Ciência & Tecnologia
Fatec-JB

ISSN: 2178-9436

IMPACTO DAS IMPUREZAS VEGETAIS NO SETOR SUCROENERGÉTICO: resultados no processo fermentativo para produção de bioetanol empregando as variedades de cana-de-açúcar RB975201 e cana energia tipo I Vertix 3

VEGETAL IMPURITIES IN THE SUGAR-ENERGY SECTOR: results in the fermentation process for bioethanol production using the sugarcane varieties RB975201 and energy cane type 1 Vertix 3

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

RESUMO

A cana-de-açúcar possui enorme relevância econômica no Brasil e no mundo. Além de ser a matéria-prima mais utilizada no nosso país para a produção de açúcar e etanol, a cultura desempenha papel na transição energética com destaque na geração de energia elétrica. A busca sustentável pelos biocombustíveis cresce a cada ano com a missão de reduzir a emissão de gases efeito estufa e a dependência de combustíveis fósseis. Para atender à crescente demanda interna e externa, a cana energia é uma alternativa para o aumento de produção de bioetanol; no entanto, dados tecnológicos sobre o processo fermentativo são escassos. Cada vez mais presente no processo, a colheita mecanizada pode acarretar o aumento de impurezas na matéria-prima. 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 mosto: ART e acidez total, microbiota fermentativa e determinações tecnológicas no vinho: glicerol, acidez total, teor alcoólico e eficiência fermentativa. O ART do mosto foi superior na cana comercial e o resultado desta análise diminuiu significativamente com o aumento de impurezas. A levedura fermentadora utilizada neste estudo não foi afetada pelas impurezas e apesar da eficiência fermentativa e teor alcoólico não possuírem diferenças significativas entre os tratamentos primários e secundários, eles diminuíram em resposta ao acréscimo de impurezas.

Palavras-chave: fermentação; matéria-prima; qualidade; *Saccharomyces*; *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]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.
[III]Doutora em Microbiologia Agropecuária, Pesquisa e Desenvolvimento Kracht Landbouw Wetenshape, lidyane.freita@gmail.com.
[IV]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
[V]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.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB

ISSN: 2178-9436

ABSTRACT

Sugarcane holds enormous economic significance in Brazil and worldwide. In addition to being the most used raw material in our country for the production of sugar and ethanol, culture plays a role in the energy transition, particularly in the generation of electrical energy. The sustainable search for biofuels continues to grow every year, driven by the mission of reducing greenhouse gas emissions and dependence on fossil fuels. To meet growing internal and external demand, energy cane is an alternative for increasing bioethanol production; however, technological data on the fermentation process are scarce. Increasingly present in the process, mechanized harvesting should lead to an increase in impurities in the raw material. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effect of vegetal impurities in the processing of commercial cane RB975201 and type 1 energy cane, used as a complementary raw material to obtain bioethanol. A randomized block design was used in a split-plot scheme, with four 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 analysis of the must was ART and total acidity, fermentative microbiota. Also, technological determinations in the wine were made by glycerol, total acidity, alcoholic content, and fermentative efficiency. The ART of the must was higher in commercial sugarcane, and the result of this analysis decreased significantly with the increase in impurities. The fermenting yeast used in this study was not affected by impurities, and although the fermentative efficiency and alcoholic content did not have significant differences between the primary and secondary treatments, they decreased in response to the addition of impurities.

Keywords: fermentation; raw material, quality; *Saccharomyces*; *Saccharum*

Data de submissão do artigo: 24/04//2025.
Data de aprovação do artigo: 03/07/2025.
DOI: https://doi.org/10.52138/citec.v17i01.424

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar desempenha papel de destaque no Brasil e no mundo para a produção de bioetanol. Com o aumento da área cultivada e evolução constante do setor sucroenergético. O Brasil se consolida como o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, com a produção de 677 milhões de toneladas na safra 24/25. Segundo dados divulgados pela Companhia Nacional do Abastecimento (CONAB, 2025), a área de colheita da safra 24/25 cresceu 5,2% em relação a anterior e estimativa de 663 milhões de toneladas na safra 25/26, diminuição pela consequência das condições climáticas desfavoráveis que afetaram parte dos canaviais.

Com a busca de fontes renováveis para a produção de biocombustíveis, a cana energia apresenta-se como uma nova matéria-prima rica em açúcares fermentescíveis e fibra. Diante da possibilidade de utilização da biomassa, a cana energia foi obtida com características desejáveis para maior potencial de geração de energia na queima ou na produção de etanol de segunda geração (Ramos, 2015). Entretanto informações referentes às características químico-tecnológicas da cana energia na literatura nacional são escassas. Estas são de extrema importância considerando-se as etapas de preparo e adequação dos mostos e dos fermentos, antecedendo o processo de fermentação etanólica de primeira geração.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

Aliado ao desenvolvimento e tecnologia agrícola, a mecanização no campo tem crescido significativamente nos últimos anos. Com a proibição da queima prévia da palha nos anos 2000, a colheita manual ou semimecanizada tornou-se mecanizada: com sistema de corte, carregamento e transporte até a unidade industrial. No entanto, esta operação pode acarretar o aumento de impurezas que afetam a qualidade da matéria-prima. Segundo Ramos *et al*. (2016) é definido como impureza tudo que não for colmos ou toletes de colmos maduros que acompanham a matéria-prima, classificadas de origem vegetal e mineral.

Essa impureza agregada na carga de cana que chega a indústria, acarreta em complicações na eficiência e rentabilidade industrial, que depende da matéria-prima de qualidade para transformar açúcares em álcool, ocasionando uma série de fatores 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, desgaste de equipamentos resultando no aumento de custos, redução de parâmetros tecnológicos como teor de sólidos solúveis (ºBrix), porcentagem aparente de sacarose (Pol%Cana), Pureza e açúcares redutores totais (ART).

Objetivou-se com a presente pesquisa avaliar as características químico-tecnológicas da cana de açúcar RB975201 e cana energia tipo 1 Vertix 3 submetidas a presença de impureza vegetal no processo fermentativo em escala de laboratório para a produção de etanol de primeira geração, avaliando-se a característica microbiológica da levedura fermentadora *Saccharomyces cerevisiae* e determinando-se a eficiência fermentativa e teor de álcool.

2 REVISÃO BILIOGRÁFICA

O Brasil lidera o ranking mundial na produção de bioetanol a partir de cana-de-açúcar (Masson *et al*., 2015). O caldo rico em açúcares, é empregado para a realização do processo fermentativo. Comumente, a levedura *Saccharomyces cerevisiae* é o microrganismo mais empregado para a produção de etanol devido à sua eficiência em assimilar os açúcares fermentescíveis (Parapouli *et al*., 2020)

Em um cenário projetado para 2030, tendo em vista o crescimento do mercado de biocombustíveis, somente a cultura da cana-de-açúcar comercial não será suficiente para suprir a demanda interna e externa, tornando-se necessário a utilização de uma nova matéria-prima, compatível com a tecnologia e produção existentes.

A cana energia tem-se mostrado uma excelente opção para incrementar a produtividade sem aumentar custos e áreas cultivadas (Araujo e Campos, 2019), pois é mais robusta e pode alcançar uma produção 3 vezes maior comparada a cana comercial devido ao grande potencial genético, aptidão a áreas mais restritivas, maior biomassa e conteúdo celulósico. No entanto, não há relatos na literatura abordando os parâmetros fermentativos e químico-tecnológicos desta variedade para o etanol de primeira geração.

Vários fatores estão relacionados ao incremento de impurezas vegetais na matéria-prima entregue ao parque industrial: idade, variedade, despalha, hábito de crescimento, fatores abióticos e bióticos e tipo de corte (Ruivo, Ravanelli e Madaleno, 2015). O avanço da colheita mecanizada, por exemplo, resultou em um aumento de 15% de impurezas vegetais adicionadas ao processo, sendo palha, palmito e folhas verdes (Gimenez, Franzé e Madaleno, 2016). Além de afetar e eficiência industrial, as impurezas reduzem parâmetros tecnológicos como ºBrix, Pol e Pureza (Bovi, 1999) reduzindo a qualidade da cana. Ainda, segundo Amorim *et al*. (2000), um bom controle de qualidade nas destilarias começa com a identificação de fatores limitantes que prejudicam o desempenho geral.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

Diante do apresentado, o objetivo deste estudo foi avaliar parâmetros químico-tecnológicos do mosto da cana RB975201 e cana energia Vertix 3, desempenho microbiológico do processo fermentativo, eficiência fermentativa e teor alcoólico sob efeito de impurezas vegetais para o etanol de primeira geração.

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)

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)

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

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)

3.2 Extração e clarificação do caldo

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. Para o processo de clarificação, foram adicionados 0,36 $g.L^{-1}$ de ácido fosfórico ao caldo extraído, visando a obtenção da concentração ideal para esta etapa.

Posteriormente, o pH do caldo extraído foi ajustado a 6,0±0,1 com Hidróxido de Cálcio a 6ºBé e o Brix corrigido para 16±0,1. Em seguida, foi aquecido até ebulição e foi disposto em provetas graduadas contendo polímero Kemira LX (auxiliar de decantação). Após 20 minutos em repouso, o caldo clarificado foi sifonado.

3.3 Preparo do Mosto

O caldo clarificado foi padronizado a 16±0,1°Brix, sendo o pH corrigido com ácido sulfúrico até 4,5±0,1, e a temperatura a 32±1ºC, obtendo-se o mosto. O processo fermentativo ocorreu em frascos Erlenmeyer, onde foram adicionados 250 mL de mosto e 30 $g.L^{-1}$ de levedura *Saccharomyces cerevisiae* prensada, visando atingir a concentração de 10^7 $UFC.mL^{-1}$. Os frascos foram mantidos a 32±1°C, sob agitação constante de 150 rpm.

Após 12 horas de fermentação todos os frascos apresentaram °Brix ≤ 1, indicando o término do processo fermentativo. O vinho foi submetido à centrifugação à 1650 g, por 5 minutos (Himac, CR 21G), obtendo-se o vinho delevedurados.

3.4 Caracterizações tecnológicas do mosto, microbiológicas do processo fermentativo, determinações do vinho e eficiência fermentativa

Foram determinados os sólidos solúveis, Açúcares Redutores Totais, Acidez Total (CTC, 2005), Teor de Amido (Chavan, Kumar e Jadhad, 1991) e Compostos Fenólicos Totais (Folin e Ciocalteau, 1927).

As células de leveduras *Saccharomyces cerevisiae* foram quantificadas em Câmara de Neubauer (Lee, Robison e Wang, 1981) no início (40 minutos após a inoculação) e ao final da fermentação. Os parâmetros avaliados foram viabilidade celular, índice de brotamentos e viabilidade de brotos, através das seguintes fórmulas:

$$\text{Viabilidade Celular (\%)} = \frac{Células\ Vivas}{Células\ Vivas + Células\ Mortas}\ x\ 100$$

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

$$\text{Índice de Brotamento (\%)} = \frac{Brotos\ Vivos}{Células\ Vivas + Células\ Mortas}\ x\ 100$$

$$\text{Viabilidade dos Brotos (\%)} = \frac{Brotos\ Vivos}{Brotos\ Vivos + Células\ Mortas}\ x\ 100$$

Foram realizadas as análises de Teor de glicerol (Amorim, 2003) e Acidez Total (CTC, 2005) nos vinhos delevedurados. Posteriormente, eles foram destilados em micro-destilador de álcool (Tecnal, modelo TE-012). Os teores alcoólicos dos destilados foram determinados com leitura direta em densímetro portátil (Antoon Paar, modelo DMA 35).
A metodologia de Fernandes (2011) foi utilizada para calcular o volume de etanol prático (mL) que pode ser produzido de acordo com o ART do mosto. A eficiência de fermentação foi calculada dividindo o rendimento real de etanol pelo rendimento prático de etanol.

3.5 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 e Maldonado Junior, 2015). Os desdobramentos dos efeitos foram construídos através de Regressão Polinomial utilizando-se Microsoft Excel 365.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 04 são apresentados os resultados obtidos dos valores médios do ART e da acidez total para o mosto. Observou-se diferença significativa nos valores médios no tratamento primário em relação ao parâmetro da acidez total, de modo que a cana energia apresenta maior valor. Maiores valores de açúcares no mosto são essenciais para garantir uma fermentação eficiente e maior teor alcoólico no vinho. (Roviero *et al*., 2024).

A determinação de Acidez Total dos mostos determinou valores significativamente superior para os mostos de cana energia (2,58 $g.L^{-1}$ H_2SO_4). Os valores encontrados são maiores ao estudo de Junior (2020), que foram de 0,50 $g.L^{-1}$ H_2SO_4 para cana comercial CTC2 e 1,97 $g.L^{-1}$ H_2SO_4 para cana energia Vertix 9. As impurezas de origem vegetal impactaram significativamente nos valores de acidez total.

Os valores médios dos açúcares redutores totais (ART) determinados nos mostos de cana energia foram de 10,97%, teores significativamente menores que os encontrados nos mostos preparados a partir de cana comercial (13,79%). O resultado obtido para cana comercial corrobora o encontrado por Junior (2020) de 13,32% para a variedade CTC2 e 10,66% para a cana energia Vertix 9. Teores de ART na ordem de 13% também foram encontrados no estudo de Alcantara (2023), no qual comparou mostos provenientes de cana clarificados com polímero sintético aniônico, orgânico comercial e extrato de alga vermelha.

Ao estudarem a qualidade das variedades RB867515, CTC4 e RB117001, Roviero e*t al*. (2024) obtiveram valores de ART de 5,57%, 4,88% e 11,37% respectivamente.

O comportamento de redução depende da variedade, pelo resultado da interação não ser significativa (Gráfico 01). Os resultados obtidos permitem considerar que no decorrer do aumento de impurezas, ocorre diminuição significativa nesta característica, evidenciando o impacto na matéria-prima.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

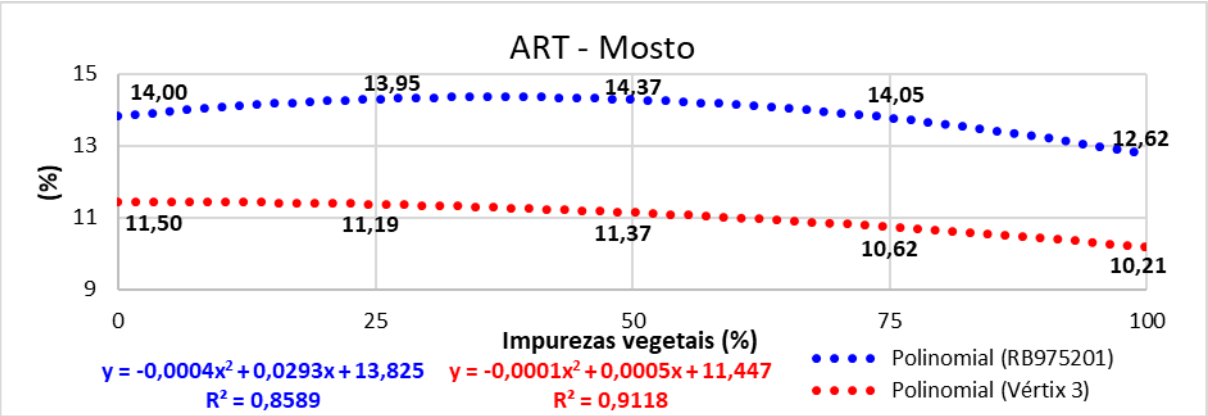
Tabela 04 - Valores médios e análise de variância para Acidez Total e Açúcares Redutores Totais (ART) para mosto das variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP

TRATAMENTOS	ACIDEZ TOTAL ($G.L^{-1}$ H_2SO_4)	ART (%)
Variedade (TP)		
RB975201	1,46 b	13,79 a
Vertix 3	2,58 a	10,97 b
Teste F	34,00**	19,31**
CV	29,96	16,36
DMS	0,61	2,03
Teor de impureza (TS)		
0%	2,07 ab	12,74 ab
25%	1,89 b	12,56 ab
50%	1,85 b	12,87 a
75%	2,05 ab	12,33 ab
100%	2,24 a	11,41 b
Teste F	3,99*	3,01*
CV	11,01	7,63
DMS	0,32	1,39
TPxTS	1,65ns	0,37ns

**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)

Gráfico 01 – Regressão Polinomial para Açúcares Redutores Totais (ART) do mosto 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)

Analisando-se os resultados obtidos para a viabilidade celular (Tabela 05), os tratamentos se encontraram acima do parâmetro recomendado por Amorim (2005) com viabilidade igual ou superior a 85% no início do processo fermentativo para fermentações com alta taxa de rendimento. Os resultados obtidos estão superiores àqueles encontrado por Junior (2020), que obteve 89,51% para cana energia Vertix 9 e 87,99% para cana comercial CTC2. Não foram observadas diferenças significativas quanto as análises microbiológicas das leveduras entre os tratamentos com impureza vegetal.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

Os valores médios obtidos para o índice de brotamento inicial diferem dos valores obtidos por Alcantara (2023), que ao estudar ações de diferentes polímeros na clarificação do caldo da cana, obteve um valor médio de 10,5% para este parâmetro.

Ao avaliar o desempenho do fermento prensado, Garcia (2016) obteve resultados inferiores a este presente estudo. O valor médio obtido para viabilidade celular foi de 83%; 9,58% de índice de brotamento e 89% de viabilidade de brotos, indicando possível efeito negativo da acidez total sob a levedura.

A análise de brotos indica que, em mostos preparados com 100% de impureza, houve maior brotamento das células, porém não significativas. O comportamento fisiológico das leveduras submetidas aos dois substratos – cana comercial e cana energia, não apresentou diferença significativa. Avaliar o índice de brotamento e brotos viáveis é importante, visto que possuem ação fundamental para a manutenção da população de leveduras (Ravaneli, 2010).

Tabela 05 - Valores médios e análise de variância para Viabilidade Celular, Índice de Brotamento e Viabilidade dos Brotos das leveduras no início do processo fermentativo das variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP

Análises Microbiológicas Iniciais			
TRATAMENTOS	**VIABILIDADE CELULAR (%)**	**ÍNDICE DE BROTAMENTO (%)**	**VIABILIDADE DOS BROTOS (%)**
Variedade (TP)			
RB975201	97,99 a	42,29 a	99,31 a
Vertix 3	96,14 a	41,59 a	98,61 a
Teste F	6,51^{ns}	0,01^{ns}	0,61^{ns}
CV	2,36	48,63	2,88
DMS	2,31	20,53	2,86
Teor de impureza (TS)			
0%	95,38 a	36,21 a	99,50 a
25%	99,19 a	42,43 a	99,67 a
50%	97,36 a	43,93 a	98,18 a
75%	94,84 a	43,67 a	98,82 a
100%	98,55 a	43,48 a	98,64 a
Teste F	1,04^{ns}	1,03^{ns}	1,10^{ns}
CV	5,46	21,61	1,67
DMS	7,81	13,35	2,44
TPxTS	1,90^{ns}	1,44^{ns}	0,73^{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)

Ao avaliarmos a viabilidade celular final (Tabela 06) verifica-se que não houve diferenças significativas para o incremento de impurezas, nem para os genótipos estudados. Porém, vale ressaltar que o incremento de impureza vegetal reduziu 1,7% a viabilidade celular e viabilidade dos brotos. Por sua vez, o índice de brotamento foi 102% maior na variedade Vertix 3, estimulado pela maior acidez do mosto.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

Masson *et al* (2015) ao estudar a variedade RB966928, obteve valores de 92,35% de viabilidade celular, 95,59% para viabilidade dos brotos e índice de brotamento de 14,46%, similares a este presente estudo.

A viabilidade celular, índice de brotamento e viabilidade de brotos ao final da fermentação foram superiores aos resultados da pesquisa de Roviero *et al*. (2024), que obtiveram valores médios de 59,37%, 23,04%, 56,27% na fermentação conduzida por uma levedura comercial para obtenção de cachaça.

Tabela 06 - Valores médios e análise de variância para Viabilidade Celular, Índice de Brotamento e Viabilidade dos Brotos das leveduras ao final do processo fermentativo das variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP

Análises Microbiológicas Finais			
TRATAMENTOS	**VIABILIDADE CELULAR (%)**	**ÍNDICE DE BROTAMENTO (%)**	**VIABILIDADE DOS BROTOS (%)**
Variedade (TP)			
RB975201	95,83 a	11,48 b	89,16 a
Vertix 3	97,83 a	23,28 a	93,16 a
Teste F	$0,60_{ns}$	46,08**	$0,30_{ns}$
CV	6,11	31,61	25,28
DMS	5,94	5,53	23,19
Teor de impureza (TS)			
0%	98,41 a	17,21 a	95,44 a
25%	97,84 a	16,31 a	95,12 a
50%	96,50 a	19,10 a	95,91 a
75%	93,32 a	15,89 a	75,60 a
100%	96,68 a	18,39 a	93,73 a
Teste F	$1,44_{ns}$	$0,88_{ns}$	$1,76_{ns}$
CV	4,81	23,57	20,44
DMS	6,84	6,03	27,46
TPxTS	$1,98_{ns}$	$1,49_{ns}$	$0,02_{ns}$

**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)

Os resultados observados para os teores de glicerol, acidez total, teor alcoólico e eficiência fermentativa indicaram que não houve diferenças significativas entre as variedades e os teores de impurezas vegetais (Tabela 07).

Dentre os produtos gerados durante a fermentação, o glicerol – produto secundário de maior proporção pela redução da glicose e controle osmótico da levedura, consome de 2 a 9% do ART presente no mosto considerando rendimento de 86 a 92% (Mutton, 2021). Os teores no presente estudo são semelhantes ao encontrado por Cherubin (2003), permanecendo entre 0,5 e 1,0% e inferiores aos valores determinados por Amaral (2019), que obteve resultados na ordem de 10 g/L ao estudar a presença de sulfito acima do nível ideal e influência do pH na fermentação.

Com relação aos valores de acidez total, foram observadas diferenças significativas entre as médias para o incremento de impurezas. Segundo Alcantara (2023), avaliando-se a

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

atividade da levedura CAT-1 em mosto de cana-de-açúcar, foram determinados valores de acidez total na ordem de 2,66 gH2SO4.L^{-1} corroborando ao presente estudo.

Tabela 07 - Valores médios e análise de variância para Teor de Glicerol, Acidez Total, Teor Alcoólico e Eficiência Fermentativa ao final do processo fermentativo das variedades RB975201 e Vertix 3 Tipo 1 com 0, 25, 50, 75 e 100% de impurezas vegetais. Safra 2021/2022. Jaboticabal-SP

TRATAMENTOS	GLICEROL (%)	ACIDEZ TOTAL ($G.L^{-1}$ H_2SO_4)	TEOR ALCOÓLICO (%)	EFICIÊNCIA FERMENTATIVA (%)
Variedade (TP)				
RB975201	0,81 a	2,67 a	8,01 a	86,58 a
Vertix 3	0,73 a	2,72 a	6,29 b	86,48 a
Teste F	$3,46^{ns}$	$0,18^{ns}$	$19,55^{**}$	$0,00^{ns}$
CV	18,60	13,13	17,21	12,65
DMS	0,14	0,35	1,23	11,02
Teor de impureza (TS)				
0%	0,78 a	2,59 ab	7,41 a	88,66 a
25%	0,81 a	2,45 b	7,28 a	87,59 a
50%	0,77 a	2,58 ab	7,21 a	86,42 a
75%	0,74 a	2,85 ab	7,00 a	85,35 a
100%	0,75 a	3,03 a	6,84 a	84,62 a
Teste F	$1,18^{ns}$	$2,85^{*}$	$1,12^{ns}$	$0,50^{ns}$
CV	9,25	14,48	8,52	7,56
DMS	0,10	0,57	0,89	9,63
TPxTS	$0,71^{ns}$	$0,48^{ns}$	$0,04^{ns}$	$0,01^{ns}$

**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)

Houve diferença significativa para o teor de etanol entre as variedades de cana utilizadas. Verificou-se que o tratamento com cana comercial obteve maior teor alcoólico em virtude do maior valor de ART no início da fermentação, como discutido por Moraes *et al* (2023).

Resultados similares foram obtidos por Junior (2020) ao comparar cana energia Vertix 9 e cana-de-açúcar CTC2, com 6,86% e 8,1% respectivamente. Garcia (2016) obteve valores semelhantes para o teor alcoólico obtido a partir de fermentações empregando a levedura CA-11 (7,13%) e prensada (6,58%); em seu estudo, o menor teor alcoólico obtido (6,61%) foi originado a partir do mosto não clarificado.

A eficiência fermentativa foi obtida pelo balanço de massa ART% convertido em etanol, sendo comparativo direto entre o substrato e o produto. Pela análise geral dos valores de eficiências fermentativas, não houve diferença significativa entre as médias observadas para os tratamentos entre variedades de cana, sugerindo que a levedura se adaptou ao meio e mesmo na presença de inibidores mostrou desempenho semelhante entre as variedades. Foi possível verificar que a fermentação com ausência de impurezas proporcionou uma maior eficiência fermentativa, o que resultou em maior teor alcoólico comparado ao tratamento com impurezas.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

Junior (2020) obteve valores médios na ordem de 84,8% e melhores eficiências para fermentações a partir de cana-de-açúcar, por outro lado, Garcia (2016) obteve valores médios de eficiência fermentativa utilizando fermento prensado e CA-11 de 71,44% e 80,21% respectivamente. Os resultados deste trabalho são superiores aos encontrados por Parazzi, Papin e Belluco (2017), onde obtiveram valor médio de 70,2%, resultando em maiores teores de açúcares residuais e menor teor alcoólico.

Como fonte alternativa a produção de bioetanol, Freita (2013) ao estudar genótipos de sorgo sacarino CVSW80007, CVWS80147 e BRS610 verificou que, esta cultura energética, possuía resultados mais adequados da eficiência fermentativa quando processados sem folhas, quando foram processados com folhas (impureza vegetal) a eficiência caiu 4% para a levedura PE-2 e 7% para a CAT-1; demonstrando a importância da qualidade da matéria-prima.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resultado obtido para ART é significativamente maior para a cana comercial, resultado esperado tendo em vista as características de cada variedade; a diminuição do ART com o aumento das impurezas vegetais pode estar relacionada ao processo de extração e adsorção da sacarose. A característica microbiológica da levedura fermentadora utilizada neste experimento, o teor alcoólico e a eficiência fermentativa não foram afetados significativamente pela adição de impurezas vegetais. Recomenda-se a realização de estudos posteriores considerando uma cepa de levedura selecionada para verificar o comportamento diante de diferentes tipos de matéria-prima com impurezas.

REFERÊNCIAS

ALCANTARA, Giovanni Uema. **Uso do extrato de alga vermelha (*Kappaphycus alvarezii*) na clarificação do caldo de cana-de-açúcar e reflexos na produção de etanol**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Estado de Minas Gerais UEMG. 2023.

ALVES, D. Impact of sugar cane quality on sugar and alcohol yields. **International Sugar Journal**, v. 102, n.1214, p. 86-88, 2000.

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

AMORIM, H. V. **Métodos analíticos para o controle da produção de açúcar e álcool. Fermentec** 3. ed. Piracicaba. 2003.

AMORIM, H., OLIVEIRA, A.J., SILVA, L.F.L.F., BERNARDINO, C., GODOY, A., ARAUJO, E.S., Campos, L.M.A. Estudo da eficiência do pré-tratamento hidrotérmico visando a desestruturação da fibra da cana energia. **Anais da 16ª Jornada UNIFACS de Iniciação Científica** - JUIC Universidade Salvador (UNIFACS). 2019.

BARBOSA, J.C.; MALDONADO JUNIOR, W. **Experimentação Agronômica & AgroEstat 292 –** Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos. FUNEP. Jaboticabal, 2015.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

AMARAL, Flávia Silvério. **Influência conjunta do pH, temperatura e concentração de sulfito na fermentação alcoólica de mostos de sacarose**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia. 92 pag. 2009

BOVI, R.; SERRA, G. E. Impurezas fibrosas da cana-de-açúcar e parâmetros tecnológicos do caldo extraído. **Scientia agricola**. Piracicaba, v.56, n.4. 1999.

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.

CHERUBIN, Rudimar Antônio. **Efeitos da viabilidade da levedura e da contaminação bacteriana na fermentação alcoólica**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. USP ESALQ. Piracicaba. 2003.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da Safra Brasileira**, 1º Levantamento Safra 2025/2026 Cana-de-açúcar. v. 13. n. 1. 2025.

CTC. **Manual de métodos de análises para açúcar. Piracicaba, Centro de Tecnologia Canavieira**. Laboratório de análises, 2005. Disponível em CD ROM.

DELGADO, A. A.; CESAR, M. A. A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana**. Sertãozinho: Zanini, v. 2, 752 p., 1977.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. Piracicaba: STAB. 2011.

FOLIN, O.; CIOCALTEU, V. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. The 309 **Journal of Biological Chemistry**, v. 73, n.2, p.627-50, 1927.

FREITA, Lidyane Aline. **Avaliação tecnológica e microbiológica da fermentação etanólica de caldo de sorgo sacarino**. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. UNESP Jaboticabal. 2013.

GARCIA, Graciany. **Tratamento de caldo e tipos de fermentos sobre os componentes secundários e qualidade da cachaça de alambique**. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. UNESP Jaboticabal. 2016.

GIMENEZ, A.Z., FRANZÉ, R.V., MADALENO, L.L. Teores de impurezas vegetais e a concentração do amido no caldo de cana. **Ciência & Tecnologia**: Fatec-JB, Jaboticabal(SP), v.8, n.1, p. 42-53, 2016. (ISSN: 2178-9436).

JUNIOR, Calisto Nonato Silva. **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

LEE, S. S.; ROBISON, F. M.; WANG, H. Y. 1981. Rapid Determination of Yeast Viability. **Biotechnology and Bioengineering Symp**, p. 641–649, 1981.

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**, 45:1695-1700. 2015.

MORAES, S.O.O., RODRIGUES, W.S., LOPES, K.C., RESENDE, F.M. Estudos comparativos no processo industrial de produção de bioetanol a partir do melaço e caldo de cana-de-açúcar. **Revista Foco Interdisciplinary Studies**. v.16 p.01-14. 2023.

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

MUTTON, M.J.R. **Bases para o estudo de leveduras e processos fermentativos**. Aula ministrada no curso de pós-graduação em Microbiologia Agropecuária. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. UNESP. 2021.

PARAPOULI, M., VASILEIADIS, A., AFENDRA, A.S., HATZILOUKAS, E. *Saccharomyces cerevisiae* and its industrial applications. **AIMS Microbiology**. doi: 10.3934/microbiol.2020001. 2020.

PARAZZI, C., PAPIN, L., BELLUCO, A.E.S. Enzymatic hydrolysis of the starch of sugar cane juice in ethanolic fermentation. **Revista Ciência, Tecnologia e Ambiente**. Vol. 5, No. 1, 15-22. 2017.

RAMOS, Rachel Soares. **Seleção de Cana Energia**. Tese (Doctor Scientiae) – Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais. 2015.

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.

ROVIERO, J.P., FREITA, C.M., OLIVEIRA, L.P., SILVA, T.R., MEDEIROS, D.A.S., OLIVEIRA, A.S., BRAZ, I.S.S. Avaliação de variedades de cana-de-açúcar e seu potencial de fermentativo para a produção de cachaça com leveduras comerciais e naturais. **Revista Observatorio de la Economia Latinoamericana** v.22, n.12, p. 01-22. 2024.

RUIVO, A.P., RAVANELLI, G.C., MADALENO, L.L. Tipos de colheita e a qualidade da cana para a indústria. **Ciência & Tecnologia**: FATEC-JB, Jaboticabal (SP), v. 7, n. 1, p. 63-73. 2015.

SILVA, Marcus Vinicius Bastos. **Efeito da adição de compostos fenólicos sobre o crescimento de levedura etanologênica** (*Saccharomyces* sp.) em meio sintético e em caldo de cana-de-açúcar. Dissertação (Magister Scientiae) – Universidade Federal de Viçosa. UFV. Viçosa. 2013.