APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE BANANA PARA A PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE BIOETANOL

UTILIZATION OF BANANA RESIDUES FOR SUSTAINABLE BIOETHANOL PRODUCTION

Giovanna dos Santos Meles, Larissa Medeiros Kleis Guimarães, Maria Eduarda Santos Pouza, Murilo Antunes Alves Lucindo, Nelize Maria de Almeida Coelho, Vitor da Silva Rosa.

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Química
E-mail para contato: profvitorrosaphd@gmail.com

RESUMO – O presente estudo teve como objetivo produzir bioetanol a partir de resíduos de banana (Musa spp.), aproveitando um subproduto agrícola abundante e de baixo custo. Foram avaliados diferentes teores de Brix (5%, 10%, 15% e 20%) e tempos de fermentação (24, 48, 72 e 96 h) utilizando a levedura Saccharomyces cerevisiae. Os resultados mostraram que o tempo de 96 horas e 15% de Brix proporcionaram o maior rendimento alcoólico, evidenciando condições ideais para o metabolismo fermentativo. Valores acima de 15% resultaram em queda de desempenho devido à competição entre leveduras e efeito osmótico. O processo demonstrou viabilidade técnica e potencial ambiental, reforçando o uso de resíduos agroindustriais na geração de biocombustíveis renováveis.

Palavras-chave: bioetanol; resíduos de banana; fermentação alcoólica; *Saccharomyces cerevisiae*; sustentabilidade

ABSTRACT – This study aimed to produce bioethanol from banana residues (Musa spp.), taking advantage of an abundant and low-cost agricultural byproduct. Different Brix levels (5%, 10%, 15%, and 20%) and fermentation times (24, 48, 72, and 96 h) were evaluated using Saccharomyces cerevisiae. Results showed that 96 h and 15% Brix achieved the highest ethanol yield, indicating optimal fermentation conditions. Higher sugar concentrations led to reduced performance due to osmotic stress and yeast competition. The process proved technically feasible and environmentally beneficial, highlighting the potential of banana residues as a sustainable feedstock for renewable biofuel production.

Keywords: bioethanol; banana residues; alcoholic fermentation; *Saccharomyces cerevisiae*; Sustainability

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia e a dependência mundial dos combustíveis fósseis têm despertado preocupações quanto à sustentabilidade e à disponibilidade de recursos energéticos. Diante desse cenário, torna-se essencial a busca por fontes alternativas e renováveis de energia que possam minimizar os impactos ambientais e reduzir a emissão de gases de efeito estufa (Waghmare; Arya, 2016).

Entre as principais alternativas destacam-se os biocombustíveis, como o bioetanol, o biodiesel e o bio-hidrogênio, os quais vêm recebendo atenção crescente tanto na pesquisa quanto na aplicação industrial (Ingale; Joshi; Gupte, 2014). Esses biocombustíveis podem ser classificados em duas gerações: os de primeira geração, obtidos a partir de matérias-primas ricas em carboidratos, lipídios e óleos; e os de segunda geração, derivados de biomassas lignocelulósicas ou de resíduos agroindustriais (Naik et al., 2010).

Atualmente, a biomassa responde por aproximadamente 10% da demanda de energia primária mundial, evidenciando seu potencial como recurso energético sustentável (Ingale; Joshi; Gupte, 2014). Dentro desse contexto, a banana (Musa spp.) apresenta-se como uma matéria-prima promissora para a produção de bioetanol. Trata-se da segunda fruta mais produzida no mundo, com uma produção média de cerca de 115 milhões de toneladas entre 2017 e 2019, segundo dados da Food and Agriculture Organization (FAO). Estima-se que cerca de 5% desse total seja descartado devido ao manuseio inadequado e às condições precárias de armazenamento durante e após a colheita (Tanaka, 2024).

O aproveitamento dos resíduos de banana para a produção de etanol foi relatado pela primeira vez em 1978, quando Pontiveros et al. demonstraram a viabilidade da fermentação alcoólica a partir de frutas verdes (Tewari; Marwaha; Rupal, 1986). Desde então, diversos estudos têm confirmado o potencial dessa biomassa para a produção de biocombustíveis, especialmente pela presença de açúcares fermentáveis e pela facilidade de adaptação de leveduras como a *Saccharomyces cerevisiae* (Utama et al., 2019).

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo avaliar a produção de bioetanol a partir de resíduos de banana, investigando o efeito do teor de Brix sobre o rendimento do processo fermentativo. A proposta busca contribuir para o aproveitamento sustentável de

resíduos agroindustriais e para o desenvolvimento de rotas de produção de energia limpa e de baixo custo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a condução dos experimentos foram utilizados béqueres de 250 mL, 600 mL e 4000 mL, além de um alambique de cobre, provetas de 500 mL e 1000 mL, alcoômetro e peneira. Na etapa de fermentação, empregaram-se bananas nanicas maduras, fermento biológico (*Saccharomyces cerevisiae*), béqueres de 250 mL e 2000 mL, panela, proveta de 1000 mL, balde fermentador com capacidade de 5 L, baqueta de vidro, termômetro, pisseta e refratômetro.

Inicialmente, as bananas foram descascadas, pesadas e tiveram seus fiapos removidos. Em seguida, foram amassadas manualmente e adicionadas a 1800 mL de água destilada, formando uma mistura homogênea. O teor de sólidos solúveis (Brix) foi ajustado conforme os valores desejados — 5%, 10%, 15% e 20% — para posterior fermentação. A mistura foi aquecida até 40 °C e, após resfriamento até 38 °C, transferida para o fermentador, onde foram adicionados 5 g de levedura *S. cerevisiae*.

Após o período de fermentação (24 h, 48 h, 72 h e 96 h, conforme o planejamento experimental), a mistura foi filtrada e submetida à destilação. O teor alcoólico inicial foi determinado com o alcoômetro.

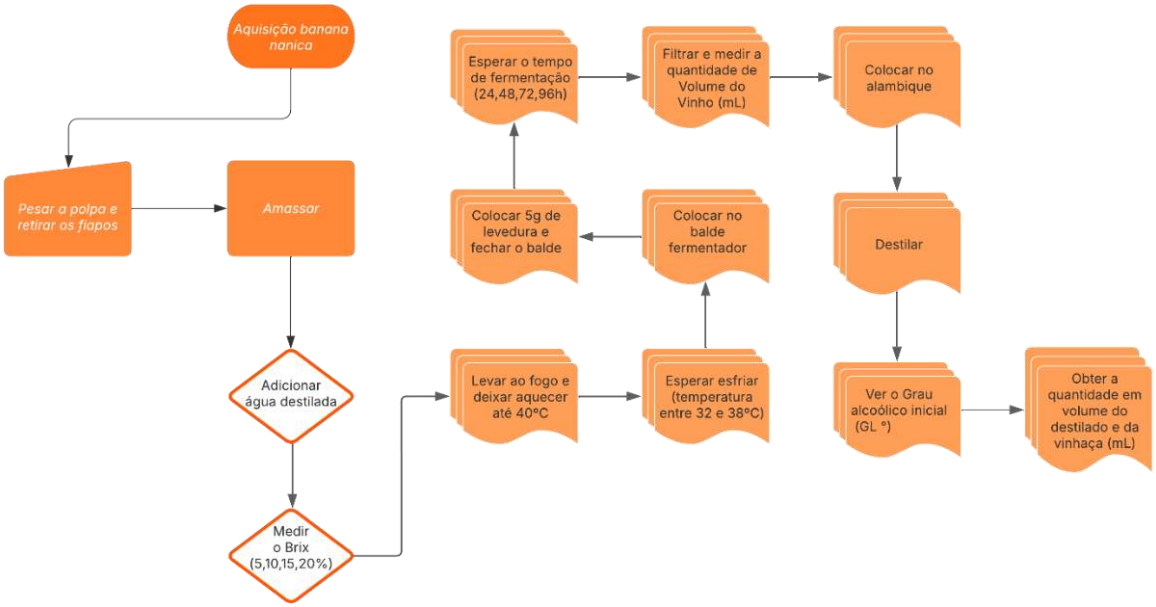
O rendimento do destilado em relação à massa de banana foi calculado segundo a Equação 1, representada pelo símbolo η. O rendimento da vinhaça em relação à massa de banana foi determinado pela Equação 2 (η'), enquanto o rendimento global do processo foi expresso pela Equação 3 (η''), que relaciona o rendimento do destilado ao da vinhaça obtida no alambique.

$$\acute{\eta} = \frac{Vdestilado}{Mbanana} \text{ (eq. 1)} \qquad \acute{\eta}' = \frac{Vvinhaça}{Mbanana} \text{ (eq. 2)} \qquad \acute{\eta}'' = \frac{\acute{\eta}}{\acute{\eta}'} \text{ (eq. 3)}$$

Em um segundo conjunto de ensaios, realizado para fins comparativos, algumas modificações foram introduzidas no procedimento experimental. As bananas foram trituradas em liquidificador em vez de amassadas manualmente, e a quantidade de água destilada foi reduzida, alterando assim a relação massa de fruta/volume de solvente. Além disso, utilizou-se

um reator com temperatura controlada, permitindo avaliar o comportamento do processo sob condições mais constantes e comparar os resultados obtidos com o primeiro conjunto de experimentos. A sequência operacional empregada nas etapas iniciais está representada no Fluxograma da Figura 1, enquanto as modificações introduzidas no processo comparativo estão ilustradas na Figura 2.

Figura 1- Fluxograma do processo experimental inicial.



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos experimentos de fermentação da polpa de banana com diferentes teores de Brix e tempos de fermentação estão apresentados na **Tabela 1**. O rendimento foi calculado conforme as Equações 1, 2 e 3, representando, respectivamente, o rendimento do destilado em relação à massa da banana (η), o rendimento da vinhaça (η') e o rendimento global do processo (η'').

Figura 2 – Fluxograma do processo experimental comparativo**.**

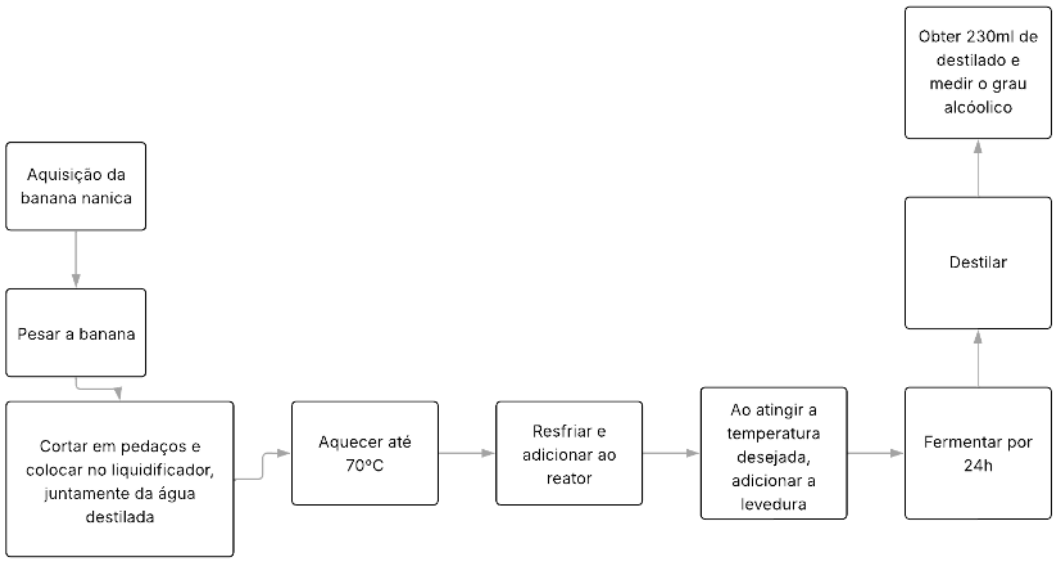


Tabela 1- Resultados experimentais dos ensaios de fermentação

Nº ensaios	Tempo (h)	Gl inicial (º)	Brix (%)	Vol vinho (mL)	Vol Dest (mL)	Vol Vinhaça (mL)	Massa Banana (g)	ή	ή’	ή"
1,17,33	24	16,67	5	1850	42,33	1151	545,81	0,08	2,11	0,04
2,18,34	24	14,67	10	1933,33	102,67	1187,33	560,83	0,18	2,12	0,09
3,19,35	24	22	15	2023,33	190,33	1151	532,06	0,36	3,45	0,10
4,20,36	24	25,33	20	2136,67	228,33	1187,33	539,2	0,42	3,54	0,12
5,21,37	48	19,33	5	1890	198,33	1833	589,57	0,34	1,86	0,18
6,22,38	48	33,33	10	1950	324,67	1908,33	539,67	0,60	3,05	0,20
7,23,39	48	23,33	15	2050	145,33	1093,67	512,19	0,28	3,54	0,08
8,24,40	48	17	20	2066,67	170,67	1644	532,45	0,32	3,69	0,09
9,25,41	72	22,67	5	1816,67	236,67	1814,67	533,28	0,44	2,96	0,15
10,26,42	72	24	10	1930	234,33	1966,67	536,51	0,44	3,16	0,14
11,27,43	72	25,33	15	2034,67	205,33	1580	547,49	0,38	3,47	0,11
12,28,44	72	30,67	20	2106,67	256,67	1695,67	556,5	0,46	3,32	0,14
13,29,45	96	25,33	5	1910	250,33	1898,33	534,37	0,47	3,14	0,15
14,30,46	96	27,33	10	1956,67	278	1850	538,95	0,52	3,15	0,16
15,31,47	96	38,67	15	1980	375	1679,67	562,08	0,67	2,86	0,23
16,32,48	96	28,27	20	2143,33	260,33	1697,33	544,32	0,48	3,46	0,14

Observa-se que o rendimento do processo aumentou de forma significativa com o tempo de fermentação. Em 24 horas, os valores de η permaneceram abaixo de 0,5, enquanto a 96 horas atingiram valores próximos de 0,7. Esse comportamento indica que o prolongamento do tempo fermentativo favorece o metabolismo das leveduras e a conversão dos açúcares em etanol.

A influência do teor de Brix também foi expressiva. Os ensaios com 15% de Brix apresentaram os maiores rendimentos, enquanto a 20% observou-se uma redução, possivelmente causada por efeitos osmóticos e competição microbiana que dificultam a atividade da *Saccharomyces cerevisiae*. Em teores inferiores (5% e 10%), a limitação de substrato também resultou em menores produções de etanol.

Esses resultados estão representados graficamente na Figura 3, que relaciona o rendimento com o tempo de fermentação e o teor de Brix, e na Figura 4, que apresenta essas variáveis separadamente.

Figura 3 – Rendimento do processo em função do tempo de fermentação e do teor de Brix.

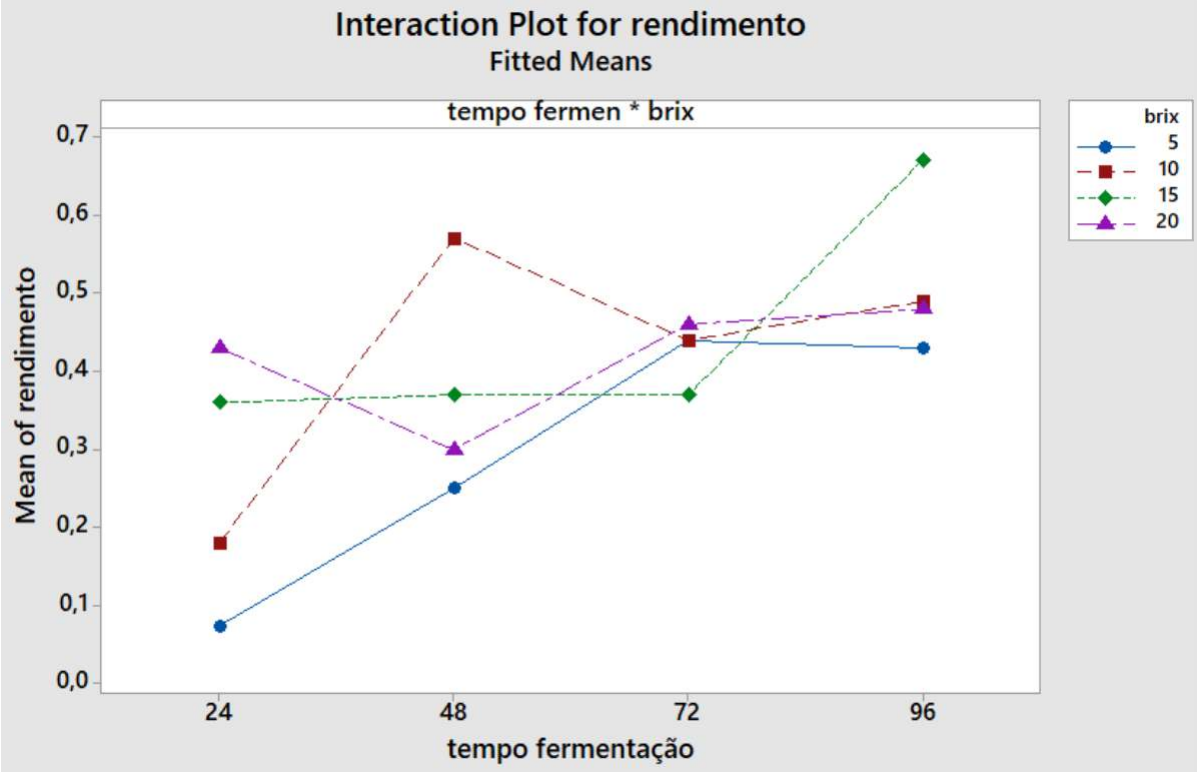
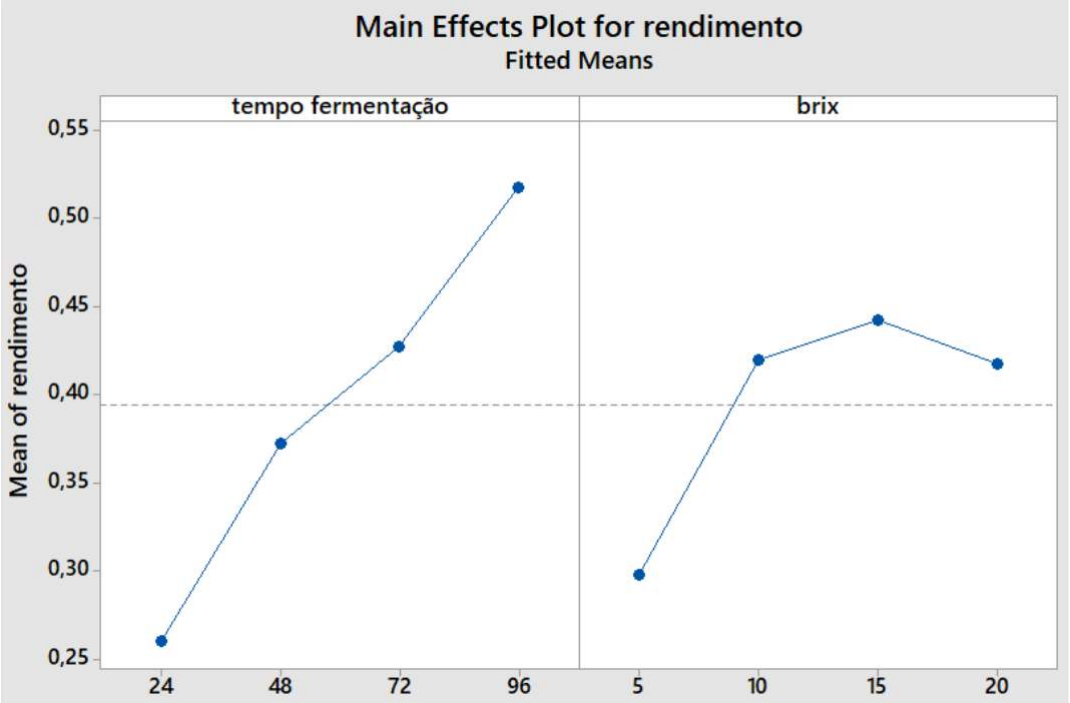


Figura 4 – Variação do rendimento isolado em função do tempo e do teor de Brix.



A análise da Figura 4 mostra que o aumento do tempo de fermentação está diretamente associado ao aumento do rendimento até 96 horas, ponto em que a produção se estabiliza. Observa-se também que, entre os teores de sólidos solúveis avaliados, 15% de Brix proporcionou a condição ideal para o equilíbrio entre substrato e crescimento celular, resultando na maior taxa de conversão alcoólica.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos nos ensaios comparativos realizados sob temperatura controlada.

Tabela 2 – Ensaios comparativos sob temperatura controlada

Nº ensaios	Temperatura (ºC)	Tempo (h)	Gl final (º)	Brix banana %	Brix final %	Vol vinho (mL)	Vol dest (mL)
1	32	24	6	3	0	650	230
2	34	24	6	3	0	700	232
3	36	24	6	3	0	680	230

Verificou-se que as variações de temperatura entre 32 °C e 36 °C não provocaram diferenças significativas no rendimento final, o que sugere que o processo fermentativo apresenta relativa estabilidade térmica nessa faixa. Contudo, pequenas diferenças podem estar associadas à eficiência de transferência de massa e ao controle da fase estacionária das leveduras.

De modo geral, os resultados confirmam a influência positiva do tempo de fermentação e do teor de Brix sobre a produção de etanol. O melhor desempenho foi obtido na condição de 96 horas de fermentação com 15% de Brix, corroborando estudos prévios sobre a utilização de resíduos de banana como substrato eficiente e de baixo custo para a produção de bioetanol (Tewari; Marwaha; Rupal, 1986; Utama et al., 2019; Tanaka, 2024).

Na figura 4, o gráfico mostra que quanto maior o tempo, maior o rendimento. Enquanto ao mesmo tempo percebemos que com o brix, o maior rendimento foi obtido com a variação de 15% e com a de 20% houve uma queda, podendo-se dizer que se deve uma maior disputa pela levedura. Conforme os resultados obtidos observou-se que a maior produção foi após 96h de fermentação e brix com variação de 15%.

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que a produção de bioetanol a partir de resíduos de banana é uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente sustentável. O maior rendimento foi alcançado na condição de 96 horas de fermentação com 15% de Brix, indicando que esse equilíbrio entre tempo e concentração de açúcares favorece a atividade da *Saccharomyces cerevisiae* e maximiza a conversão de substrato em etanol.

Os ensaios realizados sob temperatura controlada confirmaram a estabilidade do processo fermentativo na faixa de 32 °C a 36 °C, mostrando que pequenas variações térmicas não comprometem significativamente o desempenho da fermentação.

De forma geral, os resultados reforçam o potencial dos resíduos de banana como matéria-prima de baixo custo para a produção de biocombustíveis, contribuindo para a redução do desperdício agroindustrial e para o desenvolvimento de tecnologias mais limpas e renováveis.

Recomenda-se a continuidade dos estudos em escala piloto e com diferentes cepas de leveduras, visando otimizar o processo e avaliar parâmetros como produtividade volumétrica, eficiência energética e custo-benefício da aplicação industrial.

5 REFERÊNCIAS

TANAKA, C. A. Produção e caracterização de fermentado alcoólico e acético de banana (Musa spp.). 2024.

TEWARI, H. K.; MARWAHA, S. S.; RUPAL, K. Ethanol from banana peels. 1986.

WAGHMARE, A. G.; ARYA, S. S. Utilization of unripe banana peel waste as feedstock for ethanol production. 2016.

UTAMA, R. D. et al. Species identification of stress resistance yeasts isolated from banana waste for ethanol production. 2019.

INGALE, S.; JOSHI, S. J.; GUPTE, A. Production of bioethanol using agricultural waste: Banana pseudo stem. 2014.

NAIK, S. N.; GOUD, V. V.; ROUT, P. K.; DALAI, A. K. Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, p. 578-597, 2010.

PONTIVEROS, C. R.; ALCONTARA, J. A.; ROSODRO, E. J. Acid saccharification and alcohol fermentation of unripe banana fruit. *Philippine Journal of Crop Science*, v. 3, n. 3, p. 153-158, 1978.