV	GL	PBU				
		0	45	75	105	120
Bloco	4	9,28	3,89	17,13	44,34	62,69
Tratamento	3	64,16*	39,17	45,95	41,18	358,27
Aplicação	1	160,52*	16,87	31,72	52,14	7,97
<u>T x A</u>	3	7,58	9,94	<u>73,72*</u>	18,78	49,37
Erro	28	17,96	41,15	22,22	46,53	142,33
CV (%)	-	3,80	5,73	4,15	5,46	9,42

Fonte: Produção do próprio autor.

Notas: *, significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F. FV - Fonte de Variação, GL - Graus de Liberdade, T - Tratamento, A - Aplicação, CV (%) - Coeficiente de Variação.

O “biplot” (Figura 4) representa a PCA para a cultivar CTC 9006, permitindo identificar padrões de associação entre as variáveis de qualidade tecnológica e a diferenciação dos tratamentos ao longo dos dois primeiros componentes principais (PC 1 e PC 2). Cada componente explicou a variabilidade dos dados, totalizando 70,6% (PC 1 = 54,9% e PC 2 = 15,7%, respectivamente), demonstrando que ambos os componentes são relevantes para explicar o comportamento das variáveis e tratamentos durante os períodos de amostragem do experimento (Tabela 2).

Os resultados obtidos a partir das médias, da PCA (Figura 4) e das correlações de Pearson (Figuras 5 e 6, Quadros 1, 2, 3 e 4) proporcionaram uma perspectiva integrada sobre a qualidade tecnológica e industrial para a cultivar CTC 9006.

No lado negativo de PC1, verifica-se o agrupamento de variáveis como fibra, pureza, PBU, PC, indicando forte correlação positiva entre esses atributos de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. Por outro lado, no lado positivo do PC1, destacam-se variáveis como AR e NP, sugerindo que esse eixo expressa componentes de maior interesse nutricional e indicador do processo de maturação no desenvolvimento da cana-de-açúcar.

Essa disposição revela uma relação inversa entre esses dois conjuntos de variáveis de referência para o processo industrial e tecnológico para a cultivar CTC 9006, evidenciada pelo posicionamento oposto dos vetores no gráfico. Tendências similares foram registradas por Abreu (2022) para a cultivar SP81-1816. A aplicação de maturadores na cana-de-açúcar modula os teores de nutrientes nos tecidos foliares (folha +1) para os macros e micronutrientes (Germino, 2018).

O segundo componente principal (PC2), por sua vez, contribui para a separação adicional das amostras (Figura 4), estando mais associado às variáveis como P10C, que é uma estimativa biométrica da produtividade industrial e, ARC, um parâmetro de crescimento, ambos localizados na porção superior do gráfico. P10C e ARC apresentaram associação mais próxima à amostra T3 (ETF, 1×, 0.66 L ha⁻¹, 75 dias, ATR = 128 kg t⁻¹).

As variáveis BRIX, ATR e POL estiveram relacionadas, principalmente, aos tratamentos T8 (ETF, 2×, 0.66 L ha⁻¹ cada, aos 75 dias, ATR = 133 kg t⁻¹), T14 (FPB + BP, 1×, 0.30 L ha⁻¹, 105 dias, ATR = 137 kg t⁻¹), T4 (ETF, 1×, 0.66 L ha⁻¹, 105 dias, ATR = 143 kg t⁻¹), T9 (ETF, 2×, 0.66 L ha⁻¹ cada, 105 dias, ATR = 139 kg t⁻¹), T19 (FPB + BP, 2×, 0.30 L ha⁻¹ cada, 105 dias, ATR = 138 kg t⁻¹) e T29 (FPB, 2×, 0.30 L ha⁻¹ cada, 105 dias, ATR = 139 kg t⁻¹). LSAC mostrou maior proximidade com T24 (FPB, 1×, 0.30 L ha⁻¹, 105 dias, ATR = 144 kg t⁻¹). Os valores médios de ATR no tratamento controle foram de 116 kg t⁻¹. Essas variáveis de qualidade tecnológica estão associadas ao processo de maturação e acúmulo de sacarose nos colmos, induzidos pela ação dos maturadores químicos empregados nesse estudo. Contudo, o ETF e o FPB exibiram eficácia comparável nesse processo, indicando que uma segunda aplicação pode ser desnecessária, considerando ambos maturadores.

PC, PBU, pureza, fibra, na região negativa, apresentaram maior associação com os tratamentos T20 (FPB + BP, 2×, 0.30 L ha⁻¹ cada, 120 dias, ATR = 139 kg t⁻¹), T25 (FPB, 1×, 0.30 L ha⁻¹, 120 dias, ATR = 139 kg t⁻¹), T5 (ETF, 1×, 0.66 L ha⁻¹, 120 dias, ATR = 136 kg t⁻¹) e T18 (FPB + BP, 2×, 0.30 L ha⁻¹ cada, 75 dias, ATR = 126 kg t⁻¹). Fatores genéticos e ambientais podem influenciar o crescimento, o acúmulo de sacarose e os processos fisiológicos de cultivares, pois a maturação da cana-de-açúcar é condicionada por fatores internos e externos (Miranda *et al.*, 2020; Flack-Prain *et al.*, 2021; Vasantha *et al.*, 2022; Dingre; Gorantiwar,

2022). Nesse contexto, o melhor desempenho fisiológico de genótipos de cana-de-açúcar, incluindo o incremento da produtividade e qualidade tecnológica, bem como, o aprimoramento de resistência aos estresses associados às variações climáticas é imprescindível (Neris *et al.*, 2022; Grandis *et al.*, 2024; Pedreira *et al.*, 2026).

O “biplot” da PCA do estudo realizado por Sacoto *et al.* (2025) revelou uma forte correlação entre variáveis de qualidade como BRIX, POL e pureza do caldo, indicando que dois eixos são necessários para observar a qualidade de 72 amostras de cana-de-açúcar e, respectivas práticas de manejo e irrigação, mostrando resultados próximos ao “biplot” da PCA com a cultivar CTC 9006, deste estudo, bem como, ao “biplot” da PCA do estudo de Pires *et al.* (2024) para a cultivar IACSP95-5094.

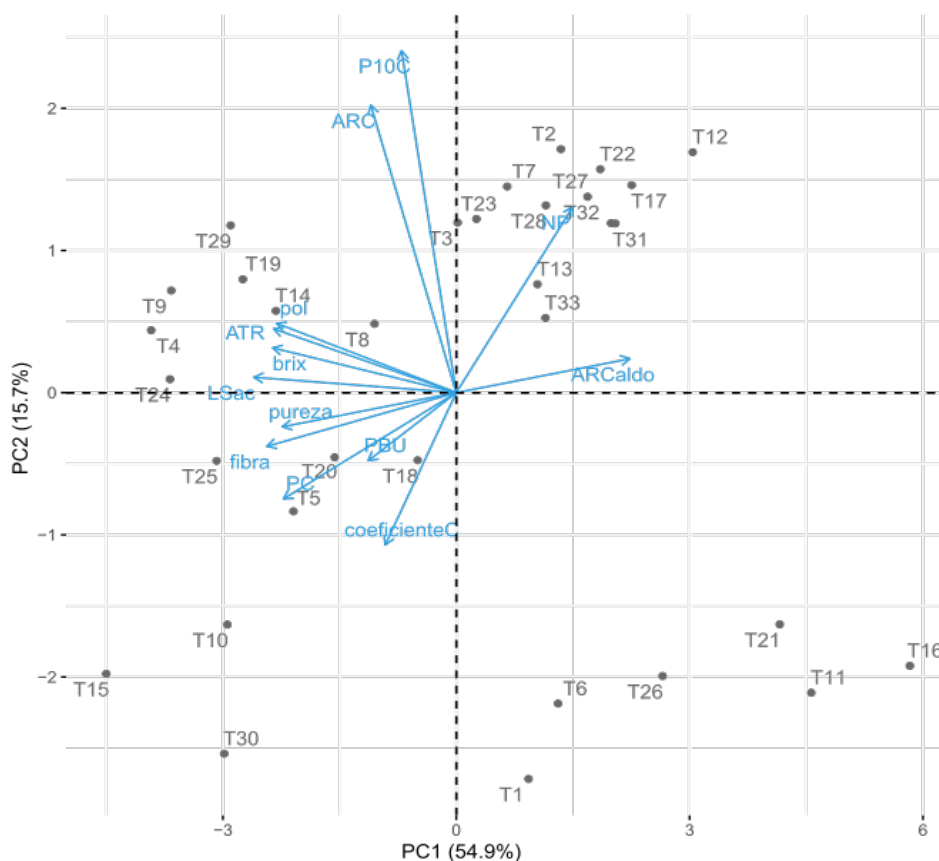
O acúmulo de sacarose induzido pelo etileno é mais pronunciado em genótipos de cana-de-açúcar com baixo teor de açúcar, possivelmente devido à ativação preferencial de genes como as invertases, que aumentam a capacidade de absorção de sacarose pelo caule (CHEN *et al.*, 2019), entretanto, CTC 9006 não é um genótipo de reduzido teor de sacarose (CTC, 2026) e a ação de liberação de etileno, incrementada pelo uso do Ethephon potencializou o acúmulo de sacarose no colmo. FPB mostrou comportamento similar neste processo.

Tabela 2 - Classificação dos fatores, autovalores, percentuais de variação e percentuais de variação acumulada

Fatores	Autovalores	Percentual de Variação	Percentual Cumulativo
1	7,1	54,9	54,9
2	2,0	15,7	70,6
3	1,1	8,3	79,0
4	8,8	6,8	85,7
5	7,1	5,5	91,2
6	5,2	3,9	95,1
7	2,1	1,6	96,7
8	1,7	1,3	98,0
9	1,1	0,9	98,9
10	7,3	0,6	99,5
11	5,1	0,4	99,9
12	1,4	0,1	100,0
13	4,5	0,3	100,0

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 4 - Análise de componentes principais (PCA) para inter-relação das variáveis de qualidade tecnológica e os tratamentos.



Fonte: Produção do próprio autor.

A análise de correlação de Pearson entre as variáveis de qualidade tecnológica revelou associações de altas magnitudes em ambas as abordagens (Quadros 1, 2, 3 e 4 e Figuras 5 e 6). Quando foi avaliado cada período de amostragem (Quadros 1 e 2 e Figura 5), fortes para perfeitas positivas ($0,7 \leq r < 1,0$; $r = 1,0$) e negativas ($-1,0 < r \leq -0,7$; $r = -1,0$) correlações foram observadas. Uma tendência similar ocorreu, quando foi avaliado os fito-hormônios em cada um dos tratamentos (Quadros 3 e 4 e Figura 6), que também exibiram fortes para perfeitas positivas ($0,7 \leq r < 1,0$; $r = 1,0$) e negativas ($-1,0 < r \leq -0,7$; $r = -1,0$) interações. As demais correlações foram moderadas ou fracas.

As variáveis fibra e PBU mostraram altas correlações positivas ($r = 1,0$) em todos os períodos de amostragem (Figura 5). PBU refere-se à massa do bagaço úmido que resta após a prensagem de uma amostra de cana no laboratório, sendo um valor utilizado em cálculos para determinar o percentual de fibra, dentre outras características da cultura (CONSECANA, 2015).

O bagaço *in-natura* é composto por cerca de 44,5% de fibras lignocelulósicas, 50% de umidade, 2,5% de sólidos solúveis em água e 3% de teor de cinza, constituído basicamente, por α -celulose (54,3-55,2%), hemicelulose (16,8-29,7%), lignina (24,3-25,3%), cinzas (1,1%) e outros extratos (0,7-3,5%), de acordo com Oliveira (2018).

A fibra indica o percentual de matéria fibrosa, sólida e insolúvel, que sustenta e preenche a cana-de-açúcar. Os principais componentes da fibra são a lignina (15%), responsável pelo potencial calórico da cana, e a celulose (40%) e a hemicelulose (35%), ambas formas de carboidratos abundantes na natureza e de reserva para a planta. Se a quantidade de fibra na cana aumenta, menor será a eficiência de extração, porém, se a quantidade de fibra for reduzida, maior será o risco de prejuízos mecânicos nas etapas de colheita e transporte, podendo favorecer a contaminação e, conseqüentemente, perdas na indústria (Pires *et al.*, 2024).

O valor ideal de fibra deve estar entre 11% a 13%, sendo o valor de referência em torno de 12,5% e, entretanto, acima de 14%, a eficiência de extração será baixa e, abaixo de 10%, pode ocorrer tombamento e outros prejuízos, durante a colheita e o transporte da cana-de-açúcar (CONSECANA, 2015).

Uma característica geral prevalece em nível global, que é um baixo teor de fibras em cultivares de cana-de-açúcar. Na cana fresca, o baixo teor de fibra abrange uma faixa estreita de cerca de $12 \pm 2\%$ e, plantas com um valor de fibra inferior a esse padrão não são viáveis em termos agrônômicos. Entretanto, a indústria não aceita um limite superior (Matsuoka, 2017). Neste estudo, as médias obtidas de fibra para CTC 9006 foram ~ 11 , nos tratamentos com ETF ($1\times$, 0.66 L ha^{-1}) e ETF ($2\times$, 0.66 L ha^{-1} cada), estando próximo ao valor de referência.

PC, POL, BRIX, ATR e pureza apresentaram valores de correlações perfeitas positivas ($r=1,0$) e fortes ($0,7 \leq r < 1,0$) entre os períodos de amostragem (Figura 5). LSAC e POL mostraram correlações perfeitas positivas ($r = 1,0$) aos 45, 105 e 120 dias. BRIX e POL mostraram altas correlações positivas aos 0, 105 e 120 dias, com $r = 0,73$, $r = 0,90$ e $r = 0,76$, respectivamente. A variável POL representa o percentual de sacarose aparente na cana (PC) ou no caldo (POL), medida por um sacarímetro e, é um dos parâmetros principais para determinar o rendimento de açúcar. A correlação positiva de BRIX e de sacarose no caldo ocorre ao se analisar a leitura sacarimétrica (LSAC) ou POL, de acordo com a metodologia de CONSECANA (2015), sendo ambos, parâmetros inter-relacionados. Neste estudo, os valores de POL, BRIX e ATR variaram de 15%, 17% e 128 kg t^{-1} (controle) para 16%, 19% e 138 kg t^{-1} .

t^{-1} (seis tratamentos), respectivamente, ao longo dos respectivos períodos de avaliação, indicando efeito semelhante de ambos os maturadores químicos no acúmulo de sacarose.

ARC e AR mostraram valores de correlações de altas magnitudes e positivas ($r = 1,0$) aos 75, 105 e 120 dias, respectivamente. POL e ATR ($r = 1,0$) aos 0 e 105 dias, assim como, POL e ATR ($r = 0,97$), aos 45 dias. PC e ATR, aos 45, 75 e 105 dias, com $r = 0,98$, $r = 1,0$ e $r = 0,95$, respectivamente. BRIX e ATR aos 0 e 105 dias, com $r = 0,76$ e $r = 0,92$, respectivamente. As interações entre estas variáveis de qualidade tecnológica demonstram a evolução no processo de maturação para a cultivar CTC 9006, de ciclo médio, para agregar sacarose.

ARC é um parâmetro que indica os teores de glicose e frutose, na composição total da cana-de-açúcar. Por outro lado, PC representa o teor de sacarose na composição total da cana. A sacarose é a principal matéria prima para a produção de açúcar e álcool, sendo que quanto maior o PC, maior será o potencial de produção de uma usina sucroenergética (Assis, 2021; PIRES *et al.*, 2024).

O ATR é o principal indicador de qualidade tecnológica, representado pela soma total de açúcares na cana (glicose, frutose e sacarose) e que, efetivamente, podem ser recuperados e convertidos em açúcar ou etanol no processo agroindustrial. Os principais parâmetros que definem a quantidade de ATR são a pureza do caldo, o teor de fibras e PC, sendo usado para determinar o valor econômico, o pagamento da cana-de-açúcar aos produtores e, a rentabilidade da cadeia de suprimentos para o setor sucroenergético (CONSECANA, 2015; Mastro, 2021; Paiva *et al.*, 2025; Muthalakshmi *et al.*, 2025; Campos *et al.*, 2026).

Interações entre estes parâmetros de qualidade obtidas neste estudo, com a cultivar CTC 9006 foram próximas às correlações entre as variáveis pureza, POL, ATR e BRIX ($r > 0,70$) do estudo realizado por Pires *et al.* (2024), com a cultivar IACSP95-5094, um genótipo de ciclo médio, avaliado por meio de tratamentos com insumos orgânicos e, aos estudos de Abreu (2022) que evidenciou correlações positivas entre POL, BRIX e ATR, para a cultivar SP81-1816, de ciclo médio (cana soca de terceiro corte), tratados com fertilizante organomineral e torta de filtro, indicando alta dependência entre essas variáveis neste processo de acúmulo de sacarose nos colmos. Contudo, não há registros na literatura científica recente revisada por pares referentes às variáveis de qualidade tecnológica para a cultivar CTC 9006.

A qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, atualmente, é fundamentada nos teores de sacarose, que em usinas de açúcar e etanol é estimada indiretamente por meio PBU, BRIX, PC, POL e LSAC (Paiva *et al.*, 2025). Essas variáveis são empregadas no cálculo de parâmetros de qualidade, incluindo teor de fibra, de sacarose aparente (PC e POL), pureza, açúcares redutores (AR e ARC) e ATR, diretrizes que são estabelecidas pelo CONSECANA (2015). Por outro lado, Paiva *et al.* (2025) relata que o uso de valores de LSAC, BRIX, PC, POL, PBU, ARC e AR limita a precisão de estimativas de ATR, indicando o potencial da espectroscopia NIR na construção de modelos preditivos para o ATR, tendo em vista o melhoramento de genótipos de cana e na tomada de decisões agroindustriais. No entanto, esse modelo deve aprimorar a precisão da predição de fibras para a implantação em campo, incrementando a sua aplicabilidade prática em ambientes agrícolas (Muthalakshmi *et al.*, 2025).

As variáveis AR e pureza (Figura 5) mostraram interações de altas magnitudes e negativas ($r = -1,0$) em todos os períodos de amostragem. ARC e pureza ($r = -1,0$) aos 75, 105 e 120 dias. AR e POL, aos 0 dias, com $r = -0,74$. Essas correlações, com a cultivar 9006, foram próximas às correlações ($r < -0,70$) obtidas entre açúcares redutores e pureza, POL, ATR, BRIX para a cultivar IACSP95-5094, de ciclo médio (Pires *et al.*, 2024).

CTC 9006 apresenta um ciclo de maturação médio, que mantém um metabolismo moderadamente resiliente em relação ao AR. No entanto, este parâmetro pode eventualmente sofrer oscilações devido à variações climáticas, tais como, precipitações de meio da safra e, ou florescimento, que tendem a elevar os teores de AR para retomar as etapas do ciclo fenológico da cultivar (CTC, 2026).

ARC refere-se ao teor de glicose e de frutose na cana-de-açúcar e refletem diretamente na pureza, implicando em menor eficiência na recuperação da sacarose. Por sua vez, os açúcares redutores totais (ART) representam a quantidade total de açúcares da cana, tais como, sacarose, glicose e frutose (Oliveira *et al.*, 2016; Silveira, 2024). Por outro lado, AR é um parâmetro inversamente proporcional ao de sacarose, sendo que a análise de açúcares redutores é fundamental para a avaliação e monitoramento do nível de maturação na cana, principalmente, nos primeiros meses de colheita (Silveira, 2024).

As variáveis ARC e AR mostraram valores de correlações perfeitas e positivas ($r = 1,0$) para seis dos tratamentos e, para o quarto (ETF, $2\times$, $0,66 \text{ L/ha}$ cada) foram fortes interações, $r = 0,85$ (Figura 6). Fibra e PBU ($r = 1,0$) para cinco dos tratamentos e, para o terceiro (FPB, $1\times$, $0,30 \text{ L ha}^{-1}$), com $r = 0,98$, no entanto, exceto para o sétimo (FPB + BP, $2\times$, $0,30 \text{ L ha}^{-1}$ cada).

LSAC e ATR ($r = 1,0$) para os seis dos tratamentos e, no primeiro tratamento (controle), com $r = 0,94$. LSAC e fibra em cinco dos tratamentos ($r = 0,71$, $r = 0,73$, $r = 0,76$, $r = 0,84$, $r = 0,78$, respectivamente), com exceção do sexto (FPB + BP, $1\times$, $0,30 \text{ L ha}^{-1}$) e do sétimo (FPB + BP, $2\times$, $0,30 \text{ L ha}^{-1}$ cada).

Fibra mostrou correlação positiva de alta magnitude, com pureza (ETF, $1\times$, $0,66 \text{ L ha}^{-1}$, $r = 0,85$), ATR (FPB, $1\times$, $0,30 \text{ L ha}^{-1}$, $r = 0,71$; ETF, $2\times$, $0,66 \text{ L ha}^{-1}$ cada, $r = 0,80$; FPB, $2\times$, $0,30 \text{ L ha}^{-1}$ cada, $r = 0,74$), PC (FPB, $1\times$, $0,30 \text{ L ha}^{-1}$, $r = 0,75$; ETF, $2\times$, $0,66 \text{ L ha}^{-1}$ cada, $r = 0,73$), POL (ETF, $2\times$, $0,66 \text{ L ha}^{-1}$ cada, $r = 0,81$), BRIX (FPB, $1\times$, $0,30 \text{ L ha}^{-1}$, $r = 0,78$; ETF, $2\times$, $0,66 \text{ L ha}^{-1}$ cada, $r = 0,78$; FPB, $2\times$, $0,30 \text{ L ha}^{-1}$ cada, $r = 0,80$). Além disso, fibra e PBU mostraram perfeitas correlações positivas em seis dos tratamentos e, forte interação, no terceiro (FPB, $1\times$, $0,30 \text{ L ha}^{-1}$, $r = 0,98$).

Fibra e pureza é uma interação forte e positiva para CTC 9006 no biplot da PCA deste estudo, com resultados próximos ao biplot da PCA do estudo de Abreu (2022) para a cultivar SP81-1816. Nesse contexto, os resultados para CTC 9006 sugerem um efeito duplo indicado pela interação entre fibra e pureza (ETF, $1\times$, $0,66 \text{ L ha}^{-1}$, $r = 0,85$), em concordância com Bertollo (2020), em que a variável fibra apresentou um aumento significativo para duas cultivares, RB855156 e SP81-3250, de maturação precoce e média-tardia, respectivamente, com aplicação do Ethephon e a sacarose permaneceu alta. O efeito duplo se torna interessante para a produção de açúcar e para geração de energia (SICA *et al.*, 2026).

A cultivar SP81-3250 aprimorou os parâmetros de qualidade tecnológica, tais como, pureza, POL, BRIX, fibra, PC e ATR, com o uso do Ethephon. Em contrapartida, na cultivar RB855156, o valor de fibra diferiu significativamente no tratamento, utilizando Ethephon (Bertollo, 2020). As principais variáveis de qualidade tecnológica, tais como, fibra, PBU, PC, POL, BRIX, ATR e pureza, mostraram fortes interações e positivas, no processo de acúmulo de sacarose na cultivar CTC 9006, nos tratamentos com o uso do Ethephon. O Ethephon tem sido classificado como um fito-hormônio que retarda o crescimento, pois as plantas encurtam os entrenós apicais, à medida que ocorre o crescimento do colmo em altura e, conseqüentemente, menores perdas em termos de produtividade (Beluci, 2021).

A variável LSAC mostrou fortes correlações positivas com as seguintes variáveis: PBU, para os cinco primeiros tratamentos ($r = 0,71$, $r = 0,73$, $r = 0,77$, $r = 0,84$, $r = 0,78$, respectivamente), com exceção do sexto (FPB + BP, $1\times$, $0,30 \text{ L ha}^{-1}$) e sétimo (FPB + BP, $2\times$, $0,30 \text{ L ha}^{-1}$ cada), com pureza, no segundo (ETF, $1\times$, $0,66 \text{ L ha}^{-1}$, $r = 0,73$), no terceiro (FPB,

1×, 0.30 L ha⁻¹, $r = 0,85$), no quinto (FPB, 2×, 0.30 L ha⁻¹ cada, $r = 0,91$) e no sexto (FPB + BP, 1×, 0.30 L ha⁻¹, $r = 0,79$), com POL em todos os sete tratamentos ($r = 0,73$, $r = 0,92$, $r = 0,88$, $r = 0,90$, $r = 0,83$, $r = 0,75$, $r = 0,95$, respectivamente), bem como, com BRIX ($r = 0,95$, $r = 0,76$, $r = 0,95$, $r = 0,90$, $r = 0,98$, $r = 0,95$, $r = 0,82$, respectivamente).

Pureza apresentou fortes correlações positivas com os seguintes parâmetros: ATR ($r = 0,83$), POL ($r = 0,80$), PC ($r = 0,80$), BRIX ($r = 0,81$) e PBU ($r = 0,70$), para o terceiro tratamento (FPB, 1×, 0.30 L ha⁻¹). Similarmente, pureza e ATR correlacionaram-se no quinto (FPB, 2×, 0.30 L ha⁻¹ cada, $r = 0,91$) e sexto (FPB + BP, 1×, 0.30 L ha⁻¹, $r = 0,76$) tratamentos. Outras variáveis mostraram fortes correlações positivas com pureza: PC ($r = 0,74$), POL ($r = 0,73$) e BRIX ($r = 0,81$), no quinto tratamento (FPB, 2×, 0.30 L ha⁻¹ cada). Os valores de pureza e ATR variaram de 80% e 116 kg t⁻¹ (controle) para 86% e 133 kg t⁻¹ (quinto tratamento), assim como, de 86% e 142 kg t⁻¹ (sexto tratamento), respectivamente, ao longo dos respectivos períodos avaliados, indicando uma resposta similar ao acúmulo de sacarose na cultivar CTC 9006 em ambos os tratamentos com FPB e, sugerindo que uma segunda aplicação pode ser desnecessária.

O uso dos fito-hormônios pode antecipar a colheita de cana-de-açúcar, no entanto, os genótipos podem apresentar respostas distintas em relação ao seu emprego, respectivas doses e tratamentos (Espinoza Veliz, 2017; Hervatin, 2018; Germino, 2018; Carmo, 2020; Beluci, 2021; Mastro, 2021; Vasantha *et al.*, 2022; Ayele *et al.*, 2023).

A variável PC mostrou fortes interações positivas com as seguintes variáveis: ATR, POL, BRIX e LSAC, no primeiro tratamento (controle, $r = 0,98$, $r = 0,76$, $r = 0,90$, $r = 0,94$, respectivamente), bem como, no segundo (ETF, 1×, 0.66 L ha⁻¹, $r = 0,75$, $r = 0,74$, $r = 0,76$, respectivamente), com exceção de PC e POL. Outras variáveis em tratamentos distintos, com PC: PBU, ATR, POL, BRIX e LSAC no terceiro (FPB, 1×, 0.30 L ha⁻¹, $r = 0,76$, $r = 0,91$, $r = 0,74$, $r = 0,83$, $r = 0,92$, respectivamente) e, no quarto (ETF, 2×, 0.66 L ha⁻¹ cada, $r = 0,73$, $r = 0,93$, $r = 0,76$, $r = 0,84$, $r = 0,92$, respectivamente). PC e ATR, bem como, PC e BRIX, no quinto (FPB, 2×, 0.30 L ha⁻¹ cada, $r = 0,82$, $r = 0,79$, respectivamente) e, no sexto (FPB + BP, 1×, 0.30 L ha⁻¹, $r = 0,82$, $r = 0,77$, respectivamente), PC e LSAC, no sexto (FPB + BP, 1×, 0.30 L ha⁻¹, $r = 0,79$).

BRIX e PBU apresentaram alta correlação positiva, no terceiro (FPB, 1×, 0.30 L ha⁻¹, $r = 0,81$), no quarto (ETF, 2×, 0.66 L ha⁻¹ cada, $r = 0,78$) e no quinto (FPB, 2×, 0.30 L ha⁻¹ cada, $r = 0,81$). POL e PBU, no quarto tratamento (ETF, 2×, 0.66 L ha⁻¹ cada, $r = 0,81$).

PC2 para a cultivar CTC 9006 está relacionado à separação de amostras (Figura 4), mostrando uma forte associação com as variáveis POL, ATR, BRIX, LSAC, pureza e fibra, sendo consistente com as interações positivas de alta magnitude observadas entre estes parâmetros de qualidade tecnológica e tratamentos com fito-hormônios, bem como, com resultados próximos às correlações positivas e a PCA registradas por Pires *et al.* (2024).

O ATR indica a quantidade total de açúcares disponíveis na cana-de-açúcar (frutose, sacarose e glicose) e é um dos fatores de interesse pela indústria sucroenergética. O BRIX refere-se aos percentuais de sólidos solúveis, dissolvidos no caldo, ou seja, os percentuais de sacarose, glicose, frutose e outros compostos não açucarados, tais como, aminoácidos, gorduras, ceras e minerais que são absorvidos pela cana-de-açúcar em seu estágio de maturação. O POL é o teor de massa de sacarose aparente na cana, sendo que níveis mais altos são de interesse para o setor agroenergético, pois se correlacionam diretamente com a qualidade do produto final (CONSECANA, 2015; Xiao *et al.*, 2017).

As variáveis AR e pureza mostraram perfeitas correlações negativas ($r = -1,0$) em todos os tratamentos. Outras variáveis mostraram fortes correlações negativas com AR: ATR, POL, BRIX, PBU, LSAC e PC no terceiro tratamento (FPB, $1\times$, $0,30\text{ L ha}^{-1}$, $r = -0,83$, $r = -0,80$, $r = -0,82$, $r = -0,70$, $r = -0,85$, $r = -0,80$, respectivamente). No quinto tratamento (FPB, $2\times$, $0,30\text{ L ha}^{-1}$ cada), AR e ATR ($r = -0,90$), AR e POL ($r = -0,72$), AR e BRIX ($r = -0,80$), LSAC e AR ($r = -0,90$), PC e AR ($r = -0,74$). No sexto (FPB + BP, $1\times$, $0,30\text{ L ha}^{-1}$), AR e ATR ($r = -0,76$), LSAC e AR ($r = -0,79$), bem como, LSAC e AR ($r = -0,73$), no segundo (ETF, $1\times$, $0,66\text{ L ha}^{-1}$).

A pureza é um parâmetro tecnológico fundamental para determinar o estágio de maturação da cana-de-açúcar, sendo que valores mais elevados de pureza indicam um maior acúmulo de sacarose nos colmos. Os valores de pureza variaram de 80% a 84% (controle) e os de AR de 0,9% a 0,7%, respectivamente, ao longo dos períodos avaliados. Por outro lado, a pureza variou de 86% no quinto e no sexto tratamentos, respectivamente, indicando uma resposta comparável entre ambos os tratamentos com FPB, o que sugere que uma segunda aplicação pode ser desnecessária neste estudo.

ARC e pureza ($r = -1,0$) no tratamento controle, no quinto (FPB, $2\times$, $0,30\text{ L ha}^{-1}$ cada) e no sexto (FPB + BP, $1\times$, $0,30\text{ L ha}^{-1}$) e no sétimo (FPB + BP, $2\times$, $0,30\text{ L ha}^{-1}$ cada). Outras variáveis mostraram fortes correlações negativas com ARC e nos seguintes tratamentos: ATR (controle, $r = -0,84$; FPB, $1\times$, $0,30\text{ L ha}^{-1}$, $r = -0,84$; FPB, $2\times$, $0,30\text{ L ha}^{-1}$ cada, $r = -0,86$; FPB + BP, $1\times$, $0,30\text{ L ha}^{-1}$, $r = -0,71$), BRIX (controle, $r = -0,70$; FPB, $1\times$, $0,30\text{ L ha}^{-1}$, $r = -0,85$;

FPB, 2×, 0.30 L ha⁻¹ cada, $r = -0,70$), POL (FPB, 1×, 0.30 L ha⁻¹, $r = -0,77$), PBU (FPB, 1×, 0.30 L ha⁻¹, $r = -0,74$), PC (controle, $r = -0,86$; ETF, 1×, 0.66 L ha⁻¹, $r = -0,72$; FPB, 1×, 0.30 L ha⁻¹, $r = -0,86$; FPB, 2×, 0.30 L ha⁻¹ cada, $r = -0,88$; FPB + BP, 1×, 0.30 L ha⁻¹, $r = -0,75$) e LSAC (controle, $r = -0,85$; ETF, 1×, 0.66 L ha⁻¹, $r = -0,72$; FPB, 1×, 0.30 L ha⁻¹, $r = -0,86$; FPB, 2×, 0.30 L ha⁻¹ cada, $r = -0,86$; FPB + BP, 1×, 0.30 L ha⁻¹, $r = -0,76$).

A pureza é um parâmetro de qualidade tecnológica importante para elucidar o estágio de maturação dos colmos, sendo que quanto maior o valor da pureza, mais sacarose está acumulada no colmo da cana-de-açúcar. Os valores > 14 para POL, > 18% para BRIX, > 85% para a pureza (POL/BRIX) e < 0,8 para açúcares redutores (AR) são recomendados por CONSECANA (2015). Os valores de POL, AR e pureza são imprescindíveis na análise da maturação agroindustrial da cana-de-açúcar e, posteriormente, na tomada de decisão sobre o início a colheita dos colmos e, após a colheita dos colmos, o caldo é extraído, passando pela avaliação de qualidade tecnológica, por meio de leitura sacarimétrica (Beluci, 2021).

A variável AR representa a quantidade de frutose e glicose presentes na cana-de-açúcar, que pode afetar diretamente a pureza, refletindo em uma menor eficiência na recuperação de sacarose pela indústria (Liang *et al.*, 2020), portanto, espera-se que ocorra interação de alta magnitude e negativa, entre estas duas variáveis no processo agroindustrial, sendo condizente com os resultados do estudo com a variedade CTC 9006 e para os estudos de Pires *et al.* (2024).

Nesse estudo, as interações entre estes parâmetros de qualidade tecnológicas foram de altas magnitudes e negativas, para CTC 9006. No estágio final de maturação, os nutrientes se acumulam, causando o aumento do BRIX, pureza e POL, porém, quando as condições são desfavoráveis para o acúmulo de nutrientes pode ocorrer o processo de incremento gradual de açúcares redutores (Xiao *et al.*, 2017; CTC, 2026).

As interações perfeitas e fortes, positivas e negativas, entre os parâmetros de qualidade tecnológica para a cultivar CTC 9006 relevaram forte sobreposição entre os fito-hormônios ETF e FPB utilizados nesse estudo, bem como, em relação ao tratamento controle. Ethephon é um fito-hormônio comumente utilizado no processo de maturação em cana-de-açúcar, tendo em vista antecipação de safras no setor sucroenergético. Por outro lado, estudos focados na aplicação do fito-hormônio FPB permanecem limitados, sem registros recentes na literatura científica revisada por pares.

Quadro 1- Correlação de Pearson positivas entre as variáveis de qualidade tecnológica, considerando os períodos de avaliação.

Períodos (Dias)	$r = 1,0$	$0,7 \leq r < 1,0$	$0,5 \leq r < 0,7$
0	Fibra e PBU, POL e ATR	BRIX e ATR, BRIX e POL, pureza e POL, LSAC e ATR, LSAC e POL, LSAC e BRIX	Pureza e ATR, LSAC e PBU, LSAC e pureza, LSAC e fibra, PC e ATR, PC e BRIX
45	Fibra e PBU, LSAC e POL, PC e POL, PC e LSAC	POL e ATR, LSAC e ATR, PC e ATR	BRIX e ATR, pureza e ATR, pureza e POL, ARC e AR, LSAC e pureza, PC e pureza
75	ARC e AR, fibra e PBU, LSAC e ATR, PC e LSAC, PC e ATR		POL e ATR, LSAC e POL
105	POL e ATR, ARC e AR, fibra e PBU, LSAC e ATR, LSAC e POL	POL e PBU, BRIX e ATR, BRIX e POL, LSAC e BRIX, PC e ATR, PC e POL, PC e BRIX, PC e LSAC	BRIX e PBU, pureza e ATR, pureza e POL, fibra e POL, LSAC e PBU, LSAC e pureza, LSAC e fibra, PC e pureza
120	ARC e AR, fibra e PBU, LSAC e POL	BRIX e POL, LSAC e BRIX, PC e POL, PC e BRIX, PC e LSAC	Pureza e POL, LSAC e pureza, PC e pureza

Fonte: Produção do próprio autor.

Quadro 2 - Correlação de Pearson negativas entre as variáveis de qualidade tecnológica, considerando os períodos de avaliação.

Períodos (Dias)	$r = -1,0$	$-1,0 < r \leq -0,7$	$-0,7 < r \leq -0,5$
0	AR e pureza	AR e POL	AR e ATR, LSAC e AR
45	AR e pureza		AR e ATR, AR e POL, ARC e pureza, LSAC e AR, PC e AR
75	AR e pureza, ARC e pureza		
105	AR e pureza, ARC e pureza		AR e ATR, AR e POL, ARC e POL, LSAC e AR, LSAC e ARC, PC e AR, PC e ARC
120	AR e pureza, ARC e pureza		AR e POL, ARC e POL, LSAC e AR, LSAC e ARC, PC e AR, PC e ARC

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 5 - Correlação de Pearson entre as variáveis de qualidade tecnológica, considerando os períodos de avaliação. Símbolos: L1 (0 dias), L2 (45 dias), L3 (75 dias), L4 (105 dias), L5 (120 dias), Corr. - Correlação. Coeficientes seguidos por * e ** e *** são significantes para $p < 0.05$, $p < 0.01$ e $p < 0.001$, respectivamente.

P10C	PBU	ATR	pol	brix	pureza	ARCald	ARC	fibra	LSac	coeficienteC	PC	
Corr: 0.065 L1: -0.124 L2: 0.339* L3: -0.094 L4: -0.405*	Corr: -0.097 L1: 0.147 L2: 0.097 L3: -0.096 L4: 0.134	Corr: -0.138 L1: 0.224 L2: -0.058 L3: -0.054 L4: -0.037	Corr: -0.347*** L1: 0.235 L2: -0.019 L3: -0.000 L4: -0.004	Corr: -0.084 L1: 0.279 L2: -0.187 L3: -0.016 L4: -0.014	Corr: -0.166 L1: 0.231 L2: -0.217 L3: 0.117 L4: -0.014	Corr: 0.166 L1: -0.231 L2: -0.052 L3: 0.126 L4: -0.025	Corr: 0.218* L1: -0.052 L2: -0.022 L3: 0.117 L4: -0.025	Corr: -0.093 L1: 0.148 L2: 0.101 L3: -0.096 L4: 0.193	Corr: -0.142 L1: 0.190 L2: -0.024 L3: -0.071 L4: -0.004	Corr: 0.116 L1: 0.034 L2: 0.098 L3: 0.176 L4: -0.313	Corr: -0.193* L1: -0.057 L2: -0.027 L3: -0.068 L4: 0.034	NP
	Corr: 0.128 L1: 0.145 L2: 0.095 L3: -0.226 L4: 0.010 L5: 0.505**	Corr: 0.185* L1: -0.001 L2: -0.044 L3: -0.064 L4: 0.186 L5: -0.047	Corr: 0.221** L1: 0.071 L2: -0.002 L3: 0.169 L4: 0.006 L5: -0.384*	Corr: -0.054 L1: 0.728 L2: 0.026 L3: -0.004 L4: 0.164 L5: -0.323	Corr: 0.018 L1: 0.114 L2: 0.118 L3: -0.004 L4: 0.006 L5: -0.204	Corr: -0.019 L1: 0.315 L2: -0.006 L3: 0.299 L4: -0.051 L5: 0.201	Corr: 0.114 L1: -0.196 L2: 0.320 L3: -0.038 L4: 0.148	Corr: 0.122 L1: 0.134 L2: 0.085 L3: -0.008 L4: -0.008 L5: 0.507*	Corr: 0.157* L1: 0.208 L2: -0.007 L3: -0.134 L4: 0.169 L5: -0.364*	Corr: 0.007 L1: 0.007 L2: 0.007 L3: -0.007 L4: 0.157 L5: -0.157	Corr: -0.028 L1: 0.198 L2: -0.013 L3: 0.163 L4: 0.226 L5: -0.460**	P10C
		Corr: 0.436*** L1: 0.388 L2: 0.388 L3: 0.388 L4: 0.388 L5: -0.041	Corr: 0.554*** L1: 0.415 L2: 0.388 L3: 0.388 L4: 0.388 L5: -0.073	Corr: 0.007 L1: 0.728 L2: 0.026 L3: -0.004 L4: 0.164 L5: -0.323	Corr: 0.418*** L1: 0.388 L2: 0.388 L3: 0.388 L4: 0.388 L5: 0.010	Corr: -0.419*** L1: -0.359 L2: -0.277 L3: 0.103 L4: -0.475** L5: -0.309	Corr: -0.402*** L1: -0.172 L2: -0.277 L3: 0.057 L4: -0.530** L5: -0.098	Corr: 0.997*** L1: 0.388 L2: 0.388 L3: 0.388 L4: 0.388 L5: 1.000***	Corr: 0.694*** L1: 0.388 L2: 0.388 L3: 0.388 L4: 0.388 L5: -0.074	Corr: -0.735*** L1: -0.692 L2: -0.735 L3: -0.735 L4: -0.735 L5: -0.520**	Corr: 0.531*** L1: 0.388 L2: 0.388 L3: 0.388 L4: 0.388 L5: -0.281	PBU
			Corr: 0.615*** L1: 0.388 L2: 0.388 L3: 0.388 L4: 0.388 L5: 0.227	Corr: 0.069 L1: 0.559*** L2: 0.559*** L3: 0.559*** L4: 0.164 L5: 0.164	Corr: 0.476*** L1: 0.388 L2: 0.388 L3: 0.388 L4: 0.388 L5: 0.154	Corr: -0.473*** L1: -0.359 L2: -0.277 L3: 0.103 L4: -0.475** L5: -0.309	Corr: -0.401*** L1: -0.448 L2: -0.472** L3: -0.379 L4: -0.588*** L5: -0.149	Corr: 0.435*** L1: 0.388 L2: 0.388 L3: 0.388 L4: 0.388 L5: -0.040	Corr: 0.703*** L1: 0.388 L2: 0.388 L3: 0.388 L4: 0.388 L5: 0.226	Corr: -0.364*** L1: -0.299 L2: -0.299 L3: -0.299 L4: -0.299 L5: -0.058	Corr: 0.615*** L1: 0.388 L2: 0.388 L3: 0.388 L4: 0.388 L5: 0.227	ATR
				Corr: 0.051 L1: 0.728 L2: 0.026 L3: -0.004 L4: 0.164 L5: -0.323	Corr: 0.608*** L1: 0.388 L2: 0.388 L3: 0.388 L4: 0.388 L5: 0.853***	Corr: -0.807*** L1: -0.728 L2: -0.728 L3: -0.728 L4: -0.728 L5: -0.662***	Corr: -0.531*** L1: -0.448 L2: -0.472** L3: -0.379 L4: -0.588*** L5: -0.149	Corr: 0.555*** L1: 0.388 L2: 0.388 L3: 0.388 L4: 0.388 L5: -0.076	Corr: 0.849*** L1: 0.388 L2: 0.388 L3: 0.388 L4: 0.388 L5: 0.999***	Corr: -0.453*** L1: -0.388 L2: -0.388 L3: -0.388 L4: -0.388 L5: -0.087	Corr: 0.676*** L1: 0.388 L2: 0.388 L3: 0.388 L4: 0.388 L5: 0.877***	pol
					Corr: 0.066 L1: 0.410 L2: 0.033 L3: 0.033 L4: 0.033 L5: -0.030	Corr: -0.065 L1: -0.181 L2: -0.181 L3: -0.181 L4: -0.181 L5: 0.032	Corr: -0.040 L1: -0.284 L2: -0.033 L3: -0.033 L4: -0.269 L5: 0.049	Corr: 0.007 L1: 0.215 L2: -0.123 L3: -0.123 L4: 0.599 L5: 0.785	Corr: 0.085 L1: 0.439 L2: 0.439 L3: 0.439 L4: 0.439 L5: 0.785	Corr: 0.053 L1: 0.218 L2: 0.218 L3: 0.218 L4: 0.218 L5: 0.057	Corr: 0.060 L1: 0.439 L2: 0.439 L3: 0.439 L4: 0.439 L5: 0.785	brix
						Corr: -1.000*** L1: -1.000 L2: -1.000 L3: -1.000 L4: -1.000 L5: -1.000***	Corr: -0.952*** L1: -0.952 L2: -0.952 L3: -0.952 L4: -0.952 L5: -0.952***	Corr: 0.419*** L1: 0.388 L2: 0.388 L3: 0.388 L4: 0.388 L5: 0.008	Corr: 0.650*** L1: 0.388 L2: 0.388 L3: 0.388 L4: 0.388 L5: 0.612***	Corr: -0.334*** L1: -0.334 L2: -0.334 L3: -0.334 L4: -0.334 L5: -0.188	Corr: 0.580*** L1: 0.388 L2: 0.388 L3: 0.388 L4: 0.388 L5: 0.806***	pureza
							Corr: 0.951*** L1: 0.585 L2: -0.594*** L3: 0.998*** L4: 0.997*** L5: 0.659***	Corr: -0.419*** L1: -0.317 L2: -0.276 L3: -0.276 L4: -0.468 L5: -0.007	Corr: -0.648*** L1: -0.585 L2: -0.585 L3: -0.585 L4: -0.585 L5: -0.606***	Corr: 0.332*** L1: 0.193 L2: 0.193 L3: 0.193 L4: 0.193 L5: 0.193	Corr: -0.579*** L1: -0.579 L2: -0.579 L3: -0.579 L4: -0.579 L5: -0.579***	ARCald
								Corr: -0.404*** L1: -0.404 L2: -0.404 L3: 0.058 L4: -0.522** L5: -0.096	Corr: -0.634*** L1: -0.634 L2: -0.634 L3: -0.435** L4: -0.646*** L5: 0.197	Corr: 0.339** L1: 0.161 L2: 0.161 L3: 0.161 L4: 0.425* L5: 0.197	Corr: -0.644*** L1: -0.644 L2: -0.496** L3: -0.496** L4: -0.629*** L5: 0.308	ARC
									Corr: 0.694*** L1: 0.388 L2: 0.388 L3: 0.388 L4: 0.388 L5: 0.677	Corr: -0.735*** L1: -0.735 L2: -0.735 L3: -0.735 L4: -0.735 L5: -0.364	Corr: 0.532*** L1: 0.388 L2: 0.388 L3: 0.388 L4: 0.388 L5: 0.284	fibra
										Corr: -0.560*** L1: -0.560 L2: -0.560 L3: -0.560 L4: -0.560 L5: -0.061	Corr: 0.859*** L1: 0.388 L2: 0.388 L3: 0.388 L4: 0.388 L5: 0.977***	LSac
											Corr: -0.483*** L1: -0.483 L2: -0.483 L3: -0.483 L4: -0.483 L5: 0.040	eficienk

Fonte: Produção do próprio autor.

Quadro 3 - Correlação de Pearson positivas entre as variáveis de qualidade tecnológica, considerando os maturadores nos tratamentos.

(continua)

Tratamentos	$r = 1,0$	$0,7 \leq r < 1,0$	$0,5 \leq r < 0,7$
1. Controle	ARC e AR, fibra e PBU	LSAC e PBU, LSAC e ATR, LSAC e POL, LSAC e BRIX, LSAC e fibra, PC e ATR, PC e POL, PC e LSAC, PC e BRIX	BRIX e PBU, fibra e ATR, fibra e BRIX, PC e PBU, PC e pureza, PC e fibra
2. ETF, $1 \times$, 0.66 L ha^{-1}	ARC e AR, fibra e PBU, LSAC e ATR	Fibra e pureza, LSAC e PBU, LSAC e POL, LSAC e BRIX, LSAC e pureza, LSAC e fibra, PC e ATR, PC e BRIX, PC e LSAC	POL e PBU, pureza e PBU, pureza e ATR, pureza e POL, fibra e ATR, fibra e POL, PC e PBU, PC e POL, PC e pureza, PC e fibra
3. FPB, $1 \times$, 0.30 L ha^{-1}	ARC e AR, LSAC e ATR	BRIX e PBU, pureza e PBU, pureza e ATR, pureza e POL, pureza e BRIX, fibra e PBU, fibra e ATR, fibra e BRIX, LSAC e PBU, LSAC e POL, LSAC e BRIX, LSAC e pureza, LSAC e fibra, PC e PBU, PC e ATR, PC e POL, PC e BRIX, PC e pureza, PC e fibra, PC e LSAC	POL e PBU, fibra e POL, fibra e pureza

Quadro 3 - Correlação de Pearson positivas entre as variáveis de qualidade tecnológica, considerando os maturadores nos tratamentos.

(conclusão)

4. ETF, 2×, 0.66 L ha ⁻¹ cada	Fibra e PBU, LSAC e ATR	POL e PBU, BRIX e PBU, ARC e AR, fibra e ATR, fibra e POL, fibra e BRIX, LSAC e PBU, LSAC e POL, LSAC e BRIX, LSAC e fibra, PC e PBU, PC e ATR, PC e POL, PC e BRIX, PC e fibra, PC e LSAC	Pureza e POL
5. FPB, 2×, 0.30 L ha ⁻¹ cada	ARC e AR, fibra e PBU, LSAC e ATR	BRIX e PBU, pureza e ATR, pureza e POL, pureza e BRIX, fibra e ATR, fibra e BRIX, LSAC e PBU, LSAC e POL, LSAC e BRIX, LSAC e pureza, LSAC e fibra, PC e ATR, PC e BRIX, PC e pureza	POL e PBU, pureza e PBU, fibra e POL, fibra e pureza, PC e PBU, PC e POL, PC e fibra, PC e LSAC
6. FPB + BP, 1×, 0.30 L ha ⁻¹	ARC e AR, fibra e PBU, LSAC e ATR	Pureza e ATR, LSAC e POL, LSAC e BRIX, LSAC e pureza, PC e ATR, PC e BRIX, PC e LSAC	Pureza e POL, pureza e BRIX, PC e pureza
7. FPB + BP, 2×, 0.30 L ha ⁻¹ cada	ARC e AR, LSAC e ATR, fibra e PBU	AR e NP, ARC e NP, LSAC e POL, LSAC e BRIX	Pureza e ATR, pureza e POL, LSAC e pureza

Fonte: Produção do próprio autor.

Quadro 4 - Correlação de Pearson negativas entre as variáveis de qualidade tecnológica, considerando os maturadores nos tratamentos.

Tratamentos	$r = -1,0$	$-1,0 < r \leq -0,7$	$-0,7 < r \leq -0,5$
1. Controle	AR e pureza, ARC e pureza	ARC e ATR, ARC e BRIX, LSAC e ARC, PC e ARC	ARC e PBU, ARC e POL, fibra e ARC, PC e AR
2. ETF, 1×, 0.66 L ha ⁻¹	AR e pureza	LSAC e AR, LSAC e ARC, PC e ARC	AR e PBU, AR e ATR, AR e POL, ARC e PBU, ARC e ATR, ARC e POL, fibra e AR, fibra e ARC, PC e AR
3. FPB, 1×, 0.30 L ha ⁻¹	AR e pureza	AR e PBU, AR e ATR, AR e POL, AR e BRIX, ARC e PBU, ARC e ATR, ARC e POL, ARC e BRIX, fibra e ARC, LSAC e AR, LSAC e ARC, PC e AR, PC e ARC	Fibra e AR
4. ETF, 2×, 0.66 L ha ⁻¹ cada	AR e pureza	ARC e pureza	AR e POL
5. FPB, 2×, 0.30 L ha ⁻¹ cada	AR e pureza, ARC e pureza	AR e ATR, AR e POL, AR e BRIX, ARC e ATR, ARC e BRIX, LSAC e AR, LSAC e ARC, PC e AR, PC e ARC	AR e PBU, ARC e PBU, fibra e AR, fibra e ARC
6. FPB + BP, 1×, 0.30 L ha ⁻¹	AR e pureza, ARC e pureza	AR e ATR, ARC e ATR, LSAC e AR, LSAC e ARC, PC e ARC	AR e POL, AR e BRIX, ARC e POL, ARC e BRIX, PC e AR
7. FPB + BP, 2×, 0.30 L ha ⁻¹ cada	AR e pureza, ARC e pureza	Pureza e NP	POL e P10C, AR e POL, AR e ATR, ARC e POL, ARC e ATR, LSAC e P10C, LSAC e ARC

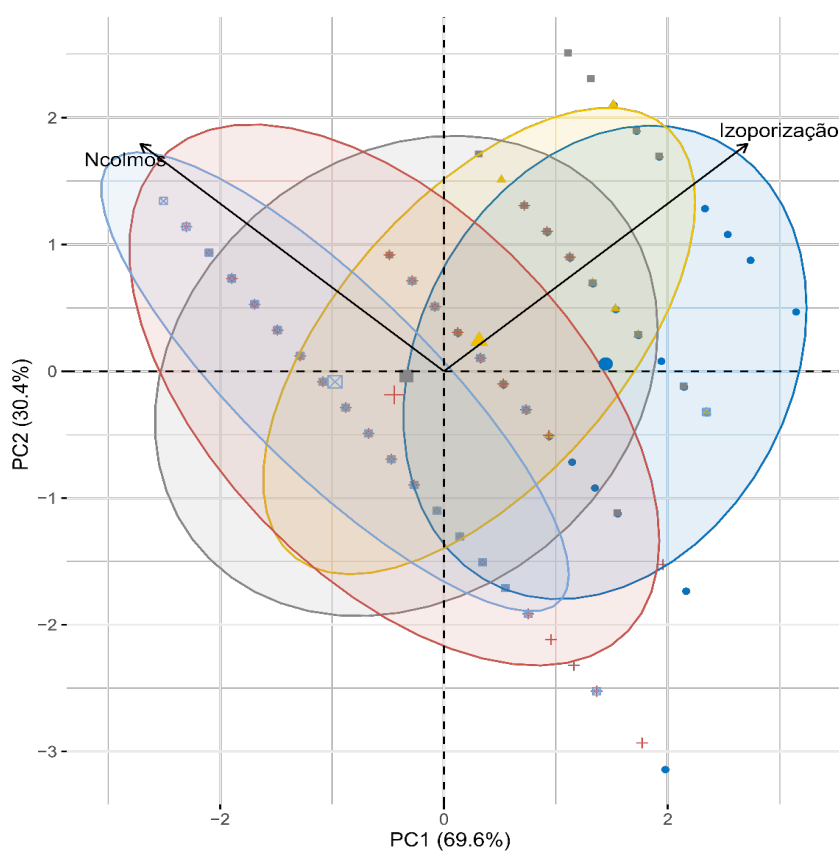
Fonte: Produção do próprio autor.

5.2 ISOPORIZAÇÃO

A PCA foi realizada para verificar a inter-relação entre as variáveis descritoras dos níveis de isoporização (1 a 4 níveis), períodos de avaliação e tratamentos utilizados no experimento. Por fim, foi construído “scatterplots” (Figura 7 e 8), contendo a correlação de Pearson entre estas variáveis, períodos e tratamentos.

Cada componente explicou a variabilidade dos dados, totalizando 100,0% (PC 1 = 69,9% e PC 2 = 30,4%, respectivamente), pois ambos os componentes são relevantes para explicar o comportamento das variáveis e tratamentos durante os períodos de amostragem do experimento.

Figura 7 - Análise de componentes principais (PCA) para a inter-relação das variáveis descritoras dos níveis de isoporização, considerando os períodos de avaliação. Símbolos: E = Época ou período de avaliação. N Colmos = Número de colmos.



Fonte: Produção do próprio autor.

A PCA evidenciou uma sobreposição entre as elipses dos grupos (Figura 7), revelando que as diferenças entre os períodos não são bem definidas e sugerindo que o processo ocorre de forma gradual e contínua, sem mudanças marcantes entre os períodos avaliados. A orientação dos vetores mostra a presença de correlações opostas entre conjuntos de variáveis, indicando que determinados atributos aumentam, enquanto outros diminuem ao longo do processo de maturação da cultivar CTC 9006. Dessa forma, os resultados demonstram que, embora haja tendência de diferenciação entre os períodos, a isoporização nos colmos apresenta comportamento progressivo, sendo mais expressivo aos 0 dias (E1) e 45 dias (E2).

O “scatterplot” da PCA (Figura 8) indica forte sobreposição entre os fito-hormônios (ETF e FPB), evidenciando baixa separação multivariada e, então, sugerindo que a isoporização no colmo da cana-de-açúcar, para a cultivar CTC 9006, apresenta comportamento similar entre os tratamentos testados. Contudo, ocorre uma leve tendência de deslocamento em direção ao quadrante associado ao vetor da variável isoporização, indicando que esse atributo contribui para diferenciar parcialmente algumas amostras, especialmente, nos tratamentos que incluem o fito-hormônio ETF ($2\times$, 0.66 L ha^{-1} cada).

Deve-se ressaltar que o ETF e FPB exibiram eficácia comparável nesse processo. O ETF é um fito-hormônio utilizado para induzir o processo de maturação em cultivares de cana-de-açúcar. Por outro lado, para o FPB carecem de relatos na literatura recente. Neste estudo, ambos fito-hormônios demonstraram comportamento similar quanto ao processo de maturação, mas suas ações na prevenção do isoporização exigem maiores elucidaciones.

O etileno pode ser ativado pela ação do Ethephon, aprimorando as vias de sinalização de iniciação da floração, modulando os genes ligados às respostas ao fotoperíodo e à temperatura (Chen *et al.*, 2019; Khan *et al.*, 2024) e, então, regulando os processos fisiológicos na planta, dentre eles, o período de floração e controle da isoporização (Kowsalya *et al.*, 2025).

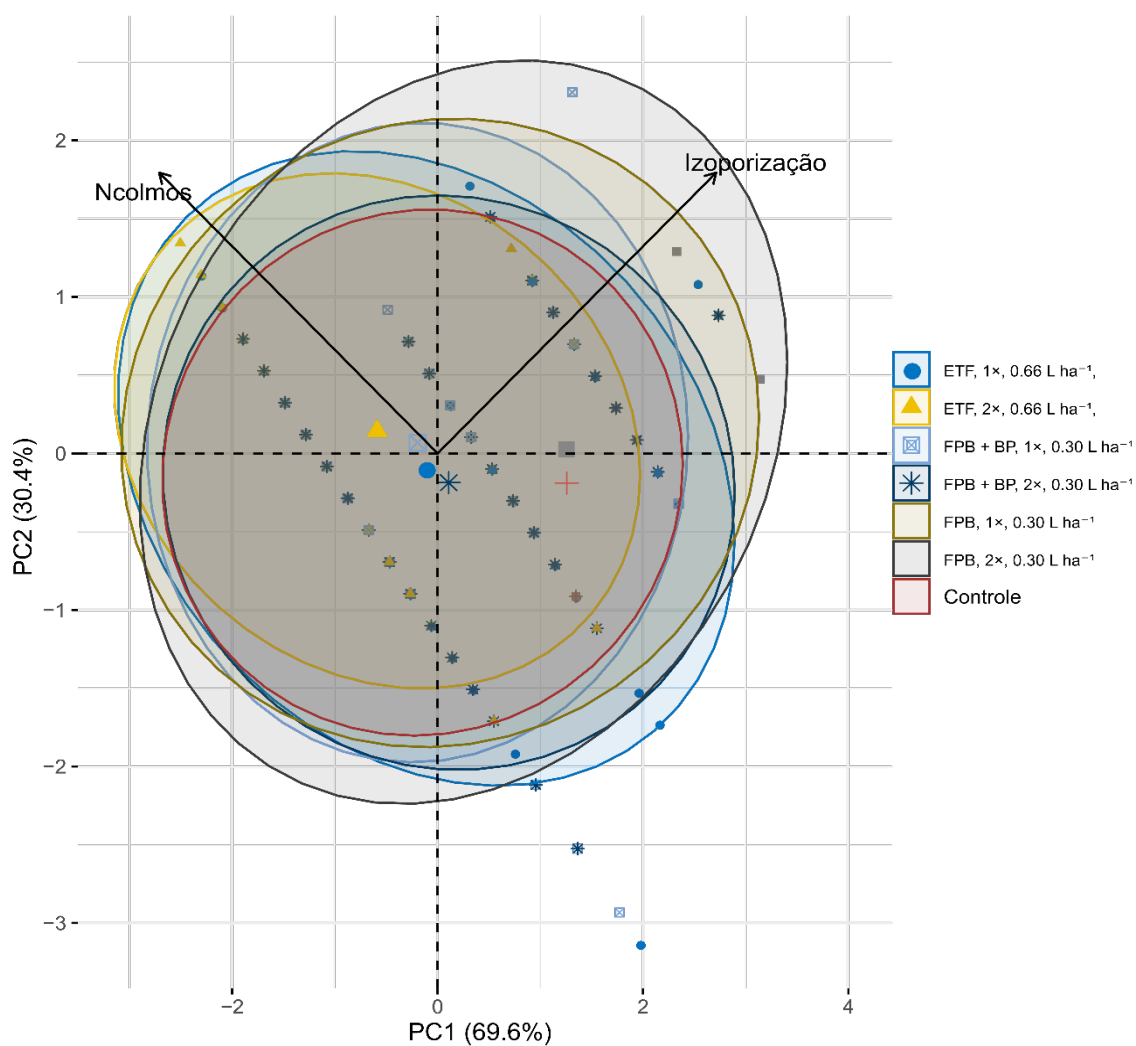
O gráfico de correlação de Pearson (Figura 9) entre as variáveis descritoras dos níveis de isoporização, períodos de avaliação e tratamentos utilizados no experimento mostrou correlações fracas e negativas ($-0,5 < r \leq -0,1$), exceto para 0 dias, que por outro lado, apresentou correlações fracas e positivas ($0,1 \leq r < 0,5$).

As correlações para os tratamentos evidenciaram valores em destaque para os fito-hormônios ETF ($2\times$, 0.66 L ha^{-1} cada), $r = -0,42$ e FPB ($1\times$, 0.30 L ha^{-1}), $r = -0,41$, respectivamente. As demais correlações mostraram valores de $r \sim -0,40$ para os tratamentos com ETF ($1\times$, 0.66 L ha^{-1}), FPB + BP ($2\times$, 0.30 L ha^{-1} cada) e controle, corroborando os resultados evidenciados pelos “scatterplots” da PCA (Figuras 7 e 8), indicado pela forte

sobreposição entre os períodos e tratamentos, e baixa separação multivariada para a cultivar CTC 9006.

Nas avaliações de isoporização da cultivar RB96-6928, Beluci (2021) sugeriu que a isoporização foi associada ao estresse hídrico e, o tratamento controle apresentou maior percentual de isoporização (13%), em relação aos demais tratamentos com maturadores, dentre eles, o Ethephon (6%).

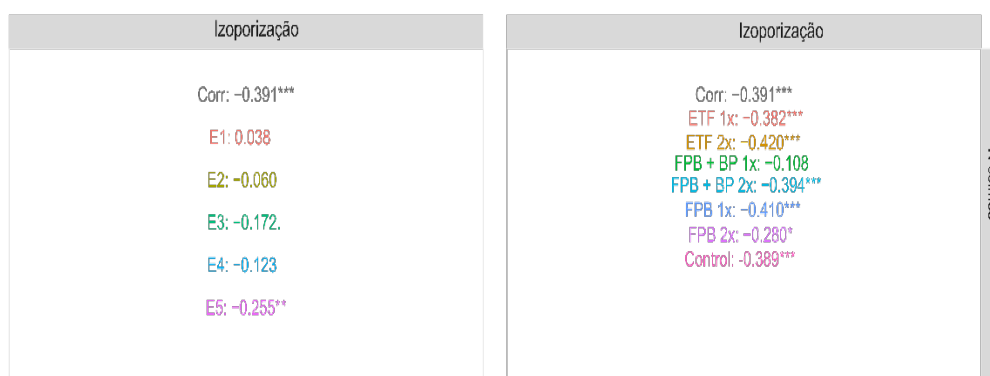
Figura 8 - Análise de componentes principais (PCA) para inter-relação das variáveis descritoras dos níveis de isoporização, considerando os tratamentos. Símbolos: 1. Controle, 2. ETF, 1×, 0.66 L ha⁻¹, 3. FPB, 1×, 0.30 L ha⁻¹, 4. ETF, 2×, 0.66 L ha⁻¹ cada, 5. FPB, 2×, 0.30 L ha⁻¹ cada, 6. FPB + BP, 1×, 0.30 L ha⁻¹, 7. FPB + BP, 2×, 0.30 L ha⁻¹ cada.



Fonte: Produção do próprio autor.

O processo de isoporização foi significativamente menor apenas na base dos colmos com a aplicação do Ethephon para a cultivar RB855156, comparada ao controle, entretanto, SP81-3250, um genótipo de maturação média a tardia respondeu a aplicação do Ethephon, com um incremento na qualidade tecnológica e atraso na floração (Bertollo, 2020).

Figura 9 - Correlação de Pearson entre as variáveis descritoras dos níveis de isoporização, considerando os períodos de avaliação e os tratamentos. Símbolos: E = Época ou período de avaliação. 1. Controle, 2. ETF, 1×, 0.66 L ha⁻¹, 3. FPB, 1×, 0.30 L ha⁻¹, 4. ETF, 2×, 0.66 L ha⁻¹ cada, 5. FPB, 2×, 0.30 L ha⁻¹ cada, 6. FPB + BP, 1×, 0.30 L ha⁻¹, 7. FPB + BP, 2×, 0.30 L ha⁻¹ cada.



Fonte: Produção do próprio autor.

O presente estudo contribui para a elucidação das interações entre fito-hormônios e a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, destacando a necessidade de novos arranjos experimentais que integrem variáveis ambientais (precipitação, déficit hídrico, radiação solar) e parâmetros fisiológicos (expressão gênica e metabolismo secundário) na busca de estratégias mais robustas para mitigar a isoporização.

6 CONCLUSÃO

1. A fibra e o WCW apresentaram interações consistentes entre tratamento e aplicação, visto que a fibra é um parâmetro altamente sensível às condições fisiológicas da planta e às práticas de manejo.

2. O biplot da PCA forneceu uma perspectiva integrada sobre as variáveis de qualidade tecnológica e industrial da cultivar CTC 9006, uma vez que não há, relatos na literatura científica recente e revisada por pares sobre esses parâmetros e cultivar.

3. ETF e FPB apresentaram padrões similares entre os tratamentos e os períodos de amostragem durante o processo de maturação e acúmulo de sacarose da cultivar CTC 9006. No entanto, a segunda aplicação pode não ser necessária.

4. O processo de isoporização exibiu uma tendência progressiva, mais acentuada durante o estágio inicial de maturação. Observou-se sobreposição multivariada em relação aos tratamentos com os fito-hormônios (ETF e FPB) utilizados no experimento. Contudo, o papel desses produtos na prevenção da isoporização requer investigações adicionais, particularmente, no que diz respeito à segunda aplicação, abrangendo ambos os fito-hormônios.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. S. **Fertilização com bioativo composto em cana-de-açúcar de terceiro corte**. Orientador: Sebastião Ferreira de Lima. 2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, 2022.

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, Germany, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. 2014.

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil. **Drones**. Brasília, DF: ANAC. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/drones>. Acesso em: 12 jan. 2026.

ASSIS, E. C. **Análise da fermentação associada à determinação dos açúcares redutores totais e dos subprodutos**. Orientadora: Ana Claudia Chesca. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade de Uberaba, Uberaba, 2021.

ABREU, M. S. **Fertilização com bioativo composto em cana-de-açúcar de terceiro corte**. Orientador: Sebastião Ferreira de Lima. 2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, 2022.

AYELE, N. *et al.* Ripening response of sugarcane varieties to chemical ripeners and economic benefits during the early period of harvesting at Wonji-Shoa and Metahara Sugarcane Plantations, Central Rift Valley of Ethiopia. **International Journal of Agronomy**, London, UK, v. 2021, art. 6645913, p. 1-9, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6645913>.

AYELE, N *et al.* Sugarcane yield and juice quality as affected by harvest age and chemical ripeners in Central Rift Valley of Ethiopia. **Agricultural Research**, New Delhi, India, v. 12, n. 4, p. 421–427, 2023. <https://doi.org/10.1007/s40003-023-00664-9>.

BARBOSA JÚNIOR, M. R. **Mapeamento de falhas em cana-de-açúcar por imagens de veículo aéreo não tripulado**. Orientador: Cristiano Zerbato. 2021. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2021.

BELUCI, L. R. **Maturadores químicos e seus efeitos na cana-de-açúcar**. Orientador: Carlos Alberto Mathias Azania. Coorientadora: Samira Domingues Carlin Cavallari 2021. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2021.

BERTOLLO, L. E. **Efeito do Ethephon na maturação e na inibição da floração sob condições naturais de indução fotoperiódica em cana-de-açúcar.** Orientadora: Luciana Rossini Pinto. Coorientador: Maximiliano Salles Scarpari. 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2020.

CALZADO, F. Avaliação de qualidade de sementes de cana-de-açúcar por meio de análise de imagens. Orientador: Silvio Moure Cicero. 2024. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2024.

CAMPOS, L. O. *et al.* Potential of different leaf fertilizers on growth and production in cane plant. **Colloquium Exactarum**, Presidente Prudente, SP, v. 18, n. 1, art. e265259, p. 1-12, jan/dez., 2026. <https://doi.org/10.5747/ce.2026.v18.e441>.

CAPUTO, M. M. *et al.* Acúmulo de sacarose, produtividade e florescimento de cana-de-açúcar sob reguladores vegetais. **Interciencia**, Caracas, Venezuela, v. 32, n. 12, p., 834- 840, dec. 2007.

CAPUTO, M. M. *et al.* Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 67, n. 1, p. 15-23, 2008.

CARMO, C. R. S. **Modelo matemático para otimização do planejamento da aplicação de agentes maturadores e da colheita da cana-de-açúcar.** Orientadora: Helenice de Oliveira Florentino Silva. 2020. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2020.

CHEN, Z. *et al.* Ethylene-mediated improvement in sucrose accumulation in ripening sugarcane involves increased sink strength. **BMC Plant Biology**, London, UK, v. 19, art. 285, p. 1-17, 2019. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1882-z>.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: Safra 2025/26.** Brasília, DF: CONAB, v. 14, n. 1, 2026. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 01 de abr. de 2026.

CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Etanol do Estado de São Paulo. **Manual de Instruções do Consecana.** Piracicaba, SP: CONSECANA, 2015. 80 p.

COPERSUCAR - Cooperativa de Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. **Amostragem e análise de cana-de-açúcar**. Piracicaba, SP: Centro de Tecnologia de Copersucar, Divisão Agronômica, [1980]. Disponível em: <https://www.copersucar.com.br>. Acesso em: 10 abr. 2025.

CTC - Centro de Tecnologia Canavieira. Piracicaba, SP: CTC. Disponível em: <http://www.ctc.com.br>. Acesso em: 03 mar. 2026.

CUNHA, C. P. *et al.* Ethylene-induced transcriptional and hormonal responses at the onset of sugarcane ripening. **Scientific Reports**, London, UK, v. 7, art. 43364, p. 1-18, 2017. <https://doi.org/10.1038/srep43364>.

DINGRE, S. K.; GORANTIWAR, S. D. Evaluation of field water balance-based deficit irrigation strategies for seasonal sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) in a semiarid Indian plain. **Irrigation and Drainage**, New Delhi, India, v. 72, p. 358-376, 2022. <https://doi.org/10.1002/ird.2773>.

ESPINOZA VELIZ, J. G. **Maturadores em cana-de-açúcar: qualidade da matéria-prima, poder calorífico da palha e residual na cultura**. Orientador: Marcelo de Almeida Silva. 2017. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2017.

FAO - Food and Agriculture Organization. **Sugarcane Crop Information**. Rome, Italy. Disponível em: <https://www.fao.org>. Acesso em: 17 abr. 2026.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, MG, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.

FIGUEIREDO, G. S. **Espaçamento entre mudas pré-brotadas (MPB) em linhas de plantio de cana-de-açúcar no sistema MEIOSI sob aplicação do regulador vegetal etefon**. Orientador: Marcelo de Almeida Silva. 2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2022.

FLACK-PRAIN, S. *et al.* The impact of climate change and climate extremes on sugarcane production. **GCB Bioenergy**, Oxford, UK, v. 13, p. 408-424, 2021. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12797>.

FURTADO, L. A. *et al.* Modeling and techno-economic analysis of a hybrid sugarcane plant fed by vinasse biogas and bagasse surplus for electricity generation. **Journal of Cleaner Production**, London, UK, v. 413, art. 137511, p. 1-17, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137511>.

GERMINO, G. H. **Teor nutricional das folhas e do ponteiro da cana-de-açúcar sob efeito de maturadores**. Orientador: Marcelo de Almeida Silva. 2018. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2018.

GILIO, L.; MORAES, M. A. F. D. Sugarcane industry's socioeconomic impact in São Paulo, Brazil: a spatial dynamic panel approach. *Energy Economics*, Kansas, USA, v. 58, n. 1, p. 27-37, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.06.005>.

GRANDIS, A. *et al.* Biotechnologies to improve sugarcane productivity in a climate change scenario. **BioEnergy Research**, New York, USA, v. 17, n. 1, p. 1-26, 2024. <https://doi.org/10.1007/s12155-023-10649-9>.

HERVATIN, C. M. **Adubação foliar associada à aplicação de maturador na cana-de-açúcar em início de safra**. Orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2018.

HORSCHUTZ, A. C. O. *et al.* Leaf growth and development of sugarcane irrigated and fertilized with different sources and doses of nitrogen. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, Botucatu, SP, v. 27, n. 2, p. 296-310, 2022. <https://doi.org/10.15809/irriga.2022v27n2p296-310>.

HUANG, J. *et al.* 2020. Sugarcane for bioethanol production: potential of bagasse in chinese perspective. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, UK, v. 133, art. 110296, p. 1-14, nov. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110296>.

KHAN, S.; ALVI, A. F.; KHAN, N. A. Role of ethylene in the regulation of plant developmental processes. **Journal Stresses**, Basel, Switzerland, v. 4, n. 1, p. 28-53, 2024. <https://doi.org/10.3390/stresses4010003>.

KOWSALYA, K. *et al.* Unraveling the multifaceted role of ethephon in plant physiology: from seed germination to crop maturation and harvesting. **Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology**, New Delhi, India, v. 34, n. 3, p. 639-664, 2025. <https://doi.org/10.1007/s13562-024-00953-6>.

LIANG, S. *et al.* Improvement and metabolomics-based analysis of D-Lactic Acid production from agro-industrial wastes by *Lactobacillus delbrueckii* submitted to Adaptive Laboratory Evolution. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, USA, v. 68, p. 7660-7669, 2020. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.0c00259>.

MAPA - Ministério da Agricultura e Pecuária. **Agrofit - Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Brasília, DF. Disponível em: <https://agrofit.agricultura.gov.br>. Acesso em: 01 mar. 2026.

MASTRO, A. **Avaliação de maturadores químicos e um composto nutricional em cana-de-açúcar em final de safra**. Orientador: Paulo Alexandre Monteiro de Figueiredo. 2021. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Ilha Solteira, 2021.

MATSUOKA, S. Free fiber level drives resilience and hybrid vigor in energy cane. **Journal of Scientific Achievements**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 1-35, 2017.

MIRANDA, A. S. *et al.* Yield and technological performance of sugarcane cultivars grown under Af climate conditions. **Semina**, Londrina, PR, v. 41, n. 1, p. 73-82, 2020. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n1p73>.

MOLIJN, R. A. *et al.* Data Descriptor: Ground reference data for sugarcane biomass estimation in São Paulo state, Brazil. **Scientific Data**, London, UK, v. 5, art. 180150, p. 1-18, 2018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.150>.

MORAIS, E. R. C. **Floração em cana-de-açúcar: desvendando o papel da HINT1 e subtilase**. Orientadora: Katia Castanho Scortecci. Coorientadora: Nathalia Maíra Cabral de Medeiros. 2021. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Biociências, Natal, 2021.

MUTHALAKSHMI, M. *et al.* Innovative approaches for evaluating sugarcane quality: utilizing near-infrared spectroscopy to forecast Brix, Pol, and Fiber content in commercial agricultural domains. **Journal of Food Process Engineering**, Nova Jersey, USA, v. 48, n. 11, art. e70233, p. 1-12, 2025. <https://doi.org/10.1111/jfpe.70233>.

NASCIMENTO, J. M. *et al.* Geada na cultura da cana-de-açúcar em Rio Brilhante - MS. **Brazilian Journal of Production Engineering**. São Mateus, ES, v. 9, n. 4, p. 34-43, 2023. <https://doi.org/10.47456/bjpe.v9i4.41833>.

NERIS, D. *et al.* Reduction of ethylene biosynthesis in sugarcane induces growth and investment in the non-enzymatic antioxidant apparatus. **Plant Cell Reports**, Heidelberg, German, v. 41, p. 979-993, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00299-022-02832-7>.

NEVES, M. F.; KALAKI, R. B. **Bioenergy from sugarcane**. Guariba: Socicana, 2020. 298 p.

OLIVA, F. A.; JACOMETTI, S. Análise de variedades de cana-de-açúcar: Um estudo sobre a competitividade. **Revista Alomorfia**, Presidente Prudente, SP, v. 7, n. 4, p.800-809, 2023.

OLIVEIRA, A. R. *et al.* **Influência de lâminas de irrigação nas características tecnológicas de cana-de- açúcar**. Petrolina: Embrapa Semiárido, jul. 2016. 22 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 127).

OLIVEIRA, O. C. **Avaliação de fibras de bagaço de cana-de-açúcar *in-natura* e modificada para aplicação em compósitos**. Orientador: Djalma Souza. Coorientador: Eduardo Atem de Carvalho. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2018.

OSSANI, P. C.; CIRILLO, M. A. MFAG: a R package for carrying out the multiple factor analysis. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, MG, v. 15, n. 2, p. 566-575, 2017. <http://dx.doi.org/10.5892/ruvrd.v15i2.3253>.

OTTO, R. *et al.* Nitrogen fertilizer consumption and nitrous oxide emissions associated with ethanol production – A national-scale comparison between Brazilian sugarcane and corn in the United States. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, The Netherlands, v. 350, art. 131482, p. 1-13, 2022. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131482.

PAIVA, J. C. *et al.* Enhanced total recoverable sugar (TRS) estimation in sugar cane juice by HPLC and rapid TRS prediction via NIR spectroscopy coupled with partial least-squares modeling. **ACS Food Science & Technology**, Washington, USA, v. 5, p. 3169-3179, 2025. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.5c00485>.

PEDREIRA, J. G. S. *et al.* Assessing the impact of El Niño–Southern oscillation on sugarcane yield and quality in Brazil’s south-central region using the DSSATCANEGRO model. **Theoretical and Applied Climatology**, Vienna, Austria, v. 157, n. 5, p. 1-13. 2026. <https://doi.org/10.1007/s00704-025-05962-6>.

PIRES, W. M. *et al.* Agronomic performance and technological quality of sugarcane submitted to different poultry litter dosages. **Scientific Reports**, v. 14, art. 15435, p. 1-11, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66340-2>.

PRADO FILHO, A. P. A. **Aplicação foliar de nutrientes e hormônios na cana-de-açúcar em início de safra: produção e qualidade da matéria prima.** Orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol. 2019. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2019.

RODRIGUES, J. D. *et al.* **Fisiologia da produção de cana-de-açúcar.** São Paulo: Andrei Editora, 2018. 176 p.

RODRIGUES, J. S. **Resposta fisiológica de alface à subdoses de maturadores utilizados em cana-de-açúcar.** Orientador: Pedro Luís da Costa Aguiar Alves. 2019. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2019.

RODRIGUES, G. S. S. C.; ROSS, J. L. S. **A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental.** Uberlândia/MG: EDUFU, 2020. 272 p.

SACOTO, C. A. *et al.* Influence of harvest timing on sugarcane quality parameters in ecuador: a multivariate analysis using PCA and MANOVA biplot. **Scientific Reports**, London, UK, v. 15, p. 1-7, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-93393-8>.

SHENDRYK, Y. *et al.* Fine-scale prediction of biomass and leaf nitrogen content in sugarcane using UAV LiDAR and multispectral imaging. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Amsterdam, The Netherlands, v. 92, art. 102177, p. 1-14, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102177>.

SICA, P. *et al.* Fiber composition of 190 novel energy cane genotypes and their potential for biorefinery applications. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, London, UK, v. 20, p. 253-267, 2026. <https://doi.org/10.1002/bbb.70070>.

SILVA NETO, H. F. *et al.* Flowering and pith intensity affecting the haw matter quality from meadle crop session sugarcane varieties. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 27, n. 1, p. 1-7, jan./fev. 2011.

SILVA NETO, R. F.; PERES, W. L. R.; ROCHA, A. Q. Curva de maturação em três cultivares de cana-de-açúcar na safra 2023 no município de João Pinheiro-MG. **Revista Contemporânea**, São José dos Pinhais, PR, v. 3, n. 11, p. 22448-22477, 2023. <https://doi.org/10.56083/RCV3N11-125>.

SILVA, R. F. S.; SEGATO, S. V. Importância do uso de maturadores vegetais na cultura da cana-de-açúcar. **Nucleus**, Ituverava, SP, v. 8, n. 2, p. 35-46, out. 2011.

SILVEIRA, V. H. S. **Efeitos do maturador trinexapaque etílico em cana-de-açúcar quando associado à mistura de azoxistrobina com ciproconazol**. Orientador: Paulo Alexandre Monteiro de Figueiredo. 2024. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2024.

SOARES FILHO, J. N. Avaliação dos índices biofísicos de vegetação derivados de dados Sentinel-2 como bioindicadores do potencial produtivo dos cultivares de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, Recife, PE, v. 5, n. 2, p. 002-022, 2024. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14613182>.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. Porto Alegre: Editora Artmed, 2017. 858 p.

VASANTHA, S. *et al.* Physiology of sucrose productivity and implications of ripeners in sugarcane. **Sugar Tech**, New Delhi, India, v. 24, n. 3, p. 715-731, 2022. <https://doi.org/10.1007/s12355-021-01062-7>.

VIANA, R. S. *et al.* Efeito da aplicação de maturadores químicos na cultura da cana de açúcar (*Saccharum* spp.) variedade SP81-3250. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 65-71, 2008.

VIANA, R. S. *et al.* Características morfoanatômicas de folhas de cana-de-açúcar sob efeito residual de maturadores. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, PR, v. 14, n. 4, p. 306 - 314, out./dez. 2015. <http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v14i4.438>.

VIANA, R. S. *et al.* Parâmetros tecnológicos e produtivos da cana-de-açúcar quando submetida à aplicação de maturadores químicos no início de safra. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, PR, v. 16, n. 1, p. 67-75, jan./mar. 2017. <http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v16i1.596>.

XIAO, Z.; LIAO, X.; GUO, S. Analysis of sugarcane juice quality indexes. **Journal of Food Quality**, New Jersey, USA, v. 2017, art. 1746982, p. 1-6, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/1746982>.

YANG, L. *et al.* Global direct nitrous oxide emissions from the bioenergy crop sugarcane (*Saccharum* spp. inter-specific hybrids). **Science of the Total Environment**, Amsterdam, The Netherlands, v. 752, art. 141795, p. 1-12, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141795>.

DANIEL HENRIQUE SANTANA RODRIGUES

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

DANIEL HENRIQUE SANTANA RODRIGUES - nascido 05 de janeiro de 1998 em São José do rio Preto, São Paulo, Brasil, ingressou em 02/2016, no curso de Engenharia Agrônômica na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS. Realizou iniciação científica em 2019, executando o projeto de pesquisa "Crescimento inicial de variedades de cana-de-açúcar inoculadas com *Azospirillum brasilense* e doses de nitrogênio". Foi bolsista CNPQ - PIBITI em 2020/2021, realizando o projeto de pesquisa "Validação do uso de bactérias solubilizadoras de fosfato (BSP) para potencializar o crescimento e absorção de fósforo em variedades de cana-de-açúcar." Realizou estágios de aperfeiçoamento científico no Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Centro de Cana. Graduado em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS (2021). Mestrando em Agronomia (Sistemas de Produção) na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Campus de Ilha Solteira (2025). Revisor de projeto de iniciação científica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul desde 2023. CV: <http://lattes.cnpq.br/5175814636602709>.

Principais publicações:

RODRIGUES, D. H. S.; Abes, S. S.; Steiner, F.; Viana, R. S.; Alves, R. S. Uso de bactérias solubilizadoras de fosfato para potencializar o crescimento de variedades de cana-de-açúcar. **Ensaios e Ciência**, v. 27, p. 254-260, 2023.

COSTA, A. S.; Steiner, F.; Abes, S. S.; Rodrigues, D. H. S.; Silva, K. C.; Lima, I. M. O. *Azospirillum brasilense* application in pre-sprouted seedlings (PSS) of sugarcane. **Revista Ensaios e Ciência**, v. 25, p. 295-301, 2021.

RODRIGUES, D. H. S.; Abes, S. S.; Steiner, F. Resposta de variedades de cana-de-açúcar à adubação nitrogenada e inoculação com *Azospirillum brasilense*. In: **Agricultura 4.0**. Pantanal Editora, 2020, Cap. 05, p. 79-96.

RODRIGUES, D. H. S.; Abes, S. S.; Fernandes, G. H.; Santos, J. P. G.; Costa, A. C.; Bardivieso, D. Efeito do extrato de tiririca no enraizamento de estacas de limão-Tahiti. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, p. 215-220, 2020.

OLIVEIRA, C. E. S.; Silva, T. C. C. P.; Freitas, G. S.; Rodrigues, D. H. S.; Zuffo, A. M.; Steiner, F. Potassium nitrate priming to induce salt stress tolerance in cucumber seeds. In: **Plant Abiotic Stress Tolerance**. Pantanal Editora, 2020, v. Cap. 6, p. 82-97.

ARDON, H. J. V.; Freitas, G. S.; Rodrigues, D. H. S.; Silva, T. C. C. P.; Oliveira, F. C.; Steiner, F. Aluminum toxicity inhibits growth and nutrient uptake in physic nut plants. In: **Plant Abiotic Stress Tolerance**. Pantanal Editora, 2020, v. Cap. 5, p. 70-81.