Ciência & Tecnologia
Fatec-JB

ISSN: 2178-9436

IMPACTO DAS IMPUREZAS VEGETAIS NO SETOR SUCROENERGÉTICO: resultados da qualidade da matéria-prima de cana-de-açúcar RB975201 e cana energia tipo I Vertix 3

VEGETAL IMPURITIES IN THE SUGAR-ENERGY SECTOR: results of the quality of the raw material of sugarcane RB975201 and energy cane type 1 Vertix 3

Laís Cozer Araujo Rossetti[I]
Lidyane Aline de Freita[II]
Natália Novais Ribeiro[III]
Kátia Gabriele de Natale[IV]
Márcia Justino Rossini Mutton[V]

RESUMO

A cana-de-açúcar se destaca como uma cultura de notória relevância e impacto econômico no Brasil. Em 1970/1971 – tempo do Planalsucar e Proalcool, o Brasil possuía cerca de 1,7 milhões de hectares de cana, na safra 2024/2025 foram colhidos 8,4 milhões de hectares que resultaram em 676 milhões de toneladas de cana. Com isso, a necessidade de uma matéria-prima de qualidade passa a ser uma fonte de enorme interesse para geração de produtos nas biorrefinarias. Como matéria-prima múltipla, a cana energia apresenta grande potencial para atender à crescente demanda de biocombustível, eletricidade, biopolímeros e biofármacos. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito das impurezas vegetais no processamento da cana comercial RB975201 e cana energia tipo 1 – utilizada como matéria-prima complementar, para obtenção de bioetanol. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados num esquema de parcelas subdivididas (slip-plot), com 4 repetições. Os tratamentos principais foram caracterizados pelas variedades de cana (RB975201 e Vertix 3 Tipo 1) e os secundários aos teores de impurezas vegetais (0%, 25%, 50%, 75% e 100%). Foram avaliadas características químico-tecnológicas do caldo extraído: Brix, Pol, pureza, ART, AR, amido (ppm), compostos fenólicos (ppm), acidez total e pH. Os resultados obtidos indicam que o caldo extraído da cana comercial (RB975201) possui maiores teores de Brix, Pol, Pureza e ART, enquanto o caldo da cana energia (Vertix 3) apresentou maiores teores de açúcares redutores, amido e compostos fenólicos. Dentre os parâmetros analisados, somente pH e acidez total não foram impactados significativamente com a adição das impurezas vegetais.

Palavras-chave: biocombustível; indústria; matéria-prima; qualidade tecnológica; *Saccharum*.

[I]Mestre em Microbiologia Agropecuária, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Campus de Jaboticabal, laisc_araujo@hotmail.com.
[II]Doutora em Microbiologia Agropecuária, Pesquisa e Desenvolvimento Kracht Landbouw Wetenshape, lidyane.freita@gmail.com.
[III]Doutora em Microbiologia Agropecuária, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP),Campus de Jaboticabal, natalia.novais@unesp.br.
[IV]Mestre em Microbiologia Agropecuária, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP),Campus de Jaboticabal, katia.natale@unesp.br.
[V]Professora Doutora do Departamento de Biotecnologia Agropecuária e Ambiental, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP),Campus de Jaboticabal, mjr.mutton@unesp.br.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

ABSTRACT

Sugarcane stands out as a crop of notable relevance and economic impact in Brazil. In 1970/1971 – the time of Planalsucar and Proalcool, Brazil had around 1.7 million hectares of sugarcane and in the 2024/2025 harvest 8.4 million tons were harvested resulting in 676 million tons of sugarcane. As a result, the need for quality raw material becomes a souce of enormous interest for generating products in biorefineries. As a multiple raw material, energy sugarcane has great potential to meet the growing demand for biofuel, electricity, biopolymers, and biopharmaceuticals. Therefore, the objective of this word was to evaluate the effect of vegetal impurities in the processing of commercial cane RB975201 and type 1 energy cane – used as complementary raw material to obtain bioethanol. A randomized block design was used in a split-plot scheme, with 4 replications. The main treatments were characterized by the sugarcane varieties (RB975201 and Vertix 3 Type 1) and the secondary treatments by the levels of vegetal impurities (0, 25, 50, 75 and 100%). Chemical-technological characteristics of the extracted juice were evaluated: Brix, Pol, Purity, ART, AR, starch (ppm), phenolic compounds (ppm), total acidity and pH. The results obtained indicate that the juice extracted from commercial sugarcane has higher levels of Brix, Pol. Purity, and ART, while the juice from energy sugarcane presented higher levels of reducing sugars, starch, and phenolic compounds. Among the parameters analyzed, only pH and total acidity were not significantly impacted by the addition of vegetal impurities.

Keywords: biofuel; industry; feedstock; *Saccharum*; technological quality.

Data de submissão do artigo: 11/04/2025.
Data de aprovação do artigo: 11/08/2025.
DOI: https://doi.org/10.52138/citec.v17i01.422

1 INTRODUÇÃO

A crescente jornada pelo desenvolvimento sustentável e preocupação mundial com a poluição ambiental têm envolvido novas tecnologias, avanços científicos e manejos a serem tomados. No Brasil e no mundo, a cultura da cana-de-açúcar tem impulsionado a substituição dos combustíveis fósseis – gasolina e diesel, derivados do petróleo. Isso por que, o aumento da área cultivada na cana tem crescido consideravelmente nos últimos anos: 4% ao ano desde 1970 até 2021, fortalecendo a economia, agronegócio e impactando socialmente o nosso país pela geração direta de empregos (Silva, 2020).

A cana-de-açúcar é a matéria-prima que se destaca para a fabricação do etanol no Brasil. O nosso país é o maior produtor mundial dessa matéria-prima, graças aos fatores de áreas de expansão, clima favorável, programas de melhoramento genético e avanço tecnológico. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2025) a estimativa de produção da safra 25/26 é de 663 milhões de toneladas de cana devendo alcançar 28 bilhões de litros de etanol.

O atual cenário brasileiro mostra o potencial da cana na produção de biocombustíveis avançados, como o etanol de segunda geração (Amorim *et al*., 2011), o diesel da cana e o bioquerosene de aviação além do crescente aumento na venda de veículos (Pereira e Silveira, 2016). Para suprir a demanda interna e externa, torna-se necessário a utilização de uma nova matéria-prima compatível com a tecnologia e produção existentes (Masson *et al*., 2015).

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

Com maior rendimento de biomassa e médio conteúdo de açúcares, a cana energia têm-se mostrado uma excelente opção pela sua robustez, perfilhamento, rusticidade e elevada produção (Valadão, 2020). A classificação da cana-energia é feita de acordo com sua composição e finalidade de uso. Assim, o tipo 1 apresenta teor de sacarose acima de 15% e cerca de 18% de fibra, sendo destinado, principalmente, para a produção de etanol de 2ª geração. Já o tipo 2 possui teor de sacarose inferior a 6% e fibra superior a 28%, sendo destinado à geração de energia (Matsuoka *et al.*, 2014). Entretanto, não há relatos na literatura abordando os impactos das impurezas no processamento para obtenção de bioetanol com cana energia.

A eficiência e rentabilidade industrial depende de uma matéria-prima de qualidade para transformar açúcar em álcool. Entre fatores que impactam esta matéria-prima, as impurezas vegetais, como a palha e o palmito, ocasionam uma série de efeitos negativos nos processos de fabricação (Mutton, 1990) como: dificuldade na extração do caldo, contaminantes no processo fermentativo, bagaço com alta umidade nas caldeiras, redução da densidade de cargas, resultando em desgaste de equipamentos e aumento de custos.

A qualidade tecnológica da matéria-prima é determinada por padrões de qualidade que podem ser alcançados durante o cultivo até o período da colheita seguindo o princípio da riqueza mínima (Mutton, 1990): Brix, mínimo de 18%; porcentagem aparente de sacarose na cana (Pol) entre 14,4 e 15,3%; e pureza 85%.

Diante do apresentado, este trabalho teve como objetivo avaliar o impacto dos diferentes níveis de impurezas vegetais nas avaliações tecnológicas do caldo extraído a partir da cana-energia Vertix 3 Tipo 1 e cana comercial RB975201.

2 REVISÃO BILIOGRÁFICA

Historicamente nos anos de 1500, a cana-de-açúcar chegou ao Brasil introduzida na Capitania de São Vicente, Estado de São Paulo, onde foi fundado o primeiro engenho "São Jorge dos Erasmos" para produzir açúcar para exportação para a Europa. Nos anos de 1970, devido à crise no mercado mundial de açúcar e a busca para atenuar a dependência por combustíveis fósseis, foi criado o Programa Nacional do Álcool (Proalcool), que acarretou a grande expansão de carros movidos a etanol (Amorim *et al*., 2011)

Neste contexto, a cana-de-açúcar vem se destacado como principal matéria-prima para obtenção do bioetanol brasileiro. As biomassas vegetais contribuem para a diminuição dos combustíveis derivados do petróleo, visando a sustentabilidade da produção e diminuição de recursos naturais (Amorim *et al*., 2011). Para atender a necessidade do mercado interno e externo, tendo em vista o crescimento dos biocombustíveis, torna-se necessário a utilização de uma nova matéria-prima: a cana energia.

A cana-energia, espécie de cana destinada a maior produção de biomassa, tem sido incorporada nos cultivos do Brasil. Este genótipo foi desenvolvido a partir do cruzamento de variedades ancestrais e híbridos produtivos de cana-de-açúcar, originando plantas mais resistentes às condições de estresse hídrico, com alto rendimento de biomassa de baixo custo e alta eficiência energética, desenvolvida especificamente para a produção de etanol e para geração e/ou cogeração de energia elétrica (Matsuoka *et al.,* 2014; Cursi *et al.*, 2022). A variedade é flexível, podendo ser utilizada na queima elementar para geração de vapor e eletricidade e, também, na produção de diferentes biocombustíveis líquidos (1G ou 2G), gás, carvão e outros produtos químicos de valor agregado (Bressiani, 2017).

A adoção da colheita mecanizada resultou no acúmulo de grandes quantidades de resíduos vegetais junto aos colmos de cana (Fotografia 01), o que na indústria impacta no

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

Brix do caldo, Fibra e Pol Aparente da cana (Suriano; Segato, 2009; Holanda, 2016; Bordonal *et al*., 2018). Se a matéria-prima for de baixa qualidade, todo o processamento da cana será afetado, reduzindo a velocidade do processo e, como consequência, acarretando a redução gradativa da qualidade e da quantidade dos produtos (Clarke; Legendre,1999).

O propósito desse trabalho foi avaliar o impacto do palmito, folhas verdes e secas nas características químico-tecnológicas do caldo extraído da cana-energia Vertix 3 Tipo 1 e cana comercial RB975201.

Fotografia 1 – Transbordo com carga de cana com grande quantidade de impurezas vegetais (palhada)



Fonte: autoria própria (2020)

3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados num esquema de parcelas subdivididas (slip-plot), com 4 repetições. Os tratamentos principais foram caracterizados pelas variedades de cana (RB975201 e Vertix 3 Tipo 1) e os secundários aos teores de impurezas vegetais (0, 25, 50, 75 e 100%), conforme a Tabela 01:

Tabela 01 - Delineamento experimental com tratamentos principais e secundários

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL							
1)	RB975201	+	0% impureza vegetal	**6)**	Vertix 3 Tipo 1	+	0% impureza vegetal
2)	RB975201	+	25% impureza vegetal	**7)**	Vertix 3 Tipo 1	+	25% impureza vegetal
3)	RB975201	+	50% impureza vegetal	**8)**	Vertix 3 Tipo 1	+	50% impureza vegetal
4)	RB975201	+	75% impureza vegetal	**9)**	Vertix 3 Tipo 1	+	75% impureza vegetal
5)	RB975201	+	100% impureza vegetal	**10)**	Vertix 3 Tipo 1	+	100% impureza vegetal

Fonte: autoria própria (2023)

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

3.1 Colheita e preparo dos tratamentos

A cultivar comercial RB975201, no 4º estágio de corte, foi cedida por uma unidade sucroenergética localizada na região de Ribeirão Preto/SP e a cana energia Vertix 3 Tipo 1, no 3º estágio de corte, foi cultivada na área experimental do Departamento de Ciências da Produção Agrícola, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista (FCAV/UNESP), Campus de Jaboticabal/SP

A colheita da cana comercial RB975201 e cana-energia Vertix 3 Tipo 1 ocorreu de 6 a 9 de setembro da safra 2021/2022 no município de Jaboticabal/SP, obtendo-se matéria-prima com maturação média/tardia. A cada dia foram colhidos aproximadamente 15 colmos de cada variedade através de corte manual rente à base, sem queima prévia da palha e processamento dentro do mesmo período.

Inicialmente foi aferida a massa de 10 colmos de cada variedade e logo em seguida, as folhas (secas e verdes) e os ponteiros (retirados no ponto de quebra da ponta) foram separados em recipiente grande. Os colmos limpos e a impureza vegetal coletada foram processados separadamente em picador-desintegrador de facas oscilantes. Com os dados obtidos, foram realizados cálculos para composição de 3 kg de amostra para cada tratamento, conforme demonstrado nas Tabelas 02 e 03.

Tabela 02 – Massa de 10 colmos limpos da cana-de-açúcar comercial RB975201 e sua impureza vegetal

MATERIAL	MASSA (Kg)
Cana limpa	14,168
Impureza vegetal	1,871
Total	16,039

Fonte: autoria própria (2023)

Tabela 03 – Massa de cana e impurezas vegetais utilizadas para a obtenção de amostras de 3 kg cana-de-açúcar comercial RB975201 com 0, 25, 50,75 e 100% de impureza vegetal

TEOR DE IMPUREZAS	COLMOS LIMPOS (KG) E IMPUREZA VEGETAL (G)	% DE IMPUREZA COMERCIAL
0%	3 kg	0%
25%	2,768 kg; 232 g	8,38%
50%	2,535 kg; 465 g	18,34%
75%	2,303 kg, 697 g	30,26%
100%	2,071 kg; 929 g	44,85%

Fonte: autoria própria (2023)

3.1 Extração e determinação tecnológica do caldo extraído

A extração do caldo foi realizada em prensa hidráulica, sendo 500 g de material submetidos à pressão de 250 $kgf.cm^{-2}$ pelo período de 1 minuto. Foram realizadas as seguintes análises no caldo: Brix, Pol Aparente, Pureza Aparente, pH, Acidez Total, Açúcares Redutores, Açúcares Redutores Totais (Centro de Tecnologia Canavieira CTC, 2005), Teor de Amido (Chavan; Kumar; Jadhad, 1991) e Compostos Fenólicos Totais (Folin; Ciocalteau, 1927).

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

3.3 Análises Estatísticas

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias obtidas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%, empregando-se o Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos, AgroEstat 1.1.0.712 versão 77 (Barbosa; Maldonado Junior, 2015). Os desdobramentos dos efeitos foram construídos através de Regressão Polinomial utilizando-se Microsoft Excel 365.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas 04 e 05 apresentam os valores médios obtidos para as características químico-tecnológicas do caldo extraído de cana-de-açúcar e cana energia obtidos com diferentes teores de impurezas vegetais na safra 2021/2022.

O valor médio determinado para ºBrix foi superior a 18% para a cana comercial, valor padrão que indica aptidão ao processamento de cana (Silva *et al.*, 2015; Mutton e Mutton, 2015). Entretanto, o teor para cana energia foi inferior ao da cana comercial e ao encontrado por Borsuk (2021) que, comparando o ºBrix do caldo da cana energia oriunda do cruzamento MP x LCP85384 com as variedades comerciais RB867515 e RB966928, obteve concentração entre 18 e 24%. Os valores encontrados para Brix na cana-energia se assemelham ao obtido por Silveira (2009) no qual foram identificados valores variando de 10,54 a 18,37 °Brix.

Os patamares de Pol encontrados no presente trabalho, se assemelham aos encontrados por Silveira (2019) durante pesquisa de curva de maturação de clones de cana energia, com valores entre 5,42 até 12,09%. A presença de impurezas reduziu significativamente o resultado da Pol, condizendo com o estudo de Finguerut e Paes (2014), que obtiveram diferença de 2 pontos na presença de 2%.

Tabela 04 - Valores médios e análise de variância para Brix, Pol Aparente, Pureza Aparente, Açúcares Redutores Totais (ART) e Açúcares Redutores (AR) do caldo extraído das variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP

TRATAMENTOS	°BRIX	POL (%)	PUREZA (%)	ART (%)	AR (%)
Variedade (TP)					
RB975201	19,12 a	15,4 a	81,20 a	17,87 a	1,50 a
Vertix 3	11,12 b	7,66 b	68,98 b	9,37 b	1,76 a
Teste F	7053,91**	4696,11**	110,43**	7963,96**	$2,16_{ns}$
CV	1,99	3,13	4,89	2,20	34,53
DMS	0,3029	0,36	3,69	0,30	0,56
Teor de impureza (TS)					
0%	16,09 a	13,20a	80,88 a	14,59 a	1,3 b
25%	15,19 ab	12,06ab	78,55 a	13,69 ab	1,57 ab
50%	14,92 b	11,38bc	74,92 ab	13,42 b	1,64 ab
75%	14,78 b	10,95bc	72,19 ab	13,28 b	1,74 ab
100%	14,62 b	10,41c	68,92 b	13,12 b	1,91 a
Teste F	5,32**	13,63**	4,46**	5,32**	3,54*
CV	4,71	7,11	8,54	5,23	20,72
DMS	1,05	1,21	9,45	1,05	0,49
TPxTS	3,95**	$1,61_{ns}$	$1,31_{ns}$	3,95**	$1,18_{ns}$

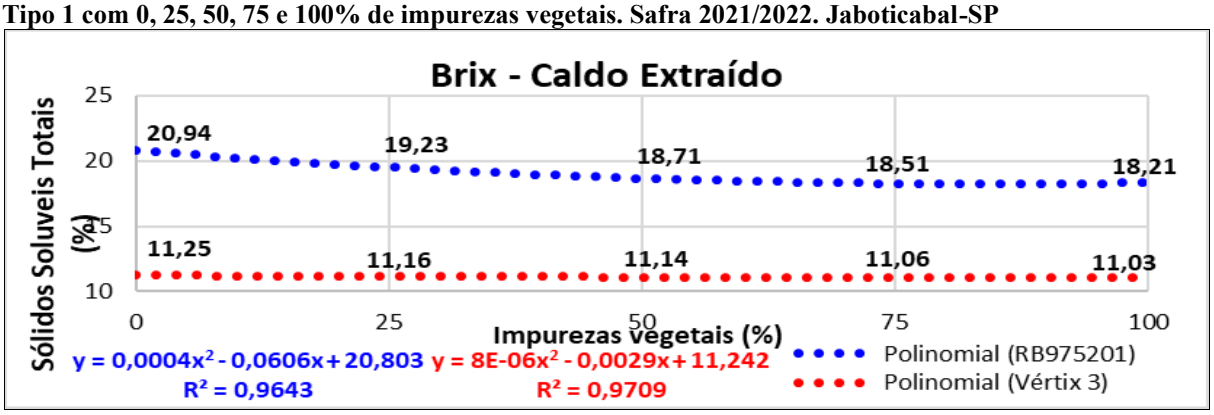
**Significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01); *significativo ao nível de 5% de probabilidade (0,01=<p<0,05); ns não significativo (p>=0,05). As médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey (5%). p = Diferença significativa entre o percentual médio. C.V. = coeficiente de variação. D.M.S. = desvio mínimo significativo. TP x TS = Interação entre variedades de cana e teores de impureza vegetal.

Fonte: autoria própria (2023)

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

A tendência de diminuição apresentada para o parâmetro de Brix (Gráfico 01) difere da encontrada por Melo, Paterson e Moraes (1994). Os autores observaram um aumento nos valores de Brix e ligeira diminuição nos valores da Pol com o aumento da impureza vegetal nas amostras, que pode ser explicado pela contaminação do caldo com substâncias capazes de alterar o índice de refração, sombreando o valor real dos sólidos solúveis.

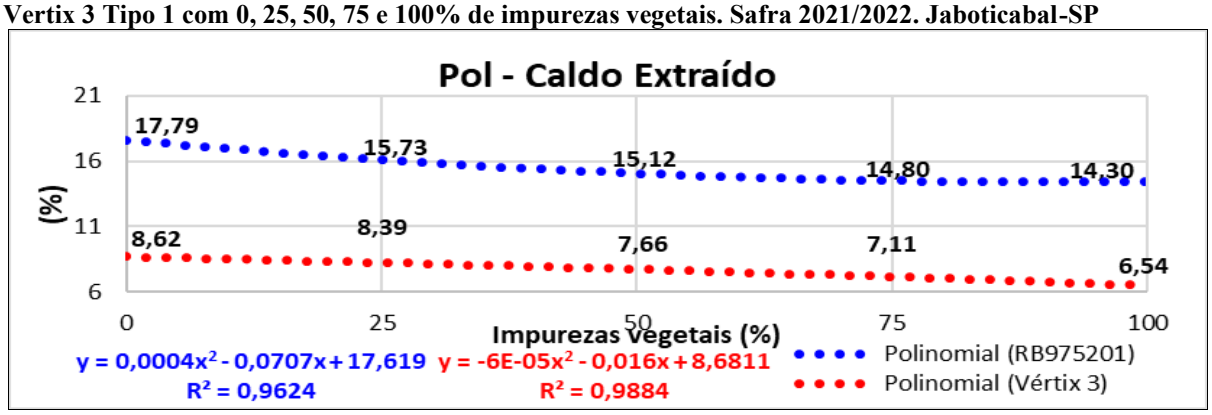
Gráfico 01 - Regressão Polinomial para °Brix do caldo extraído para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP



Fonte: autoria própria(2023)

A tendência de diminuição da Pol do caldo extraído (Gráfico 02) se assemelha ao relatado por Neto (2010). Ao avaliar os valores médios das variáveis tecnológicas do caldo da cana-de-açúcar e a influência das impurezas vegetais para a variedade RB867515, obteve valores semelhantes aos determinados no presente ensaio. Àquele atribuiu a redução em 3 pontos da Pol (19,13% na cana limpa para 16,11% para cana+palha+ponteiro) pela presença de bainhas, ponteiros e palhas.

Gráfico 02 - Regressão Polinomial para Pol Aparente do caldo extraído para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP

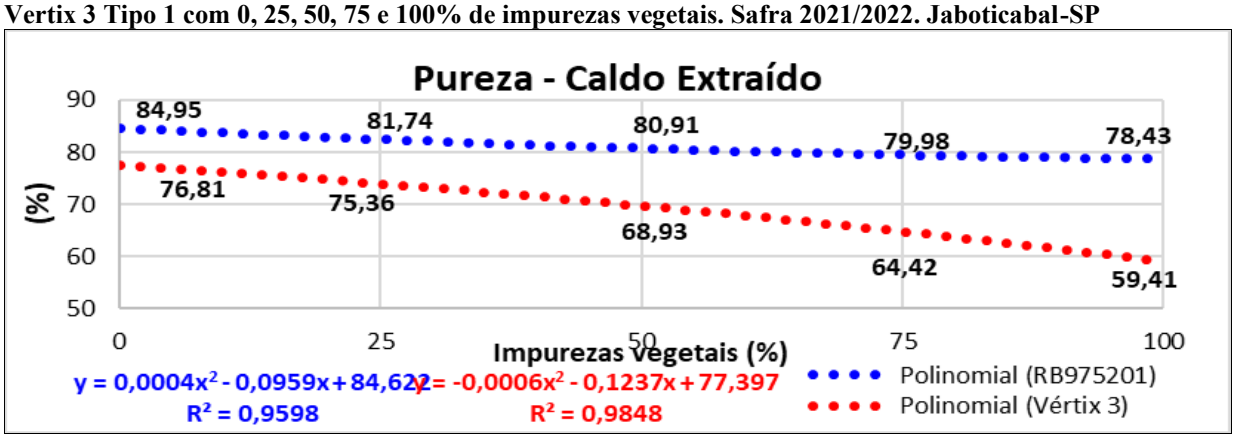


Fonte: autoria própria (2023)

Observa-se que a tendência de redução na Pureza (Gráfico 03) é impactada pela diminuição nos teores de Pol e Brix. Comportamento semelhante ao observado por Neto (2010) ao comparar cana limpa RB867515 com cana acrescida de impurezas vegetais.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

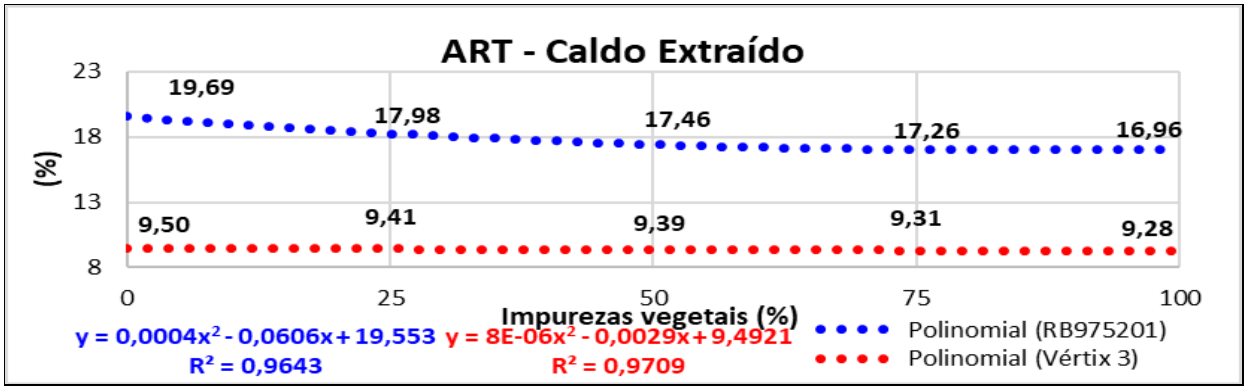
Gráfico 03 - Regressão Polinomial para Pureza Aparente do caldo extraído para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP



Fonte: autoria própria (2023)

Para a produção de bioetanol, os Açúcares Redutores Totais possuem grande importância no processamento industrial pois são utilizados em várias reações metabólicas como fonte de energia para as leveduras durante a fermentação etanólica, sendo determinante para o rendimento e eficiência do processo (Masson *et al.,* 2015). O aumento do teor de impureza vegetal provocou a diminuição deste parâmetro, assemelhando-se ao trabalho de Ravaneli *et al.* (2004) em que a cana com ponteiro apresentou menor teor de açúcares redutores totais (ART) comparada a cana despontada.

Gráfico 04 - Regressão Polinomial para Açúcares Redutores Totais (ART) do caldo extraído para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP

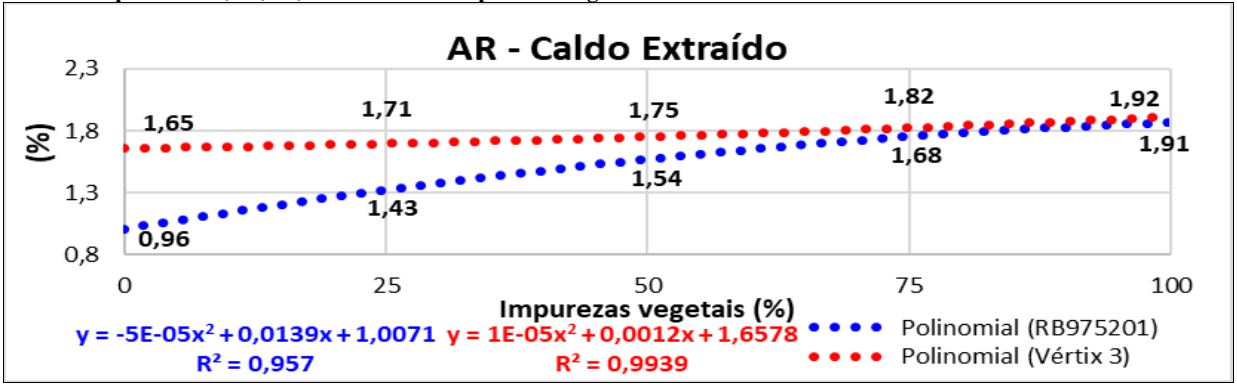


Fonte: autoria própria (2023)

A concentração de AR (Gráfico 05) para o processamento industrial deve ser inferior ou igual a 0,80% segundo Amorim (2005). Silva Junior (2020) obteve valores médios superiores na safra de 2019/2020 comparados a este trabalho ao estudar a variedade de cana energia Vertix 9, com valores médios de 15,33°Brix, 8,09% de Pol, 10,88% de ART e 1,64% de AR. Resultados similares foram obtidos por Neto (2010) e Ravaneli *et al.* (2004), que atribuíram o aumento do valor de AR pela presença de ponteiros.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

Gráfico 05 - Regressão Polinomial para Açúcares Redutores (AR) do caldo extraído para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP



Fonte: autoria própria (2023)

O pH da cana-de-açúcar é naturalmente ácido, em vista disso, os tratamentos encontram-se dentro da faixa ideal de pH considerada para processamento industrial, 5,0 a 5,5 (Amorim, 2005). Já a acidez total varia com a variedade da cana, tempo de maturação e condições ambientais. Os valores médios obtidos para acidez total não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, porém estão superiores ao recomendado pela literatura, que considera valores inferiores ou iguais a 0,8 $gH_2SO_4.L^{-1}$ (Delgado e César, 1977).

Os valores dos resultados de amido são inferiores aos relatados anteriormente por Figueira, Carvalho e Sato (2011) em seus estudos, que obtiveram teores de amido superiores a 1.000 ppm para as variedades RB867515, SO832847, RB72454, SP803280 e RB855536. Eles atribuíram estes valores a cana imatura e a correlação das variedades com o índice pluviométrico e temperatura.

Tabela 05 - Valores médios e análise de variância para pH, acidez total, amido e compostos fenólicos do caldo extraído das variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP

TRATAMENTOS	PH	ACIDEZ TOTAL ($G.L^{-1}$ H_2SO_4)	AMIDO (PPM)	COMPOSTOS FENÓLICOS (PPM)
Variedade (TP)				
RB975201	5,07 a	1,93 a	103,35 b	450,01 b
Vertix 3	5,00 a	2,23 a	150,80 a	587,60 a
Teste F	0,44ns	7,62ns	29,69*	39,30**
CV	6,82	16,19	21,67	13,37
DMS	0,34	0,33	27,71	69,85
Teor de impureza (TS)				
0%	5,03 a	2,14 a	80,71 d	467,42 c
25%	4,98 a	1,87 a	107,12 cd	492,50 bc
50%	4,90 a	2,02 a	123,70 bc	507,01 abc
75%	5,18 a	2,17 a	150,05 ab	555,26 ab
100%	5,02 a	2,20 a	173,81 a	571,85 a
Teste F	2,44ns	2,34ns	32,54**	6,03**
CV	3,14	12,12	14,16	9,68
DMS	0,23	0,37	26,51	74,00
TPxTS	0,50ns	0,34ns	2,21ns	0,06ns

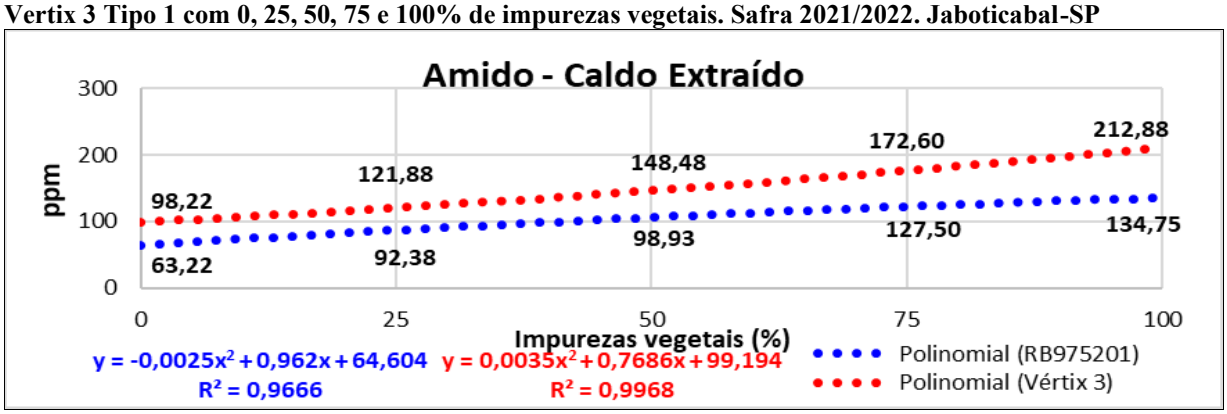
**Significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01); *significativo ao nível de 5% de probabilidade (0,01=<p<0,05); ns não significativo (p>=0,05). As médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey (5%). p = Diferença significativa entre o percentual médio. C.V. = coeficiente de variação. D.M.S. = desvio mínimo significativo. TP x TS = Interação entre variedades de cana e teores de impureza vegetal.

Fonte: autoria própria (2023)

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

Os teores de amido diferiram entre si quando comparado às variedades de cana, sendo observado que o incremento de impurezas vegetais proporcionou aumento (Gráfico 06) em 115,35%. Os resultados para cana de açúcar são inferiores com o valor de 355,9±8,3 ppm para a variedade RB867515 encontrado por Alves (2012). Entretanto dentro da faixa de teores de 150 a 600 ppm encontrados nas variedades de cana plantadas no Brasil (Parazzi, Papin e Belluco 2017).

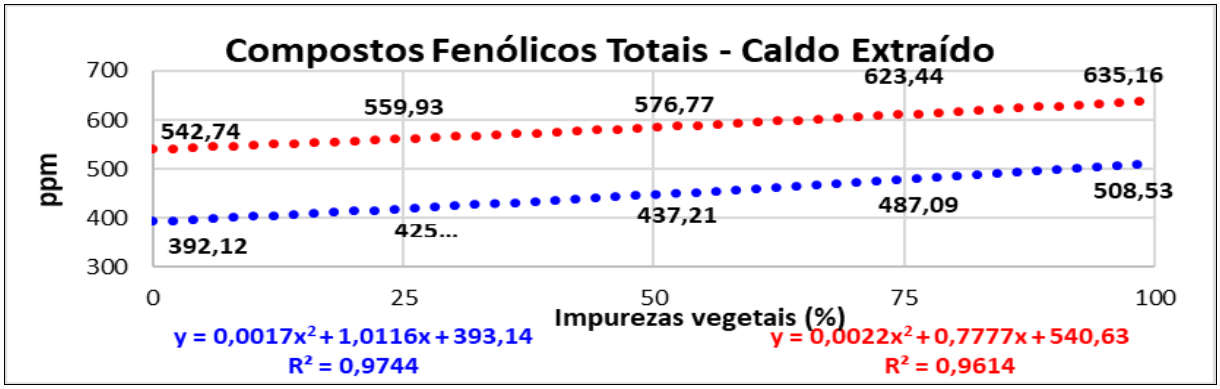
Gráfico 06 - Regressão Polinomial para Teor de amido do caldo extraído para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP



Fonte: autoria própria (2023)

Como mecanismo de defesa, a produção de compostos fenólicos é resposta da planta que permite responder a estresses bióticos ou abióticos (Magri, 2020). O teor de fenol possui uma relação direta ao aumento do teor de impureza, resultando em um aumento de 122,35% comparado a testemunha (Gráfico 07).

Gráfico 07 - Regressão Polinomial para Compostos Fenólicos Totais do caldo extraído para variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP



Fonte: autoria própria (2023)

Os valores obtidos para os compostos fenólicos são aderentes àqueles na literatura. Costa *et al.* (2016) relataram valores médios de 510ppm; Silva *et al.* (2012) encontraram valores entre 692 e 887 ppm para quatro variedades de cana-de-açúcar sendo estas: RB867515, RB92579, SP813250 e VAT90212. Silva Junior (2020) obteve valores médios inferiores aos encontrados neste trabalho: 307,76 ppm para a variedade CTC4 e 413,46 ppm para a cana energia Vertix 9.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos comprovam o impacto significativo das impurezas vegetais nos parâmetros tecnológicos importantes para a produção de açúcar e etanol. A variedade RB975201 apresentou maiores teores de açúcares redutores totais (ART), Brix, Pol e Pureza, parâmetros importantes para altos rendimentos e produtividade industrial. Enquanto a variedade de cana energia Vertix 3, assim como abordado na literatura, apresenta grande quantidade de açúcares redutores (AR) e menor pureza comparada a cana comercial.

A adição de impurezas vegetais compromete os parâmetros tecnológicos da matéria-prima importantes para a produção do bioetanol, reduzindo significativamente os valores de Pol, Pureza, AR e ART e aumentando amido e compostos fenólicos.

REFERÊNCIAS

ALVES, Fernanda Viginotti. **Interferência do amido e da dextrana nas análises tecnológicas do caldo de cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba/SP. 2012.

AMORIM, H.V., LOPES, M.L., OLIVEIRA, J.V.C., BUCKERIDGE, M.S., GOLDMAN, G.H. Scientific challenges of bioethanol production in Brazil. **Applied Microbiology and Biotechnology**. v. 91, p. 1267-1275. 2011.

AMORIM, H. V. Fermentação alcoólica. **Ciência & Tecnologia**. Fermentec. Piracicaba/SP. 2005.

BARBOSA, J.C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **Experimentação Agrononômica & AgroEstat –** sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos. Jaboticabal FUNEP, 2015. Brasil.

BORDONAL, R.D.O., CARVALHO, J.L.N., LAL, R. FIGUEIREDO, E.B., OLIVEIRA, B.G., SCALA JR, N. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agronomy for Sustainable Development.** V. 38, 13. 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/s13593-018-0490-x.

BORSUK, L. G. M. **Comparação de produtividade entre cultivares de cana-de-açúcar com variedade de cana-energia**. Encontro internacional de produção científica da Unicesumar. 2021. Disponível em: https://www.unicesumar.edu.br/anais-epcc-2021/wp-content/uploads/sites/236/2021/11/597.pdf. Acesso em 11 abr 2025.

BRESSIANI, J. **Cana-energia:** uma excelente opção para redução dos custos de produção**.** 24 pag. 2017.

CHAVAN, S. M.; KUMAR, A.; JADHAV, S. J. Rapid quantitative analysis of starch in sugarcane juice. **International Sugar Journal**, Glamorgan, v. 93, n. 107, p. 56-59, 1991.

CLARKE, M.A., LEGENDRE, B.R. **Qualidade da cana-de-açúcar:** impactos no rendimento do açúcar e fatores de qualidade. STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos 17(6):24. 1999.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da Safra Brasileira**, 1º Levantamento Safra 2025/2026 Cana-de-açúcar. Vol 13. Nº 1. 2025.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA (CTC). **Manual de métodos de análises para açúcar.** Piracicaba, Centro de Tecnologia Canavieira. Laboratório de análises, 2005. Disponível em CD ROM.

COSTA, G.H.G., FREITA,C.M., MENDES,F.Q., MUTTON,M.J.R. Extrato de sementes de moringa como floculante de caldo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.51, n.10, p.1794-1798, out. 2016 DOI: 10.1590/S0100-204X2016001000012

CURSI, D.E., HOFFMANN, H.P., BARBOSA, G.V.S., BRESSIANI, J.A., GAZAFFI,R., CHAPOLA, R.G., FERNANDES JUNIOR, A.R., BALSALOBRE, T.W.A., DINIZ, C.A., SANTOS, J.M., CARNEIRO, M.S. History and current status of sugarcane breeding, germplasm development and molecular genetics in Brazil. **Sugar Tech.** 1:1-22. 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s12355-021-00951-1.

FIGUEIRA, J. A., CARVALHO, P. H. SATO, H. H. Sugarcane starch: quantitative determination and characterization. **Original Papers Food** Sci. Technol 31 (3). 2011.

FINGUERUT, J., PAES, L.A.D. I**mpurezas e qualidade da cana-de-açúcar**. Centro de Tecnologia Canavieira, 2014. Disponível em: http://www.stab.org.br/palestra_ws_limpeza_da_cana/JAIME_FINGUERUT.pdf. Acesso em 11 abr 2025.

FOLIN, O.; CIOCALTEU, V. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 73, n.2, p.627-50, 1927.

HOLANDA, Lucas Almeida. **Desgastes das facas do corte de base na colheita mecanizada afetando o crescimento e a produtividade da cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado em Agronomia) – UNESP, Botucatu. 2016.

MAGRI, Nathalia Torres Corrêa. **Correlação entre a qualidade do caldo de cana-de-açúcar e infecção por Leifsonia xyli subsp. xyli agente causal do raquitismo das soqueiras**. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba/SP. 2020.

MASSON, I.S., COSTA, G.H.G., ROVIERO, J.P., FREITA, L.A., MUTTON, M.A., MUTTON, M.J.R. Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar. **Ciência Rural**. 2015.

MATSUOKA, S., KENNEDY, A.J., SANTOS, E.G.D., TOMAZELA, A.L., RUBIO, L.C. Energy cane: Its concept, development, characteristics, and prospects. **Advances in Botany**. 2014, Article ID 597275, 13 p. 2014.

MELO, F. A. D., PATERSON, M., MORAES, J.I. Influência de impurezas na avaliação da qualidade da cana através do sistema de pagamento da cana-de-açúcar pelo teor de sacarose. **Série Agronomia** n. 6, p. 65-82. Universidade Federal Rural do Pernambuco. Recife. 1994.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R. Fisiologia da maturação e maturadores em cana-de-açúcar. In: Fábio Cesar da Silva; Bruno José Rodrigues Alves; Pedro Luiz de Freitas. (Org.). **Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos**. p. 222-287, Brasília: EMBRAPA, 2015.

MUTTON, Márcia Justino Rossini. **Efeitos de impurezas sobre a sistemática de pagamento de cana-de-açúcar pela qualidade**. 1990. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba/SP, 1990.

NETO, Hélio Francisco Silva. **Aspectos agrotecnológicos, florescimento, impurezas vegetais e produção de bagaço de cultivares de cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,UNESP. Jaboticabal/SP. 2010.

PEREIRA, C.N., SILVEIRA, J.M.F.J. Análise Exploratória da Eficiência Produtiva das Usinas de Cana-de-açúcar na Região Centro-Sul do Brasil. **Rev. Econ. Sociol. Rural** 54 (1). 2016.

PARAZZI, C., PAPIN, L., BELLUCO, A.E.S. Hidrólise enzimática do amido do caldo da cana-de-açúcar na fermentação etanólica. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**. v.5 n.1. 2017.

RAVANELI, Gisele Cristina. **Qualidade da matéria-prima, microbiota fermentativa e produção de etanol sob ataque de Mahanarva fimbriolata em cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado em Microbiologia Agropecuária) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. UNESP. Jaboticabal, 2010.

SILVA, A.P. Estudo da Viabilidade técnica, econômica e ambiental do etanol. In: XX USP International Conference in Accounting. **Congresso**. 2020. São Paulo. Disponível em: https://congressousp.fipecafi.org/anais/20UspInternational/ArtigosDownload/2598.pdf. Aceso em: 02 jun 2025.

SILVA, F. C.; MUTTON, M. J. R.; CÉSAR, M. A. A.; MACHADO JR., G. R.; MUTTON, M. A.; STUPIELLO, J.P. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima. In: SILVA, F. C.; ALVES, B. J. R.; FREITAS, P. L. (Org.). **Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos**. Brasília: EMBRAPA, 2015, p. 288-359.

SILVA, V.S.G.; SILVA, J.C.T.; REIS, R.M.S.; SILVA, C.A.; CLEMENTE, P.R.A.; DOS SANTOS, L.A. Fenóis e fósforo inorgânico no caldo de quatro variedades de cana-de-açúcar. **5º Encontro Nacional de Tecnologia Química**. 2012. Maceió/AL. Disponível em: https://www.abq.org.br/entequi/2012/trabalhos/50/50-471-13848.html. Acesso em 11 abr 2025.

SILVA JUNIOR, Calisto Nonato. **Produção de etanol de cana energia por *Pichia kudriavzevii* comparado com métodos convencionais**. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, 2020.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

SILVEIRA, Giovanni Módolo. **Curvas de maturação em cana energia**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP. Piracicaba/SP, 2019.

SURIANO, A., SEGATO, S.V. Controle de *Mahanarva fimbriolata* com uso do inseticida thiamethoxan em aplicação conjunta à colhedora de cana-de-açúcar. **Nucleus**. Ituverava/SP. 2009.

VALADÃO, Isabella Barros. **Caracterização Morfofisiológica de genótipos de cana-de-açúcar e cana-energia**. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP. Piracicaba/SP, 2020.