



**Serviço Público Federal
Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional
Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira**



**FERMENTAÇÃO DO MELAÇO DE CANA: AVALIAÇÃO DO
DESEMPENHO DE DIFERENTES CEPAS DE SACCHAROMYCES
CEREVISIAE**

JOÃO PESSOA / PB

2025

LUAN DE OLIVEIRA MARTINS COSTA

FERMENTAÇÃO DO MELAÇO DE CANA: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE
DIFERENTES CEPAS DE SACCHAROMYCES CEREVISIAE

Trabalho de Conclusão do Curso de
Tecnologia em Produção Sucroalcooleira do
Centro de Tecnologia e Desenvolvimento
Regional (CTDR) da Universidade Federal da
Paraíba, como requisito para obtenção do grau
de Tecnólogo em Produção Sucroalcooleira.

Orientador: Prof. Dr. Kelson Carvalho Lopes

JOÃO PESSA / PB

2025

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

C838f Costa, Luan de Oliveira Martins.

Fermentação do melaço de cana: avaliação do desempenho de diferentes cepas de *saccharomyces cerevisiae* / Luan de Oliveira Martins Costa. - João Pessoa, 2025.

60 f. : il.

Orientação: Kelson Carvalho Lopes.
TCC (Graduação) - UFPB/CTDR.

1. Rum. 2. Melaço. 3. Fermentação. 4. Leveduras. I. Lopes, Kelson Carvalho. II. Título.

UFPB/CTDR

CDU 664.151.1:663.14

TCC aprovado em 29/9/25 como requisito para a conclusão do curso de Tecnologia em Produção Sucoalcooleira da Universidade Federal da Paraíba.

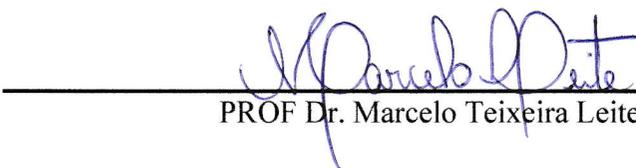
BANCA EXAMINADORA:



PROF Dr. Kelson Carvalho Lopes - (UFPB – Orientador)



PROF^a Dr^a. Danielle Christine Almeida Jaguaribe - (UFPB – Membro interno)



PROF Dr. Marcelo Teixeira Leite - (UFPB – Membro interno)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pela força e sabedoria em todos os momentos.

À minha família, que sempre esteve ao meu lado com amor, incentivo e paciência.

E a todos aqueles que acreditaram em mim, mesmo quando eu duvidava da minha própria capacidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela saúde, perseverança e oportunidade de chegar até aqui.

À minha família, em especial aos meus pais, pelo amor incondicional, compreensão nos momentos difíceis e apoio fundamental durante toda a minha trajetória acadêmica.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Kelson Carvalho Lopes, pela orientação dedicada, paciência, confiança e pelas valiosas contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores e colegas do curso de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira da Universidade Federal da Paraíba, pelos ensinamentos, trocas de conhecimento e experiências que enriqueceram não apenas minha formação acadêmica, mas também minha vida pessoal.

Aos amigos, Gabriel, Pedro Renato, Thiago, Alúcio e tantos outros que estiveram presentes nesta caminhada, compartilhando risadas, desafios e conquistas.

Por fim, agradeço a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

“Mas a sabedoria que vem do alto é, antes de tudo, pura; depois pacífica, moderada, tratável, cheia de misericórdia e de bons frutos.”

(Tiago 3:17)

RESUMO

O rum, uma das bebidas destiladas mais apreciadas globalmente, possui uma história rica e intrinsecamente ligada à cana-de-açúcar, remontando ao século XVII nas ilhas do Caribe. Sua produção, inicialmente um meio de aproveitar o subproduto da indústria açucareira, o melaço, evoluiu para uma ciência e arte que equilibra tradição e inovação tecnológica. O processo de produção de rum a partir do melaço é uma jornada que transforma um subproduto da agricultura em uma bebida complexa e valorizada. Esta transformação depende de uma série de etapas cruciais, sendo a fermentação a mais determinante para o perfil sensorial e a qualidade final do destilado. Neste contexto, a seleção da cepa de levedura torna-se um fator crítico para a otimização da produção. O presente trabalho de conclusão de curso busca analisar e comparar o desempenho de diferentes cepas de levedura no processo de fermentação do melaço para a produção de rum. Em particular, a pesquisa visa comparar as leveduras CA-11, Saf-Instant e Fermipan, avaliando sua eficiência na conversão de açúcares e sua contribuição para a qualidade do fermentado. Os resultados demonstraram que as leveduras avaliadas (CA-11, Saf-instant e Fermipan) foram capazes de conduzir adequadamente o processo fermentativo, apresentando reduções progressivas nos valores de °Brix ao longo das diferentes etapas de fermentação (6,2; 9,1; 12,2 e 15,6). Na etapa inicial (Brix 6), todas as leveduras apresentaram comportamento semelhante, com reduções próximas de °Brix e pH uniforme. Entretanto, a partir do Brix 9, começaram a surgir diferenças mais evidentes, com a Saf-instant e a Fermipan mostrando maior eficiência na redução dos açúcares em comparação à CA-11. Essa tendência se manteve nos Brix 12 e 15, quando as leveduras de panificação demonstraram desempenho superior, alcançando valores finais mais baixos de °Brix. Ao comparar estes resultados com trabalhos anteriores, observa-se clara convergência. Terceiro (2024) constatou que a Fermipan apresentou maior rendimento alcoólico que a CA-11, além de ser economicamente mais viável, já que seu custo é significativamente inferior. Pereira, (2024), por sua vez, demonstrou que a Saf-instant superou a CA-11 em rendimento, chegando a produzir até 24,5% a mais de álcool no último dia de fermentação, também reforçando sua vantagem no aspecto econômico.

Palavras-chaves: Rum, Melaço, Fermentação, Leveduras

ABSTRACT

Rum, one of the most popular distilled beverages worldwide, has a rich history intrinsically linked to sugarcane, dating back to the 17th century in the Caribbean islands. Its production, initially a means of utilizing molasses, a byproduct of the sugar industry, has evolved into a science and art that balances tradition and technological innovation. Molasses, a viscous, dark liquid, is the raw material of choice for most of the world's rum production due to its high concentration of fermentable sugars. The process of producing rum from molasses is a journey that transforms an agricultural byproduct into a complex and prized beverage. This transformation depends on a series of crucial steps, with fermentation being the most decisive for the sensory profile and final quality of the distillate. Fermentation, driven by the action of microorganisms, primarily yeasts of the *Saccharomyces cerevisiae* species, is responsible for converting sugars into ethanol and the vast array of volatile compounds that characterize rum's aroma and flavor. In this context, yeast strain selection becomes a critical factor for optimizing production. This final project aims to analyze and compare the performance of different yeast strains in the molasses fermentation process for rum production. Specifically, the research aims to compare the yeasts CA-11, Saf-Instant, and Fermipan, evaluating their efficiency in sugar conversion and their contribution to fermented product quality. The overall objective of this study is to evaluate the impact of yeast strains on rum yield and characteristics, providing data that can aid decision-making by artisanal and industrial producers. Comparative analysis of parameters such as Brix, pH, and temperature during fermentation aims to identify the most suitable strain for optimizing the process. The results obtained in this study demonstrated that the evaluated yeasts (CA-11, Saf-instant, and Fermipan) were able to adequately conduct the fermentation process, presenting progressive reductions in °Brix values throughout the different fermentation stages (6.2; 9.1; 12.2; and 15.6). In the initial stage (Brix 6), all yeasts presented similar behavior, with reductions close to °Brix and a uniform pH. However, from Brix 9 onward, more evident differences began to emerge, with Saf-instant and Fermipan showing greater efficiency in sugar reduction compared to CA-11. This trend continued at Brix 12 and 15, when the baker's yeasts demonstrated superior performance, reaching lower final °Brix values. When comparing these results with previous studies by Terceiro (2024) and Pereira (2024), a clear convergence is observed. Gilberto Terceiro (2024) found that Fermipan had a higher alcohol yield than CA-11, in addition to being more economically viable, as its cost is significantly lower. João Victor Pereira (2024), in turn, demonstrated that Saf-instant outperformed CA-11 in yield, producing up to 24.5% more alcohol on the last day of fermentation, also reinforcing its economic advantage.

Keywords: Rum, Rum Production, Molasses, Fermentation, Yeast

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama mostrando a conversão de xarope em açúcar e a geração de melaço por meio dos estágios de cozimento, cristalização e centrifugação na produção de açúcar.....	19
Figura 2 - Unidade de cristalização industrial de aço inoxidável com vácuo e agitação para processamento de açúcar e alimentos	21
Figura 4 - Centrífuga industrial de açúcar usada para separar cristais de açúcar do melaço durante a produção de açúcar.....	23
Figura 5 – Resumo Microrganismos Contaminantes	30
Figura 6 – Resumo Controle do Tempo de Fermentação.....	32
Figura 7 - Determinação do Brix do melaço.....	39
Figura 8 - Pesagem e diluição do melaço.....	40
Figura 9 – Fermentação com a levedura CA11 a BRIX inicial 6,2.....	40
Figura 10 - dorna dia 1 levedura CA11 e BRIX final	41
Figura 11 – Fermentação CA11 BRIX 8,9 e dorna dia 2 levedura CA11.....	41
Figura 12 – Fermentação CA11 BRIX 12,2 e dorna dia 3 levedura CA11.....	42
Figura 13 – Fermentação CA11 BRIX 15,6 e dorna dia 3 levedura CA11.....	42
Figura 14 – Fermentação SAF-INSTANT BRIX 6,2, dorna dia 1 e BRIX final.....	43
Figura 15 – Fermentação SAF-INSTANT BRIX 8,9, dorna dia 2.....	44
Figura 16 – Fermentação SAF-INSTANT BRIX 12,2, dorna dia 3.....	44
Figura 17 – Fermentação SAF-INSTANT BRIX 15,6, dorna dia 3.....	45
Figura 18 – Fermentação FERMIPAN BRIX 6,2, dorna dia 1	46
Figura 19 – Fermentação FERMIPAN BRIX 8,9, dorna dia 2.....	47
Figura 20 – Fermentação FERMIPAN BRIX 12,2, dorna dia 3.....	47
Figura 21 – Fermentação FERMIPAN BRIX 15,3, dorna dia 4.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados obtidos de Brix, pH e °GL durante a fermentação, a BRIX 6.....	49
Tabela 2 - Dados obtidos de Brix, pH e °GL durante a fermentação, a BRIX inicial 9.	50
Tabela 3 - Dados obtidos de Brix, pH e °GL durante a fermentação, a BRIX 12.....	51
Tabela 4 - Dados obtidos de Brix, pH e °GL durante a fermentação, a BRIX 15.....	52

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	OBJETIVO	15
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	15
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3.	JUSTIFICATIVA.....	16
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
4.1.	DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO RUM	17
4.2.	O MELAÇO COMO MATÉRIA PRIMA PARA A FABRICAÇÃO DO RUM	18
4.2.1.	Como é Gerado o Melaço na Fabricação do Açúcar	19
4.2.2.	Etapas Preliminares para Geração do Melaço.....	20
4.2.2.1.	Preparação e Tratamento do Caldo de Cana.....	20
4.2.2.2.	Evaporação e Concentração	20
4.2.3.	Processo de Cristalização e Formação do Melaço	21
4.2.3.1.	Cozimento e Cristalização da Sacarose.....	21
4.2.4.	Sistemas de Cozimento e Impacto na Geração do Melaço	22
4.2.4.1.	Sistema de Duas Massas:	22
4.2.4.2.	Sistema de Três Massas:	22
4.2.5.	Separação Centrífuga e Geração Final do Melaço	23
4.2.5.1.	Processo de Centrifugação	23
4.2.7.	Características Físico-Químicas do Melaço Final	24
4.2.8.	Fatores que Influenciam a Geração do Melaço.....	24
4.2.8.1.	Qualidade da Matéria-Prima.....	24
4.2.8.2.	Parâmetros Operacionais.....	24
4.2.8.3.	Esgotamento do Processo	25
4.2.9.	Destinação e Aplicações do Melaço.....	25
5.	FERMENTAÇÃO	26
5.1.	FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA PARA PRODUÇÃO DE RUM A PARTIR DO MELAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR	26
5.2.	CARACTERÍSTICAS E COMPOSIÇÃO DO MELAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR	
	26	
5.3.	PREPARAÇÃO DO MOSTO FERMENTATIVO	27

5.4. MICRORGANISMOS NA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA.....	28
5.4.1. Leveduras Fermentativas	28
5.4.2. Microrganismos Contaminantes	28
5.5. Condições Operacionais da Fermentação	30
5.5.1. Controle de Temperatura	30
5.5.2. Gestão do pH	31
5.5.3. Controle do Tempo de Fermentação.....	31
5.7. FORMAÇÃO DE COMPOSTOS SECUNDÁRIOS	33
5.7.1. Ésteres e Compostos Aromáticos	33
5.7.2. Álcoois Superiores.....	33
5.8. MÉTODOS DE CONTROLE MICROBIOLÓGICO	34
5.8.1. Controle Físico e Químico	34
5.8.2. Extratos Naturais Antimicrobianos	34
5.9. MONITORAMENTO E CONTROLE DE PROCESSO.....	35
5.9.1. Parâmetros Analíticos Fundamentais.....	35
5.10. ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS	35
5.11. OTIMIZAÇÃO DO RENDIMENTO FERMENTATIVO.....	36
5.11.1. Suplementação Nutricional.....	36
5.11.2. Sistemas de Fermentação Avançados.....	36
6. MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
6.1. FERMENTAÇÃO E DILUIÇÃO DO MELAÇO (Levedura CA – 11).....	39
6.2. FERMENTAÇÃO COM A LEVEDURA SAF-INSTANT 1X.....	43
6.3. FERMENTAÇÃO COM A LEVEDURA FERMIPAN 1X.....	46
6.4. MEDIÇÃO DO TEOR ALCOÓLICO EM °GL	48
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
8. CONCLUSÃO	53

1. INTRODUÇÃO

A produção de rum está intimamente relacionada à fabricação de açúcar, pois o rum é uma bebida alcoólica obtida a partir do melaço, que é um subproduto gerado durante o processo de produção do açúcar a partir da cana-de-açúcar. Essa ligação entre a produção de açúcar e de rum começou a se consolidar nas colônias açucareiras, sobretudo nas ilhas do Caribe e nas Américas coloniais.

O rum surgiu no século XVII nas plantações de cana-de-açúcar das colônias britânicas no Caribe, onde o melaço, que antes era descartado, passou a ser fermentado e destilado para produzir a bebida alcoólica (WIKIPÉDIA, 2005). O melaço misturado com água fermentava naturalmente devido ao clima quente, permitindo a destilação. Em outras colônias, como as francesas, espanholas e portuguesas, bebidas alcoólicas semelhantes eram produzidas, como a tafiá, aguardente de cana e a cachaça, respectivamente, todas derivadas do caldo ou melaço da cana (WIKIPÉDIA, 2005).

O rum rapidamente se tornou um importante produto comercial nas colônias, sendo usado não só para consumo próprio, mas também como moeda de troca no comércio triangular, sendo trocado por escravizados africanos e outros bens (MUNDO EDUCAÇÃO, 2010). A bebida também foi associada historicamente a marinheiros e piratas, sendo parte integrante do cotidiano da marinha britânica por muitos séculos (BARTENDER STORE, 2024).

No Brasil colonial, a produção açucareira também propiciou a obtenção do melaço que poderia ser utilizado para a produção de bebidas alcoólicas, embora a cachaça, feita diretamente do caldo fresco da cana, seja a bebida mais tradicionalmente associada ao país (SEMANTIC SCHOLAR, 2019). Ambas as produções refletem a importância econômica e sociocultural da cana-de-açúcar nas Américas coloniais.

Assim, a história do rum é diretamente ligada à história do açúcar, representando uma forma de aproveitamento dos subprodutos da cana-de-açúcar e contribuindo para o desenvolvimento econômico e social das colônias açucareiras durante o período colonial.

No Regulamento aprovado pelo DECRETO Nº 6.871, DE 4 DE JUNHO DE 2009. MAPA, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas, a aguardente é definida como a bebida com graduação alcoólica de 35% a 54% em volume (20 °C), obtida do rebaixamento do teor alcoólico do destilado alcoólico simples, ou pela destilação do mosto fermentado.

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho de diferentes cepas de levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) — CA-11, Saf-Instant e Fermipan — no processo de fermentação de melaço de cana-de-açúcar para a produção de rum, e comparar os resultados com estudos prévios focados na produção de cachaça.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar e monitorar parâmetros físico-químicos (pH, Brix e temperatura) do mosto durante o processo fermentativo com cada uma das cepas de levedura.
- Determinar o rendimento de conversão de açúcares em etanol para cada levedura, calculando o percentual de eficiência.
- Comparar os resultados obtidos neste estudo com os dados de fermentação dos trabalhos de Terceiro (2024) e Pereira (2024), identificando similaridades e distinções entre os processos de produção de rum e cachaça.

3. JUSTIFICATIVA

A Paraíba desponta como um estado estratégico para o desenvolvimento da indústria de destilados a partir do melaço de cana-de-açúcar, posicionando-se como o terceiro maior produtor de cana do Nordeste e segundo maior produtor de etanol da região (SINDALCOOL, 2024). Com uma infraestrutura consolidada de sete usinas ativas e uma produção que atingiu 7,43 milhões de toneladas de cana na safra 2022/2023, o estado apresenta condições excepcionais para a diversificação produtiva através da fabricação de rum, aproveitando integralmente os subprodutos gerados pela indústria açucareira local (ASPLAN, 2023). A combinação de matéria-prima abundante, incentivos fiscais atrativos, localização estratégica e crescente demanda internacional por destilados premium cria um cenário altamente favorável para este empreendimento industrial.

Este estudo se justifica pela necessidade de aprofundar o entendimento sobre a influência de diferentes leveduras no processo fermentativo do melaço. A comparação de leveduras amplamente utilizadas — **CA-11**, **Saf-Instant** e **Fermipan** — permitirá identificar qual delas oferece o melhor desempenho em termos de rendimento e características do fermentado, contribuindo com informações valiosas para produtores que buscam aprimorar seus processos. Além disso, ao confrontar os resultados obtidos neste trabalho com os dados dos estudos de Terceiro (2024) e Pereira (2024), que se debruçaram sobre a fermentação da cachaça, o presente estudo preenche uma lacuna metodológica, pois permitirá avaliar as particularidades da fermentação do melaço em contraste com o mosto de caldo de cana, proporcionando uma visão mais completa sobre a biotecnologia da fermentação de derivados da cana-de-açúcar.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO RUM

O rum é uma bebida alcoólica destilada, com uma rica história, originária das ilhas do Caribe no século XVII. Ele é produzido a partir da fermentação e destilação de subprodutos da cana-de-açúcar, como o melaço, ou diretamente do suco da cana-de-açúcar (Guildsomm, 2024). O sabor e a qualidade do rum são influenciados pela matéria-prima, pelo tipo de levedura utilizada, pelo método de destilação e pelo tempo de envelhecimento.

O rum pode ser classificado de diversas formas, dependendo de sua cor, método de produção ou origem. As categorias mais comuns são:

- **Rum Branco (White/Silver Rum):** É o rum mais leve e incolor. Geralmente não é envelhecido ou passa por um breve período de maturação em tanques de aço inoxidável para suavização, sendo posteriormente filtrado para remover a cor (BAR ABERTO, 2023). Possui um perfil de sabor suave e é a base ideal para muitos coquetéis clássicos, como o Mojito e a Piña Colada.
- **Rum Dourado (Gold/Amber Rum):** Adquire sua cor dourada através do envelhecimento em barris de carvalho (geralmente carbonizados) ou pela adição de caramelo. Tem um perfil de sabor mais complexo que o rum branco, com notas de baunilha, caramelo e especiarias (DIAGEO BAR Academy, 2024).
- **Rum Escuro (Dark/Black Rum):** Envelhecido por um período mais longo em barris de carvalho carbonizados, o que lhe confere uma cor escura e um sabor mais forte e robusto. Seus aromas podem incluir melaço, caramelo, especiarias e frutas secas (BAR ABERTO, 2023). É frequentemente utilizado em coquetéis com sabores mais intensos ou consumido puro.
- **Rum Envelhecido/Aromático (Spiced/Aged Rum):** Esta categoria engloba rums que, após a destilação, são infundidos com especiarias, extratos de frutas ou outros aromas. O rum envelhecido, por sua vez, é aquele que passa por um longo período de maturação em barris, desenvolvendo complexidade e notas de madeira, baunilha e frutas.

- **Rum Agrícola (Rhum Agricole):** Uma distinção importante. Enquanto a maioria dos rums é produzida a partir do melaço, o rum agrícola é feito a partir da destilação direta do suco de cana-de-açúcar fresco (GUILDSOMM, 2024). A produção está concentrada em ilhas caribenhas de colonização francesa, como Martinica, e resulta em uma bebida com um perfil de sabor mais "terroso" e herbáceo.

4.2. O MELAÇO COMO MATÉRIA PRIMA PARA A FABRICAÇÃO DO RUM

O melaço é a principal matéria-prima usada atualmente para a fabricação do rum. Ele é um subproduto obtido durante o processo de produção do açúcar de cana-de-açúcar, resultante após a extração do açúcar cristal. O melaço é valorizado por seu baixo custo, estabilidade e alto teor de açúcares, essenciais para o processo fermentativo.

Na fabricação do rum, o melaço é diluído e misturado com água e leveduras (como a *Saccharomyces*), que fermentam os açúcares convertendo-os em álcool. A fermentação pode variar em duração, com fermentação rápida gerando rums brancos e fermentação lenta, que pode durar até 20 dias, produzindo rums mais encorpados e ricos em sabores devido à formação de compostos secundários durante o processo. Após a fermentação, o líquido fermentado é destilado, geralmente em alambiques ou colunas, produzindo um destilado com teor alcoólico concentrado. O rum obtido pode ser consumido jovem ou envelhecido em barris, o que confere coloração e aromas mais complexos.

A escolha do melaço como matéria-prima para o rum está associada ao fato de ser um ingrediente relativamente barato e abundante, principalmente em regiões produtoras de açúcar. Além disso, o melaço apresenta características químicas que favorecem a fermentação e a qualidade do destilado, sendo muito utilizado em escala industrial para produção de rum. Alternativamente, outros tipos de rum, como o rum agrícola, utilizam caldo de cana fresco ou xarope de cana, que conferem perfis de sabor diferentes e geralmente custam mais para produzir.

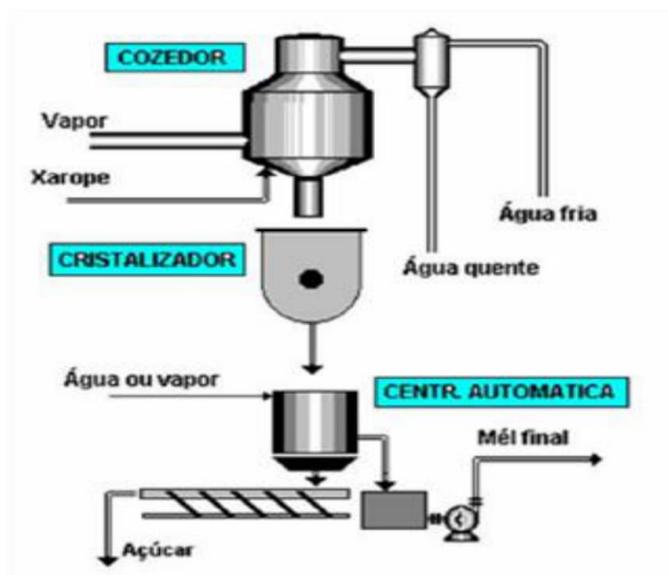
Assim, o melaço é a base tradicional do rum industrial, sendo um recurso eficiente, econômico e eficaz para a produção dessa bebida alcoólica destilada a partir

da cana-de-açúcar (DIAGEO, 1999; SILVA, 2019; WIKIPÉDIA, 2005; BOBENDISTILLERS, 2024).

4.2.1. Como é Gerado o Melaço na Fabricação do Açúcar

O melaço representa um dos principais subprodutos da indústria açucareira, sendo gerado através de um processo complexo que envolve múltiplas etapas de concentração, cristalização e separação durante a fabricação do açúcar de cana (Figura 1). Este subproduto, caracterizado como um líquido viscoso de cor escura, surge como resultado da impossibilidade de cristalização completa da sacarose presente no caldo de cana, permanecendo como solução concentrada após os processos de separação centrífuga (Delgado; César; Silva, 2019).

Figura 1 - Diagrama mostrando a conversão de xarope em açúcar e a geração de melaço por meio dos estágios de cozimento, cristalização e centrifugação na produção de açúcar.



Fonte: Delgado; César; Silva, 2019

4.2.2. Etapas Preliminares para Geração do Melaço

4.2.2.1. Preparação e Tratamento do Caldo de Cana

O processo de geração do melaço inicia-se com a preparação adequada da matéria-prima. Segundo Delgado, César e Silva (2019), após a colheita da cana-de-açúcar, o material passa por etapas de limpeza e moagem, resultando na extração do caldo. Este caldo, com concentração inicial entre 15% e 20% Brix, contém principalmente sacarose, mas também açúcares redutores, sais minerais, compostos nitrogenados e outras impurezas que influenciarão diretamente na qualidade final do melaço (Rein, 2013).

O caldo extraído é submetido a tratamentos de clarificação e filtração, onde impurezas são removidas através de processos químicos e físicos. Conforme destacam Silva, Alcarde e Sakai (2025), estas etapas são fundamentais para a qualidade dos produtos finais, incluindo o melaço, uma vez que as impurezas não removidas permanecerão concentradas no produto final.

4.2.2.2. Evaporação e Concentração

A etapa de evaporação constitui um ponto crucial para a geração do melaço. O caldo clarificado, com aproximadamente 15-18% Brix, é concentrado em evaporadores de múltiplo efeito até atingir cerca de 65-68% Brix, formando o xarope (Canciam, 2016). Durante este processo, cerca de 80% da água presente no caldo é removida por evaporação (Mezaroba et al., 2015), como mostrado na Figura 2

Figura 2 - Unidade de cristalização industrial de aço inoxidável com vácuo e agitação para processamento de açúcar e alimentos



Fonte: Canciam, 2016

4.2.3. Processo de Cristalização e Formação do Melaço

4.2.3.1. Cozimento e Cristalização da Sacarose

O xarope concentrado é então encaminhado aos tachos de cozimento, onde ocorre o processo de cristalização da sacarose. Segundo Francisco (2018), a cristalização é definida como "a mudança de estado do soluto que até então está em solução para um estado cristalino sólido devido ao aumento da concentração do meio". Este processo ocorre sob condições controladas de temperatura, pressão e supersaturação.

Durante o cozimento, a concentração é elevada até o ponto de supersaturação, criando condições favoráveis para a nucleação e crescimento dos cristais de sacarose. A zona metaestável, localizada entre CSS 1,0 e CSS 1,2, representa a faixa operacional ideal onde ocorre o crescimento controlado dos cristais sem formação excessiva de novos núcleos (Francisco, 2018).

4.2.4. Sistemas de Cozimento e Impacto na Geração do Melaço

A indústria açucareira utiliza diferentes sistemas de cozimento que influenciam diretamente na quantidade e qualidade do melaço gerado:

4.2.4.1. **Sistema de Duas Massas:**

No sistema tradicional de duas massas, conforme descrito por Araújo (2018), a massa A gera mel rico (resultado da lavagem do açúcar) e mel pobre, enquanto a massa B produz o mel final ou melaço. Este sistema apresenta recuperação de sacarose na faixa de 76% a 80%, resultando em melaço com concentração entre 44% a 48% de açúcar em peso (PROCKNOR Engenharia, 2015).

4.2.4.2. **Sistema de Três Massas:**

O sistema de três massas permite maior esgotamento da sacarose, reduzindo a concentração de açúcar no mel final para 30% a 33%, e diminuindo a quantidade de melaço gerado em 22% a 28% em peso comparado ao sistema de duas massas (PROCKNOR Engenharia, 2015).

4.2.5. Separação Centrífuga e Geração Final do Melaço

4.2.5.1. Processo de Centrifugação

A separação final dos cristais de sacarose do melaço é realizada através de centrifugação. Conforme Silva, Alcarde e Sakai (2025), "a separação dos cristais de sacarose do mel é feita por meio de centrifugação, no qual são obtidos dois produtos: o açúcar e o melaço". A centrífuga (Figura 4) operam com velocidades entre 1.200 e 1.500 rpm, utilizando a força centrífuga para separar os cristais de açúcar do licor-mãe viscoso.

Este processo, também conhecido como turbinagem, pode ser conduzido em centrífugas de fluxo intermitente para massas cozidas de primeira, ou centrífugas de fluxo contínuo para massas cozidas de segunda e terceira (Silva; Alcarde; Sakai, 2025).

Figura 3 - Centrífuga industrial de açúcar usada para separar cristais de açúcar do melaço durante a produção de açúcar.



Fonte: Silva; Alcarde; Sakai, 2025

4.2.7. Características Físico-Químicas do Melaço Final

O melaço resultante apresenta características específicas que refletem o processo de fabricação. Segundo dados técnicos apresentados pela Mellaço de Cana (2023), o melaço típico apresenta:

- **Brix:** 82%
- **Açúcares Redutores Totais (ART):** 59,68%
- **Sacarose:** 39,9%
- **Pureza:** 43,4%
- **pH:** 5,7
- **Umidade:** 19,34%

A composição mineral também é significativa, com elevados teores de potássio (25.570 mg/kg), cálcio (11.455 mg/kg) e magnésio (4.150 mg/kg), características que conferem valor nutricional ao produto para uso na alimentação animal e como matéria-prima para fermentação alcoólica (Mellaço de Cana, 2023).

4.2.8. Fatores que Influenciam a Geração do Melaço

4.2.8.1. Qualidade da Matéria-Prima

A qualidade da cana-de-açúcar influencia diretamente na geração do melaço. Fatores como maturação, variedade da cana, condições climáticas, tipo de solo e práticas de manejo afetam a composição do caldo e, conseqüentemente, as características do melaço final (Machado, 2012).

4.2.8.2. Parâmetros Operacionais

Os parâmetros de processo, incluindo temperatura, pressão, tempo de retenção e grau de supersaturação durante o cozimento, determinam a eficiência da cristalização e, portanto, a quantidade de sacarose que permanece no melaço. O controle inadequado destes parâmetros pode resultar em maior geração de melaço com maior teor de sacarose recuperável (Rein, 2013).

4.2.8.3. Esgotamento do Processo

O grau de esgotamento do processo, definido pela pureza do melaço final, é um indicador da eficiência na recuperação da sacarose. Méis finais com pureza entre 35% a 40% indicam processo bem esgotado, enquanto purezas superiores sugerem potencial para maior recuperação de açúcar (PROCKNOR Engenharia, 2015).

4.2.9. Destinação e Aplicações do Melaço

O melaço gerado na fabricação do açúcar possui múltiplas aplicações industriais e comerciais. Segundo Silva, Alcarde e Sakai (2025), "o melaço é enviado para a fabricação de álcool", constituindo-se na principal matéria-prima para produção de etanol de primeira geração nas destilarias anexas às usinas de açúcar.

Outras aplicações incluem sua utilização na alimentação animal como suplemento energético, na fabricação de fermento biológico, como matéria-prima para produção de ácido cítrico e outros produtos biotecnológicos, e na agricultura como melhorador de solo e atrativo para controle biológico (Mellaço de Cana, 2023).

5. FERMENTAÇÃO

5.1. FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA PARA PRODUÇÃO DE RUM A PARTIR DO MELAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

A fermentação alcoólica representa uma das etapas mais críticas na produção de rum, sendo um processo biotecnológico complexo que envolve a conversão de açúcares fermentescíveis presentes no melaço de cana-de-açúcar em etanol e dióxido de carbono. Este processo, mediado principalmente pela levedura *Saccharomyces cerevisiae*, não apenas produz o álcool que constitui a base da bebida destilada, mas também é responsável pela formação de compostos secundários que conferem características organolépticas específicas ao produto final (BRASIL, 2023). O melaço, como subproduto da indústria açucareira, apresenta-se como matéria-prima economicamente vantajosa e amplamente disponível, contendo cerca de 60-65% de açúcares redutores totais, o que o torna ideal para processos fermentativos (MELLAÇO DE CANA, 2022).

5.2. CARACTERÍSTICAS E COMPOSIÇÃO DO MELAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

O melaço de cana-de-açúcar constitui o subproduto final do processo de fabricação do açúcar cristal, representando os açúcares não cristalizáveis que permanecem após os sucessivos processos de concentração e centrifugação (MELLAÇO DE CANA, 2022). Este material apresenta uma composição complexa e rica em nutrientes, caracterizada por elevado teor de açúcares fermentescíveis, principalmente sacarose, glicose e frutose, além de significativas concentrações de sais minerais como potássio, cálcio, ferro, magnésio e fósforo (MELLAÇO DE CANA, 2022).

A concentração típica de açúcares redutores totais (ART) no melaço varia entre 50-65%, sendo que esta alta concentração de substrato fermentescível torna necessária sua diluição antes da utilização nos processos fermentativos (MORAES et al., 2023). A pureza do melaço, definida como a relação entre sacarose e sólidos solúveis totais, apresenta valores médios em torno de 53,43%, significativamente inferior à pureza do caldo de cana (85,2%), devido à concentração de impurezas e compostos não açucarados durante o processamento (MORAES et al., 2023).

Além dos açúcares, o melaço contém compostos nitrogenados orgânicos e inorgânicos, vitaminas do complexo B, aminoácidos essenciais e oligoelementos que servem como nutrientes para o crescimento das leveduras durante a fermentação (OLIVEIRA et al., 2009). A presença natural de dióxido de enxofre (SO_2), remanescente do processo de sulfitação utilizado na purificação do caldo durante a fabricação do açúcar, confere ao melaço propriedades antimicrobianas que auxiliam no controle de contaminações bacterianas durante a fermentação (SILVA et al., 2019).

5.3. PREPARAÇÃO DO MOSTO FERMENTATIVO

A preparação adequada do mosto constitui etapa fundamental para o sucesso do processo fermentativo, envolvendo a diluição controlada do melaço em água potável até concentrações específicas de açúcares redutores totais. Para a produção de rum, recomenda-se a diluição do melaço para concentrações entre 15-20% de ART, valor que proporciona condições ideais para o metabolismo das leveduras sem causar estresse osmótico excessivo (ACQUA NATIVA, 2025).

O ajuste do pH do mosto representa parâmetro crítico de controle, devendo ser mantido na faixa entre 4,5 e 5,0 para favorecer o desenvolvimento das leveduras e inibir o crescimento de bactérias contaminantes (ACQUA NATIVA, 2025). Valores de pH fora desta faixa podem resultar em perdas de nutrientes essenciais como potássio e nitrogênio, aumentando a sensibilidade das leveduras ao etanol e comprometendo o rendimento fermentativo (AMARAL, 2009).

A clarificação do melaço pode ser realizada mediante tratamento térmico e decantação, utilizando-se acidulantes como ácido sulfúrico ou fosfórico para remover impurezas e melhorar a qualidade do substrato fermentativo (MORAIS, 2013). Este processo, quando conduzido adequadamente, pode elevar significativamente a remoção de compostos que poderiam interferir negativamente na fermentação ou afetar a qualidade organoléptica do produto final.

5.4. MICRORGANISMOS NA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA

5.4.1. Leveduras Fermentativas

A *Saccharomyces cerevisiae* representa o microrganismo principal e desejado nos processos de fermentação alcoólica para produção de rum, sendo reconhecida por suas características favoráveis como velocidade de fermentação, tolerância ao etanol, elevado rendimento em álcool e estabilidade genética (EMBRAPA, 2025). Esta levedura possui a capacidade de converter eficientemente os açúcares presentes no mosto em etanol e dióxido de carbono através da via glicolítica, seguindo a equação bioquímica fundamental: $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 C_2H_5OH + 2 CO_2$ (EMBRAPA, 2025).

As linhagens industriais de *S. cerevisiae* utilizadas na produção de bebidas destiladas apresentam características específicas que as tornam adequadas para este processo, incluindo tolerância a concentrações alcoólicas de até 12-15% v/v, resistência a variações de pH e temperatura, e capacidade de produzir compostos aromáticos desejáveis (PRADO-FILHO et al., 1993). Durante o processo fermentativo, estas leveduras devem manter viabilidade celular superior a 90% para garantir eficiência adequada na conversão dos açúcares (COELHO et al., 2021).

A inoculação do mosto é tradicionalmente realizada com concentrações de fermento entre 8-10% (p/p), utilizando-se o sistema de reciclo celular onde as leveduras são recuperadas ao final de cada ciclo fermentativo através de centrifugação e reutilizadas em fermentações subsequentes (MORAIS, 2013). Este sistema permite a manutenção de altas densidades celulares e reduz os custos operacionais do processo.

5.4.2. Microrganismos Contaminantes

A contaminação bacteriana representa um dos principais desafios na fermentação alcoólica industrial, sendo responsável por significativas perdas de rendimento e qualidade do produto final. Os principais gêneros bacterianos contaminantes incluem *Lactobacillus*, *Acetobacter*, *Bacillus*, *Leuconostoc* e *Streptococcus*, cada um apresentando características específicas de crescimento e produtos metabólicos que interferem negativamente no processo (COELHO et al., 2021) como na Figura 4

As bactérias lácticas, principalmente do gênero *Lactobacillus*, constituem os contaminantes mais frequentes em fermentações de melaço, produzindo ácido láctico como principal produto metabólico (OLIVEIRA et al., 2020). A presença de ácido láctico no meio fermentativo exerce efeito tóxico sobre as leveduras, inibindo seu crescimento e metabolismo através da redução do pH intracelular e do consequente gasto energético para manutenção da homeostase celular (OLIVEIRA et al., 2020).

O fenômeno da floculação, frequentemente observado em fermentações contaminadas, resulta da interação entre lactobacilos e leveduras, sendo potencializado por altas concentrações de cálcio no mosto (COELHO et al., 2021). Este processo provoca a precipitação da biomassa microbiana, dificultando a separação das leveduras por centrifugação e comprometendo o sistema de reciclo celular.

As bactérias acéticas do gênero *Acetobacter* representam contaminantes particularmente problemáticos em processos com exposição ao oxigênio, uma vez que convertem o etanol produzido em ácido acético, reduzindo diretamente o rendimento alcoólico e conferindo características organolépticas indesejáveis ao produto (WIKIPÉDIA, 2007).

Figura 4 – Resumo Microrganismos Contaminantes

Microrganismo	Tipo	Produto Principal	Condições Favoráveis	Efeitos Negativos
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Levedura (desejada)	Etanol e CO ₂	pH 4,5-5,0; 30-34°C; Anaeróbiose	Nenhum (microrganismo desejado)
<i>Lactobacillus fermentum</i>	Bactéria contaminante	Ácido láctico	pH baixo; 35-45°C; Anaerobiose parcial	Floculação, redução da viabilidade das leveduras
<i>Lactobacillus casei</i>	Bactéria contaminante	Ácido láctico	pH neutro; 30-37°C; Anaerobiose	Competição por açúcares, produção de toxinas
<i>Acetobacter aceti</i>	Bactéria contaminante	Ácido acético	Presença de O ₂ ; pH neutro; 25-30°C	Oxidação do etanol, formação de vinagre
<i>Bacillus subtilis</i>	Bactéria contaminante	Ácidos orgânicos	pH neutro/alcalino; 30-35°C	Consumo de açúcares, alteração do pH
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	Bactéria contaminante	Ácido láctico e manitol	pH neutro/alcalino; 30-35°C	Formação de gomas (dextranos), viscosidade

Fonte: COELHO et al., 2021

5.5. Condições Operacionais da Fermentação

5.5.1. Controle de Temperatura

A temperatura constitui parâmetro fundamental para o controle da fermentação alcoólica, influenciando diretamente a velocidade das reações enzimáticas, o crescimento microbiano e a formação de compostos secundários. Para a produção de rum, a faixa ideal de temperatura situa-se entre 30-34°C, condições que favorecem a atividade metabólica das leveduras enquanto desfavorecem o crescimento da maioria dos microrganismos contaminantes (ACQUA NATIVA, 2025).

Temperaturas superiores a 35°C podem causar estresse térmico nas leveduras, reduzindo sua viabilidade e eficiência fermentativa, além de favorecer o crescimento de bactérias termotolerantes (COELHO et al., 2021). Por outro lado, temperaturas inferiores a 28°C resultam em fermentações excessivamente lentas, aumentando o risco de contaminação devido ao tempo prolongado de processo.

O controle adequado da temperatura durante a fermentação também influencia significativamente a formação de compostos aromáticos, especialmente ésteres e álcoois superiores, que contribuem para o perfil sensorial característico do rum (PRADO-FILHO et al., 1993). Fermentações conduzidas em temperaturas mais elevadas tendem a produzir maiores concentrações destes compostos, enquanto

temperaturas mais baixas favorecem a formação de produtos com características mais neutras.

5.5.2. Gestão do pH

O pH do meio fermentativo exerce influência determinante sobre a atividade das leveduras e o controle microbiológico do processo. O valor inicial ideal situa-se entre 4,5 e 5,0, faixa que proporciona condições ótimas para o crescimento das leveduras enquanto inibe o desenvolvimento da maioria das bactérias contaminantes (EMBRAPA, 2025).

Durante o processo fermentativo, observa-se naturalmente uma redução gradual do pH devido à produção de ácidos orgânicos pelas leveduras e eventuais contaminantes, devendo o pH final situar-se entre 3,5 e 4,0 em fermentações bem conduzidas (AMARAL, 2009). Desvios significativos destes valores podem indicar problemas de contaminação bacteriana ou desequilíbrios nutricionais no mosto.

A manutenção do pH dentro dos limites adequados pode requerer ajustes periódicos com ácidos autorizados, sendo o ácido sulfúrico amplamente utilizado na indústria devido às suas propriedades antimicrobianas adicionais e baixo custo operacional (MORAIS, 2013).

5.5.3. Controle do Tempo de Fermentação

O tempo de fermentação para produção de rum varia tipicamente entre 8 e 24 horas, dependendo das condições operacionais, concentração de açúcares no mosto e densidade de inoculação (MELLAÇO DE CANA, 2022). Fermentações industriais bem conduzidas, utilizando sistemas de alta densidade celular e reciclo de leveduras, podem ser completadas em períodos mais curtos, aumentando a produtividade e reduzindo os riscos de contaminação.

A determinação do término da fermentação baseia-se no monitoramento de parâmetros como concentração de açúcares redutores residuais (que deve aproximar-se de zero), estabilização da produção de CO₂ e atingimento do teor alcoólico desejado, geralmente entre 8-12% v/v (VILELA, 2005). Fermentações prolongadas além do necessário favorecem o crescimento de microrganismos contaminantes e

podem resultar na formação de compostos indesejáveis. Um resumo do controle de temperatura é mostrado na Figura 5

Figura 5 – Resumo Controle do Tempo de Fermentação

Parâmetro	Valor Ideal	Efeito se fora da faixa
Temperatura	30-34°C	Redução da atividade das leveduras, favorecimento de bactérias
pH inicial	4,5-5,0	Perda de nutrientes, crescimento de bactérias contaminantes
pH final	3,5-4,0	Indica problemas de contaminação bacteriana
Concentração de ART	15-20%	Baixa: menor produtividade; Alta: estresse osmótico
Tempo de fermentação	8-24 horas	Muito longo favorece contaminação
Concentração de leveduras	10% (p/p)	Baixa: fermentação lenta; Alta: competição por nutrientes
Teor alcoólico final	8-12% (v/v)	Indica eficiência do processo
Viabilidade celular	>90%	Perda de capacidade fermentativa
Rendimento esperado	>90%	Perdas econômicas significativas

Fonte: VILELA, 2005

5.7. FORMAÇÃO DE COMPOSTOS SECUNDÁRIOS

5.7.1. Ésteres e Compostos Aromáticos

Durante a fermentação alcoólica, além da produção principal de etanol e dióxido de carbono, as leveduras sintetizam diversos compostos secundários que exercem papel fundamental na definição das características organolépticas do rum. Os ésteres representam uma classe particularmente importante destes compostos, sendo formados através de reações entre ácidos orgânicos e álcoois catalisadas por enzimas das leveduras (DIAGEO BAR ACADEMY, 2025).

Os ésteres são compostos orgânicos caracterizados pela presença do grupo funcional R-COO-R', resultantes da esterificação entre ácidos carboxílicos e álcoois (WIKIPÉDIA, 2003). No contexto da fermentação de rum, estes compostos conferem notas frutadas, florais e picantes que adicionam complexidade e profundidade ao perfil aromático da bebida (DIAGEO BAR ACADEMY, 2025).

A formação de ésteres é influenciada por diversos fatores, incluindo a linhagem de levedura utilizada, temperatura de fermentação, concentração de açúcares no mosto e duração do processo fermentativo. Fermentações conduzidas em temperaturas mais elevadas e com maior duração tendem a produzir concentrações mais altas destes compostos aromáticos (DIAGEO BAR ACADEMY, 2025).

5.7.2. Álcoois Superiores

Os álcoois superiores representam outra classe importante de compostos secundários formados durante a fermentação, incluindo principalmente o álcool n-propílico, isobutílico e isoamílico. A produção destes compostos pelas leveduras varia significativamente entre diferentes linhagens e condições de fermentação (PRADO-FILHO et al., 1993).

Estudos demonstram que a linhagem *Saccharomyces uvarum* IZ-1904 apresenta menor formação de álcoois superiores em comparação com *S. cerevisiae* M-300-A em diversas condições de temperatura, concentração de sacarose e pH, representando vantagem para a produção de bebidas com perfil sensorial mais neutro (PRADO-FILHO et al., 1993).

A formação excessiva de álcoois superiores pode ser controlada através do uso de inibidores específicos como o benzoato de sódio, que demonstrou capacidade de reduzir significativamente os teores destes compostos sem afetar negativamente a viabilidade celular das leveduras (SCIELO, 1991).

5.8. MÉTODOS DE CONTROLE MICROBIOLÓGICO

5.8.1. Controle Físico e Químico

O controle microbiológico na fermentação alcoólica envolve múltiplas estratégias integradas, incluindo métodos físicos, químicos e biológicos. Entre os métodos físicos, destaca-se a assepsia rigorosa de equipamentos, especialmente dornas de fermentação e trocadores de calor, realizada com água condensada a temperaturas entre 90-100°C por períodos de 5-10 minutos (COELHO et al., 2021).

O controle químico baseia-se principalmente na utilização de agentes antimicrobianos como dióxido de cloro, antibióticos específicos e ácidos autorizados. O dióxido de cloro demonstrou eficiência próxima a 90% na eliminação de bactérias contaminantes quando utilizado em concentrações adequadas, apresentando ação rápida e amplo espectro antimicrobiano (COELHO et al., 2021).

A utilização de antibióticos como a monensina sódica e o ácido nalidíxico tem demonstrado elevada eficiência, com taxas de eliminação bacteriana superiores a 90%, sendo particularmente efetivos contra lactobacilos e bacilos (COELHO et al., 2021). No entanto, o uso destes compostos deve ser criteriosamente avaliado considerando aspectos regulamentários e de segurança alimentar.

5.8.2. Extratos Naturais Antimicrobianos

O desenvolvimento de métodos alternativos de controle microbiológico tem direcionado a pesquisa para extratos naturais com propriedades antimicrobianas. O extrato de lúpulo (*Humulus lupulus*) emergiu como alternativa promissora, demonstrando eficiência superior a 95% na eliminação de bactérias contaminantes em concentrações de 20 ppm (COELHO et al., 2021).

O extrato de própolis também apresentou resultados satisfatórios, atingindo índices de eliminação bacteriana acima de 95% quando utilizado em concentrações

apropriadas. Estes produtos naturais oferecem vantagens como menor impacto ambiental, ausência de resíduos químicos no produto final e aceitação regulamentária mais favorável (COELHO et al., 2021).

A efetividade destes extratos naturais está relacionada à presença de compostos bioativos como flavonoides, ácidos fenólicos e terpenos, que exercem ação antimicrobiana através de múltiplos mecanismos, incluindo danos à membrana celular bacteriana e inibição de sistemas enzimáticos essenciais.

5.9. MONITORAMENTO E CONTROLE DE PROCESSO

5.9.1. Parâmetros Analíticos Fundamentais

O monitoramento adequado da fermentação alcoólica requer o acompanhamento sistemático de diversos parâmetros analíticos que permitem avaliar o progresso do processo e detectar precocemente eventuais problemas. A concentração de açúcares redutores totais constitui o principal indicador do progresso fermentativo, devendo ser monitorada regularmente através de métodos analíticos confiáveis como a técnica do DNS (EMBRAPA, 2025).

O teor alcoólico representa outro parâmetro fundamental, sendo determinado através de métodos densimétricos ou cromatográficos, devendo atingir valores entre 8-12% v/v em fermentações bem conduzidas. A evolução deste parâmetro permite avaliar a eficiência da conversão de açúcares em etanol e detectar eventuais problemas de rendimento (ACQUA NATIVA, 2025).

A quantificação do ácido láctico através de métodos enzimáticos específicos, como o sistema Accutrend Lactate®, permite detectar precocemente contaminações bacterianas, uma vez que concentrações superiores a 6 g/L indicam problemas significativos de contaminação que podem comprometer seriamente o rendimento fermentativo (OLIVEIRA et al., 2020).

5.10. ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

O monitoramento microbiológico deve incluir a determinação da viabilidade celular das leveduras, contagem de bactérias contaminantes e identificação dos principais gêneros presentes. A viabilidade celular das leveduras deve ser mantida

acima de 90% para garantir eficiência fermentativa adequada, sendo determinada através de métodos de coloração diferencial ou citometria de fluxo (PRADO-FILHO et al., 1993).

A contagem de bactérias contaminantes deve ser realizada em meios seletivos específicos, sendo que concentrações superiores a 10^6 UFC/mL indicam necessidade de intervenção imediata com agentes antimicrobianos. A identificação dos gêneros bacterianos presentes permite a seleção do método de controle mais adequado e eficaz (COELHO et al., 2021).

5.11. OTIMIZAÇÃO DO RENDIMENTO FERMENTATIVO

5.11.1. Suplementação Nutricional

A suplementação do mosto com fontes de nitrogênio, fósforo e micronutrientes pode contribuir significativamente para a melhoria do rendimento fermentativo e manutenção da viabilidade celular das leveduras. Estudos demonstram que a adição de aminoácidos específicos, como a histidina, favorece o crescimento e a tolerância das leveduras em condições de estresse etanólico e osmótico (SILVA et al., 2019).

A suplementação com 200 mg/L de nitrogênio aminoacídico proveniente de aminoácidos pode favorecer ou prejudicar o crescimento das leveduras dependendo da composição específica e das condições do processo, sendo necessária a otimização individualizada para cada sistema fermentativo (SILVA et al., 2019).

A adição de vitaminas do complexo B, especialmente tiamina e biotina, pode melhorar significativamente a performance fermentativa das leveduras, especialmente em mostos com deficiências nutricionais naturais (MORAIS, 2013).

5.11.2. Sistemas de Fermentação Avançados

O desenvolvimento de sistemas fermentativos de alta eficiência inclui tecnologias como fermentação em batelada alimentada, sistemas contínuos e reatores com células imobilizadas. A fermentação descontínua alimentada permite melhor controle da concentração de substrato, evitando inibições por excesso de açúcar e mantendo condições ótimas para o crescimento das leveduras (USP, 2025).

Sistemas de fermentação contínua oferecem vantagens como maior produtividade volumétrica, melhor controle de processo e redução dos custos operacionais, sendo particularmente adequados para produções de grande escala com demanda constante (COELHO et al., 2021).

A utilização de leveduras imobilizadas em suportes inertes permite a manutenção de altas densidades celulares no reator, reduzindo o tempo de fermentação e facilitando a separação do produto final (SEMANTIC SCHOLAR, 2001).

A fermentação alcoólica para produção de rum a partir do melaço de cana-de-açúcar representa um processo biotecnológico complexo que requer controle rigoroso de múltiplos parâmetros operacionais. O sucesso do processo depende fundamentalmente da manutenção de condições adequadas de temperatura (30-34°C), pH (4,5-5,0), concentração de açúcares (15-20% ART) e controle efetivo de contaminações microbianas. A *Saccharomyces cerevisiae* permanece como o microrganismo de escolha para este processo, sendo capaz de converter eficientemente os açúcares do melaço em etanol e compostos aromáticos desejáveis, desde que mantidas condições operacionais apropriadas. O controle microbiológico emerge como aspecto crítico, uma vez que contaminações bacterianas, especialmente por lactobacilos, podem resultar em perdas significativas de rendimento e qualidade do produto final. A implementação de estratégias integradas de controle, incluindo métodos físicos, químicos e biológicos, juntamente com o monitoramento sistemático de parâmetros analíticos fundamentais, constitui abordagem essencial para a otimização do processo fermentativo e obtenção de produtos de alta qualidade.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas leveduras de três fabricantes distintos para a comparação do processo de fermentação alcoólica: *Saccharomyces cerevisiae* (LNF CA-11), de origem nacional; Fermipan Red, de fabricação chinesa; e Saf-Instant, produzida na França. O caldo foi submetido a aquecimento e aeração com o objetivo de otimizar as condições para o desenvolvimento da fermentação. As análises foram desenvolvidas nos laboratórios de Tecnologia em produção Sucroalcooleira e no de Operações Unitárias, situados no Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional (CTDR), que fazem parte da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

Para realização das etapas, foram adotadas as técnicas metodológicas necessárias que fazem parte do processo da produção de cachaça, realizando as análises de determinação do índice de sólidos solúveis (°Brix) e correção do mesmo, pH, aeração do mosto fermentado, medição do teor alcoólico e monitoramento da temperatura das dornas

Os processos e análises foram realizados nos laboratórios de Operações Unitárias e de Tecnologia Sucroalcooleira do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional (CTDR), que faz parte da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

A fermentação do melaço para produção de rum foi decorrida em 5 dias. Durante esse período, foram analisados o pH, teor alcoólico, temperatura das dornas e o índice de sólidos solúveis (°Brix).

6.1. FERMENTAÇÃO E DILUIÇÃO DO MELAÇO (Levedura CA – 11)

O processo fermentativo foi conduzido ao longo de cinco dias. No primeiro dia, realizou-se a pesagem do melaço, seguida pela separação de 10 gramas dele, que foram diluídas em aproximadamente 2000 miligramas de água destilada. Após a diluição, foi possível observar o caldo resultante, cujo grau °Brix inicial foi de 6,2. Em seguida, foram pesadas cerca de 10 gramas da levedura CA-11, conforme ilustrado nas Figuras 7 e 8.

Figura 6 - Determinação do Brix do melaço.



Fonte: Autor (2025)

Figura 7 - Pesagem e diluição do melação.



Fonte: Autor (2025)

Após a pesagem da levedura, foram aquecidos aproximadamente 500 mL de água até 60 °C, sendo posteriormente resfriados até atingir 35 °C, temperatura ideal para a adição da levedura. Antes da introdução do melação diluído nas dornas, estas foram devidamente esterilizadas com água sanitária. Enquanto as dornas secavam, o melação foi aquecido até cerca de 40 °C. Em seguida, o caldo aquecido foi transferido para as dornas de fermentação, conforme ilustrado nas Figuras 9 e 10.

Figura 8 – Fermentação com a levedura CA11 a BRIX inicial 6,2



Fonte: Autor (2025)

Figura 9 - dorna dia 1 levedura CA11 e BRIX final



Fonte: Autor (2025)

No segundo dia de fermentação, foi realizada a medição do °Brix e retirada uma amostra de aproximadamente 100 mL do caldo do Dia 1, que foi acondicionada em uma garrafa PET. Todo o líquido fermentado das dornas foi transferido para uma bombona e armazenado no freezer. Ainda nesse dia, foi novamente medido o °Brix do caldo atual. Para ajustar o °Brix para 9, foram utilizados cerca de 1500 mL de água para uma nova diluição. O pH do caldo diluído foi aferido, e o líquido foi aquecido até atingir 40 °C antes de ser reintroduzido na dorna de fermentação, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 10 – Fermentação CA11 BRIX 8,9 e dorna dia 2 levedura CA11



Fonte: Autor (2025)

No terceiro dia de fermentação foram utilizados os mesmos procedimentos descritos anteriormente, porém diluindo o °Brix para 12 (Figura 11).

Figura 11 – Fermentação CA11 BRIX 12,2 e dorna dia 3 levedura CA11



Fonte: Autor (2025)

No quarto dia de fermentação, seguindo todos o processo descrito, só que diluindo o °Brix o caldo para 15, como ilustrado na Figura 12.

Figura 12 – Fermentação CA11 BRIX 15,6 e dorna dia 3 levedura CA11



Fonte: Autor (2025)

6.2. FERMENTAÇÃO COM A LEVEDURA SAF-INSTANT 1X

Para levedura Saf-Instant, foram seguidos os mesmos procedimentos realizados com a levedura CA-11 como ilustrado nas Figuras 14-17.

Figura 13 – Fermentação SAF-INSTANT BRIX 6,2, dorna dia 1 e BRIX final



Fonte: Autor (2025)

Figura 14 – Fermentação SAF-INSTANT BRUX 8,9, dorna dia 2



Figura 15 – Fermentação SAF-INSTANT BRUX 12,2, dorna dia 3



Fonte: Autor (2025)

Figura 16 – Fermentação SAF-INSTANT BRIX 15,6, dorna dia 3



Fonte: Autor (2025)

6.3. FERMENTAÇÃO COM A LEVEDURA FERMIPAN 1X

Para levedura Fermipan, foram seguidos os mesmos procedimentos realizados com as leveduras CA-11 e SAF-INSTANT, como ilustrado nas Figuras 18-21.

Figura 17 – Fermentação FERMIPAN BRIX 6,2, dorna dia 1



Fonte: Autor (2025)

Figura 18 – Fermentação FERMIPAN BRIX 8,9, dorna dia 2



Fonte: Autor (2025)

Figura 19 – Fermentação FERMIPAN BRIX 12,2, dorna dia 3



Fonte: Autor (2025)

Figura 20 – Fermentação FERMIPAN BRIX 15,3, dorna dia 4



Fonte: Autor (2025)

6.4. MEDIÇÃO DO TEOR ALCOÓLICO EM °GL

Procedimento:

- Coletar aproximadamente 100 mL do vinho fermentado em uma proveta;
- Mergulhar o alcoômetro dentro da proveta contendo o vinho fermentado;
- Anotar o teor alcoólico e a temperatura.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho foram comparados com os obtidos por Terceiro (2024) e Pereira (2024), que usaram as mesmas leveduras (CA-11, Fermipan, Saf Instant), porém caldo de cana diluído como meio de fermentação.

Tabela 1 - Dados obtidos de Brix, pH e °GL durante a fermentação, a BRIX 6.

B R I X 6	Ordem	Quantidade	Levedura	M. Prima	Inicial	Final	Variação	pH	G.L.	Variação G.L. CA11	Variação G.L. FERMIPAN	Variação G.L. SAF INSTANT
	1	1X	CA11	C. Cana	6,0	1,6	0,0%	2,53	2,9	0,0%	0,0%	3,6%
1	3X	CA11	C. Cana	6,0	1,8	12,5%	2,73	2,9	0,0%	0,0%	3,6%	
1	2X	CA11	C. Cana	6,0	1,7	6,3%	2,66	2,9	0,0%	0,0%	3,6%	
1	1X	CA11 CTDR	C. Cana	6,0	1,6	0,0%	2,30	2,9	0,0%	0,0%	3,6%	
1	1X	FERMIPAN	C. Cana	6,0	1,0	-37,5%	2,65	2,9	0,0%	0,0%	3,6%	
1	2X	FERMIPAN	C. Cana	6,0	1,1	-31,3%	2,83	2,9	0,0%	0,0%	3,6%	
1	3X	SAF INSTANT	C. Cana	6,0	1,1	-31,3%	2,95	2,9	0,0%	0,0%	3,6%	
8	1X	SAF INSTANT	C. Cana	6,0	1,3	-18,8%	2,74	2,8	-3,4%	-3,4%	0,0%	
9	1X	FERMIPAN	Melaço	6,2	2,0	25,0%	4,93	2,4	-17,2%	-17,2%	-14,3%	
9	1X	SAF INSTANT	Melaço	6,2	2,2	37,5%	4,93	2,4	-17,2%	-17,2%	-14,3%	
11	1X	CA11	Melaço	6,2	1,9	18,8%	4,93	1,3	-55,2%	-55,2%	-53,6%	

Fonte: AUTOR, 2025, TERCEIRO, 2024 e PEREIRA, 2024.

Na Tabela 1, observa-se que as três leveduras (CA-11, Saf-instant e Fermipan) apresentaram valores iniciais próximos (6,2 °Brix) e redução consistente até os valores finais, variando entre 1,9 e 2,2 °Brix. O pH manteve-se estável em 4,93 para todas as amostras, indicando condições adequadas de fermentação e ausência de oscilações indesejadas de acidez. Esses resultados estão em consonância com os trabalhos de Terceiro (2024) e Pereira (2024). No primeiro dia de fermentação, ambos autores verificaram comportamento semelhante: a graduação alcoólica inicial ficou em torno de 2,9 °GL, independentemente da levedura utilizada, demonstrando que nesta etapa as diferenças entre elas ainda não eram expressivas.

Apesar disso, tanto Terceiro (2024) quanto Pereira (2024) destacam que, nos dias seguintes, as leveduras Fermipan e Saf-instant apresentaram melhor rendimento alcoólico em comparação à CA-11, além de maior viabilidade econômica. Dessa forma, os dados obtidos neste trabalho para meio com Brix inicial 6 reforçam que, no início da fermentação, as leveduras testadas apresentam desempenhos semelhantes. As diferenças de rendimento entre CA-11, Saf-instant e Fermipan tendem a se evidenciar apenas nas etapas subsequentes da fermentação.

Tabela 2 - Dados obtidos de Brix, pH e °GL durante a fermentação, a BRIX inicial 9.

B R I X 9	Ordem	Quantidade	Levedura	M. Prima	Inicial	Final	Variação	pH	G.L.	Variação G.L. CA11	Variação G.L. FERMIPAN	Variação G.L. SAF INSTANT
	1	1X	FERMIPAN	C. Cana	9,0	1,7	-26,1%	3,14	4,0	8,1%	0,0%	0,0%
	1	2X	FERMIPAN	C. Cana	9,0	1,5	-34,8%	3,25	4,0	8,1%	0,0%	0,0%
	1	1X	SAF INSTANT	C. Cana	9,0	1,5	-34,8%	3,17	4,0	8,1%	0,0%	0,0%
	4	3X	CA11	C. Cana	9,0	2,0	-13,0%	3,17	3,9	5,4%	-2,5%	-2,5%
	4	2X	CA11	C. Cana	9,0	2,1	-8,7%	3,14	3,9	5,4%	-2,5%	-2,5%
	4	3X	SAF INSTANT	C. Cana	9,0	1,5	-34,8%	3,34	3,9	5,4%	-2,5%	-2,5%
	7	1X	CA11	C. Cana	9,0	2,3	0,0%	3,13	3,7	0,0%	-7,5%	-7,5%
	8	1X	CA11 CTDR	C. Cana	9,0	2,3	0,0%	2,86	3,4	-8,1%	-15,0%	-15,0%
	9	1X	CA11	Melaço	9,1	3,1	34,8%	4,89	3,1	-16,2%	-22,5%	-22,5%
	9	1X	FERMIPAN	Melaço	9,1	3,0	30,4%	4,89	3,1	-16,2%	-22,5%	-22,5%
	11	1X	SAF INSTANT	Melaço	9,1	3,2	39,1%	4,89	2,3	-37,8%	-42,5%	-42,5%

Fonte: AUTOR, 2025, TERCEIRO, 2024 e PEREIRA, 2024.

Na Tabela 2, observa-se que os valores iniciais foram de 9,1 °Brix para todas as leveduras, reduzindo-se até valores finais entre 3,0 e 3,2 °Brix. O pH manteve-se constante em 4,89, sem variações significativas entre os tratamentos. Esses dados demonstram que todas as leveduras foram capazes de manter o processo fermentativo em condições adequadas, com redução expressiva dos sólidos solúveis.

Resultados semelhantes foram relatados por Terceiro (2024), que no segundo dia de fermentação observou maior rendimento alcoólico com a levedura Fermipan em comparação à CA-11. Da mesma forma, Pereira (2024) verificou que, nesta mesma fase, a Saf-instant apresentou melhor desempenho, superando a CA-11 em termos de rendimento alcoólico.

Assim, os resultados obtidos para o Brix 9 confirmam a tendência já destacada na literatura: apesar de a levedura CA-11 manter bom desempenho, as leveduras de panificação (Saf-instant e Fermipan) se mostram mais eficientes e economicamente viáveis a partir das etapas intermediárias da fermentação.

Tabela 3 - Dados obtidos de Brix, pH e °GL durante a fermentação, a BRIX 12.

B R I X 1 2	Ordem	Quantidade	Levedura	M. Prima	Inicial	Final	Varição	pH	G.L.	Varição G.L. CA11	Varição G.L. FERMIPAN	Varição G.L. SAF INSTANT
	1	1X	FERMIPAN	C. Cana	12,0	2,3	-23,3%	3,48	5,0	11,1%	0,0%	4,2%
	1	2X	FERMIPAN	C. Cana	12,0	2,2	-26,7%	3,52	5,0	11,1%	0,0%	4,2%
	3	3X	SAF INSTANT	C. Cana	12,0	2,2	-26,7%	3,59	4,9	8,9%	-2,0%	2,1%
	4	3X	CA11	C. Cana	12,0	2,8	-6,7%	3,41	4,8	6,7%	-4,0%	0,0%
	4	1X	SAF INSTANT	C. Cana	12,0	2,2	-26,7%	3,46	4,8	6,7%	-4,0%	0,0%
	6	2X	CA11	C. Cana	12,0	2,8	-6,7%	3,37	4,6	2,2%	-8,0%	-4,2%
	7	1X	CA11	C. Cana	12,0	3,0	0,0%	3,42	4,5	0,0%	-10,0%	-6,3%
	8	1X	CA11	Melaço	12,2	3,9	30,0%	4,78	4,0	-11,1%	-20,0%	-16,7%
	8	1X	SAF INSTANT	Melaço	12,2	3,5	16,7%	4,78	4,0	-11,1%	-20,0%	-16,7%
10	1X	CA11 CTDR	C. Cana	12,0	4,0	33,3%	3,28	3,9	-13,3%	-22,0%	-18,8%	
11	1X	FERMIPAN	Melaço	12,2	3,3	10,0%	4,78	2,8	-37,8%	-44,0%	-41,7%	

Fonte: AUTOR, 2025, TERCEIRO, 2024 e PEREIRA, 2024.

Na Tabela 3, observa-se que o valor inicial foi de 12,2 °Brix para todas as amostras, com reduções até valores finais de 3,9 °Brix (CA-11), 3,5 °Brix (Saf-instant) e 3,3 °Brix (Fermipan). O pH manteve-se estável em 4,78, o que indica manutenção adequada das condições do meio fermentativo.

Esses resultados evidenciam que, nesta etapa, tanto a Saf-instant quanto a Fermipan apresentaram desempenho superior ao da CA-11, promovendo maior consumo dos açúcares presentes no mosto. Situação semelhante foi relatada por Terceiro (2024), que observou melhor rendimento alcoólico da Fermipan em relação à CA-11 no terceiro dia de fermentação. Pereira (2024) também verificou que a Saf-instant, mesmo em concentrações menores, alcançou resultados iguais ou superiores ao da CA-11 em termos de graduação alcoólica.

Portanto, os resultados obtidos com Brix inicial 12 confirmam a superioridade das leveduras de panificação em relação à CA-11 nesta fase intermediária da fermentação, tanto em eficiência fermentativa quanto em viabilidade econômica.

Tabela 4 - Dados obtidos de Brix, pH e °GL durante a fermentação, a BRIX 15.

B R I X 1 5	Ordem	Quantidade	Levedura	M. Prima	Inicial	Final	Varição	pH	G.L.	Varição G.L. CA11	Varição G.L. FERMIPAN	Varição G.L. SAF INSTANT
	1	3X	SAF INSTANT	C. Cana	15,0	3,5	-28,6%	3,25	6,6	24,5%	1,5%	6,5%
	1	1X	FERMIPAN	C. Cana	15,0	3,6	-26,5%	3,19	6,5	22,6%	0,0%	4,8%
	1	2X	FERMIPAN	C. Cana	15,0	3,4	-30,6%	3,21	6,5	22,6%	0,0%	4,8%
	4	1X	SAF INSTANT	C. Cana	15,0	3,7	-24,5%	3,20	6,2	17,0%	-4,6%	0,0%
	5	3X	CA11	C. Cana	15,0	4,0	-18,4%	3,07	5,9	11,3%	-9,2%	-4,8%
	6	2X	CA11	C. Cana	15,0	4,7	-4,1%	3,06	5,6	5,7%	-13,8%	-9,7%
	7	1X	CA11	C. Cana	15,0	4,9	0,0%	3,13	5,3	0,0%	-18,5%	-14,5%
	7	1X	CA11	Melaço	15,6	6,0	22,4%	4,86	5,3	0,0%	-18,5%	-14,5%
	7	1X	SAF INSTANT	Melaço	15,6	4,8	-2,0%	4,86	5,3	0,0%	-18,5%	-14,5%
	10	1X	FERMIPAN	Melaço	15,6	4,3	-12,2%	4,86	3,9	-26,4%	-40,0%	-37,1%
	11	1X	CA11 CTDR	C. Cana	15,0	3,2	-35,7%	3,15	3,6	-32,1%	-44,6%	-41,9%

Fonte: AUTOR, 2025, TERCEIRO, 2024 e PEREIRA, 2024.

Na Tabela 4, observa-se que o valor inicial foi de 15,6 °Brix para todas as leveduras, com reduções até 6,0 °Brix para a CA-11, 4,8 °Brix para a Saf-instant e 4,3 °Brix para a Fermipan. O pH manteve-se constante em 4,86 em todas as condições avaliadas.

Esses resultados demonstram que, na etapa final da fermentação, a CA-11 apresentou menor consumo dos açúcares residuais quando comparada às leveduras de panificação. Tanto a Saf-instant quanto a Fermipan mostraram maior eficiência fermentativa, reduzindo mais intensamente os sólidos solúveis. Situação semelhante foi relatada por Terceiro (2024), que identificou a Fermipan como a levedura de melhor desempenho no quarto dia de fermentação, alcançando 6,5 °GL contra 5,9 °GL da CA-11. Da mesma forma, Pereira (2024) verificou que a Saf-instant chegou a produzir até 24,5% a mais de álcool em relação à CA-11, confirmando sua superioridade na fase final do processo.

Portanto, os resultados obtidos neste trabalho para o Brix 15 corroboram os achados da literatura, reforçando que as leveduras de panificação (Saf-instant e Fermipan) apresentam desempenho superior em relação à CA-11, além de oferecerem maior viabilidade econômica para o processo fermentativo.

8. CONCLUSÃO

O melaço é gerado na fabricação do açúcar como resultado natural da impossibilidade de cristalização completa da sacarose presente no caldo de cana. Seu processo de formação envolve etapas sequenciais de concentração por evaporação, cristalização controlada em tachos de cozimento e separação centrífuga dos cristais de açúcar. A quantidade e qualidade do melaço produzido dependem fundamentalmente da qualidade da matéria-prima, do sistema de cozimento empregado, dos parâmetros operacionais e do grau de esgotamento do processo. Este subproduto, longe de ser um resíduo, constitui-se em valiosa matéria-prima para diversas aplicações industriais, contribuindo significativamente para a sustentabilidade econômica da indústria sucroenergética brasileira.

O presente estudo permitiu avaliar o desempenho fermentativo de três cepas de *Saccharomyces cerevisiae* — CA-11, Saf-Instant e Fermipan — na produção de rum a partir do melaço de cana-de-açúcar. De modo geral, todas as leveduras demonstraram capacidade de conduzir adequadamente o processo fermentativo, promovendo a redução dos valores de °Brix a produção de etanol. Entretanto, diferenças mais evidentes, com a Saf-instant e a Fermipan mostrando maior eficiência na redução dos açúcares em comparação à CA-11. Essa tendência se manteve nos Brix 12 e 15, quando as leveduras de panificação demonstraram desempenho superior, alcançando valores finais mais baixos de °Brix.

A comparação dos resultados obtidos com os estudos de Terceiro (2024) e Pereira (2024) revela uma clara convergência. Terceiro (2024) identificou que a levedura Fermipan apresentou significativas foram observadas em termos de rendimento alcoólico superior ao da CA-11, além de demonstrar maior viabilidade econômica, em razão de seu custo significativamente mais baixo. Pereira (2024), por sua vez, verificou que a levedura Saf-Instant superou a CA-11 em desempenho, alcançando até 24,5% de aumento na produção de álcool no último dia de fermentação, reforçando também sua vantagem sob o aspecto econômico., especialmente a partir das etapas de Brix mais elevadas. A levedura CA-11, tradicionalmente empregada em fermentações alcoólicas, apresentou desempenho inferior em comparação às cepas de panificação, alcançando grau alcoólico final de 5,9 °GL. A Fermipan obteve superiores, atingindo 6,5 °GL e revelando-se uma

alternativa viável. A Saf-Instant destacou-se como a levedura mais produtiva, registrando valores até 24,5% superiores em relação à CA-11, demonstrando robustez e maior eficiência na conversão de açúcares em etanol. Esses achados evidenciam que a escolha da cepa de levedura exerce influência direta sobre o rendimento fermentativo e, conseqüentemente, sobre a produtividade final do rum. Em termos práticos, a utilização das leveduras Saf-Instant e Fermipan pode representar uma estratégia vantajosa para produtores, não apenas pela maior eficiência de fermentação, mas também pelo menor custo em comparação a cepas especializadas como a CA-11.

Portanto, conclui-se que a Saf-Instant se apresenta como a cepa mais promissora para a produção de rum a partir do melaço de cana-de-açúcar, conciliando alto rendimento alcoólico e viabilidade econômica. A Fermipan, por sua vez, constitui uma alternativa consistente, com bom equilíbrio entre custo e eficiência. Já a CA-11, embora eficiente em condições mais controladas, mostrou-se menos competitiva frente às demais. Os resultados obtidos contribuem para a tomada de decisão em processos fermentativos industriais e artesanais, oferecendo subsídios técnicos para a otimização da produção de rum e para o aproveitamento mais eficiente do melaço como matéria-prima.

REFERÊNCIAS

A UNIÃO. Paraíba é segundo maior produtor de etanol do NE. Jornal A União, 23 jul. 2024. Disponível em: <https://auniao.pb.gov.br/noticias/economia/paraiba-e-segundo-maior-produtor-de-etanol-do-ne>. Acesso em: 09 set. 2025.

ACQUA NATIVA. Monitoramento de pH em Dornas. Disponível em: <https://www.acquanativa.com.br/aplicacoes/monitoramento-ph-fermentacao.html>. Acesso em: 22 set. 2025.

AGRO SUSTENTAR. Agricultura na Paraíba: Destaque para Frutas e Cana-de-açúcar. Agro Sustentar, 25 maio 2025. Disponível em: <https://agrosustentar.com.br/agronegocio/agricultura-paraiba/>. Acesso em: 09 set. 2025.

AGROADVANCE. Cultivo da cana-de-açúcar: 7 lições de sustentabilidade. Agroadvance Blog, 12 jun. 2024. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-sustentabilidade-cultivo-da-cana-de-acucar/>. Acesso em: 09 set. 2025.

AMARAL, Sueli Angélica do. Aumento da produção de etanol a partir de melaço de cana-de-açúcar pela adição de benzoato. Scientia Agricola, v. 48, n. 1, p. 1-8, 1991. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0071-12761991000100002&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 22 set. 2025.

ARAÚJO, Edmilso Felismino de. Sistemas de cozimentos. **LinkedIn**, 21 jan. 2018. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/sistemas-de-cozimentos-edmilso-felismino-de-araujo>. Acesso em: 8 set. 2025.

ASPLAN - ASSOCIAÇÃO DOS PLANTADORES DE CANA DA PARAÍBA. Fiscalização da matéria-prima de associados da Asplan nas usinas completa 90 dias diurnos e consecutivos. Site Oficial ASPLAN, 18 out. 2024. Disponível em: <https://asplanpb.com.br/fiscalizacao-da-materia-prima-de-associados-da-asplan-nas-usinas-completa-90-dias-diurnos-e-consecutivos/>. Acesso em: 09 set. 2025.

BARTENDER STORE. A História do Rum. 2024. Disponível em: <https://bartenderstore.com.br/a-historia-do-rum/>. Acesso em: 10 set. 2025.

BBM BOLSA. Estudo da CNA atesta que produtor canavieiro do Nordeste teve um custo total médio de R\$ 117 mil por hectare na safra 24-25. BBM Bolsa, 14 ago. 2025. Disponível em: <https://www.bbmbolsa.com.br/noticias/estudo-da-cna-atesta-que-produtor-canavieiro-do-nordeste-teve-um-custo-total-medio-de-r-117-mil-por-hectare-na-safra-24-25/>. Acesso em: 09 set. 2025.

BOBENDISTILLERS. Processo de produção do rum a partir de melaço. 2024. Disponível em: <https://pt.bobendistillers.com/news/the-raw-materials-of-rum-also-vary-80847959.html>. Acesso em: 10 set. 2025.

BOBENDISTILLERS. The raw materials of rum also vary. 2024. Disponível em: <https://pt.bobendistillers.com/news/the-raw-materials-of-rum-also-vary-80847959.html>. Acesso em: 10 set. 2025.

BRASIL. Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009. Regulamenta a Lei no 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 jun. 2009.

BRASIL. Estudos comparativos no processo industrial de fermentação alcoólica. Foco Publicações, v. 16, n. 11, 2023. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/3310>. Acesso em: 22 set. 2025.

BUSINESS RESEARCH INSIGHTS. Tamanho do mercado de rum e cachaca, compartilhamento | 2024 a 2031. Business Research Insights, 24 ago. 2025. Disponível em: <https://www.businessresearchinsights.com/pt/market-reports/rum-and-cachaca-market-103160>. Acesso em: 09 set. 2025.

CANA BRASIL. Produção De Rum, Tem quem diga que está é a próxima bebida da moda. Canal Cana Brasil, 31 out. 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ec05JpnZe9E>. Acesso em: 09 set. 2025.

CANCIAM, César Augusto. Influência da concentração na dilatação térmica de xaropes destinados à produção de açúcar e bioetanol. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Ponta Grossa, v. 10, n. 2, p. 2126-2136, jul./dez. 2016.

CERESER. Rum tipo exportação da Cereser chega com exclusividade no Norte e Nordeste. Revista Fator Brasil, 20 jul. 2010. Disponível em: <https://www.abras.com.br/clipping/bebidas/14851/rum-tipo-exportacao-da-cereser-chega-com-exclusividade-no-norte-nordeste>. Acesso em: 09 set. 2025.

CINEP - COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DA PARAÍBA. Incentivo Fiscal (Fain). Portal CINEP-PB, 2025. Disponível em: https://www.cinep.pb.gov.br/portal/?page_id=284. Acesso em: 09 set. 2025.

COELHO, Edilson José et al. Métodos de controle microbiológico em processos de fermentação alcoólica: um estudo bibliográfico. Unipar, 2021. Disponível em: [https://www.unipar.br/documentos/247/Metodos de Controle Microbiologico em Processos de Fermentacao Alcoolica um Es BuihTD2.pdf](https://www.unipar.br/documentos/247/Metodos%20de%20Controle%20Microbiologico%20em%20Processos%20de%20Fermentacao%20Alcoolica%20um%20Es%20BuihTD2.pdf). Acesso em: 22 set. 2025.

COMPRE RURAL. Conheça os melhores países para exportar bebidas brasileiras. Compre Rural, 14 ago. 2025. Disponível em: <https://www.comprerural.com/conheca-os-melhores-paises-para-exportar-bebidas-brasileiras/>. Acesso em: 09 set. 2025.

DELGADO, A. A.; CESAR, M. A. A.; SILVA, F. C. da. **Elementos de tecnologia e produção do açúcar, etanol e energia**. Piracicaba: FEALQ, 2019. 984 p.

DIAGEO BAR ACADEMY. Rum: História e Produção. Diageo Bar Academy, 1999. Disponível em: <https://www.diageobaracademy.com/pt-br/home/explore-todas-as-categorias/rum>. Acesso em: 09 set. 2025.

DIAGEO BAR ACADEMY. Rum: História e Produção. Disponível em: <https://www.diageobaracademy.com/pt-br/home/explore-todas-as-categorias/rum>. Acesso em: 22 set. 2025.

EMBRAPA. Fermentação - Cana. Portal Embrapa, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pos-producao/processamento-da-cana-de-acucar/tratamento-do-caldo/fermentacao>. Acesso em: 22 set. 2025.

EMBRAPA. Práticas sustentáveis na produção da cana-de-açúcar. Alice Embrapa, 2024. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1170320/1/Ramos-Praticas-sustentaveis-2024.pdf>. Acesso em: 09 set. 2025.

ENG QUÍMICA SANTOS. Processo de produção do rum. Site Eng Química Santos SP, 24 set. 2021. Disponível em: <https://www.engquimicasantosp.com.br/2021/09/processo-de-producao-do-rum.html>. Acesso em: 10 set. 2025.

EXPOCACHAÇA. Importação e exportação de rum e tafiá para a Alemanha. Expo Cachaça, 2019. Disponível em: <https://expocachaca.com.br/wp-content/uploads/Avaliaco%20do%20mercado%20Alemao.pdf>. Acesso em: 09 set. 2025.

FAMIGERADA. Mercado da Cachaça: como a bebida brasileira é vista lá fora? Blog Famigerada, 14 maio 2024. Disponível em: <https://blog.famigerada.com.br/mercado-da-cachaca/>. Acesso em: 09 set. 2025.

FRANCISCO, Bruno. Cristalização da Sacarose. **LinkedIn**, 8 mar. 2018. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/cristalizacao-da-sacarose-bruno-francisco>. Acesso em: 8 set. 2025.

JORNAL CANA. Paraíba encerra safra 2022/23 com 7,4 milhões de toneladas. Jornal Cana, 24 abr. 2025. Disponível em: <https://jornalcana.com.br/mercado/usinas/paraiba-encerra-safra-2022-23-com-74-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 09 set. 2025.

MACHADO, S. S. **Tecnologia da fabricação do etanol**. 2012. 67 f. Monografia (Especialização em Formas Alternativas de Energia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

MAPA DA CACHAÇA. Depois do gin, agora é a vez do rum brasileiro? Mapa da Cachaça, 19 nov. 2024. Disponível em: <https://mapadacachaca.com.br/artigos/gim-e-rum-brasileiro/>. Acesso em: 09 set. 2025.

MELAÇOS BRASILEIROS. Produção de etanol a partir do melaço de cana-de-açúcar: um caminho mais sustentável. Blog Melaços Brasileiros, 25 jul. 2024. Disponível em: <https://www.melacos.com.br/post/produ%C3%A7%C3%A3o-de-etanol-a-partir-do-mela%C3%A7o-de-cana-de-a%C3%A7%C3%BAcar-um-caminho-mais-sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 09 set. 2025.

MELLACO CANA. Melaço de cana: conheça os 3 setores que ele atua. Mellaco Cana Blog, 19 jan. 2021. Disponível em: <https://mellacodecana.com.br/blog/melaco-de-cana-conheca-os-3-setores-que-ele-atua/>. Acesso em: 09 set. 2025.

MELLAÇO DE CANA. A produção de etanol a partir do melaço de cana. 2022. Disponível em: <https://mellacodecana.com.br/blog/a-producao-de-etanol-a-partir-do-melaco-de-cana/>. Acesso em: 22 set. 2025.

MELLAÇO DE CANA. **Especificação Técnica do Melaço de Cana Líquido**. 2023. Disponível em: <https://mellacodecana.com.br/melaco-de-cana-liquido/>. Acesso em: 8 set. 2025.

MELLAÇO DE CANA. Melaço de cana: tudo sobre sua produção. 2022. Disponível em: <https://mellacodecana.com.br/blog/melaco-de-cana-tudo-sobre-sua-producao/>. Acesso em: 22 set. 2025.

METATECH INSIGHTS. Rum Market Share, Market Size, Market Trend, Crescimento 2025-2035. Metatech Insights, 16 mar. 2017. Disponível em: <https://www.metatechinsights.com/pt/industry-insights/rum-market-3330>. Acesso em: 09 set. 2025.

MEZAROBA, S. et al. Produção de etanol, metodologia e qualidade da matéria-prima. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, n. 2, p. 62-78, 2015.

MORAES, Guilherme Henrique et al. Estudos comparativos no processo industrial de fermentação. Revista Foco, v. 16, n. 11, p. e3310, 2023. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/3310>. Acesso em: 22 set. 2025.

MORAIS, Eduardo Ramirez de. Influência de vazão exponencialmente decrescente do mosto de melaço de cana-de-açúcar no processo descontínuo alimentado de fermentação alcoólica. 2013. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

MORDOR INTELLIGENCE. Mercado de Rum – Análise, Tamanho e Participação. Mordor Intelligence, 11 dez. 2023. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/rum-market>. Acesso em: 09 set. 2025.

MOVIMENTO ECONÔMICO. Exportação de açúcar: Cabedelo realiza operação inédita, de 20 mil toneladas. Movimento Econômico, 21 set. 2023. Disponível em: <https://movimentoeconomico.com.br/estados/paraiba/2023/09/22/exportacao-de-acucar-cabedelo-realiza-operacao-inedita-de-20-mil-toneladas/>. Acesso em: 09 set. 2025.

MUNDO EDUCAÇÃO. O comércio triangular. 2010. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/historia-america/o-comercio-triangular.htm>. Acesso em: 10 set. 2025.

OLIVEIRA, Sandra Cristina Santos et al. Floculação de leveduras por *Lactobacillus fermentum* em processos industriais de fermentação alcoólica avaliada por técnica fotométrica. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 28, n. 4, p. 893-898, jul./ago. 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/3DyMCt8gn6PSnwhK5bYwgRF/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 22 set. 2025.

OLIVEIRA, Sandra Cristina Santos et al. Quantificação do ácido lático na fermentação alcoólica por *Lactobacillus fermentum*. Repositório UNESP, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/9341a275-c218-4a25-9b52-12dc1a78b9a8/content>. Acesso em: 22 set. 2025.

PARAÍBA. Governo atrai 91 empresas pelo Fain em 2023 e assegura investimentos de mais de R\$ 765 milhões na Paraíba. Portal do Governo da Paraíba, 27 dez. 2023. Disponível em: <https://paraiba.pb.gov.br/noticias/governo-atrai-91-projetos-pelo-fain-em-2023-e-assegura-investimentos-de-mais-de-r-765-milhoes-na-paraiba>. Acesso em: 09 set. 2025.

PEREIRA, João. Victor. Costa. Comparação entre as linhagens comerciais de *Saccharomyces Cerevisiae* CA-11 e Saf-instant, no rendimento da fermentação alcoólica do caldo de cana-de-açúcar, TCC, João Pessoa, 2024. 50 f.

PLANT PROJECT. A hora e a vez do rum brasileiro. Plant Project, 17 maio 2023. Disponível em: <https://plantproject.com.br/a-hora-e-a-vez-do-rum-brasileiro/>. Acesso em: 09 set. 2025.

PRADO-FILHO, Luiz Gonzaga do et al. Produção de álcoois superiores por linhagens de *Saccharomyces* durante a fermentação alcoólica. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 50, n. 3, p. 464-472, set./dez. 1993. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/NzPhdygCd9FXwBcTqmhyCNy/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 22 set. 2025.

PRO INVESTIMENTOS. Incentivo Fiscal e Locacional - Investimentos. Pro Investimentos, 2022. Disponível em: <https://proinvestimentos.com.br/incentivos>. Acesso em: 09 set. 2025.

PROCKNOR ENGENHARIA. **Comparativo entre sistemas de cozimento**. 8 jul. 2015. Disponível em: <https://www.procknor.com.br/comparativo-entre-sistemas-de-cozimento/>. Acesso em: 8 set. 2025.

RAIZEN. Cana-de-açúcar: tudo sobre sua importância e versatilidade. Blog Raizen, 6 set. 2025. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/blog/cana-de-acucar-importancia-e-versatilidade>. Acesso em: 09 set. 2025.

REIN, Peter. **Cane sugar engineering**. 2nd ed. Berlin: Verlag Dr. Albert Bartens KG, 2013.

SEMANTIC SCHOLAR. Estudo comparativo da produção de rum e cachaça. 2019.

SEMANTIC SCHOLAR. Estudo de fermentação alcoólica por células de *Saccharomyces cerevisiae* imobilizadas em Crisotila. 2001. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/2185e3c7f08c70acb901594ce1627c62e2d7e258>. Acesso em: 22 set. 2025.

SILVA, E. S. Estudo comparativo das etapas de produção do rum a partir de melaço de cana. Universidade Federal da Paraíba, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/16020>. Acesso em: 10 set. 2025.

SILVA, Fábio Cesar da; ALCARDE, André Ricardo; SAKAI, Rogério Haruo. **Fabricação do açúcar**. Brasília, DF: Embrapa, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pos-producao/processamento-da-cana-de-acucar/tratamento-do-caldo/fabricacao-do-acucar>. Acesso em: 8 set. 2025.

SILVA, Vanessa Faria Nunes da et al. Suplementação de aminoácidos na fermentação alcoólica de mostos de melaço e xarope de cana-de-açúcar empregando linhagem industrial CAT-1. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v. 7, n. 2, p. 200-210, 2019. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/JBB/article/view/7352>. Acesso em: 22 set. 2025.

SINDALCOOL - SINDICATO DA INDÚSTRIA DE FABRICAÇÃO DO ÁLCOOL NO ESTADO DA PARAÍBA. Exportações Paraíba Bioenergia. Sindalcool, set. 2023. Disponível em: <https://sindalcool.com.br/wp-content/uploads/2023/09/pauta-de-exportacao-PB.pdf>. Acesso em: 09 set. 2025.

SISTEMA FACENE. Avaliação da cultura da cana-de-açúcar na Paraíba. Sistemas FACENE, 2024. Disponível em: <http://www.sistemasfacenern.com.br/repositoriopb/admin/uploads/arquivos/517f24c02e620d5a4dac1db388664a63.pdf>. Acesso em: 09 set. 2025.

SOBRATEMA. Paraíba tem potencial para ampliar sua produção sucroalcooleira. Sobratema, 2020. Disponível em: <https://sobratema.org.br/Blog/Exibir/453776>. Acesso em: 09 set. 2025.

TERCEIRO, G. P. Dos Santos. Comparação entre as linhagens comerciais de *Saccharomyces Cerevisiae* CA-11 e Fermipan Red no rendimento da fermentação alcoólica do caldo de cana-de-açúcar. TCC, João Pessoa, 2024. 59 f.

UNICIÊNCIAS. Estudo do Produto Biológico BetaSoil® para Agricultura. UniCiências, 22 jan. 2023. Disponível em: <https://uniciencias.pgsskroton.com.br/article/view/10394>. Acesso em: 09 set. 2025.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Estudo sobre a fermentação alcoólica de mosto de melaço de cana-de-açúcar por processos descontínuos-alimentado. 2025. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-02092025-132324/>. Acesso em: 22 set. 2025.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Produção de etanol a partir de melaço de cana. Repositório USP, 2015. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/bitstreams/62c71559-e548-4b71-bcc6-e171d79e569f>. Acesso em: 09 set. 2025.

VILELA, Fernando José. Fatores que afetam a fermentação alcoólica. CITEC, 2005. Disponível em: <https://publicacoes.fatecjaboticabal.edu.br/citec/article/download/113/72/926>. Acesso em: 22 set. 2025.

WIKIPÉDIA. Acetobacter. 2007. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Acetobacter>. Acesso em: 22 set. 2025.

WIKIPÉDIA. Éster. 2003. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Éster>. Acesso em: 22 set. 2025.

WIKIPÉDIA. Rum – Wikipédia, a enciclopédia livre. 2005. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Rum>. Acesso em: 10 set. 2025.