

DO CAMPO AO COPO

Ciência, tecnologia e
qualidade da cachaça

Hebert Henrique Souza Lima
Sara da Graça Fernandes da Silva
(Organizadores)





UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

Terezinha Domiciano Dantas Martins

Reitora

Mônica Nóbrega

Vice-Reitora



Editora UFPB

Geysa Flávia Câmara de Lima Nascimento

Diretora Geral da Editora UFPB

Aline dos Santos Deiró

Vice-Diretora da Editora UFPB

Rildo Coelho

Coordenador de Editoração

DO CAMPO AO COPO

Ciência, tecnologia e
qualidade da cachaca



1ª Edição – 2026

Esta obra integra a publicação de livros digitais (e-books) do Edital 01/2025 da Editora UFPB, em regime de fluxo contínuo. A chamada pública visa fomentar a divulgação da produção científica, literária, artística e didático-pedagógica da comunidade acadêmica da Universidade Federal da Paraíba, contemplando obras de autoria individual, coautoria ou coletâneas.

Direitos autorais 2026 - Editora da UFPB



Esta obra é de acesso aberto. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte e autoria e respeitada a Licença Creative Commons indicada.

O CONTEÚDO DESTA PUBLICAÇÃO, SEU TEOR, SUA REVISÃO E SUA NORMALIZAÇÃO SÃO DE INTEIRA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES.

OS DIREITOS DE PROPRIEDADE DESTA EDIÇÃO SÃO RESERVADOS À:



Cidade Universitária, Campus I – Prédio da Editora Universitária, s/n
João Pessoa – PB CEP 58.051-970
Site: www.ufpb.br/editora
Instagram: @editoraufpb
E-mail: atendimento@editora.ufpb.br
Telefone e WhatsApp: (83) 3216.7147



CONSELHO EDITORIAL – Editora UFPB
Portaria Nº 202, de 08 de agosto de 2025 – Reitoria

- Geysa Flávia Câmara de Lima Nascimento** – Presidente | Editora UFPB
Alexandre Coelho Serquiz | Ciências da Saúde
Daniel Araújo de Macedo | Engenharias
Eduardo Rodrigues Viana de Lima | Ciências Exatas e da Natureza
Franklin Kaic Dutra-Pereira | Ciências Biológicas
Gustavo Barbosa de Mesquita Batista | Ciências Humanas
José Ferrari Neto | Linguística, Letras e Artes
Maurício Rombaldi | Ciências Humanas
Milton César Costa Campos | Ciências Agrárias
Tiago Bernardon de Oliveira | Ciências Humanas
Márcia Félix da Silva | Interdisciplinar
Viviane da Costa Freitag | Ciências Sociais Aplicadas

Catálogo na Publicação
Seção de Catalogação e Classificação

C198	Do campo ao copo : ciência, tecnologia e qualidade da cachaça [recurso eletrônico] / Hebert Henrique Souza Lima e Sara da Graça Fernandes da Silva (organizadores). – Dados eletrônicos - João Pessoa : Editora UFPB, 2026. E-book. Modo de acesso: www.ufpb.br/editora/ ISBN: 978-65-5942-336-1 DOI: doi.org/10.22478/ufpb.1424 1. Cachaça – Bebida destilada. 2. Cachaça – Controle de qualidade. 3. Cana de açúcar – Economia. I. Lima, Hebert Henrique Souza. II. Silva, Sara da Graça Fernandes. III. Título.
UFPB/BC	CDU 663.5

Como citar a publicação no todo (ABNT 6023:2025):
LIMA, Hebert Henrique Souza.; SILVA, Sara da Graça Fernandes da. **Do campo ao copo**: ciência, tecnologia e qualidade da cachaça. 1. ed. João Pessoa: Editora UFPB, 2026. Disponível em: _____. Acesso em: __ __ __.

Hebert Henrique Souza Lima
Sara da Graça Fernandes da Silva
(organizadores)

DO CAMPO AO COPO:
CIÊNCIA, TECNOLOGIA E QUALIDADE DA CACHAÇA

João Pessoa
Editora UFPB
2026

SUMÁRIO

9

APRESENTAÇÃO

10

CAPÍTULO I MATÉRIA-PRIMA: A CANA-DE-AÇÚCAR

Erika Adriana de Santana

Heloísa Luciana Marinho da Silva

Hebert Henrique Souza Lima

Márcia Aparecida Cezar

31

CAPÍTULO II TECNOLOGIA E PROCESSOS: MOAGEM E TRATAMENTO DO CALDO DE CANA

Natasha Carolina Melo Diniz

Sara da Graça Fernandes da Silva

Tammyrys Maria de Oliveira Dantas Nascimento

43

CAPÍTULO III FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA

Cláudia Gouveia Rodrigues

Karoliny Brito Sampaio

68

CAPÍTULO IV DESTILAÇÃO: O CORAÇÃO DA CACHAÇA

Clóvis Gouveia da Silva

83



CAPÍTULO V
ARMAZENAMENTO E
ENVELHECIMENTO

Ângela Lima Meneses de Queiroz

Vanessa Pedro da Silva

93



CAPÍTULO VI
CONTROLE DE QUALIDADE E
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Márcia Helena Pontieri

103



CAPÍTULO VII
AVALIAÇÃO SENSORIAL DA
CACHAÇA: IMPORTÂNCIA,
PROCESSOS PRODUTIVOS E
ESTRATÉGIAS DE QUALIDADE
NO SETOR SUCROALCOOLEIRO

Camila Santiago Saraiva

116



CAPÍTULO VIII
GESTÃO DE RESÍDUOS E
SUSTENTABILIDADE

Edivaldo Alexandre Bezerra da Silva

Eduardo Leite Vieira

136



SOBRE OS AUTORES E AS AUTORAS

APRESENTAÇÃO



A cachaça, reconhecida como a bebida destilada mais autêntica do Brasil, está profundamente enraizada na história e na cultura nacional. Desde os tempos coloniais, sua produção artesanal em alambiques tem sido símbolo da tradição brasileira, carregando consigo saberes passados de geração em geração, expressando identidade, terroir e diversidade.

Nas últimas décadas, no entanto, o setor de cachaça tem experimentado significativos avanços tecnológicos e regulatórios, que vêm transformando o modo de produzir, avaliar e comercializar a bebida. Por outro lado, a busca por qualidade, padronização e valorização da cachaça no mercado interno e externo impulsionou o aperfeiçoamento de todas as etapas da cadeia produtiva – da seleção da cana-de-açúcar até o design das embalagens e estratégias de marketing.

Neste contexto, o eBook “Do Campo ao Copo” surge como um guia completo e acessível, reunindo conhecimentos técnicos e práticos sobre o universo da cachaça. O conteúdo abrange desde o manejo da matéria-prima e os fundamentos da fermentação e destilação, até os critérios físico-químicos e sensoriais que definem uma cachaça de alta qualidade.

Além disso, esta obra oferece insights sobre envelhecimento em madeiras nobres, conformidade com a legislação vigente, reaproveitamento de subprodutos e posicionamento de marca no mercado, tornando-se uma ferramenta valiosa tanto para produtores iniciantes quanto para empreendedores experientes que buscam inovação e excelência.

Nesta perspectiva, este eBook pretende não apenas ensinar a produzir cachaça, mas também valorizar a bebida como patrimônio cultural e oportunidade de negócio sustentável e de alto valor agregado.

Agradecemos atenção e desejamos uma boa leitura.

Hebert Henrique Souza Lima

Sara da Graça Fernandes da Silva

CAPÍTULO I

MATÉRIA-PRIMA: A CANA-DE-AÇÚCAR



Erika Adriana de Santana

Heloísa Luciana Marinho da Silva

Hebert Henrique Souza Lima

Márcia Aparecida Cezar

1 IMPORTÂNCIA DA CANA-DE-AÇÚCAR

1.1 Origem da cana-de-açúcar

De uma gramínea selvagem, proveniente do continente asiático, nasceram três produtos muito utilizados e importantes que moldaram o mundo: o açúcar, o etanol e a cachaça.

Tudo isso teve início quando os árabes e os chineses, decidiram levar essa planta para a costa do Mar Mediterrâneo e do Oceano Índico. Os cavaleiros das Cruzadas, viciados no sabor da doçura que a planta apresentava, ao retornarem para a Europa, deram início ao comércio da cana-de-açúcar de forma intensiva.

Quando os turcos conquistaram Constantinopla em 1453, as rotas comerciais foram interrompidas, dando espaço para que os portugueses monopolizassem a produção que já estava sendo cultivada nas ilhas atlânticas e enfim, no século XVI, as mudas de cana-de-açúcar chegaram ao Brasil, transformando essa matéria-prima em produtos de grande relevância (Rodrigues; Ross, 2020).

1.2 A matéria-prima na economia colonial

Entre meados do século XVI e meados do século XVIII, desenvolveu-se o ciclo econômico da cana-de-açúcar. Esse período teve início com a introdução da cana-de-açúcar em três capitanias hereditárias: Bahia, Pernambuco e São Vicente.

Em 1549, Pernambuco já possuía trinta engenhos-banguê, a Bahia dezoito, e São Vicente apenas dois. Cerca de cinquenta anos depois, o Brasil contava com 256 engenhos distribuídos pelo sistema plantation, caracterizado por grandes

fazendas de monoculturas voltadas para o mercado externo e baseadas no trabalho escravo, o que aumentava os lucros.

Durante o ciclo da cana-de-açúcar, Pernambuco foi a mais rica das capitanias, sendo a maior e a mais rica região produtora de açúcar no mundo, no início do século XVII (Macedo, 2020).

1.3 Importância da cana-de-açúcar na economia atual

Cinco séculos após chegar ao Brasil, a cana-de-açúcar mantém a sua posição na economia nacional. O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar, mundialmente, apresentando mais de 9 milhões de hectares de área cultivada e 8,34 milhões de hectares de área colhida, com uma produção de mais de 578 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2023).

Para o ano de 2025, os dados apresentados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), revelam uma produção de cana-de-açúcar de 695.085.205 milhões de toneladas (IBGE, 2025).

Como pode ser observado na tabela 1, a cana-de-açúcar se destaca entre as dez culturas de maior área plantada no cenário nacional, ficando em terceira posição atrás do milho e da soja.

Tabela 1 - Culturas com maior área plantada no Brasil em 2024 e 2025

Produtos agrícolas	Área (ha)		
	2024	2025	Var (%)
Soja (em grão)	46.036.036	47.573.015	3,3
Milho (em grão)	21.351.224	22.108.492	3,5
Cana-de-açúcar	9.219.524	9.241.643	0,2
Trigo (em grão)	2.956.080	2.418.293	-18,2
Feijão (em grão)	2.732.659	2.566.867	-6,1
Algodão herbáceo	2.027.769	2.142.191	5,6
Café (em grão)	1.955.136	1.962.295	0,4
Arroz (em casca)	1.573.503	1.752.531	11,4
Sorgo (em grão)	1.330.201	1.475.805	10,9
Mandioca	1.231.516	1.260.582	2,4

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação Agropecuária, Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (2025).

Em 2025, o primeiro levantamento da safra realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) indica um cenário bastante promissor para a produção de cana-de-açúcar e açúcar, com potencial para configurar a maior safra da série histórica já registrada (CONAB, 2025).

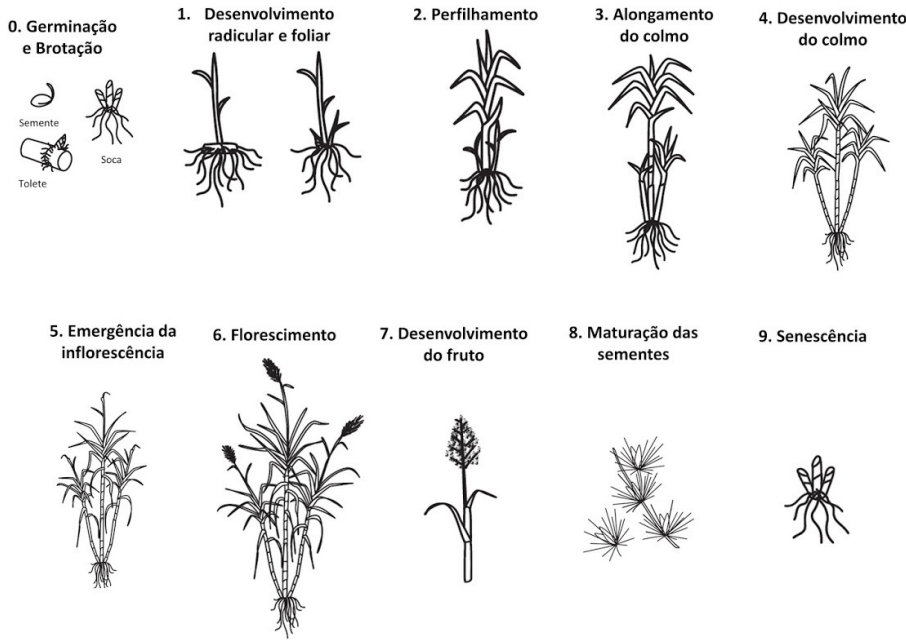
Trata-se de uma cultura de elevada relevância econômica, destacando-se por sua versatilidade na geração de diversos produtos, como etanol, açúcar e rapadura. Além desses derivados, a cachaça desponta como importante fonte de geração de renda e dinamização da atividade econômica, especialmente entre produtores das regiões Sudeste e Nordeste do Brasil (Pimentel *et al.*, 2024).

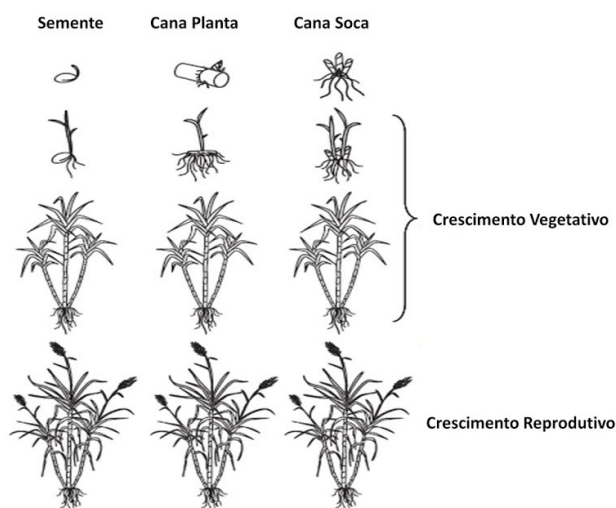
2 FASES DO DESENVOLVIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar é uma cultura semi-perene, da família *Poaceae*. Pode produzir de 4 a 12 colmos, com extensão de 3 a 5 metros. Apresenta alta eficiência fotossintética (C4), biomassa abundante e um controle significativo da erosão do solo. Além disso, apresenta um valor econômico elevado devido ao teor de açúcar e biomassa (AGROPÓS, 2022).

Para a cana-de-açúcar existem quatro estádios fenológicos (Figura 1): brotação e emergência dos brotos, perfilhamento, crescimento dos colmos e maturação (Rodrigues *et al.*, 2018).

Figura 1 – Fases do desenvolvimento da cana





Fonte: Barbosa (2016)

2.1 Brotação e emergência dos brotos

De acordo com Rodrigues *et al.* (2018), na cana-planta, os colmos primários têm entrenós curtos e são menos desenvolvidos, originando os secundários e assim por diante, cada vez mais longos e grossos. Devido à sua estrutura em touceiras, a ramificação da cana-de-açúcar é limitada, resultando em várias hastes eretas, representando plantas individuais (Van Dillewijn, 1952 *apud* Rodrigues, 2018).

Em áreas de cana-soca, onde a palha cobre o solo, a brotação e o perfilhamento tendem a ser mais lentos devido à barreira mecânica e à redução da luminosidade proporcionada pela palha, prejudicando o processo fotossintético inicial dos perfilhos (Vasconcelos, 2002 *apud* Rodrigues *et al.*, 2018).

2.2 Perfilhamento

Segundo Marin (2022), o perfilhamento da cana-de-açúcar é a emissão de colmos pela mesma planta, chamados de perfilhos, regulados por hormônios.

Esses brotos surgem aproximadamente 20 a 30 dias após o crescimento do colmo primário, formando a touceira. A formação do sistema radicular da touceira é resultado do desenvolvimento das raízes de cada perfilho, determinando a população de colmos que será colhida. Para Suguitani (2001), a quantidade de perfilhos varia de acordo com as características genéticas da planta, ou seja, oscila conforme a variedade. Por exemplo, a espécie *Saccharum officinarum* possui baixa quantidade de perfilhos e a espécie *Saccharum spontaneum* apresenta uma maior quantidade (Stevenson, 1965 *apud* Suguitani, 2001).

Além disso, a escassez da luminosidade, é considerado um dos fatores para a redução do perfilhamento, devido o processo ser controlado por uma auxina, que tem formação no topo e possui fluxo contínuo até a base, formando o alongamento do colmo e impedindo o desenvolvimento das gemas laterais. Com o aumento da luminosidade, o fluxo da auxina sofre uma redução, diminuindo a inibição das gemas laterais, resultando em uma quantidade maior de perfilhos (Suguitani, 2001).

A temperatura ideal para a brotação dos toletes de cana-de-açúcar fica entre 27°C e 33°C. Temperaturas abaixo de 20°C ou acima de 35°C prejudicam o processo de brotação e emergência (Casagrande, 1991; Aude, 1993 *apud* Thomas, 2016).

2.3 Crescimento dos colmos

Após o desenvolvimento do sistema radicular e das folhas, as plantas iniciam processos metabólicos, como a fotossíntese, impulsionando um crescimento linear e aumento na taxa de matéria seca.

O crescimento das folhas leva ao sombreamento mútuo, aumentando o índice de área foliar. No entanto, esse aumento nem sempre resulta em maior produção de biomassa, sugerindo que uma ampliação na área foliar não garante um aumento proporcional na produção vegetal (Marafon, 2012).

2.4 Maturação

O processo de maturação da cana-de-açúcar envolve a formação e armazenamento de açúcares nas folhas e colmos. Nos colmos, a sacarose se acumula em internódios em diferentes estádios fisiológicos, com maior concentração próxima à base da planta. A maturação ocorre principalmente na última fase do ciclo da cultura, quando os colmos têm menor taxa de crescimento.

O clima desempenha um papel crucial, com uma estação quente e úmida para o desenvolvimento vegetativo, seguida de uma estação fria e seca para a maturação natural (Watt *et al.*, 2014; Caputo *et al.*, 2008 *apud* Roberto, 2015).

3 PRÁTICAS AGRÍCOLAS E MANEJO SUSTENTÁVEL

A indústria canavieira brasileira é um dos setores produtivos que mais tem incorporado inovações tecnológicas, com o objetivo de ampliar a produção tanto em quantidade quanto em qualidade, reduzindo custos e aumentando a eficiência dos resultados.

Entretanto, esses avanços não abrangem de forma uniforme todo o setor, especialmente o segmento da cachaça, no qual fatores econômicos, sociais, técnicos e culturais ainda interferem significativamente no processo produtivo.

Observa-se que a produção da cachaça é conduzida em condições desfavoráveis, como manejo inadequado do solo, adubação insuficiente ou sem planejamento, e até mesmo com a escolha e o cultivo de variedades que não apresentam bons resultados no processamento.

Além disso, o uso de instalações e equipamentos mal conservados, são fatores que, em conjunto, comprometem de forma significativa a qualidade da bebida (Schoeninger; Coelho; Silochi, 2014).

Diante desse cenário, a adoção de práticas agrícolas adequadas e de manejo sustentável do canavial torna-se fundamental. Entre as etapas críticas, o plantio se destaca como uma das mais importantes, representando cerca de 14,5% dos custos de produção e influenciando diretamente o desenvolvimento e a produtividade da cultura. Paralelamente, um plantio eficiente pode reduzir os custos ao longo de todo ciclo da cultura, exigindo planejamento cuidadoso e conhecimento técnico, pois decisões tomadas nessa fase impactam diretamente os resultados finais (Ramos, 2014).

Além do plantio, outro fator essencial é o preparo adequado do solo. Ainda persistem inúmeros debates acerca das práticas de manejo que devem ser priorizadas a fim de melhorar a produtividade e assegurar a sustentabilidade dos canaviais, através de práticas como a alternância de culturas, o emprego de insumos biológicos, a preservação da palhada sobre o solo e a utilização do sistema de mudas pré-brotadas (MPB) (Ramos, 2024). No cultivo da cana, diferentes sistemas de preparo do solo podem ser utilizados, entre eles o convencional, a subsolagem e o plantio direto.

4 VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA A FABRICAÇÃO DE CACHAÇA

As primeiras espécies de cana-de-açúcar, foram classificadas como *Saccharum officinarum*. Ao longo do tempo, várias formas naturais dessa espécie ou híbridos naturais com outras espécies do mesmo gênero foram selecionadas e plantadas, concomitantemente à evolução dos processos de extração do caldo e do fabrico do açúcar (Moore, 2017).

No Brasil, existem centenas de variedades de cana-de-açúcar desenvolvidas para atender às diferentes necessidades da indústria e às condições climáticas e de solo do país (Matsuoka, 2012).

O melhoramento da cana-de-açúcar, é um requisito constante para a viabilidade contínua do setor. As canas-de-açúcar cultivadas hoje são híbridos interespecíficos complexos, principalmente entre *Saccharum officinarum*, conhecida como cana nobre, e *S. spontaneum*, com contribuições de *S. robustum*, *Saccharum sinense*, *Saccharum barberi* (Moraes *et al.*, 2015; Moore; Paterson; Tew,

2013). As espécies *S. officinarum* e *S. spontaneum* são as maiores contribuintes para o genoma das variedades modernas.

Nacionalmente, existem diversos programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar, realizados em diferentes instituições, públicas e privadas, que contam com seus bancos de germoplasma, cujos tamanhos em número de acessos são bastante variáveis. A correta identificação e utilização dos recursos genéticos disponíveis para o desenvolvimento de novas cultivares de cana-de-açúcar pode garantir o êxito desses programas (Morais *et al.*, 2015).

Segundo Moraes *et al.*, (2015), os programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar tradicionais no Brasil são:

- Instituto Agrônomo de Campinas, que desenvolve cultivares da sigla IAC;
- Centro de Tecnologia Canavieira, que desenvolve cultivares da sigla CTC, e que incorporou o programa das cultivares SP da Copersucar, e;
- Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), que desenvolve cultivares da sigla RB. Estas variedades são resultantes do Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (PLANALSUCAR), criado pelo extinto Instituto do Açúcar e Alcool (IAA), e posteriormente denominado RIDESA (Daros; Oliveira; Barbosa, 2015).
- Dentre os principais objetivos futuros dos programas de melhoramento está o desenvolvimento de clones de cana-de-açúcar com alta produtividade, alto teor de sacarose, tolerância à seca, alta produção de etanol e de biomassa, com paredes celulares fáceis de serem quebradas. Desta forma, otimiza-se a obtenção do etanol lignocelulósico ou de segunda geração, bagaço para queima e cogeração de energia, além do desenvolvimento de plantas eficientes que demandam baixo uso de fertilizantes nitrogenados entre outros, reduzindo assim os impactos ambientais, e que não seja suscetível ao pendoamento, que apresente pouca pilosidade, além de considerar o ciclo vegetativo da planta (Martins *et al.*, 2021; Macêdo, 2015).

A seleção da variedade da cana-de-açúcar a ser implantada é fundamental para assegurar boa produtividade e a qualidade do canavial. Apesar de ser vantajoso a existência de muitas variedades de cana-de-açúcar disponíveis, a tomada de decisão torna-se mais difícil pois exige que o produtor tenha um amplo conhecimento para que seja feita a melhor escolha (Marin, 2022). Como pode ser observado no quadro 1, essas são as variedades mais utilizadas no Brasil.

Quadro 1 – Variedades de cana-de-açúcar mais utilizadas no Brasil, distribuídas por instituição de pesquisa

Planalsucar – Ridesa (RB)			
RB70141	RB70194	RB705007	RB705051
RB705146	RB705440	RB72454	RB721012
RB725147	RB725828	RB732577	RB735220
RB735275	RB739359	RB739735	RB765418
RB785148	RB75126	RB758540	RB763710
RB83102	RB83160	RB83252	RB83594
RB835019	RB835054	RB835089	RB835486
RB8491	RB8495	RB842021	RB845257
RB8543	RB855035	RB855113	RB855156
RB855453	RB855463	RB855511	RB855536
RB855546	RB855563	RB867515	RB845197
RB845210	RB855036	RB865230	RB928064
RB858927	RB92579	RB93509	RB931530
RB863129	RB943365	RB872552	RB943538
RB932520	RB925211	RB935744	RB925268
RB925345			
Copersucar (SP) – CTC (CTC)			
SP77-5181	SP80-3280	SP79-1011	SP87-344
SP79-2233	SP85-3877	SP81-320	SP87-365
SP80-1842	SP81-3250	SP86-42	SP87-396
SP83-2847	SP-2233	SP85-5077	SP83-5073
SP86-155	SP80-1816	SP91-1049	
CTC 1	CTC 2	CTC 3	CTC 4
CTC 5	CTC 6	CTC 7	CTC 8
CTC 9	CTC 10	CTC 11	CTC 12
CTC 13	CTC 14	CTC 15	CTC 16
CTC 17	CTC 18		

IAC (IAC)			
IACSP95-3028	IACSP93-2060	IAC91-1099	IACSP95-5000
IACSP93-3046	IACSP94-2101	IACSP94-2094	IACSP94-4004
IAC91-2195	IAC91-2218	IAC91-5155	IAC93-6006
IAC86-2480	IAC82-2045	IAC82-3092	IAC86-2210
IAC87-3396			

Fonte: Marin, 2022.

Apesar dos avanços no melhoramento genético, não há uma variedade de cana-de-açúcar perfeita, que seja produtiva e ao mesmo tempo tolerante ao ataque de pragas e doenças. Sendo assim, os produtores buscam por variedades que apresentem menores perdas econômicas na produção.

Ainda são escassas informações de que a variedade de cana-de-açúcar influencia diretamente a composição química e sensorial de uma cachaça, sendo a sua produtividade agrícola, sanidade dos colmos e a riqueza em sacarose as características mais importantes (Torres, 2016). Segundo a autora, recomendam-se as variedades que se adequem às condições edafoclimáticas da propriedade agrícola, e às orientações técnicas em relação aos ambientes de produção mais propícios para cada variedade de cana-de-açúcar disponível atualmente no mercado.

Apesar da ausência de informações e estudos sobre o tema, a influência da variedade de cana-de-açúcar na composição da cachaça pode ser considerada um fator importante para o perfil químico da bebida recém-destilada (Corniani *et al.*, 2015).

O padrão de qualidade da cachaça sofre influências das distintas variedades de cana-de-açúcar aplicadas no seu processamento, impactando diretamente suas propriedades sensoriais e físico-químicas. As variedades de cana-de-açúcar surgem de hibridizações entre espécies ou outras variedades, e se ajustam a diversos tipos de solo, condições climáticas e ambientais. Consequentemente, esses parâmetros podem influenciar a composição química e o desenvolvimento da cana-de-açúcar (Rosa *et al.*, 2009; Lima *et al.*, 2022 *apud* Silva, 2024).

Além da variedade utilizada, o método de colheita da cana também exerce influência significativa na qualidade da bebida, especialmente quando é considerada o uso ou não da queima prévia. Sendo assim, no estudo conduzido por Gonzalez (2018), mostra que, embora tanto a cachaça de cana queimada quanto a de cana crua apresentam conformidade com os padrões. A queima tem a tendência de elevar a acidez volátil, enquanto a cana não queimada apresentou 16,9 mg/100 mL, demonstrando a menor acidez volátil. Na análise sensorial,

embora não tenha tido diferença estatística significativa, a cachaça produzida com queima prévia obteve uma aceitação maior dos provedores, principalmente quanto a cor, aroma e impressão global.

O manejo fitossanitário é outro fator importante que influencia na qualidade da cachaça que, além de comprometer a matéria-prima, também pode reduzir de forma significativa a qualidade da cachaça. Para minimizar esses efeitos negativos, torna-se importante a adoção de manejo de pragas e doenças que considerem o desenvolvimento da cultura, a sustentabilidade ambiental, a proteção da saúde e animal, desde a fase de armazenamento, dando preferência por métodos culturais, físicos e biológicos (SEBRAE, 2020).

As principais ameaças ao canavial, incluem a broca da cana (*Diatraea saccharalis*), que causa perdas de até 1,21% na produção por cada 1% de infestação, e a cigarrinha das raízes (*Mahanarva fimbriolata*), responsável por reduções de até 25% na produtividade. O complexo broca-podridão que corresponde entre a associação da broca e dos fungos, pode ocasionar perdas de mais de 50% no canavial. Doenças como carvão, mosaico e raquitismo também são responsáveis pelo comprometimento da produção (CTC, 2018).

De acordo com o estudo realizado por Almeida *et al.* (2020) a infestação da broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*) reduziu a produtividade dos colmos e o rendimento industrial, com perda de mais de 100 mL de cachaça por colmo. Nos colmos atacados, houve aumento de 15% de acidez total e de fenóis, superior a 400 mg/L. Os demais parâmetros, como: Brix, pureza, ATR e pH permaneceram estáveis. A viabilidade da levedura ficou abaixo do recomendado, indicando uma menor eficiência fermentativa e maiores custos de produção. Na bebida produzida, os valores atenderam à legislação brasileira, mas a cachaça de cana infestada apresentou maior teor de ácido acético, o que pode afetar o sabor da bebida. Infecções pelo complexo broca-podridão, mesmo em níveis de 3% a 6%, alteram parâmetros essenciais da cana, como o aumento de fibras, redução do ATR e variações em Pol, Brix e pureza, comprometendo a qualidade da matéria-prima e consequentemente, os produtos advindos dela (Silva, 2024).

A variabilidade entre as variedades foi comprovada no estudo conduzido por Silva (2024), no qual foi observado que as diferentes variedades de cana-de-açúcar apresentam características exclusivas que influenciam diretamente a qualidade do caldo, vinho e a cachaça produzida. A pesquisa analisou 11 variedades de cana, revelando que essa variabilidade traz informações importantes para os produtores, permitindo uma seleção mais precisa das variedades. As análises físico-químicas demonstraram que a variedade Caiana teve destaque devido o maior teor de sólidos solúveis totais (22 °Brix), enquanto a SP79-1011 apresentou a maior concentração de açúcares totais (16,6 mg/100mL). Na análise do vinho, o autor observou que a Caiana (0,1 °Brix) apresentou fermentação mais completa, enquanto a RB1443 (6,3 °Brix) e RB951541 (6,1 °Brix) mantiveram maiores valores

de sólidos solúveis. Na cachaça final, foi verificado que a RB951541 produziu o maior teor de ésteres totais (462,6 mg/100 mL), enquanto a RB1754 apresentou os maiores teores de etanol e extrato seco. Além disso, o estudo concluiu que a SP79-1011 gerou o maior rendimento nos processos de fermentação e destilação, e que as variedades VAT90-212, RB1754 E RB992506 demonstraram alto rendimento na extração e na destilação.

Resultados complementares foram obtidos por Roviero *et al.* (2024), que avaliaram três variedades de cana (RB867515, CTC4 e RB117001) em fermentações conduzidas em leveduras comerciais e naturais. Os autores concluíram que a variedade RB117001 apresentou maior teor de açúcares, índice de brotamento e viabilidade dos brotos no início da fermentação. Entretanto, ao final do processo (24 horas após a inoculação com as leveduras) a RB867515 apresentou melhor desempenho, com maior viabilidade celular e produção de etanol. Além disso, foi observado que a levedura comercial apresentou maior eficiência até 12 horas de fermentação, enquanto a levedura natural obteve melhores resultados após 24 horas, destacando, que embora não tenha uma variedade específica para produção de cachaça, ela também influencia, assim como o tipo de levedura na eficiência fermentativa e na qualidade final da cachaça.

No estudo realizado por Corniani *et al.* (2015), verificou-se a influência de diferentes variedades de cana-de-açúcar (RB86-7515, RB92-579, SP80-1816, CTC 2, CTC 3, CTC 4, CTC 9, CTC 15) submetidas ou não ao tratamento onde o caldo sofreu aquecimento a 90°C por 20 minutos, em seguida, foram resfriadas e posteriormente filtradas na composição de congêneres voláteis e contaminantes em cachaça. Segundo os autores, de acordo com as análises da composição de congêneres voláteis e contaminantes, as diferentes variedades de cana contribuíram e influenciaram no perfil químico das cachaças produzidas, apresentando diferentes concentrações e composições químicas de acordo com as características das variedades utilizadas, demonstrando que a escolha da variedade de cana-de-açúcar para produção de cachaça e o tratamento térmico realizado no caldo podem proporcionar à cachaça modificações na sua composição de congêneres voláteis e de contaminantes.

Os componentes de rendimento da cana-de-açúcar, o teor de sólidos solúveis e o rendimento esperado de cachaça foram avaliados ao final de três safras de cultivo das variedades CTC4, CTC9002, CTC9003 e RB966928, sendo os maiores teores de sólidos solúveis (°Brix) encontrados na variedade CTC4, seguida de RB966928, enquanto a variedade CTC9002 apresentou a maior produtividade de colmos por hectare (Pimentel *et al.*, 2024).

Além da variedade a ser utilizada como matéria prima para a produção da cachaça, o tipo de manejo da adubação realizado na cultura também pode impactar a qualidade da bebida. Compostos voláteis minoritários nas cachaças provenientes das variedades RB857515, RB966928 e RB855453, plantadas sem

adubação e com adubação orgânica e convencional foram avaliadas, e verificou-se que as diferentes variedades de cana-de-açúcar e a adubação (orgânica e mineral) contribuíram e influenciaram o perfil químico das cachaças produzidas, sendo o método orgânico apresentou maiores concentrações entre os compostos voláteis, tornando-se o sistema de cultivo mais recomendado, seguido pelo sistema de cultivo convencional (Silva *et al.*, 2020).

5 COLHEITA MANUAL VS. COLHEITA MECANIZADA

A colheita da cana-de-açúcar é um processo que engloba desde o planejamento até o fornecimento da matéria-prima à indústria, variando conforme a região. No Sudeste, Centro-Oeste e Sul, ocorre de abril a novembro; já no Nordeste, compreende os meses de julho a março. Os sistemas podem ser manual, semimecanizado ou mecanizado, a escolha depende da topografia do terreno, mão de obra disponível e das condições de campo. Em áreas de relevo acidentado, ainda há uma forte predominância do corte manual. Antes de sua realização, à qualidade do açúcar da área a ser colhida deve ser analisada, para então iniciar o processo de maturação e o planejamento da colheita (Vilar, 2021).

A maturação da cana-de-açúcar é compreendida como um processo fisiológico que envolve a formação de açúcares nas folhas e seu deslocamento e armazenamento no colmo (Rosseto, 2022). É também considerado o momento ideal para a colheita da cana-de-açúcar onde as plantas atingem o máximo acúmulo de biomassa e maturação dos colmos, condições ideais para a produção e qualidade da cana destinada à cachaça (Pandya; Patel, 2017).

Os sólidos solúveis (SS) presentes nos colmos de cana-de-açúcar e medidos por meio de um refratômetro, expressam os resultados em graus Brix, refletem a concentração de açúcares solúveis contidos no caldo, considerado um parâmetro essencial para a qualidade da cana destinada à produção de cachaça, esse parâmetro determina a também a maturação, assim como o rendimento da cana-de-açúcar produzida (Miguel *et al.*, 2025; Ahmar; Solahudin; Widodo, 2024).

De acordo com Rossetto (2022), após a medição da porcentagem de sólidos solúveis do caldo é possível determinar o estágio de maturação da cana-de-açúcar. Uma vez que a planta imatura apresenta uma grande diferença nos teores de sacarose entre os extremos de seus colmos, o critério utilizado para estimar a maturação pelo refratômetro de campo é o índice de maturação (IM), que fornece a relação entre os dois teores, conforme a fórmula: $IM = \frac{^{\circ}Brix \text{ da ponta do colmo}}{^{\circ}Brix \text{ da base do colmo}}$. Como, os valores de IM admitidos são:

- Menor que 0,60 - indica que a cana ainda está verde;
- Entre 0,60 e 0,85 - indica que a cana está em processo de maturação;
- Entre 0,85 e 1 - indica que a cana está madura;

- Maior que 1 - indica que a cana está em processo de declínio de sacarose.
- Ao atingir o ponto ideal de maturação da cana-de-açúcar é dado o sinal para que a etapa de colheita seja iniciada.

A análise das características biométricas e dos sólidos solúveis da cana-de-açúcar produzida em diferentes localidades demonstrou que, em alguns locais, a qualidade da cana pode ser influenciada por fatores ambientais específicos ou práticas de manejo (Miguel *et al.*, 2025). Segundo os autores, a concentração de sólidos solúveis afeta diretamente a qualidade da fermentação e o sabor do produto final da cachaça, sendo que a variação nesses parâmetros pode alterar a composição química da bebida e impactar sua fermentação e destilação. Portanto, o controle desses fatores é fundamental para otimizar a produção da cachaça de qualidade superior.

A maturação e a época da colheita influenciam diretamente na qualidade da cachaça. Fernandes *et al.*, (2017), demonstraram que a cana colhida no início da safra (junho), apresentou maior teor de açúcares redutores e acidez, resultando em uma bebida de menor qualidade sensorial. Já as colheitas realizadas entre agosto e outubro, quando a cana atinge a maturação adequada, apresentaram melhores parâmetros físico-químicos da matéria-prima e uma cachaça mais equilibrada. Assim, além da escolha do sistema de colheita, é fundamental respeitar o ponto de maturação da cana para garantir uma bebida de qualidade.

Existem inúmeros cuidados que devem ser considerados para a obtenção de uma cachaça de qualidade, entre eles uma colheita bem executada. Esse cuidado é importante para evitar o aumento de impurezas minerais e vegetais na cana, as quais podem comprometer a pureza do caldo, e consequentemente, a qualidade da bebida (Magalhães; Castro, 2018).

A colheita é a etapa que garante o fornecimento da matéria-prima à indústria, englobando o planejamento do corte e, em alguns casos, da queima prévia da cana para facilitar o processo.

Nesse contexto, a colheita pode ser realizada de três formas principais: Manual, semimecanizada e mecanizada. No sistema manual, o processo de corte e de carregamento é realizado manualmente por trabalhadores rurais (Vilar, 2021).

Com o objetivo de facilitar a colheita manual, a cana passa pela queima da palhada, todavia, esse processo acarreta problemas ambientais e sociais, como a emissão de gases que aumentam o efeito estufa e a propagação de fuligens que afetam os moradores da região (Vilar, 2021).

A colheita semimecanizada é caracterizada pela combinação entre corte manual da cana, realizado pelos trabalhadores no campo, e o uso de máquinas para auxiliar na etapa seguinte. Após o corte, os colmos são reunidos e, em

seguida, as carregadoras são responsáveis por transportá-los até as unidades de transbordo (Rosseto, 2022). Esse sistema representa uma transição entre a colheita totalmente manual e mecanizada, reduzindo parte do esforço humano, mas ainda mantendo a necessidade de mão de obra no corte.

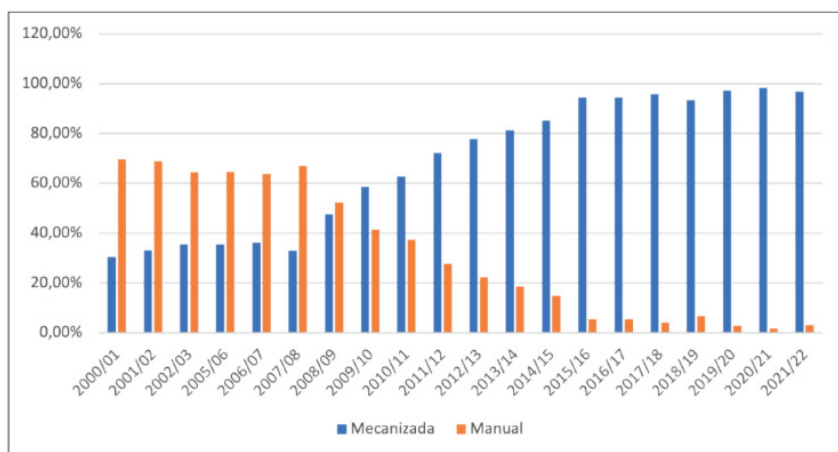
Diante dos problemas ocasionados pela colheita manual com uso da queima, tornou-se necessária a adoção de um novo método, capaz de melhorar os aspectos ambientais e aumentar a produtividade em toneladas de cana por hectare. Esse cenário impulsionou o avanço e a implementação da colheita mecanizada no setor sucroenergético (Paulosso; Marjotta-Maistro; Santos, 2023).

Historicamente, a colheita mecanizada da cana-de-açúcar nasceu em 1944, em plena Segunda Guerra Mundial, onde a Austrália sofria com a escassez de mão de obra em suas lavouras de cana-de-açúcar. A solução foi encontrada pelos irmãos Toft, que criaram uma máquina para os agricultores locais colherem sua cana. Em meados da década de 1970, a indústria dos irmãos Toft, enviou um representante ao Brasil que desempenhou papel decisivo no avanço e na consolidação da mecanização das áreas cultivadas com cana-de-açúcar no país (Monassi, 2019).

A colheita mecanizada, realizada sem a queima prévia para retirada da palha, compreende dez etapas fundamentais executadas pelas colhedoras: corte dos ponteiros, alinhamento e corte da base dos colmos, separação parcial da terra, picagem dos rebolos, limpeza primária, condução dos rebolos por elevador até a descarga, limpeza secundária e, por fim, a descarga a granel dos rebolos no veículo de transporte. Esse conjunto de operações permite a colheita eficiente de canaviais eretos ou tombados (Braunbeck; Magalhães, 2010 *apud* Magalhães; Castro, 2018).

Entre as safras de 2000/01 e 2007/08, o sistema de colheita manual apresentava a maior predominância, sendo responsável por 64% de área colhida, de acordo com o gráfico 1. Todavia, diante da criação do Protocolo Ambiental em 2007, foi observado uma queda significativa nesse sistema de colheita: houve uma redução de 25,6% entre as safras de 2007/08 e 2009/10, sendo este espaço preenchido pela colheita mecanizada. Dessa forma, a colheita manual vem perdendo espaço a cada safra, enquanto a colheita mecanizada tem ganhado destaque, alcançando 98,3% da área colhida em 2020/21. Atualmente, a colheita mecanizada responde por 96,9% da área, restando apenas 3,1% para o sistema manual.

Gráfico 1– Colheita manual vs mecanizada no estado de São Paulo da safra 2000/01 a 2020/21.



Fonte: UNICA, 2022. Moreno, 2022 *apud* Paulosso; Marjotta-Maistro; Santos, 2023.

Outro fator a ser considerado para a produção da cachaça, é o armazenamento e o transporte da matéria-prima até o setor de moagem. Em experimentos conduzidos por Filho, Bortoletto e Alcarde (2016), o armazenamento dos colmos por mais de 48 horas, causou um comprometimento na qualidade da cachaça produzida. Foi observado uma redução de 2,9% de sacarose aparente, aumento da acidez total e dos açúcares redutores, além da queda de 21,9% na viabilidade de células e brotos de leveduras em colmos colhidos e armazenados por 96 horas. Esses fatores resultaram em fermentações com menor eficiência, acúmulo de açúcares residuais e redução de até 11,6% no teor alcoólico. Apesar de alguns compostos, como: acetato de etila, acetaldeído, cobre, metanol e carbamato de etila esteja dentro dos parâmetros, foram observados teores elevados de álcoois superiores e furfural, que podem influenciar no sabor da bebida.

Esses resultados demonstram a importância da eficiência entre a colheita e a moagem, garantindo que a cana seja processada dentro do tempo adequado. Dessa forma, a qualidade da matéria-prima é preservada, garantindo um maior rendimento na fermentação, e consequentemente, obtendo uma cachaça de qualidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dessa forma, a cana-de-açúcar consolida-se como uma cultura de grande relevância histórica, econômica e social para o Brasil, mantendo sua importância desde o período colonial até os dias atuais. Além de impulsionar a economia nacional por meio da produção de açúcar, etanol e cachaça, a cultura também se destaca pela capacidade de adaptação às diferentes condições climáticas do país e pela constante evolução tecnológica aplicada ao seu cultivo.

Nesse contexto, observa-se que fatores como a escolha da variedade, o manejo agrícola, o controle fitossanitário, o sistema de colheita e o tempo entre a colheita e a moagem exercem influência direta sobre a produtividade da lavoura e a qualidade final da cachaça. Assim, a adoção de práticas sustentáveis e de técnicas adequadas de manejo torna-se essencial para garantir maior eficiência produtiva, redução dos impactos ambientais e obtenção de bebidas com melhores características físico-químicas e sensoriais. Portanto, o avanço das pesquisas e dos programas de melhoramento genético, aliado ao uso de tecnologias sustentáveis no setor sucroenergético, representa um caminho fundamental para fortalecer a competitividade da cadeia produtiva da cana-de-açúcar e assegurar sua relevância nas próximas décadas.

REFERÊNCIAS

AGROPÓS. **Cana-de-açúcar**: a potência do Brasil. Agropós. Disponível em: <https://agropos.com.br/cana-de-acucar/>. Acesso em: 13 set. 2025.

AHMAR, A. S.; SOLAHUDIN, M.; WIDODO, S. Nondestructive prediction of brix value in sugarcane based on portable NIR spectroscopy. **Jurnal Keteknikan Pertanian**, v. 12, n. 3, p 424-437, 2024.

ALMEIDA, Juliane Cristina de et al. Cachaça production from sugarcane infested by *Diatrea saccharalis*. **Food Science and Technology**, v. 40, n. Jan-Mar. 2020, p. 266-272, 2020 Tradução. Doi.org/10.1590/fst.38918.

BARBOSA, A. M. **Fases de crescimento da cana-de-açúcar**. Disponível em: <https://alexandriusmb.blogspot.com/2016/03/fases-de-crescimento-da-cana-de-acucar.html>. Acesso em: 9 set. 2024.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA - CTC. **Pragas e doenças da cana-de-açúcar**. 2018. Disponível em: <https://ctc.com.br/produtos/storage/2018/07/Caderneta-de-Pragas-e-Doen%C3%A7as-da-Cana-de-a%C3%A7%C3%BACar-CTC.pdf>. Acesso em: 25 set. 2025.

Como legalizar sua produção de cachaça. Belo Horizonte: Sebrae Minas, 2020. 64p. Disponível em: <https://www.anpaq.com.br/images/cartilhasebrae.pdf>. Acesso em: 22 set. 2025.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar | Safra 2025/26 – 1º Levantamento. ISSN: 2318-7921. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-cana-de-acucar/arquivos-boletins/1o-levantamen>

to-safra-2025-26/boletim-cana-de-acucar-4o-levantamento-2025-26. Acesso em: 13 set. 2025.

CORNIANI, L. BORTOLETTO, A.; CORRÊA, A. C.; ALCARDE, A. (2015). Influência das variedades de cana-de-açúcar e do tratamento do caldo na composição de congêneres voláteis e contaminantes em cachaça. In: Conferência: XIX Encontro Nacional e V Congresso Latino Americano de Analistas de Alimentos - Desafios Analíticos e Segurança Alimentar. Natal, Volume: XIX. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/281377514_Influencia_das_variedades_de_cana-de-acucar_e_do_tratamento_do_caldo_na_composicao_de_congeneres_volateis_e_contaminantes_em_cachaca. Acesso em: 15 set. 2025.

CTC – Centro de Tecnologia Canavieira. **Quem Somos**. Disponível em: <https://ctc.com.br/quem-somos/>. Acesso em: 13 set. 2025

DAROS, E.; OLIVEIRA, G. A.; BARBOSA, G. V. (org.). **45 anos de variedades RB de cana-de-açúcar**: 25 anos de Ridesa. Curitiba: ed. Graciosa, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Cana-de-açúcar: Abertura. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana-de-acucar>. Acesso em: 13 set. 2025.

FERNANDES, O. W. B.; SILVA, D. F.; SANSON, A. L.; COUTRIM, M. X.; AFONSO, R. J. C. F.; EICHLER, P.; SANTOS, F. Influence of Harvest Season and Maturation of Different Sugarcane (*Saccharum* Spp.) Cultivars on the Chemical Composition of Alembic Brazilian Sugarcane Spirit. **Open Access Library Journal**, v. 4, 2017.

GONZALEZ, A. G. **Avaliação Da Qualidade Da Cachaça De Cana Queimada E Não Queimada**. 2018. 33f. Trabalho de Conclusão de Curso - Agronomia. Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, Santa Teresa, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/5210>. Acesso em: 18 set. 2025.

IAC. INFORMATIVO PROGRAMA CANA IAC. Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/html/informativo-cana-iac-outubro-2024/>. Acesso em: 14 set. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola**: Produção por ano da safra e produto (tonelada), 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html>. Acesso em: 13 set. 2025.

MACÊDO, M. M. C. Melhoria genética de cana-de-açúcar. In.: Lizz Kezzy de Moraes, *et al.* – **Aracaju**: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 38 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 200). Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 8 set. 2025.

MACEDO, M. **Ciclo da cana-de-açúcar**. Educamaisbrasil. Disponível em: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/historia/ciclo-da-cana-de-acucar>. Acesso em: 13 set. 2025.

MAGALHÃES, P. S. G; CASTRO, S. **Colheita da cana-de-açúcar para a produção de cachaça**. 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/324442362>. Acesso em: 25 set. 2025.

MARAFON, A. C. **Análise Quantitativa de Crescimento em Cana-de-açúcar**: uma Introdução ao Procedimento Prático. ISSN 1678-1953 dezembro, 2012. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/944871/1/doc-168-corrigido-2021.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2024.

MARIN, F. R. **Fenologia** - Portal Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/preproducao/caracteristicas/fenologia>. Acesso em: 23 mar. 2024.

MARIN, F. R. Variedades. In: **Árvore do conhecimento**: Cana-de-açúcar. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pre-producao/caracteristicas/variedades>. Acesso em: 9 set. 2025.

MATSUOKA, Sizuo *et al.* **Bioenergia da cana**. Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool, v. 1, p. 548-576, 2012.

MIGUEL, G. M. S. N.; RIBEIRO, A.E.C.; MORGADO, C.M.A.; BUENO, G.C.A.; GONÇALVES, M.E.T.; BRICENO, J.C.C.; SILVA, F.A.; CALIARI, M.; OLIVEIRA, T.F. Análise das características biométricas e sólidos solúveis da cana-de-açúcar em diferentes locais de produção em Goiás: Implicações para a qualidade da cachaça. **Observatório De La Economía Latinoamericana**, v. 23, n. 3, p. 9406, 2025.

MONASSI, A. E. 75 anos da colheita mecanizada. **Revista Opiniões**, n. 60, p. 45-46. Disponível em: <https://sucroenergetico.revistaopinioes.com.br/pt-br/revista/leitura/online/o-que-ha-de-modelo-hoje-na-agricultura/>. Acesso em: 1 mai. 2026.

MOORE, P. H., PATERSON, A. H.; TEW, T. (2013). Sugarcane: The Crop, the Plant, and Domestication. In **Sugarcane**: Physiology, Biochemistry, and Functional

Biology (eds P.H. Moore and F.C. Botha). Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/9781118771280.ch1>. Acesso em: 2 set. 2025.

MOORE, P. H. Sugarcane and Sugarbeet, Editor(s): Brian Thomas, Brian G Murray, Denis J Murphy, **Encyclopedia of Applied Plant Sciences** (Second Edition), Academic Press, 2017, Pages 273-280, ISBN 9780123948083, Doi.org/10.1016/B978-0-12-394807-6.00007-1.

MORAIS, L. K.; AGUIAR, M. S.; SILVA, P. A.; CÂMARA, T. M.M.; CURSI, D. E.; FERNANDES JUNIOR, A. R.; CHAPOLA, R. G.; CARNEIRO, M. S.; BESPALHOK FILHO, J. C. Breeding of Sugarcane, In: CRUZ, V. M. V.; DIERIG, D. A. (Ed.). **Industrial Crops: breeding for bioenergy and bioproducts**. New York, USA: Springer, 2015. 444 p.

MORAIS, L.K. Melhoramento genético de cana-de-açúcar. In.: Lizz Kezzy de Moraes, et al. – **Aracaju**: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 38 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 200). Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 8 set. 2025.

PANDYA, M.M.; PATEL, P. B. Studies on correlation and path analysis for quality attributes in sugarcane [Saccharum Spp. Hybrid]. **International Journal of Pure & Applied Bioscience**, v. 5, n. 6, p. 1381–1388, 30 dez. 2017.

PAULOSSO, Leonardo Henrique; MARJOTTA-MAISTRO, Marta Cristina; SANTOS, Jeronimo Alves dos. **Análise das mudanças da colheita manual da cana-de-açúcar para a mecanizada no setor sucroenergético**. Guarujá-SP: Científica Digital, 2023. Disponível em: <http://dspace.unisa.br/handle/123456789/2758>. Acesso em: 27 set. 2025.

PIMENTEL, G. V.; GODINHO, S.; BOMCOMPAGNI, G.; SILVA, L.; SOUZA, F.; CHALES, A. Performance and yield estimation of sugarcane varieties for pot still cachaça production. **Australian Journal of Crop Science**. v.18, n.8, p. 479-485, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/385213730_Performance_and_yield_estimation_of_sugarcane_varieties_for_pot_still_cachaça_production. Acesso em: 28 set. 2025.

RAMOS, N. P. et al. Práticas sustentáveis na produção da cana-de-açúcar. Jaguariúna: Embrapa, 2024. p. 31–60. Doi: 10.17224/EnergAgric.2014v29n4p292-300.

ROBERTO, G. G. **Agricultura Tropical E Subtropical Fisiologia Da Maturação De Cana-De- Açúcar (Saccharum Spp)**: Sinalização E Controle Do Metabolismo

De Produção E Armazenamento De Sacarose. Tese – Instituto Agrônômico de Campinas. Campinas, 2015. Disponível em: https://www.iac.sp.gov.br/area-doinstituto/posgraduacao/repositorio/storage/teses_dissertacoes/pb1236811.pdf. Acesso em: 26 abr. 2024.

RODRIGUES, João Domingos *et al.* **Fisiologia da produção de cana-de-açúcar**. 177 p. 2018. São Paulo: Andrei Editora. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002898730>. Acesso em: 13 set. 2025.

RODRIGUES, Gelze Serrat de Souza Campos; and ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: Perspectivas geográfica, histórica e ambiental**. Uberlândia: EDUFU, 2020, 269 p. ISBN: 978-65-86084-00-9. Doi.org/10.14393/EDUFU/978-65-86084-00-9

ROSSETO, R. In. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Cana-de-açúcar: Maturação**. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana-de-acucar/producao/planejamento-da-colheita/colheita/maturacao>. Acesso em: 17 set. 2025

ROVIERO, J. P.; FREITA, C. M. de; OLIVEIRA, L. P.; SILVA, T. R.; MEDEIROS, D. A. dos S.; OLIVEIRA, A. da S.; BRAZ, I. S. dos S. Avaliação de variedades de cana-de-açúcar e seu potencial de fermentação para a produção de cachaça com leveduras comerciais e naturais. **Observatório De La Economía Latinoamericana**, [S. l.], v. 22, n. 12, p. e8483, 2025.

SCHOENINGER, V.; COELHO, S. R. M.; SILOCHI, R. M. H. Q. Cadeia Produtiva Da Cachaça. **Energia Na Agricultura**, [S. l.], v. 29, n. 4, p. 292–300, 2014.

SILVA, A. L. F. **A Influência Das Variedades De Cana-De-Açúcar Na Qualidade Da Cachaça**. 2024. 83f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Areia, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/30512/1/ALFS02072024%20-%20MQ093.pdf>. Acesso em: 17 set. 2025.

SILVA, J. H. N.; VERRUMA-BERNARDIA, M.R.; BELLUCO, A.E.S.; MEDEIROS, S.D.S.; OLIVEIRA, A.L. Volatile compounds in cachaças obtained from three sugarcane varieties cultivated under the managements: organic, conventional and without fertilization. **Química Nova**, Vol. 43, No. 9, p. 1227-1233, 2020

SILVA, R. R. **Comparação Dos Parâmetros Físico-Químicos Nos Diferentes Estágios De Infecção Da Cana-De-Açúcar**. 2024. 45f. Trabalho de Conclusão do Curso - Tecnologia em Produção Sucroalcooleira. Universidade Federal da

Paraíba - UFPB. João Pessoa, 2024. Disponível em: <https://tede.biblioteca.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/30178/1/TCCRRS2304.pdf>. Acesso em: 25 set. 2025.

SUGUITANI, C. **Fenologia da cana-de-açúcar (*Saccharum Spp.*) sob efeito do fósforo**. 2001. Dissertação – Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2001. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-20191108-124256/publico/SuguitaniCarlos.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2024.

THOMAS, A. L. 2016. **Cana-de-açúcar**. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/147567/000998097.pdf?sequence=1>. Acesso em: 24 mar. 2024.

TORRES, E. M. J. Qual variedade de cana-de-açúcar utilizar para a fabricação de cachaça. **Pesquisa & Tecnologia**, vol. 13, n. 2, Jul-Dez 2016

OLIVEIRA, J. H. de; BORTOLETTO, A. M.; ALCARDE, A. R. **Qualidade pós-colheita de colmos de cana armazenados e seus reflexos na produção de cachaça**. Brazilian Journal of Food Technology, 19. 2016.

VILAR, Daniel. **Colheita de cana-de-açúcar**. AGRICONLINE, 05 de novembro de 2021. Disponível em: <https://agronline.com.br/portal/artigo/colheita-de-cana-de-acucar/>. Acesso em: 17 set. 2021.

CAPÍTULO II

TECNOLOGIA E PROCESSOS: MOAGEM E TRATAMENTO DO CALDO DE CANA



Natasha Carolina Melo Diniz

Sara da Graça Fernandes da Silva

Tammyrys Maria de Oliveira Dantas Nascimento

1 INTRODUÇÃO

A moagem e o tratamento do caldo de cana-de-açúcar constituem etapas fundamentais no processo de produção de cachaça, impactando diretamente no rendimento fermentativo, na qualidade sensorial e na estabilidade microbiana do produto final. Essas operações têm por objetivo extrair o máximo de açúcares fermentescíveis com o mínimo de impurezas físicas e microbiológicas, preparando o substrato para a fermentação alcoólica de forma controlada e eficiente (Marcondes Pereira *et al.*, 2024; EMBRAPA, 2023).

Na produção artesanal de cachaça, a atenção a essas etapas é ainda mais crítica, pois a ausência de processos industriais automatizados exige maior rigor no controle de parâmetros operacionais. Um caldo limpo, com pH e sólidos solúveis ajustados, não apenas otimiza a fermentação, mas também contribui para a produção de uma bebida estável, de sabor agradável e livre de defeitos sensoriais.

O objetivo deste capítulo é apresentar, de forma detalhada aspectos técnicos da moagem e do tratamento do caldo de cana para a produção de cachaça, abordando desde os equipamentos utilizados e o rendimento de extração até os métodos de clarificação e suas implicações na qualidade e estabilidade microbiana.

1.1 Composição do Caldo de Cana

O caldo de cana-de-açúcar constitui a matéria-prima líquida essencial para a produção de cachaça e outras bebidas alcoólicas fermentadas a partir da sacarose. Trata-se de uma solução aquosa complexa, resultante da extração mecânica do colmo da planta, cuja composição reflete a interação entre fatores

genéticos, fisiológicos e ambientais que atuam durante o ciclo de cultivo. Sua qualidade e características físico-químicas são determinantes para o rendimento da fermentação alcoólica e para as propriedades sensoriais do destilado obtido.

A composição do caldo de cana não deve ser analisada apenas pelo teor de açúcares, mas pelo conjunto de características físico-químicas, nutricionais e microbiológicas que influenciam diretamente a fermentação alcoólica. Além da sacarose, glicose e frutose, o caldo contém minerais, compostos nitrogenados, ácidos orgânicos, substâncias fenólicas, pigmentos, ceras, pectinas, amidos e partículas em suspensão, que podem favorecer ou limitar o desempenho das leveduras e interferir na qualidade final da cachaça (Silva *et al.*, 2023; Ratkovich *et al.*, 2023; Alvarenga, 2023).

De acordo com Fernandes (2015), o caldo é constituído, em média, por 75 a 85% de água, sendo o restante composto por sólidos solúveis, predominantemente açúcares, além de sais minerais, compostos nitrogenados, ácidos orgânicos e substâncias coloidais. A sacarose, principal carboidrato presente, representa de 70 a 91% dos sólidos solúveis totais, enquanto glicose e frutose, denominadas açúcares redutores, correspondem de 3 a 6% e de 2 a 4%, respectivamente (Rodrigues *et al.*, 2019). Essa composição pode sofrer variações significativas em função do estágio de maturação da cana, da variedade cultivada e das condições edafoclimáticas.

O caldo também contém sais minerais como potássio, cálcio, magnésio, fósforo e ferro, essenciais para o metabolismo das leveduras durante a fermentação (Pereira *et al.*, 2014). A presença de aminoácidos livres e proteínas solúveis, embora em menores concentrações, fornece nitrogênio assimilável, um dos fatores limitantes no crescimento microbiano em meios açucarados.

Compostos fenólicos e pigmentos, derivados da lignina e de outras estruturas vegetais, estão presentes em concentrações traço, mas desempenham papel importante na cor e na estabilidade do caldo, podendo também exercer efeito antioxidante (Oliveira *et al.*, 2017).

A acidez do caldo, expressa em termos de pH, situa-se geralmente entre 5,0 e 5,5, faixa que oferece condições adequadas ao desenvolvimento de microrganismos contaminantes como bactérias lácticas e acéticas. Valores mais elevados favorecem a proliferação desses organismos, enquanto valores muito baixos podem comprometer a viabilidade das leveduras desejáveis.

A estabilidade microbiológica, portanto, depende não apenas do controle de pH, mas também da higiene na extração e no manuseio do caldo (Souza *et al.*, 2015).

A carga microbiana inicial do caldo também representa fator crítico para a estabilidade da fermentação. Bactérias lácticas, bactérias acéticas e leveduras selvagens podem competir com as leveduras desejáveis pelo substrato, produzir

ácidos orgânicos e alterar o rendimento alcoólico e o perfil sensorial da bebida. Assim, a qualidade microbiológica do caldo depende da matéria-prima, da limpeza dos equipamentos, da remoção de impurezas e do rápido encaminhamento do caldo para a fermentação (Alvarenga, 2023; Ratkovich *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2023).

Outro parâmetro de grande relevância é o teor de sólidos solúveis, expresso em graus Brix, que corresponde à soma da sacarose e demais componentes dissolvidos. O teor de sólidos solúveis, expresso em °Brix, é um dos principais parâmetros de controle do caldo destinado à fermentação. Para a produção de cachaça, recomenda-se que o mosto seja ajustado para faixas próximas de 14 a 16 °Brix, pois concentrações muito baixas tendem a reduzir o rendimento alcoólico, enquanto concentrações elevadas podem aumentar o estresse osmótico das leveduras, retardar a fermentação e favorecer fermentações incompletas (EMBRAPA, 2025; Alves *et al.*, 2018; Araújo, 2019).

Além da composição química, as características físicas e coloidais do caldo influenciam o seu comportamento no processamento subsequente. Impurezas como ceras, pectinas e amidos, mesmo em baixas concentrações, podem dificultar processos como a clarificação e a filtração, exigindo etapas adicionais de tratamento. As impurezas físicas e coloidais presentes no caldo, como fragmentos de bagaço, palha, terra, areia, ceras, pectinas e compostos fenólicos, podem dificultar a clarificação, elevar a turbidez e favorecer alterações indesejáveis na bebida. Embora alguns compostos em pequenas concentrações possam participar da complexidade química do caldo, o excesso de impurezas compromete a estabilidade do processo e pode afetar negativamente aroma, sabor, limpidez e padronização da cachaça (Ribeiro *et al.*, 2017).

Dessa forma, compreender a composição e as características do caldo de cana é fundamental para a tomada de decisões tecnológicas em todas as etapas do processo, desde a colheita e moagem até o tratamento e a fermentação. Um caldo com equilíbrio adequado entre açúcares, nutrientes, pH e baixo teor de impurezas representa não apenas um substrato eficiente para a produção alcoólica, mas também um fator determinante para a obtenção de uma cachaça de qualidade superior e estável ao longo do tempo.

2 MOAGEM DA CANA-DE-AÇÚCAR

A moagem é a operação mecânica destinada à extração do caldo contido nos colmos da cana-de-açúcar, constituindo a primeira etapa industrial após a colheita. Seu objetivo é romper as células vegetais, liberando o conteúdo líquido com o mínimo de degradação da sacarose e a menor incorporação possível de impurezas sólidas e coloidais.

De acordo com Carvalho *et al.* (2017), a eficiência dessa etapa influencia de forma direta não apenas o rendimento global da produção de cachaça, mas também a qualidade físico-química do substrato a ser fermentado.

Para que a moagem seja eficiente, recomenda-se que a cana seja processada no menor intervalo de tempo possível após o corte, preferencialmente em até 24 horas. Atrasos no processamento favorecem a degradação enzimática da sacarose em glicose e frutose, catalisada pela invertase, e aumentam o risco de fermentações espontâneas por microrganismos contaminantes (Fernandes, 2015). Além disso, a exposição prolongada da matéria-prima ao ambiente promove perdas de umidade e concentrações desbalanceadas de açúcares, afetando a composição do caldo.

2.1 Equipamentos utilizados na moagem

Diversos tipos de equipamentos podem ser empregados na moagem da cana, variando de acordo com a escala de produção, o grau de automação e a filosofia operacional da unidade produtora. Em pequenas destilarias artesanais, a extração do caldo é comumente realizada em moendas de rolos simples, movidas por motores elétricos ou a combustão. Essas moendas são compostas, em geral, por três rolos dispostos em série, que comprimem a cana progressivamente. Segundo Santos *et al.* (2016), esse arranjo permite a extração de até 70% do caldo presente no colmo, desde que a regulação de pressão e a alimentação sejam adequadas.

Em unidades industriais de maior porte, é comum o uso de moendas múltiplas em tandem, compostas por quatro a seis ternos de rolos, precedidos de equipamentos de preparo mecânico, como picadores e desfibradores. Os picadores realizam cortes transversais que aumentam a superfície exposta, enquanto os desfibradores fragmentam mecanicamente as fibras, facilitando a penetração da pressão nos rolos subsequentes (Silva *et al.*, 2018). Essa configuração, associada à aplicação de embebição (lavagem do bagaço com água ou caldo diluído entre os ternos) pode elevar o rendimento de extração a patamares superiores a 95%.

Em contextos de baixa escala, especialmente em áreas rurais, ainda se observam prensas mecânicas e hidráulicas, nas quais a cana é disposta em feixes e submetida a compressão direta. Embora apresentem rendimentos inferiores e maior tempo de operação, esses sistemas demandam menor investimento inicial e são de fácil manutenção (Oliveira *et al.*, 2017).

2.2 Parâmetros operacionais da moagem

A eficiência da moagem é condicionada por um conjunto de variáveis operacionais que devem ser cuidadosamente monitoradas. Entre elas, destacam-se

a pressão dos rolos, a velocidade periférica, a taxa de embebição, a temperatura do caldo durante a extração e o tempo total entre colheita e moagem.

A pressão exercida pelos rolos deve ser suficiente para romper as fibras e liberar o caldo, mas não tão elevada a ponto de provocar excessiva trituração, que aumentaria a quantidade de sólidos suspensos no produto final. A velocidade periférica ideal situa-se entre 5 e 7 metros por minuto, faixa que evita aquecimento excessivo e minimiza a degradação térmica da sacarose (Carvalho *et al.*, 2017). A aplicação de embebição, com volumes correspondentes a 20 a 30% do peso da cana, promove a solubilização de açúcares remanescentes no bagaço, podendo elevar o rendimento global em até 3% (Santos *et al.*, 2016).

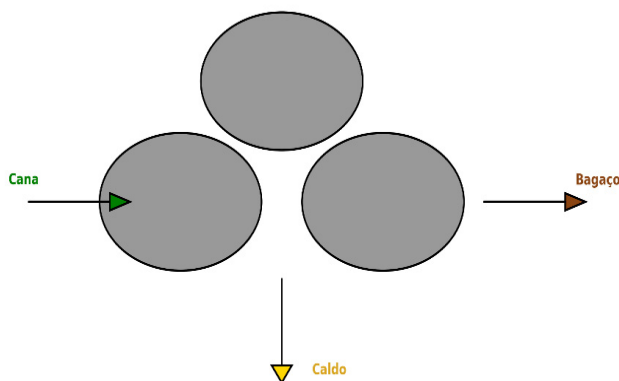
A temperatura durante a moagem deve ser mantida abaixo de 35 °C, a fim de inibir a proliferação microbiana e preservar a integridade química dos açúcares. O tempo total desde a colheita até o início da moagem deve ser minimizado, sendo o ideal inferior a seis horas para evitar perdas significativas por respiração celular e atividade microbiana.

2.3 Rendimento de extração

O rendimento da moagem é expresso pela relação entre o volume de caldo extraído e o teor de caldo presente na cana. Esse indicador é influenciado pela maturação da matéria-prima, pelo estado de conservação após a colheita, pela eficiência dos equipamentos e pelo manejo operacional. Em produções artesanais, rendimentos de 65 a 75% são considerados satisfatórios, enquanto no setor industrial, com equipamentos em tandem e aplicação de embebição, é possível alcançar índices de 93 a 96% (Fernandes, 2015).

A perda de açúcares no bagaço representa uma das principais fontes de ineficiência no processo. Para reduzi-la, é fundamental monitorar o teor de pol no bagaço, mantendo-o abaixo de 2% nas melhores práticas industriais. Valores superiores indicam necessidade de ajuste na pressão dos rolos ou na taxa de embebição. Assim, a moagem da cana-de-açúcar, mais do que uma simples operação mecânica, representa uma etapa crítica de natureza tecnológica, na qual o controle preciso de parâmetros operacionais e a escolha adequada de equipamentos exercem influência direta sobre a eficiência de extração, a qualidade do caldo obtido e, conseqüentemente, sobre o rendimento e a qualidade da cachaça produzida.

Figura 1 – Esquema simplificado de moenda de rolos.



Fonte: Silva *et al.*, 2018.

3 TRATAMENTO DO CALDO

O tratamento do caldo de cana-de-açúcar é a etapa subsequente à moagem, tendo como principal objetivo a remoção de impurezas físicas, coloidais e microbiológicas, bem como o ajuste de parâmetros físico-químicos de forma a proporcionar um meio adequado para a fermentação alcoólica. Trata-se de uma fase crítica, pois o caldo extraído apresenta naturalmente elevada carga microbiana e significativo conteúdo de sólidos suspensos, além de compostos que podem comprometer o rendimento e a qualidade sensorial da cachaça.

Segundo Embrapa (2020), a eficiência no tratamento do caldo determina em grande parte a estabilidade do processo fermentativo, uma vez que reduz a competição entre microrganismos indesejáveis e as leveduras selecionadas. Além disso, melhora as condições de clarificação e filtração, influenciando diretamente a limpidez e a coloração do produto final.

3.1 Objetivos e importância

O tratamento do caldo busca três metas principais: a remoção de impurezas insolúveis e coloidais; a redução da carga microbiana contaminante; e a correção de parâmetros físico-químicos, como pH e teor de sólidos solúveis. Tais ajustes favorecem a atividade das leveduras e minimizam a formação de metabólitos indesejáveis durante a fermentação, como ácidos orgânicos voláteis e álcoois superiores (Souza *et al.*, 2015).

Impurezas como partículas de bagaço, areia, argila, fragmentos vegetais e ceras, se não removidas, podem interferir na fermentação e na destilação, resultando em sabores e aromas indesejáveis. Da mesma forma, bactérias do gênero *Lactobacillus* podem competir com as leveduras pelo substrato, produzindo ácido lático e diminuindo o rendimento alcoólico.

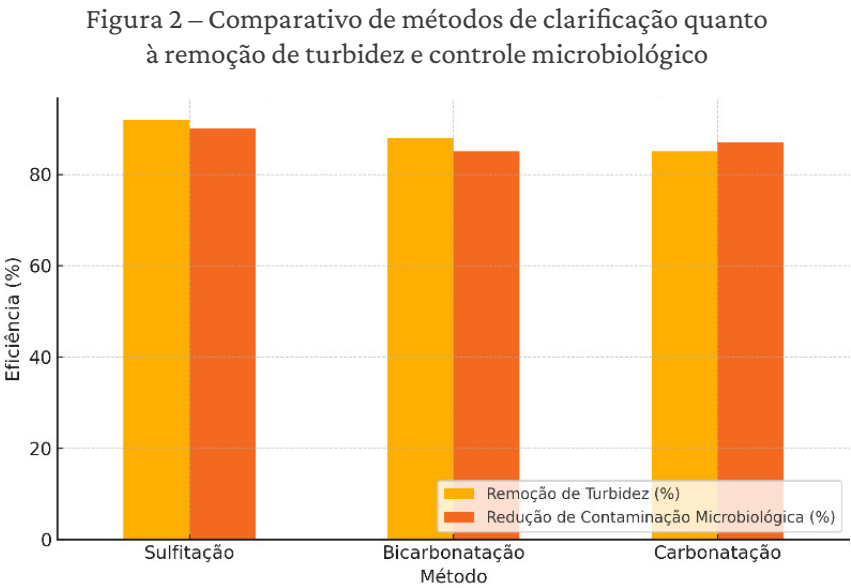
3.2 Operações iniciais

Logo após a moagem, o caldo passa por peneiramento grosseiro, que retira partículas maiores, e filtração primária para a remoção de sólidos menores. Em alguns casos, utiliza-se decantação preliminar, onde a sedimentação é auxiliada por coagulantes naturais, como extratos vegetais, ou químicos, como polímeros catiônicos (Pereira *et al.*, 2014).

O ajuste de pH é realizado normalmente nesta fase, utilizando-se ácido sulfúrico diluído ou ácido cítrico, até atingir valores entre 4,5 e 4,8. Essa faixa é considerada ideal para inibir o crescimento bacteriano sem prejudicar a atividade fermentativa das leveduras (Rodrigues *et al.*, 2019).

3.3 Métodos de clarificação

A clarificação é uma das etapas mais relevantes do tratamento do caldo, responsável por remover impurezas finas e coloidais que não sedimentam espontaneamente. Entre os métodos mais empregados, destacam-se a sulfitação, a bicarbonatação e a carbonatação, e o comparativo de cada método está apresentado na figura 2.



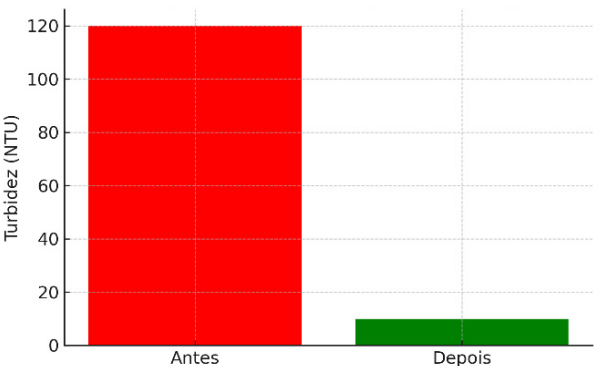
Fonte: Silva *et al.*, 2018.

A sulfitação consiste na adição controlada de dióxido de enxofre ao caldo, o que provoca a coagulação de colóides, a descoloração parcial e a redução da carga microbiana. Além disso, o SO_2 age como antioxidante, retardando o escurecimento enzimático (Santos *et al.*, 2016). No entanto, o excesso de enxofre residual pode gerar compostos indesejáveis na cachaça, sendo necessário rigoroso controle da dosagem.

A bicarbonatação é um processo mais simples, que envolve a adição de bicarbonato de sódio para elevação temporária do pH, promovendo a precipitação de algumas impurezas. Embora de baixo custo e fácil aplicação, é menos eficiente na remoção de cor e turbidez quando comparada à sulfitação (Oliveira *et al.*, 2017).

A carbonatação, por sua vez, utiliza cal para alcalinizar o caldo, seguida da injeção de dióxido de carbono, formando carbonato de cálcio precipitado, que arrasta as impurezas. Esse método apresenta alta eficiência de clarificação, mas demanda maior controle operacional para evitar alcalinização excessiva e consequentes alterações na fermentação (Silva *et al.*, 2018).

Figura 3 – Redução de turbidez após clarificação.



Fonte: Silva *et al.*, 2018.

Quadro 1 – Parâmetros operacionais ideais para moagem e tratamento do caldo.

Parâmetro	Faixa ideal
pH	4,5-5,0
Brix	14-16 °Brix
Temperatura de Moagem	Ambiente/ 30-35 °C
Pressão de Rolos	Alta e Constante
Tempo até fermentação	< 6 horas

Fonte: Silva *et al.*, 2018.

3.4 Influência na estabilidade microbiológica

O tratamento adequado do caldo reduz significativamente a carga microbiana inicial, retardando a deterioração e favorecendo uma fermentação mais previsível e controlada. Um caldo clarificado e ajustado em pH apresenta menor suscetibilidade à ação de bactérias contaminantes e leveduras selvagens,

resultando em menor produção de ácidos voláteis e maior rendimento alcoólico (Souza *et al.*, 2015).

Contudo, é importante salientar que o tratamento não substitui as boas práticas de higiene durante a extração, transporte e armazenamento do caldo. Equipamentos mal higienizados podem “re-inocular” microrganismos mesmo após a clarificação. Por isso, a integração entre limpeza adequada, manutenção preventiva e tratamento físico-químico é indispensável para garantir a qualidade final da bebida.

Assim, o tratamento do caldo de cana representa um conjunto de operações complementares à moagem, cuja correta execução é decisiva para o sucesso do processo produtivo da cachaça, tanto do ponto de vista tecnológico quanto microbiológico.

4 CONTROLE DE IMPUREZAS E IMPACTO NA QUALIDADE DA CACHAÇA

O controle de impurezas no caldo de cana-de-açúcar é uma das ações mais relevantes para assegurar a qualidade final da cachaça, tanto do ponto de vista sensorial quanto da estabilidade físico-química. As impurezas, que podem ser de natureza física, química ou biológica, interferem na eficiência da fermentação, comprometem a operação de destilação e impactam negativamente atributos como aroma, sabor e limpidez da bebida (Carvalho *et al.*, 2017).

Entre as impurezas físicas, destacam-se partículas sólidas como fibras vegetais, fragmentos de bagaço, areia, terra e poeira, que ingressam no processo principalmente durante a colheita e a moagem. Essas partículas não apenas aumentam a turbidez do caldo, como também podem desgastar equipamentos e dificultar operações subsequentes, como a clarificação e a filtração. A remoção dessas impurezas por peneiramento e decantação preliminar é fundamental para minimizar o consumo de reagentes e a carga sobre os sistemas de clarificação (Santos *et al.*, 2016). As impurezas químicas incluem compostos provenientes tanto da própria cana quanto do manejo agrícola. Entre eles estão ceras, pigmentos, compostos fenólicos e traços de defensivos agrícolas. Embora presentes em concentrações geralmente baixas, esses compostos podem contribuir para a formação de sabores e aromas indesejáveis após a fermentação e destilação. Pigmentos como clorofila e carotenoides, por exemplo, favorecem o escurecimento do destilado, enquanto compostos fenólicos podem conferir adstringência excessiva (Oliveira *et al.*, 2017).

Já as impurezas biológicas, formadas por microrganismos e seus metabólitos, representam talvez o maior desafio para o controle da qualidade. Bactérias lácticas, acéticas e butíricas podem competir com as leveduras pelo açúcar disponível, gerando ácidos orgânicos e elevando a acidez volátil da bebida

final. Leveduras selvagens, quando presentes, podem modificar o perfil de fermentação, produzindo compostos que alteram a suavidade e a complexidade aromática da cachaça (Souza *et al.*, 2015). O monitoramento contínuo dessas impurezas exige a adoção de boas práticas de fabricação (BPF) em todas as etapas, desde o corte e transporte da cana até a higienização de equipamentos e tubulações. Procedimentos como lavagem da cana antes da moagem, uso de peneiras e filtros adequados, e manutenção preventiva das moendas contribuem significativamente para a redução da carga inicial de contaminantes.

Do ponto de vista tecnológico, o emprego de clarificação eficiente, seja por sulfitação, bicarbonatação ou carbonatação, auxilia na remoção de impurezas finas e coloidais, além de reduzir a população microbiana inicial. O uso de reagentes, contudo, deve ser rigorosamente controlado, evitando resíduos químicos que possam permanecer no destilado e comprometer sua aceitação comercial.

A influência das impurezas sobre a qualidade sensorial da cachaça é amplamente documentada. Níveis elevados de sólidos suspensos, por exemplo, tendem a provocar aromas terrosos e sabores ásperos, enquanto a presença de ácidos orgânicos voláteis em excesso pode resultar em notas ácidas e pungentes. Por outro lado, a manutenção de baixos níveis de impurezas favorece o desenvolvimento de um perfil sensorial limpo, com maior evidência dos compostos voláteis formados pela fermentação alcoólica controlada (Rodrigues *et al.*, 2019).

Portanto, o controle rigoroso de impurezas no caldo de cana não é apenas uma questão de rendimento industrial, mas sim um elemento central na produção de uma cachaça de alta qualidade. Trata-se de um processo integrado, que exige atenção contínua, aplicação de tecnologia adequada e comprometimento com as boas práticas, garantindo ao consumidor final uma bebida segura, estável e sensorialmente agradável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de moagem e tratamento do caldo de cana-de-açúcar para produção de cachaça constitui um conjunto integrado de operações mecânicas, físico-químicas e microbiológicas, cujo objetivo central é maximizar o rendimento de extração de açúcares fermentescíveis e assegurar a qualidade do substrato destinado à fermentação.

Desde a composição inicial do caldo, rica em sacarose, glicose, frutose, sais minerais e compostos nitrogenados, até as etapas de clarificação e controle de impurezas, cada procedimento exerce influência direta sobre o desempenho industrial e o perfil sensorial da bebida. A eficiência na moagem, determinada pela escolha e regulagem adequada dos equipamentos, pelo tempo mínimo entre colheita e processamento e pelo controle de variáveis operacionais, garante alto aproveitamento da matéria-prima e reduz perdas de açúcares no bagaço.

Por sua vez, o tratamento do caldo, incluindo operações de peneiramento, decantação, ajuste de pH e clarificação, promove a remoção de impurezas e a estabilização microbiológica, criando condições ideais para a fermentação alcoólica controlada. O controle rigoroso de impurezas, sejam elas físicas, químicas ou biológicas, deve ser entendido como um fator determinante para a qualidade final da cachaça. Impurezas residuais não apenas prejudicam o rendimento e a estabilidade do processo, como também impactam negativamente aroma, sabor, cor e limpidez do destilado. Assim, a integração entre boas práticas de fabricação, manutenção preventiva e aplicação de tecnologias adequadas é indispensável para produzir uma cachaça segura, estável e sensorialmente agradável, capaz de atender aos padrões de excelência exigidos pelo mercado e pela legislação vigente.

Portanto, a produção de cachaça de qualidade superior exige o entendimento aprofundado de cada etapa do processo, a aplicação criteriosa do conhecimento técnico-científico e a busca constante pela melhoria contínua, de modo a preservar a tradição e, ao mesmo tempo, incorporar avanços tecnológicos que garantam competitividade e autenticidade ao produto final.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, G. F. **Relação entre a microbiota presente no processo de produção de cachaça e a qualidade físico-química da bebida**. 2023. 153 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2023.

ALVES, T. M. *et al.* **Influência do tratamento térmico do caldo de cana no perfil sensorial e características físico-químicas da cachaça**. *Brazilian Journal of Food Technology*, 2018.

ARAÚJO, S. L. M. **[trabalho acadêmico sobre produção de cachaça e padronização do mosto]**. Universidade Federal da Paraíba, 2019.

CARVALHO, A. *et al.* Processos mecânicos na extração do caldo de cana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 4, p. 621-630, 2017.

EMBRAPA. **Produção artesanal de cachaça de qualidade**. Brasília: Embrapa, 2020.

EMBRAPA. **Cachaça**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2025.

FERNANDES, R. M. **Qualidade da matéria-prima e rendimento na produção de cachaça**. 2015. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

OLIVEIRA, E. S. et al. Compostos fenólicos na cana-de-açúcar: ocorrência, funções e efeitos na qualidade da cachaça. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 23, n. 2, p. 109-118, 2017.

PEREIRA, L. G. R. et al. Sais minerais no caldo de cana e sua importância na fermentação alcoólica. **Scientia Agraria**, v. 15, n. 1, p. 45-52, 2014.

RATKOVICH, N. *et al.* The Spirit of Cachaça Production: An Umbrella Review of Brazilian Sugarcane Spirit. **Foods**, v. 12, n. 17, 3325, 2023.

RIBEIRO, M. L. D. et al. Tratamento físico-químico do caldo de cana produz cachaça de qualidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 3, p. 458-463, 2017.

RODRIGUES, M. I. et al. Composição química e microbiológica do caldo de cana. **Food Science and Technology**, v. 39, n. 2, p. 354-361, 2019.

SANTOS, V. C. et al. Métodos de clarificação na indústria sucroalcooleira. **Ciência Rural**, v. 46, n. 5, p. 913-920, 2016.

SILVA, C. C. et al. Controle de qualidade na produção de cachaça. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 36, p. 18-24, 2018.

SILVA, V. P. da et al. Cachaça production: from sugar cane to spirit. **Journal of the Institute of Brewing**, 2023.

SOUZA, L. P. et al. Impacto da microbiota contaminante na fermentação alcoólica. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 46, p. 693-703, 2015.

CAPÍTULO III

FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA



Cláudia Gouveia Rodrigues

Karoliny Brito Sampaio

1 INTRODUÇÃO

A fermentação alcoólica constitui uma etapa fundamental na produção de cachaça, exercendo influência direta sobre a qualidade e as características sensoriais do produto final. Trata-se de uma fase fortemente dependente da atividade microbiana, na qual diferentes microrganismos, especialmente leveduras, metabolizam os substratos presentes no mosto para a formação de etanol e outros compostos secundários (Alcarde, 2017; Bassi *et al.*, 2018).

A compreensão aprofundada das reações bioquímicas e microbiológicas que ocorrem durante a fermentação é essencial para o aprimoramento do controle de qualidade e para a padronização do perfil sensorial da bebida, contribuindo para a valorização e aceitação internacional da cachaça (Ratkovich *et al.*, 2023).

O processo fermentativo na produção de cachaça geralmente tem duração de 18 a 30 horas, variando conforme fatores como a concentração de açúcares do mosto, a densidade celular de leveduras e a temperatura ambiente. Por ser conduzida, na maioria das vezes, em sistemas abertos, a fermentação sofre influência direta das condições ambientais (da Silva *et al.*, 2023).

Em regiões produtoras, as temperaturas podem alcançar até 41 °C, afetando o desempenho fermentativo e o perfil químico da bebida (Silva *et al.*, 2009). Apesar do conhecimento acumulado sobre os principais parâmetros da fermentação, ainda são evidentes as limitações no controle do processo e na padronização da qualidade da cachaça.

Uma lacuna importante reside no entendimento das leveduras utilizadas, sejam autóctones ou comerciais, e de fatores como a concentração do mosto, o manejo da temperatura e as características específicas das cepas empregadas, incluindo seu potencial de produção de compostos aromáticos (Maia *et al.*, 2025). Diante desse cenário, o presente capítulo tem como objetivo discutir os principais aspectos microbiológicos e tecnológicos da fermentação alcoólica na produção de cachaça, abordando desde os tipos de leveduras utilizados até as

estratégias de controle e otimização do processo, tanto em contextos artesanais quanto industriais.

2 FUNDAMENTOS DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA

O processo fermentativo é uma das etapas centrais na produção da cachaça, sendo responsável pela conversão dos açúcares do caldo de cana em etanol e dióxido de carbono, além de uma variedade de compostos secundários que influenciam diretamente o aroma e o sabor da bebida (Campos *et al.*, 2010; Duarte *et al.*, 2011).

Bioquimicamente, a fermentação é definida como um processo metabólico em condições predominantemente anaeróbias, no qual compostos orgânicos complexos são transformados em moléculas mais simples, como álcoois e ácidos orgânicos, com liberação de energia. A origem do termo “fermentação” remonta ao latim fermentare, que significa “ferver”, em referência à intensa liberação de gás observada durante o processo.

Louis Pasteur foi o primeiro a demonstrar que a fermentação alcoólica resulta da atividade metabólica das leveduras vivas, que atuam como catalisadores biológicos (Martin, 2022).

Tradicionalmente, o processo é dividido em duas fases principais: (1) a propagação dos microrganismos ou produção do pé-de-cuba e a (2) fermentação propriamente dita (Alcarde, 2017; Ratkovich *et al.*, 2023).

Na etapa 1 de propagação dos microrganismos, ocorre o crescimento e a adaptação das leveduras em um meio com baixo teor de açúcares (em torno de 5 °Brix), sob intensa aeração. Essa condição favorece o metabolismo respiratório e a multiplicação celular, permitindo a formação de uma biomassa ativa e saudável. Essa biomassa de células utilizada para iniciar o processo fermentativo denomina-se pé-de-cuba ou fermento (Alcarde, 2017). A utilização de concentrações mais elevadas de açúcares nesse momento pode inibir a respiração celular e comprometer o desempenho fermentativo subsequente (Ribeiro-Filho, 2020). Em muitos alambiques, essa propagação é conduzida com leveduras naturais do ambiente ou com o uso de fermentos prensados utilizados originalmente na panificação.

A preparação do pé-de-cuba pode apresentar variações no tipo e na proporção dos ingredientes. Algumas dessas variações podem ser observadas a seguir: Pé-de-cuba natural ou caipira: é geralmente um fermento muito rústico e que está ao alcance da mão, já que provém da inoculação do pé com raças que despencam sobre ele durante o preparo ou que vêm do próprio campo, com a cana. Pé-de-cuba misto ou prensado: esse fermento prensado foi preparado com o objetivo de servir propósitos da panificação, em que também ocorre um processo de fermentação alcoólica (Solon, 2021). Portanto, é possível notar nele

algumas características desejáveis para a produção de cachaça. Assim, é preciso avaliar qual será o tipo de fermento utilizado e quais são suas vantagens dentro do processo para garantir a qualidade e o tempo da produção de aguardente (Chaves *et al.*, 2003).

A etapa 2 de fermentação propriamente dita, é iniciada pela adição de caldo fresco, com teor de açúcares entre 14 e 16 °Brix, o que fornece substrato adequado para a produção de etanol. Concentrações superiores a 16 °Brix tendem a retardar a fermentação e reduzir o rendimento alcoólico, devido ao estresse osmótico imposto às células (Silva, 2019). Esse processo de fermentação pode ser dividido em três estágios: fase inicial (ou pré-fermentativa), fase principal (ou turbulenta) e fase final (ou pós-fermentativa).

Na etapa inicial, ocorre a multiplicação das leveduras, que ainda dependem de oxigênio para a síntese de biomassa e enzimas. Durante a fermentação principal, essas enzimas convertem os açúcares em etanol e dióxido de carbono, promovendo intensa liberação de bolhas e aumento da temperatura do mosto. O estágio final é caracterizado pela redução gradual da atividade celular, estabilização do pH e cessação da liberação de CO₂, indicando o término do processo (Ratkovich *et al.*, 2023).

O controle de parâmetros físico-químicos e microbiológicos que afetam a fermentação têm sido cada vez mais estudados a fim de evitar a baixa eficiência do processo. Os principais parâmetros a serem considerados são temperatura, pH, contaminação pela presença de outros microrganismos, tempo de fermentação e composição do substrato (Maran, 2025), podendo ser observados na figura 1. Com todos esses interferentes, o monitoramento e rastreamento do processo através de análises laboratoriais e atividades realizadas na operação favorecem a redução de perdas industriais e auxiliam na manutenção da qualidade do processo (Câmara; Guimarães, 2024).

A temperatura constitui um dos principais determinantes da atividade metabólica das leveduras. Em processos industriais de produção de etanol, as faixas ideais situam-se entre 26 e 35 °C (Souza; Monteiro, 2011). Temperaturas elevadas favorecem o crescimento bacteriano e aumentam a sensibilidade das leveduras à toxicidade do etanol. Por outro lado, valores muito baixos reduzem a taxa de absorção de nutrientes e açúcares, prolongando o tempo de fermentação (Naves *et al.*, 2010).

O aumento da temperatura acelera a velocidade da fermentação, mas também intensifica a contaminação bacteriana. Isso ocorre porque as altas temperaturas alteram a estrutura de proteínas e membranas plasmáticas, comprometendo a integridade celular e reduzindo a viabilidade das leveduras, mesmo havendo mecanismos fisiológicos de regulação térmica, o estresse provocado por temperaturas elevadas resulta em declínio rápido da viabilidade

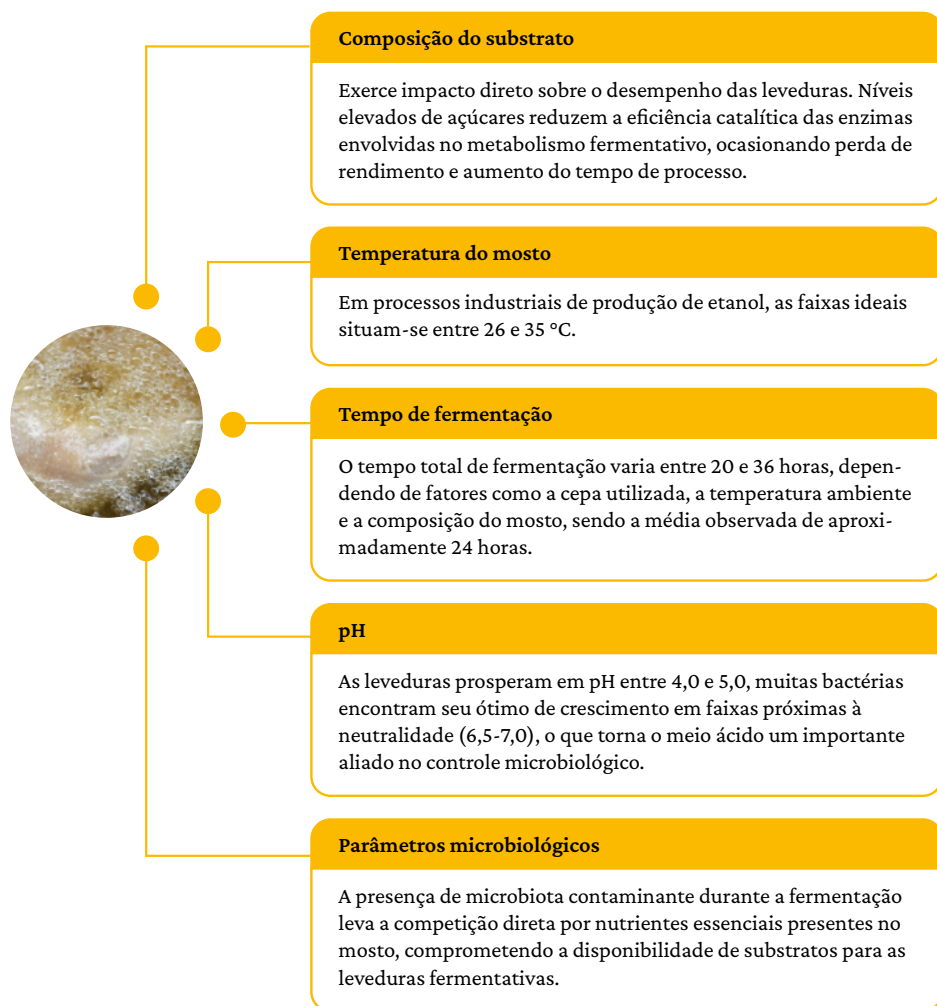
celular (Pereira *et al*, 2020; Naves *et al.*, 2010). A influência da temperatura sobre o metabolismo das leveduras também varia conforme a cepa e as condições do meio. Diferenças genéticas, composição nutricional, pH, presença de compostos químicos e estado fisiológico da célula afetam o desempenho fermentativo. Cepas industriais de *S. cerevisiae* tendem a apresentar maior tolerância térmica; contudo, sua viabilidade pode ser reduzida em condições de pH ácido ou em meios com alto teor de etanol (Câmara; Guimarães, 2024).

O pH do mosto exerce papel determinante na estabilidade microbiológica e na eficiência fermentativa. O caldo de cana recém-extraído apresenta valores entre 4,5 e 5,5, faixa adequada para o crescimento das leveduras, o que geralmente dispensa correções adicionais. Entretanto, a acidificação excessiva do mosto pode favorecer o desenvolvimento de bactérias acéticas, responsáveis pela oxidação do etanol e pela redução da taxa reprodutiva das leveduras. Enquanto as leveduras prosperam em pH entre 4,0 e 5,0, muitas bactérias encontram seu ótimo de crescimento em faixas próximas à neutralidade (6,5–7,0), o que torna o meio ácido um importante aliado no controle microbiológico (Ceccato-Antonini, 2022).

O aumento da microbiota contaminante durante a fermentação leva à competição direta por nutrientes essenciais presentes no mosto, comprometendo a disponibilidade de substratos para as leveduras fermentativas. Diversas bactérias podem se desenvolver nesse ambiente, destacando-se os gêneros *Lactobacillus*, *Bacillus* e *Leuconostoc*, que afetam negativamente o rendimento e a qualidade do processo (Ceccato-Antonini, 2010; Oliveira Filho *et al.*, 2022).

O tempo total de fermentação varia entre 20 e 36 horas, dependendo de fatores como a cepa utilizada, a temperatura ambiente e a composição do mosto, sendo a média observada de aproximadamente 24 horas (Alcarde, 2017). A composição de substrato também exerce impacto direto sobre o desempenho das leveduras. Níveis elevados de açúcares reduzem a eficiência catalítica das enzimas envolvidas no metabolismo fermentativo, ocasionando perda de rendimento e aumento do tempo de processo. Esse fenômeno, está associado ao estresse osmótico celular, que provoca desequilíbrio metabólico e comprometimento da viabilidade das leveduras (Ceccato-Antonini, 2022).

Figura 1 – Parâmetros de controle da fermentação.



Fonte: próprio autor.

3 LEVEDURAS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE CACHAÇA

Na produção de cachaça, é comum o uso de leveduras naturais, presentes na própria cana-de-açúcar ou no ambiente, especialmente em produções artesanais. No entanto, para garantir maior controle sobre o processo e a qualidade final da cachaça, muitos produtores utilizam leveduras selecionadas. Essas linhagens são escolhidas por suas características específicas, como a capacidade de tolerar altas concentrações de álcool, produzir menos subprodutos indesejáveis e contribuir para um perfil sensorial mais desejado (Lima, 2017; Pereira, 2024).

As leveduras são microrganismos unicelulares, geralmente pertencentes ao gênero *Saccharomyces*, que realizam fermentação alcoólica em condições anaeróbicas. Durante esse processo, além de etanol, são produzidos compostos

secundários, como ésteres, álcoois superiores e ácidos orgânicos, que influenciam o aroma e o sabor da cachaça. Na produção da cachaça, dois tipos principais de leveduras podem ser utilizados, leveduras comerciais (selecionadas) que são culturas puras de microrganismos isolados e otimizados para a fermentação; e leveduras naturais (nativas) que são microrganismos provenientes do ambiente, muitas vezes originados espontaneamente no caldo de cana (Schwan *et al.*, 2001; Oliveira *et al.*, 2020; Menezes *et al.*, 2016; Morais *et al.*, 2017).

As leveduras comerciais são amplamente utilizadas na indústria por sua previsibilidade, eficiência e facilidade de manejo. Essas leveduras são selecionadas com base em características como alta eficiência fermentativa, tolerância ao etanol, resistência a variações de temperatura e pH. Os tipos mais comuns de leveduras comerciais usadas na cachaça pertencem à espécie *Saccharomyces cerevisiae*. Estudos demonstram que essas leveduras garantem alta produtividade e consistência no perfil sensorial da cachaça. No entanto elas apresentam menor potencial de diversidade sensorial e alto custo associado à aquisição contínua de leveduras (Alcarde, 2017; Faria-Oliveira *et al.*, 2015).

A *Saccharomyces cerevisiae* é uma espécie de levedura altamente presente na produção de cachaça, como também na produção de pão e cerveja através da fermentação alcoólica (Alcarde, 2017). As leveduras dessa espécie metabolizam a glicose, descarboxilam o ácido pirúvico a CO₂ e acetaldeído pela ação da enzima piruvato descarboxilase. Sequencialmente, ocorre a reação de redução do acetaldeído a etanol catalisado pela álcool-desidrogenase. O NADH é oxidado a NAD⁺ formando principalmente etanol e gás carbônico (Conceição, 2023; Medeiros, 2020).

O etanol e o dióxido de carbono, produzidos pelas leveduras durante a fermentação alcoólica, são resíduos para os microrganismos fermentadores, mas são muito úteis para os seres humanos na produção de alimentos e bebidas, e também na obtenção de biocombustíveis (Medeiros, 2020). O etanol gerado no processo é o álcool utilizado para a produção de bebidas alcoólicas, como cerveja, vinho e cachaça. Já o dióxido de carbono é responsável pelo crescimento da massa do pão, por exemplo (Tortora, 2017). Atender às necessidades nutricionais da levedura, como minerais, vitaminas e ácidos graxos insaturados, é essencial, visto que esses nutrientes são frequentemente insuficientes na cana-de-açúcar. Ao fornecer esses nutrientes à levedura, o rendimento da fermentação alcoólica e a concentração final de etanol podem ser aumentados (Cardoso, 2020).

Durante o metabolismo das leveduras na fermentação, formam-se também compostos secundários conhecidos como congêneres voláteis, entre eles álcoois superiores, ésteres, aldeídos e ácidos orgânicos. Essas substâncias são determinantes para o perfil aromático e gustativo da cachaça, embora concentrações excessivas possam comprometer a qualidade sensorial. Os principais álcoois superiores produzidos incluem o n-propílico, o isobutílico e o isoamílico. O

controle da fermentação e das condições higiênico-sanitárias é fundamental para evitar o acúmulo de compostos indesejáveis, como o ácido acético e os precursores do carbamato de etila, um contaminante de preocupação toxicológica em bebidas destiladas (Vianna et al., 2008).

As principais funções desempenhadas pelas leveduras durante o processo fermentativo podem ser descritas da seguinte forma:

- **Produção de etanol:** As leveduras, sobretudo as pertencentes ao gênero *Saccharomyces*, aproveitam os açúcares presentes no caldo de cana — como glicose, frutose e sacarose — para realizar a fermentação alcoólica. Nesse mecanismo metabólico, esses açúcares são convertidos em etanol e dióxido de carbono, que constituem os principais produtos da reação (Lima et al., 2017).
- **Formação de compostos secundários:** Além da produção de etanol, as leveduras sintetizam uma série de compostos secundários, como álcoois superiores, ésteres, ácidos orgânicos e aldeídos. Esses metabólitos são fundamentais para a complexidade sensorial da cachaça, influenciando seu aroma e sabor. Os ésteres conferem notas frutadas, enquanto os álcoois superiores contribuem para a maciez e corpo da bebida (Schwan et al., 2014).
- **Contribuição para o perfil sensorial:** O tipo de levedura empregado e as condições em que ocorre a fermentação exercem influência direta sobre o perfil sensorial do destilado. Cepas distintas podem gerar quantidades variadas de compostos voláteis, resultando em diferenças nas características aromáticas, na textura e na suavidade do produto final. Assim, a seleção adequada da levedura, seja ela natural ou isolada, é determinante para a obtenção de uma cachaça de qualidade superior (Menezes et al., 2016).
- **Eficiência fermentativa:** As leveduras também determinam a eficiência global do processo. Microrganismos vigorosos e devidamente adaptados ao meio fermentativo atuam de maneira mais rápida e estável, proporcionando maior produção de etanol e reduzindo o risco de contaminações bacterianas. O controle rigoroso de parâmetros como temperatura, pH e disponibilidade de nutrientes é essencial para otimizar o desempenho das leveduras (Oliveira et al., 2015).
- **Controle de impurezas:** Por fim, leveduras de boa qualidade contribuem para a redução de compostos indesejáveis que poderiam afetar negativamente o sabor ou a segurança da cachaça. Quando submetidas a condições de estresse, essas células podem produzir substâncias como metanol e ácido acético em quantidades elevadas, comprometendo a pureza e a qualidade final da bebida (Moraes et al., 2017).

A fermentação espontânea apresenta grande biodiversidade de microrganismos (*Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia anomala*, *Debaryomyces hansenii*, *Zygosaccharomyces bailii*, *Rhodotorula mucilaginosa*, *Kloeckera apis* e outros), que são introduzidos através de alimentações sucessivas de caldo de cana durante a etapa de preparação da levedura e ao longo dos ciclos fermentativos (Vicente *et al.*, 2006; Oliveira *et al.*, 2008). Por contribuir para o desenvolvimento do perfil químico e sensorial dos destilados, essa população de microrganismos é considerada a chave para a formação do terroir da cachaça (Souza, 2022).

Alguns autores têm demonstrado que a variabilidade genética pode afetar diretamente o desempenho operacional do processo, alterando o teor e a proporção dos principais compostos voláteis da bebida. Para reduzir a diversidade molecular, alguns autores têm sugerido o uso de cepas selecionadas de *Saccharomyces cerevisiae*, garantindo assim a alta qualidade e padronização da cachaça (Gomes *et al.*, 2007; Nova *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2009; Campos *et al.*, 2010).

Há dois grupos principais de leveduras selecionadas utilizadas na produção de cachaça: (i) aquelas originalmente desenvolvidas para a produção de etanol ou outras bebidas fermentadas, mas não específicas para cachaça, e (ii) as isoladas e selecionadas diretamente das próprias dornas de fermentação de alambiques. Estas últimas apresentam vantagens significativas, pois estão naturalmente adaptadas às condições ambientais e tecnológicas típicas da fermentação da cachaça, contribuindo para a geração de características sensoriais únicas no produto final (Vicente *et al.*, 2006; Oliveira *et al.*, 2008).

O uso de leveduras selecionadas confere diversos benefícios ao processo fermentativo, como (i) maior rapidez e uniformidade da fermentação, (ii) incremento no rendimento alcoólico, (iii) melhoria na qualidade da bebida, (iv) redução do risco de contaminações microbianas e (v) maior resistência a condições de estresse (Campos *et al.*, 2010). Além disso, o aprimoramento do perfil aromático da cachaça é uma das vantagens mais notáveis associadas a essas cepas (Oliveira *et al.*, 2008)).

Considerando que a fermentação da cachaça ocorre, em geral, sob condições com baixo controle ambiental, as dornas funcionam como nichos ecológicos específicos, nos quais diferentes fenótipos podem se desenvolver. A análise detalhada de cepas isoladas dessas fermentações permite identificar microrganismos com potencial para a produção de compostos voláteis que enriquecem o aroma e o sabor da bebida (de Souza *et al.*, 2012). O emprego de leveduras capazes de sintetizar ésteres — como acetato de etila, acetato de isoamila, hexanoato, octanoato e decanoato de etila — e álcoois superiores — como propílico, isoamílico e isobutílico — pode elevar substancialmente a qualidade sensorial da cachaça.

Dessa forma, o perfil de compostos aromáticos resultante do uso dessas cepas pode se tornar um diferencial entre produtores e até mesmo caracterizar particularidades regionais da bebida.

A escolha entre leveduras comerciais e naturais depende dos objetivos do produtor. Enquanto as comerciais garantem padronização e eficiência, as leveduras naturais permitem explorar as características regionais e o terroir, importantes para a diferenciação de marcas artesanais e premium. *Saccharomyces cerevisiae* CA-11 tem recebido destaque por suas características tecnológicas. Trata-se de uma levedura floculante, comercializada no Brasil na forma de levedura seca ativa, o que facilita sua aplicação direta nos tanques de fermentação. A utilização dessa cepa tem sido associada a ganhos significativos no rendimento alcoólico, na produtividade e na qualidade sensorial da cachaça (Faria-Oliveira *et al.*, 2014).

No mercado, existem algumas leveduras selecionadas utilizadas na fermentação de cachaça, dentre elas, a cepa UFMG 100. *S. cerevisiae* selecionada no Brasil pela Universidade Federal de Minas Gerais, que é comercializada com o nome de CanaMax. Dentre suas características, estão: boa tolerância à estresse osmótico e boa performance em condições adversas de até 40°C e pH entre 3,4 e 5,3 (Lallemand Biofuels & Distilled Spirits, 2021a).

Outra levedura *S. cerevisiae* selecionada é a DisitlaMax RM. Esta cepa foi selecionada para o uso na produção de rum e outros destilados à base de cana de açúcar. Foi isolada do melaço de cana em uma região tropical e esta linhagem demonstra tolerância à altas temperaturas e fornece desejável coeficiente de congêneres para a produção de rum, aguardente e rum agrícola. O uso desta cepa fornece suavidade desejável e frutado clássico para bebidas destiladas (Lallemand Biofuels & Distilled Spirits, 2021b).

O microbioma associado ao processo produtivo da cachaça ainda é pouco compreendido. Não obstante, alguns estudos recentes têm proposto avaliar fermentações regionais a fim de melhor compreender as comunidades microbianas relacionadas, bem como selecionar e tipificar linhagens de leveduras locais (Badotti *et al.*, 2010, Badotti *et al.*, 2013, Barbosa *et al.*, 2016). Um desses trabalhos observou que quatro espécies de leveduras nativas (*Meyerozyma guilliermondii*, *Hanseniaspora guilliermondii*, *Pichia fermentans* e *Saccharomyces cerevisiae*) foram predominantemente persistentes e participaram de toda a fermentação espontânea que levou a um produto destilado de qualidade singular em Piracicaba, Brasil (Portugal *et al.*, 2017).

Atualmente, muitos estudos estão sendo realizados visando descobrimento de leveduras autóctones da produção da cachaça, visando melhorias nas funções metabólicas, otimização dos processos de fermentação e novas características sensoriais dos produtos gerados (Farias *et al.*, 2022; Campos *et al.*, 2023; Maia *et al.*, 2025).

Muitos estudos têm se concentrado no isolamento de cepas de *S. cerevisiae* de fermentações espontâneas para avaliar seu potencial como starters para a produção de cachaça em larga escala (Pina *et al.*, 2022; Campos *et al.*, 2023; Barbosa *et al.*, 2016; Maia *et al.*, 2025). O uso de cepas selvagens preserva as características de uma região geográfica específica e permite a associação do produto com o local onde foi produzido. O uso de cepas selecionadas para conduzir os processos de fermentação também está relacionado à prevenção de *off-flavours*, ciclos de fermentação de início rápido e menores variações químicas no produto (Badotti *et al.*, 2012; Barbosa *et al.*, 2016; Portugal *et al.*, 2017).

Um estudo investigou o uso combinado de leveduras e bactérias ácido-láticas no processo de fermentação da cachaça. Os resultados indicaram que a fermentação mista, envolvendo *Saccharomyces cerevisiae* e *Lactococcus lactis*, promoveu melhorias na qualidade sensorial da bebida. Observou-se que a presença das bactérias ácido-láticas contribuiu para a formação de ácidos orgânicos, os quais participam na geração de compostos aromáticos e na redução do pH do mosto, dificultando o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis. Ao comparar as concentrações de álcoois superiores — como propanol, isobutanol e álcool isoamílico — nas diferentes frações da destilação (cabeça, coração e cauda), verificou-se que a fermentação mista resultou em teores mais elevados de etanol em relação àquela conduzida apenas com *S. cerevisiae*. Na análise sensorial, realizada por 40 avaliadores treinados de ambos os sexos, entre 22 e 50 anos, as amostras foram julgadas quanto a sabor, cor e aceitabilidade global.

A cachaça obtida por fermentação mista apresentou notas superiores nos atributos de aroma e aparência, enquanto a produzida com levedura pura mostrou maior aceitação geral. Ambas apresentaram perfis de sabor semelhantes. Esses achados sugerem que a cofermentação entre leveduras e bactérias pode influenciar o crescimento de ambas as populações microbianas sem comprometer a produção de etanol. Além disso, esse tipo de fermentação tende a aprimorar o perfil aromático da bebida, configurando-se como uma estratégia promissora para a elaboração de cachaças e outras bebidas fermentadas com características sensoriais diferenciadas (Campos *et al.*, 2014; Carvalho *et al.*, 2014).

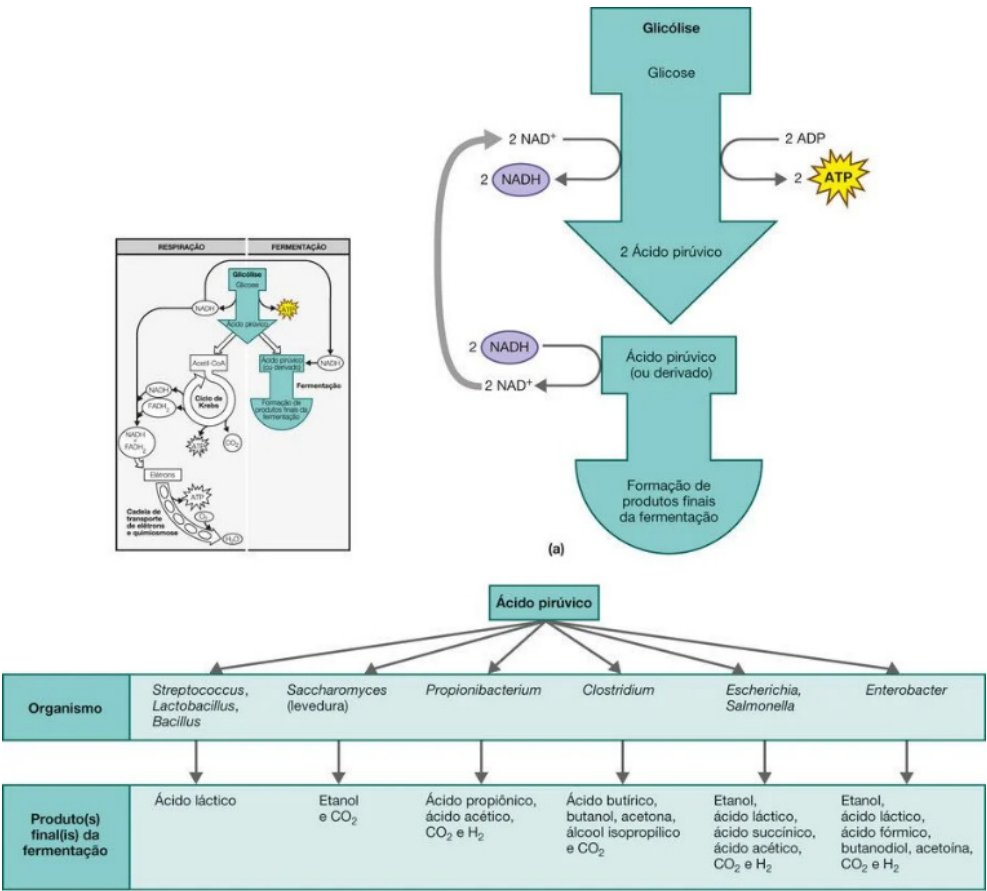
4 FUNDAMENTOS BIOQUÍMICOS DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA

A fermentação é um processo microbiológico em que microrganismos transformam compostos orgânicos complexos em substâncias mais simples, liberando energia. É amplamente utilizada na produção de etanol, alimentos e medicamentos, sendo uma das mais antigas biotecnologias conhecidas pela humanidade.

Desde a Antiguidade, ela é empregada na fabricação de pães e bebidas alcoólicas. Com o avanço da ciência, descobriu-se que as leveduras são os principais agentes desse processo, responsáveis pela conversão dos açúcares em álcool e gás carbônico. A levedura *Saccharomyces cerevisiae* é a mais utilizada devido à sua eficiência, resistência ao álcool e boa adaptação ao meio (de Oliveira, 2020).

O processo de fermentação inicia-se quando as células de *Saccharomyces cerevisiae* entram em contato com um meio rico em açúcares, como glicose e sacarose. Esses compostos são degradados pela via glicolítica (Figura 2), originando ácido pirúvico, que, na ausência de oxigênio, é convertido em etanol e dióxido de carbono, além de diversos compostos secundários, como glicerol, aldeídos, ésteres, ácidos orgânicos e álcoois superiores. Essa reação, característica da fermentação alcoólica, é essencial para a produção de bebidas como vinho, cerveja e cachaça, além de pães e derivados lácteos fermentados (Tortora, 2017; Alcarde, 2023).

Figura 2 – Fermentação alcoólica



Fonte: Funke, 2024.

Durante a fermentação alcoólica, além da produção de etanol e dióxido de carbono, ocorre a formação de diversos compostos secundários, como álcoois superiores, ésteres, ácidos orgânicos, aldeídos, fenóis e furfural. Esses metabólitos são gerados em menores proporções e exercem papel importante na composição sensorial das bebidas, contribuindo para o aroma e sabor característicos.

No entanto, quando presentes em concentrações elevadas, podem afetar negativamente a qualidade final do produto (de Oliveira, 2020; Machado *et al.*, 2021).

4.1 Compostos desejáveis na fermentação

4.1.1 Etanol

O etanol é o principal componente desejável da cachaça, responsável pelo teor alcoólico e por influenciar diretamente o corpo, a textura e a sensação térmica da bebida. Em concentrações adequadas (38% a 48% v/v), confere viscosidade, maciez e uma sensação suave e harmoniosa ao paladar (Brasil, 2022; Marcondes Pereira *et al.*, 2024).

Embora esteja presente em elevada concentração na aguardente de cana, o etanol exerce pouca influência sobre o aroma da bebida, pois possui um limiar de percepção olfativa elevado e um odor pouco expressivo. Quando o teor alcoólico é inferior ao permitido, a cachaça tende a apresentar menor corpo, redução da intensidade aromática e perda de equilíbrio sensorial. Já teores acima do ideal resultam em uma bebida com sensação térmica agressiva, ardência excessiva e desequilíbrio de aromas e sabores. Além disso, o etanol contribui para a estabilidade microbiológica, inibindo o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis, o que preserva a qualidade e assegura a identidade típica da cachaça artesanal e industrial (Oliveira, 2023; Alcarde, 2023).

4.1.2 Acetato de etila

Os ésteres desempenham um papel central nas características sensoriais das aguardentes, contribuindo significativamente para o aroma e o sabor da bebida, com notas geralmente agradáveis mesmo em baixas concentrações. Sua biossíntese ocorre por meio de uma reação enzimática entre a acetil-coenzima A e um álcool dentro das células de levedura, estando diretamente ligada ao metabolismo específico de cada cepa. Essa classe de compostos é considerada a mais relevante para a qualidade sensorial das bebidas alcoólicas, sendo o acetato de etila tradicionalmente o mais predominante em destilados. Entre os principais ésteres presentes, destacam-se o próprio acetato de etila, o mais abundante, e o lactato de etila, eles são cruciais para o equilíbrio de aroma e sabor em cachaças de alta qualidade (Parapouli *et al.*, 2020; Oliveira Filho, Farias, Alcarde, 2022).

O acetato de etila é o principal éster presente na cachaça, conferindo à bebida um aroma frutado e floral, com notas que lembram verniz ou esmalte de unha. Sua formação ocorre principalmente durante a fermentação alcoólica, mas também pode ser influenciada pelo envelhecimento. Em concentrações elevadas, o acetato de etila pode gerar odores indesejáveis, comprometendo a qualidade sensorial da cachaça. Durante a destilação, especialmente na fração da cabeça, concentram-se os compostos mais voláteis e solúveis em álcool, como metanol, acetaldeído e o próprio acetato de etila, devido aos seus baixos pontos de ebulição. Além disso, outros ésteres podem se formar ao longo de todo o processo, da fermentação ao envelhecimento, cada um contribuindo com aromas específicos que influenciam diretamente a complexidade e o perfil sensorial da bebida. Atualmente, no Brasil, o limite máximo permitido para o acetato de etila na cachaça é de 200 mg por 100 mL de álcool anidro (Machado *et al.*, 2013; Gonçalves *et al.*, 2016; Alcarde, 2023; Brasil, 2022).

4.1.3 Glicerol

O glicerol é um subproduto da fermentação alcoólica produzido principalmente pelas leveduras *Saccharomyces cerevisiae* e desempenha papel importante na qualidade sensorial da cachaça. Deve-se destacar que o glicerol é um composto sintetizado pela levedura na ausência de oxigênio, a fim de manter o equilíbrio redox celular, sendo formado na mesma via metabólica do etanol, competindo pela utilização do poder redutor (NADH), motivo pelo qual a síntese deste composto é inversamente proporcional à do etanol. Embora não contribua para o teor alcoólico, o glicerol influencia diretamente o corpo, a maciez e a sensação de preenchimento na boca, características que conferem equilíbrio e suavidade à bebida, sendo valorizadas tanto em cachaças artesanais quanto industriais (Silva; Mack; Contiero, 2009; Ribeiro *et al.*, 2017; Góes-Favoni *et al.*, 2018).

4.1.4 Álcoois superiores

Os álcoois superiores, popularmente conhecidos como óleos fusel, são subprodutos do metabolismo das leveduras durante a fermentação alcoólica da cachaça, caracterizados por possuírem cadeias com três ou mais átomos de carbono. Eles se formam principalmente a partir da degradação de aminoácidos e açúcares, em um processo sensível que pode ser influenciado por fatores como pH, concentração de nitrogênio no mosto, quantidade de açúcar, dióxido de enxofre, teor alcoólico e temperatura.

Entre os álcoois superiores mais comuns destacam-se os propílicos, isobutílico e isoamílico, geralmente presentes em maiores proporções. A produção desses compostos também depende da cepa de levedura, do tempo de fermentação e da disponibilidade de nutrientes, sendo sua presença naturalmente

inevitável em processos fermentativos de cachaça (Penteado, Masini, 2009; Maia, Marinho, Nelson, 2020).

Do ponto de vista sensorial, os álcoois superiores exercem um efeito duplo na cachaça. Compostos hidrofílicos presentes em todas as frações do destilado, eles contribuem para a complexidade aromática e o corpo da bebida quando estão em concentrações moderadas, conferindo notas que enriquecem o bouquet da cachaça. No entanto, em excesso, podem gerar odores e sabores agressivos, como solvente ou amargo, comprometendo a suavidade, o equilíbrio e a aceitabilidade da bebida pelos consumidores. Esses compostos são produzidos principalmente durante a fermentação, e sua formação é influenciada por fatores como condições de fermentação, contagem de células de levedura, temperatura e teor alcoólico final. Por isso, o controle preciso das concentrações de álcoois superiores é essencial para preservar a qualidade sensorial da cachaça (Portugal *et al.*, 2017; Ratkovich *et al.*, 2023).

Na legislação brasileira, os álcoois superiores possuem limites máximos estabelecidos para garantir a segurança e a qualidade da cachaça. De acordo com a Portaria MAPA nº 539, de 26 de dezembro de 2022, a concentração total de álcoois superiores na bebida não deve ultrapassar 300 mg por 100 mL de álcool anidro. Esse limite assegura que a cachaça mantenha suas características sensoriais agradáveis, equilibrando o perfil aromático e preservando a identidade típica da bebida, sem oferecer risco toxicológico ao consumidor (Brasil, 2022).

4.2 Compostos indesejáveis na fermentação

4.2.1 Ácido acético

O ácido acético é um dos principais ácidos orgânicos presentes na cachaça, formado principalmente durante a fermentação alcoólica e também durante a destilação. Ele resulta da oxidação parcial do etanol pelas leveduras e por bactérias acéticas, especialmente quando há exposição ao oxigênio. Em concentrações controladas, o ácido acético contribui para o equilíbrio e a complexidade sensorial da bebida, conferindo notas ligeiramente ácidas que valorizam o bouquet da cachaça e ajudam a realçar outros aromas e sabores. (Alvarenga, 2019; Oliveira *et al.*, 2023).

Quando presente em excesso, o ácido acético pode conferir à cachaça um sabor e aroma avinagrados, comprometendo significativamente sua qualidade sensorial. A legislação brasileira estabelece limites máximos para esse composto, a fim de garantir que a bebida mantenha seu padrão de aceitabilidade e preserve sua identidade típica. Para evitar a formação excessiva de ácido acético, é fundamental minimizar a contaminação por bactérias acéticas durante e após a fermentação. Assim, o controle desse ácido torna-se um parâmetro essencial

tanto nas etapas de fermentação quanto de destilação, sendo determinante para a produção de cachaças artesanais e industriais de alta qualidade (Alvarenga, 2019; Ratkovich *et al.*, 2023).

De acordo com a Portaria MAPA nº 539, de 26 de dezembro de 2022, que estabelece os padrões de identidade e qualidade para a aguardente de cana e a cachaça, o limite máximo permitido para a acidez volátil, expressa em ácido acético, é de 150 mg por 100 mL de álcool anidro. Esse parâmetro faz parte do coeficiente de congêneres, que representa o conjunto de componentes voláteis não alcoólicos, também denominados substâncias secundárias ou impurezas voláteis não alcoólicas.

Esse coeficiente corresponde à soma de diferentes compostos formados durante a fermentação e o envelhecimento da bebida, incluindo acidez volátil (expressa em ácido acético), aldeídos (expressos em acetaldeído), ésteres totais (expressos em acetato de etila), álcoois superiores (soma de álcool n-propílico, álcool isobutílico e álcoois isoamílicos), além de furfural e hidroximetilfurfural. Em conjunto, esses compostos são responsáveis por grande parte das características sensoriais da bebida. O coeficiente de congêneres para a cachaça deve estar entre 200 e 650 mg por 100 mL de álcool anidro, conforme estabelecido pela mesma portaria (Brasil, 2009; Brasil, 2022).

4.2.2 Aldeídos (acetaldeído)

Os aldeídos com até oito átomos de carbono apresentam aromas penetrantes e enjoativos, sendo considerados indesejáveis em bebidas destiladas. Já os aldeídos de cadeia mais longa, com mais de dez átomos de carbono, tendem a exibir aromas mais agradáveis. O principal aldeído associado à fermentação alcoólica é o acetaldeído. Em fermentações normais, esse composto surge no mosto nas primeiras horas do processo e, posteriormente, diminui, podendo até desaparecer na fase final da fermentação (Maia, 1994; Cardoso, 2001).

Em condições anaeróbicas, a levedura utiliza a glicólise para degradar os açúcares até a formação de ácido pirúvico, que é convertido em acetaldeído e dióxido de carbono pela enzima piruvato descarboxilase. O acetaldeído é então reduzido a etanol pela álcool desidrogenase, com regeneração de NAD⁺. Essas reações constituem as etapas finais da fermentação alcoólica e são fundamentais para os processos industriais baseados na produção de etanol (Parapouli *et al.*, 2020; Ratkovich *et al.*, 2023).

Na legislação brasileira, o limite máximo permitido para aldeídos totais (expresso em acetaldeído) na cachaça é 30 mg por 100 mL de álcool anidro. O equilíbrio dos acetais em aguardentes de cana-de-açúcar depende de fatores como pH, teor alcoólico e tipo de madeira utilizada no envelhecimento. Os aldeídos, especialmente o acetaldeído, são subprodutos voláteis da fermentação

e concentram-se nas frações mais leves da bebida, conhecidas como “cachaça de cabeça”. Em baixas concentrações, conferem aroma frutado agradável; contudo, em excesso, produzem notas verdes, herbáceas e odor de amêndoas amargas. O controle de seus teores é essencial tanto para garantir a qualidade sensorial quanto para evitar riscos toxicológicos ao consumidor (Brasil, 2022; Ratkovich *et al.*, 2023).

4.2.3 Metanol

O metanol é um álcool naturalmente presente na cachaça em concentrações inferiores a 20 mg por 100 mL de álcool anidro, conforme os limites estabelecidos pela Portaria MAPA nº 539/2022. Sua formação ocorre principalmente pela hidrólise das pectinas provenientes da cana-de-açúcar, processo que libera grupos metílicos convertidos em metanol durante a fermentação e destilação (Silva Júnior, 2016; Alcarde, 2017; Brasil, 2022)

Embora inevitável em pequenas quantidades, o metanol é uma substância altamente tóxica quando ingerida em concentrações elevadas. A intoxicação por metanol pode provocar sintomas como dor de cabeça, náusea e distúrbios visuais, podendo evoluir para cegueira, acidose metabólica, lesões neurológicas graves e até óbito. Essas intoxicações estão associadas principalmente ao consumo de bebidas alcoólicas clandestinas, nas quais o controle de qualidade e a separação adequada das frações da destilação não são realizados, resultando em teores perigosos da substância (Caruso *et al.*, 2010; Alcarde, 2017; Chetla-Morales *et al.*, 2025).

A obtenção de aguardentes de cana-de-açúcar de qualidade depende do controle rigoroso da matéria-prima, da fermentação e da destilação. A formação de compostos secundários indesejáveis, dentre eles o metanol, pode ser minimizada por meio de boas práticas de fabricação e monitoramento contínuo. A análise regular do produto final garante o cumprimento das normas vigentes e assegura uma bebida segura e equilibrada. Além disso, em processos onde se faz uma bidestilação acaba contribuindo para a remoção eficaz do metanol e outras impurezas voláteis, resultando em uma cachaça mais pura e sensorialmente harmoniosa (Ratkovich *et al.*, 2023).

4.2.4 Carbamato de etila

Os carbamatos são compostos orgânicos formados por um grupo carboxilato ligado a uma amina. Entre eles, o carbamato de etila, também conhecido como éster etílico do ácido carbâmico, foi amplamente utilizado nas indústrias farmacêutica, alimentícia e cosmética até meados do século XX.

Entretanto, após a identificação de seu potencial tóxico e carcinogênico na década de 1940, seu uso foi gradualmente reduzido e, atualmente, é restrito

a anestésico em pesquisas animais. Já outros tipos de carbamatos continuam sendo empregados como pesticidas na agricultura (Maia *et al.*, 2024).

Há um consenso de que se trata de um composto secundário inerente à natureza química dos mostos de fermentação alcoólica. Em bebidas e alimentos fermentados, a formação do carbamato de etila tem origem multifatorial, resultando de diversas interações químicas ao longo do processo produtivo. O principal mecanismo envolve a reação entre o etanol, produto da fermentação alcoólica, e compostos nitrogenados, sobretudo a ureia, que pode derivar tanto do metabolismo microbiano quanto de resíduos de fertilizantes nitrogenados ou de nutrientes adicionados ao mosto para estimular a atividade das leveduras uma prática atualmente desaconselhada.

Além disso, glicosídeos cianogênicos presentes na cana-de-açúcar também podem contribuir para a formação do CE, uma vez que fazem parte dos mecanismos naturais de defesa da planta. Em menor escala, o composto pode ainda se originar na ausência de etanol, por meio da oxidação de substratos com ligações duplas, via reações mediadas por radicais livres (Caruso *et al.*, 2010; Machado, *et al.* 2013; Gonçalves, *et al.* 2016; Maia *et al.*, 2024).

Para a cachaça, a legislação brasileira estabelece o limite de tolerância de 210 µg/L. Para fins de exportação alguns países estabelecem concentração máxima de 150µg/L, a exemplo do Canadá e 125 µg/L para os Estados Unidos (Brasil, 2022; Maia *et al.*, 2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dessa forma, a fermentação alcoólica representa uma das etapas mais determinantes para a qualidade da cachaça, influenciando diretamente o rendimento do processo, a composição química e o perfil sensorial da bebida. A atuação das leveduras, especialmente de *Saccharomyces cerevisiae*, associada ao controle adequado de parâmetros como temperatura, pH, composição do mosto e tempo de fermentação, é fundamental para garantir eficiência fermentativa e reduzir a formação de compostos indesejáveis. Além disso, observa-se que tanto o uso de leveduras selecionadas quanto a valorização de cepas autóctones contribuem para a obtenção de características sensoriais específicas, permitindo aliar padronização, identidade regional e valorização do terroir da cachaça. Nesse contexto, o conhecimento dos fundamentos microbiológicos e bioquímicos da fermentação torna-se essencial para o desenvolvimento de estratégias capazes de otimizar o processo produtivo, elevar a qualidade da bebida e atender às exigências do mercado nacional e internacional. Assim, o avanço das pesquisas envolvendo microbiologia, biotecnologia e controle fermentativo tende a fortalecer a competitividade da cadeia produtiva da cachaça, promovendo inovação, segurança e maior valorização desse importante patrimônio cultural brasileiro.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, A. R. **Cachaça**: ciência, tecnologia e arte. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2017.

ALCARDE, A. R. **Cachaça**. 3. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2023. E-book. p.7. ISBN 9788521221746.

ALVARENGA, F. B. M. **Seleção de isolados ambientais de *Saccharomyces cerevisiae* para a produção de cachaça de alambique**. 2019. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

BADOTTI, F.; BELLOCH, C.; ROSA, C. A.; BARRIO, E.; QUEROL, A. Physiological and molecular characterisation of *Saccharomyces cerevisiae* cachaça strains isolated from different geographic regions in Brazil. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 26, n. 4, p. 579–587, 2010. DOI: 10.1007/s11274-009-0206-0.

BADOTTI, F.; VILAÇA, S. T.; ARIAS, A.; ROSA, C. A.; BARRIO, E. Two interbreeding populations of *Saccharomyces cerevisiae* strains coexist in cachaça fermentations from Brazil. **FEMS Yeast Research**, 2013. DOI: 10.1111/1567-1364.12108.

BARBOSA, E. A.; SOUZA, M. T.; DINIZ, R. H. S.; GODOY-SANTOS, F.; FARIA-OLIVEIRA, F.; CORREA, L. F. M.; *et al.* Quality improvement and geographical indication of cachaça (Brazilian spirit) by using locally selected yeast strains. **Journal of Applied Microbiology**, v. 121, n. 4, p. 1038–1051, 2016. DOI: 10.1111/jam.13216.

BASSI, A. P. G.; MENEGUELLO, L.; PARALUPPI, A. L.; SANCHES, B. C. P.; CECCATO-ANTONINI, S. R. Interaction of *Saccharomyces cerevisiae*–*Lactobacillus fermentum*–*Dekkera bruxellensis* and feedstock on fuel ethanol fermentation. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 111, p. 1661–1672, 2018. DOI: 10.1007/s10482-018-1056-2.

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 República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 5 jun. 2009.

CÂMARA, C. N.; GUIMARÃES, C. C. Fermentação alcoólica: um estudo de caso sobre as ações adotadas para a otimização deste processo. **Ciência & Tecnologia**, v. 16, n. 1, p. e16102–e16102, 2024.

CAMPOS, A. C. S. **Caracterização de bactérias lácticas para serem utilizadas em processos fermentativos consorciados entre leveduras e bactérias na produção de cerveja**. 2014. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

CAMPOS, A. C. S. et al. Selected cachaça yeast strains share a genomic profile related to traits relevant to industrial fermentation processes. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 90, n. 1, e0175923, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/aem.01759-23>.

CAMPOS, C.; SILVA, C.; DIAS, D.; BASSO, L.; AMORIM, H.; SCHWAN, R. Features of *Saccharomyces cerevisiae* as a culture starter for the production of the distilled sugar cane beverage, cachaça in Brazil. **Journal of Applied Microbiology**, v. 108, p. 1871–1879, 2010.

CARDOSO, M. D. G. **Produção de aguardente de cana**. 4. ed. Lavras: UFLA, 2020.

CARDOSO, M. das G. **Análises físico-químicas de aguardente**. Produção de aguardente de cana-de-açúcar. Lavras: Editora UFLA, 2001. Cap.5. p. 152-173.

CARVALHO, F. P.; DUARTE, W. F.; DIAS, D. R.; PICCOLI, R. H.; SCHWAN, R. F. Interaction of *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactococcus lactis* in the fermentation and quality of artisanal cachaça. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 37, p. 51–60, 2014.

CECCATO-ANTONINI, S. R. **Microbiologia da fermentação alcoólica: a importância do monitoramento microbiológico em destilarias**. São Carlos: EdUFSCar, 2010.

CECCATO-ANTONINI, S. R. **Microbiologia da fermentação etanólica: fundamentos, avanços e perspectivas**. São Carlos: EdUFSCar, 2022.

CHAVES, J. B. P.; FERNANDES, A. R.; SILVA, C. A. B. **Produção artesanal de cachaça de qualidade**. 2003.

CHETLA-MORALES, D. U. et al. Intoxicación por metanol por consumo de bebidas alcohólicas adulteradas. Efectos en el sistema nervioso. Reporte de un caso. **Rev. Fac. Med.** (Méx.), Ciudad de México, v. 66, n. 1, p. 24-32, feb. 2023. DOI: <https://doi.org/10.22201/fm.24484865e.2023.66.1.03>.

CONCEIÇÃO, C. I. da. **Elaboração de caderno temático sobre fermentação alcoólica da cachaça** [manuscrito]: aprimoramento do ensino-aprendizagem de nível técnico. 2023. 84 f. Monografia (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023. Orientador: Rogelio Lopes Brandão. Coorientadores: Aureliano Claret da Cunha; Mariana Furtado Granato de Albuquerque.

SILVA, M. V. P. da. **Comportamento da fermentação alcoólica para produção de cachaça com e sem controle em diferentes concentrações de Brix e pH de temperatura em diferentes concentrações**. 2019. 64 f. Monografia (Graduação em Tecnologia de Produção Sucroalcooleira) – Centro de Tecnologia de Desenvolvimento Regional, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019. Orientador: Kelson Carvalho Lopes.

DA SILVA, V. P.; DE SOUZA, J. B.; DE QUEIROZ, A. L. M.; RIBEIRO-FILHO, N.; BEZERRA, T. K. A. **Cachaça production: from sugar cane to spirit**. Journal of the Institute of Brewing, v. 129, p. 259–275, 2023.

DE OLIVEIRA, Gabriel Martins; SILVA, Thayna Farias; NETO, Júlio Inácio Holanda Tavares. Estudo dos impactos provocados por microrganismos no rendimento da fermentação alcoólica. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 30434-30448, 2020.

DE SOUZA, A. P. G.; VICENTE, M. A.; KLEIN, R. C.; FIETTO, L. G.; COUTRIM, M. X.; DE CÁSSIA FRANCO AFONSO, R. J.; et al. Strategies to select yeast starter cultures for production of flavor compounds in cachaça fermentations. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 101, p. 379–392, 2012. DOI: 10.1007/s10482-011-9643-5.

DUARTE, W. F.; DE SOUSA, M. V. F.; DIAS, D. R.; SCHWAN, R. F. Effect of co-inoculation of *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus fermentum* on the quality of the distilled sugar cane beverage cachaça. **Journal of Food Science**, v. 76, p. C1307–C1318, 2011.

FARIA-OLIVEIRA, F.; DINIZ, R. H. S.; GODOY-SANTOS, F.; PILÓ, F. B.; MEZADRI, H.; CASTRO, I. M.; BRANDÃO, R. L. The role of yeast and lactic acid bacteria in the production of fermented beverages in South America. **IntechOpen**, 2015. DOI: 10.5772/60877.

FARIAS, F. C; ALCARDE, A. R.; OLIVEIRA FILHO, J. H. de. Spontaneous fermentation and selected yeast fermentation for the production of cachaça by cell-recycle batch process. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 40, n. 1, p. 1–14, 2022.

FUNKE, Gerard J. Tortora, Christine L. Case, Warner B. Bair III, Derek Weber, Berdell R. **Microbiologia**. 14. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2024. E-book. p.107. ISBN 9786558822585.

GÓES-FAVONI, S. P.; MONTEIRO, A. C. C.; DORTA, C.; CRIPPA, M. G.; SHIGEMATSU, E. Fermentação alcoólica na produção de etanol e os fatores determinantes do rendimento. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.4, p.285-296, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.004.0023>.

GOMES, F. C. O.; SILVA, C. L. C.; MARINI, M. M.; OLIVEIRA, E. S.; ROSA, C. A. Use of selected indigenous *Saccharomyces cerevisiae* strains for the production of the traditional cachaça in Brazil. **Journal of Applied Microbiology**, v. 103, p. 2438–2447, 2007.

GONÇALVES, R. C. F.; TEODORO, M. M. G.; MACHADO, A. M. R.; GOMES, F. C. O.; BADOTTI, F.; CARDOSO, M. G. Compostos voláteis em cachaças de alambique produzidas por leveduras selecionadas e por fermentação espontânea. **Magistra, Cruz das Almas**, v. 28, n. 3/4, p. 285–293, 2016.

LALLEMAND BIOFUELS & DISTILLED SPIRITS. **CanaMax**. 2021a. Disponível em: <https://lallemandcraftdistilling.com/wp-content/uploads/2018/11/TDS-CanaMax-1.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2025.

LALLEMAND BIOFUELS & DISTILLED SPIRITS. **DistilaMax RM**. 2021b. Disponível em: https://www.lallemandbds.com/wp-content/uploads/2012/12/DistilaMax-RM_MKE_2015-LOW-RES.pdf. Acesso em: 25 nov. 2025.

LIMA, M. A.; NOGUEIRA, J. P.; CASTRO, R. P. Importância das leveduras na produção de cachaça: controle e influência no perfil sensorial. **Revista Brasileira de Tecnologia em Alimentos**, 2017.

MACHADO, A. M. R.; CARDOSO, M. G.; SACZK, A. A.; ANJOS, J. P.; ZACARONI, L. M.; DÓREA, H. S.; NELSON, D. L. Determination of ethyl carbamate in cachaça produced from copper stills by HPLC. **Food Chemistry**. v. 138, p. 1233-1238, 2013.

MACHADO, Bárbara Dias et al. Avaliação da formação dos componentes secundários da cachaça durante o processo fermentativo. **Revista Engenharia de Interesse Social**, v. 6, n. 8, p. 23-34, 2021.

MAIA, A. B. Componentes secundários da aguardente. **STAB. Açúcar, Alcool e Subprodutos**, v. 12, p. 29-39, jul./ago. 1994.

MAIA, A. B.; CONCEIÇÃO, E. C. da; MARINHO, L. S.; QUARESMA, A. J. P.; TONIDANDEL, L. O. Ethyl carbamate in Brazilian cachaça. **International Journal of Development Research**, v. 14, n. 1, p. 64548-64555, jan. 2024. DOI: <https://doi.org/10.37118/ijdr.27648.01.2024>.

MAIA, Amazile Biagioni; MARINHO, Lorena Simão; NELSON, David Lee. On the role of higher alcohols in the characterization of cachaça. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, e8299109135, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i10.91351.

MAIA, L.; FELIZARDO, L.; DE-BARROS, M. C.; et al. Unveiling the influence of autochthonous yeasts selected from spontaneous fermentation of cachaça on ethanol, ester and fermentation kinetics. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 118, p. 104, 2025. DOI: 10.1007/s10482-025-02123-7.

MARAN, E. M.; et al. Fermentação em estado sólido de resíduos agroindustriais: aplicação para obtenção de biscoitos. **Revista de Agroindústria**, 2025.

MARTIN, J. G. P.; DE DEA LINDNER, J. **Microbiologia de alimentos fermentados**. São Paulo: Editora Blucher, 2022.

MEDEIROS, B. B. M. P. **Produção de aguardente utilizando mel de rejeito de abelhas (Apis mellifera) africanizadas**. 2020. 74 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil.

MENEZES, J. A.; SANTOS, R. M.; PEREIRA, A. P. Fermentação alcoólica aplicada à cachaça: influência dos parâmetros de processo. **Revista de Agroindústria**, 2016.

CARUSO, M. S. F.; NAGATO, L. A. F.; ALABURDA, J. Benzo(a)pireno, carbamato de etila e metanol em cachaças. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 9, p. 1973–1976, 2010. DOI: 10.1590/S0100-40422010000900027.

MORAIS, R. A.; SOUZA, M. F.; OLIVEIRA, S. R. Parâmetros de fermentação para obtenção de cachaça de qualidade. **Ciência e Tecnologia de Bebidas**, 2017.

NAVES, R. F.; FERNANDES, F. S.; PINTO, O. G.; NAVES, P. L. F. Contaminação microbiana nas etapas do processamento e sua influência no rendimento fermentativo em usinas alcooleiras. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 1–16, 2010.

NOVA, M. X. V.; SCHULER, A. R. P.; BRASILEIRO, B. T. R. V.; MORAIS JUNIOR, M. A. Yeast species involved in artisanal cachaça fermentation in three stills

with different technological levels in Pernambuco, Brazil. **Food Microbiology**, v. 26, n. 5, p. 460–466, 2009. DOI: 10.1016/j.fm.2009.02.005.

OLIVEIRA FILHO, J. H. O.; FARIAS, F. C.; ALCARDE, A. R. Spontaneous fermentation and selected yeast fermentation for the production of cachaça by cell-recycle batch process. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, [S. l.], v. 40, n. 1, 2022. DOI: 10.5380/bceppa.v1i1.82879.

OLIVEIRA, A. C. D. de; OLIVEIRA, C. A. F. de; KAMIMURA, E. S. Microbial contamination in the ethanol and cachaça fermentation process: impacts and applications. **Food Science and Technology**, Campinas, Brasil, v. 43, 2023. DOI: 10.5327/fst.80422.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; HOFFMANN, H. P. **Liberação nacional de variedades RB de cana-de-açúcar**. 1. ed. Curitiba: Graciosa, 2015. 72 p.

OLIVEIRA, R. E. S.; CARDOSO, M. G.; SANTIAGO, W. D.; BARBOSA, R. B.; ALVARENGA, G. F.; NELSON, D. L. Physicochemical parameters and volatile composition of cachaça produced in the state of Paraíba, Brazil. **Research, Society and Development**, v. 9, e504974409, 2020.

OLIVEIRA, R. S.; MORAIS, R. A.; SOUZA, A. P. Impacto das condições de fermentação no desempenho das leveduras e qualidade da cachaça. **Boletim de Biotecnologia**, 2015.

OLIVEIRA, V. A.; VICENTE, M. A.; FIETTO, L. G.; CASTRO, I. M.; COUTRIM, M. X.; SCHULLER, D.; et al. Biochemical and molecular characterization of *Saccharomyces cerevisiae* strains obtained from sugar-cane juice fermentations and their impact in cachaça production. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 74, p. 693–701, 2008. DOI: 10.1128/AEM.01729-07.

PARAPOULI, Maria; VASILEIADIS, Anastasios; AFENDRA, Amalia-Sofia; HATZILOUKAS, Efstathios. *Saccharomyces cerevisiae* and its industrial applications. **AIMS Microbiology**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 1-31, 2020. DOI: 10.3934/microbiol.2020001.

PENTEADO, José Carlos Pires; MASINI, Jorge Cesar. Heterogeneidade de álcoois secundários em aguardentes brasileiras de diversas origens e processos de fabricação. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 5, p. 1212-1215, 2009. DOI: 10.1590/S0100-40422009000500024.

PEREIRA, D. A.; VIEIRA, R. C. M.; GIMENEZ, A. Z. Fatores que afetam a fermentação alcoólica. **Ciência & Tecnologia**, v. 12, n. 1, p. 44–55, 2020.

PEREIRA, J. V. C. **Comparação entre as linhagens comerciais de *Saccharomyces cerevisiae* CA-11 e Saf-Instant, no rendimento da fermentação alcoólica do caldo de cana-de-açúcar**. João Pessoa, 2024.

PEREIRA, M.; ANDRADE, A. de; ACEVEDO, M. S. M. S. F.; ALCARDE, A. R. Improvement of the chemical quality of cachaça. **Beverages**, v. 10, n. 3, p. 79, 2024. DOI: 10.3390/beverages10030079.

PINA, R. L.; CRUZ, D. C. P.; MARTELLI, M. C. Avaliação da influência de aromas gerados por leveduras não convencionais utilizadas na produção de cerveja: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 17, p. e43111738868, 2022.

PORTUGAL, B.; SILVA, A. P.; BORTOLETTO, A. M.; ALCARDE, A. R. How native yeasts may influence the chemical profile of the Brazilian spirit, cachaça. **Food Research International**, v. 91, p. 18–25, 2017. DOI: 10.1016/j.foodres.2016.11.024.

RATKOVICH, N.; ESSER, C.; DE RESENDE MACHADO, A. M.; MENDES, B. A.; CARDOSO, M. G. The spirit of cachaça production: an umbrella review of processes, flavour, contaminants and quality improvement. **Foods**, v. 12, n. 17, p. 3325, 2023. DOI: 10.3390/foods12173325.

RIBEIRO, M. L. D. et al. Tratamento físico-químico do caldo de cana produz cachaça de qualidade1. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, p. 458-463, 2017.

SCHWAN, R. F.; ALMEIDA, E. G.; SILVA, C. F. **Leveduras e sua importância no processo fermentativo da cachaça**. Ciência de Alimentos e Bebidas, 2014.

SCHWAN, R. F.; MENDONÇA, A.; SILVA JR., J. J.; RODRIGUES, V.; WHEALS, A. E. Microbiology and physiology of cachaça (aguardente) fermentations. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 79, n. 1, p. 89–96, 2001. DOI: 10.1023/a:1010225117654.

SILVA JÚNIOR, A. O.; GRIGOLI, A. A.; MACENA, D. A. Quantificação e análise comparativa do teor de metanol em amostras de cachaças de diferentes origens. **Colloquium Exactarum**. p. 59-67, 2016.

SILVA, C. L. C.; VIANNA, C. R.; CADETE, R. M.; SANTOS, R. O.; GOMES, F. C. O.; OLIVEIRA, E. S.; ROSA, C. A. Selection, growth, and chemo-sensory evaluation of flocculent starter culture strains of *Saccharomyces cerevisiae* in the large-scale

production of traditional Brazilian cachaça. **International Journal of Food Microbiology**, v. 131, n. 2–3, p. 203–210, 2009.

SILVA, G. P.; MACK, M.; CONTIERO, J. Glycerol: a promising and abundant carbon source for industrial microbiology. **Biotechnology Advances**, v. 27, n. 1, p. 30–39, 2009.

SOLON, H. A. V. **Projeto de uma minifábrica de cachaça artesanal**. 2021.

SOUSA, J. L. U.; MONTEIRO, R. A. B. Fatores interferentes na fermentação alcoólica para produção de etanol. **FAZU em Revista**, n. 8, p. 100–107, 2011.

SOUZA, J. B. de. **Cachaça**: produção, controle de qualidade e sensorial – uma revisão. João Pessoa, 2022. 46 f.

TORTORA, G. J. *et al.* **Microbiologia**. 12. ed. Grupo A: Minha Biblioteca, 2017.

VIANNA, C. R.; SILVA, C. L. C.; NEVES, M. J. R. C. A. *Saccharomyces cerevisiae* strains from traditional fermentations of Brazilian cachaça: trehalose metabolism, heat and ethanol resistance. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 93, n. 1–2, p. 205–217, 2008.

VICENTE, M. A.; FIETTO, L. G.; CASTRO, I. M.; SANTOS, A. N.; COUTRIM, M. X.; BRANDÃO, R. L. Isolation of *Saccharomyces cerevisiae* strains producing higher levels of flavoring compounds for production of “cachaça”, the Brazilian sugarcane spirit. **International Journal of Food Microbiology**, v. 108, p. 51–59, 2006. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2005.10.018.

CAPÍTULO IV

DESTILAÇÃO: O CORAÇÃO DA CACHAÇA



Clóvis Gouveia da Silva

1 INTRODUÇÃO

1.1 Destilação

A arte da destilação tem raízes históricas profundas. Embora a alquimia tenha se originado na Grécia por volta de 300 a.C., com base em registros egípcios e babilônicos, seu maior florescimento na Antiguidade ocorreu em Alexandria, entre os séculos II e III d.C. Há evidências documentais de que os conhecimentos desenvolvidos pelos alquimistas alexandrinos chegaram aos árabes, os quais aperfeiçoaram os equipamentos e técnicas de destilação.

Os aparelhos empregados nesse processo foram descritos por Marco Graco no século VIII, o que constitui um dos primeiros registros históricos sobre a destilação de vinhos, ainda que sem menção às propriedades do produto obtido. Posteriormente, os árabes compilaram os saberes alquímicos existentes em uma obra intitulada Livro de Crates. Em 1850, a obra de Gerber posteriormente traduzida para o latim como *De Summa Perfectionis*, consolidou as bases da Química experimental e influenciou o pensamento científico europeu da Idade Média.

Dessa forma, a destilação foi introduzida na Europa Ocidental pelos árabes, através do norte da África. À época, o método despertou grande interesse entre alquimistas e monges, pois consistia em um processo de separação de dois ou mais componentes de uma solução com diferentes temperaturas de vaporização. Nessa operação, um ou mais componentes passam para o estado de vapor, sendo então separados da solução original e posteriormente condensados novamente (Fioreze, 2004; Stupiello, 1973).

A destilação, portanto, é um método de separação baseado no fenômeno de equilíbrio líquido-vapor de misturas. O termo refere-se ao processo físico de separação de componentes voláteis presentes em misturas líquidas homogêneas, com base nos diferentes pontos de ebulição de cada substância. Inicialmente, por aquecimento, os componentes são volatilizados e, em seguida, condensados.

Trata-se, essencialmente, de um processo de vaporização controlada seguida de condensação, cujo principal objetivo é a purificação ou a formação de produtos novos, pela decomposição e fracionamento conforme o grau de pureza desejado no destilado (Furigo Junior *et al.*, 2006; Venturini Filho, 2016).

Na prática, quando há duas ou mais substâncias formando uma mistura líquida, a destilação é um método eficiente de purificação, desde que exista diferença significativa de volatilidade entre elas. Assim, conforme Stuppiello *et al.* (1973), o processo que se baseia na diferença entre os pontos de ebulição para promover a separação de um ou mais compostos de uma mistura denomina-se destilação.

1.2 Importância da destilação na produção da cachaça

A otimização das condições operacionais da destilação é fundamental para a obtenção de uma bebida de qualidade superior. Esse processo não apenas separa, seleciona e concentra os componentes do vinho de cana, mas também promove reações químicas induzidas pelo calor e catalisadas pelo cobre presente nos alambiques.

Durante a destilação, os componentes voláteis originalmente presentes no vinho de cana podem sofrer transformações químicas que resultam em aumento, redução ou formação de novos compostos. Dentre essas reações, destacam-se a hidrólise, esterificação, acetilação de diversos produtos, formação de furfural e reações com o cobre (Guymon, 1974; Léauté, 1990). O controle cuidadoso das variáveis de operação, como temperatura, tempo de destilação e composição do material é essencial para garantir o equilíbrio dessas reações e assegurar a qualidade do destilado final.

1.3 Diferença entre a destilação da cachaça e de outras bebidas

Enquanto muitas bebidas destiladas passam por múltiplas destilações visando à purificação e padronização do produto, a cachaça brasileira caracteriza-se pela simplicidade e caráter artesanal de seu processo. Ela é obtida por destilação simples do caldo fermentado da cana-de-açúcar, em que a separação das frações alcoólicas define o aroma, o sabor e a qualidade final do produto.

Dessa forma, uma das principais diferenças entre a destilação da cachaça e a de outras bebidas destiladas está no número de destilações e no grau de purificação buscado. Bebidas como whisky, vodka e tequila passam por várias destilações sucessivas, a fim de obter um destilado neutro e isento de impurezas que possam comprometer a qualidade sensorial (Erwin Weimann, 2009).

A cachaça, por outro lado, é monodestilada, isto é, submetida a uma única destilação e apresenta características únicas de aroma e sabor provenientes da cana-de-açúcar e das reações que ocorrem nos alambiques de cobre. O whisky, em contraste, é bidestilado, envelhecido em barris de carvalho e produzido a partir de grãos, resultando em um perfil sensorial completamente distinto.

Conforme Erwin Weimann (2009), no livro “Cachaça, a Bebida Brasileira”, o whisky, assim como outros destilados de grãos, passa por dupla destilação justamente para eliminar compostos indesejáveis formados durante a fermentação. O mesmo ocorre com bebidas como o conhaque, destilado de uvas que, por definição legal, também deve ser submetido a dois processos de destilação consecutivos.

2 PRINCÍPIOS DA DESTILAÇÃO

O processo de destilação fundamenta-se na diferença entre os pontos de ebulição dos componentes de uma mistura líquida. No caso específico da aguardente e da cachaça, o princípio se baseia principalmente na diferença entre o ponto de ebulição da água (100 °C) e do etanol (78,4 °C), o que possibilita a separação do álcool durante o aquecimento do vinho de cana. Este mesmo princípio é aplicável a todos os tipos de destilados alcoólicos, nos quais a fração volátil é separada da mistura líquida e posteriormente condensada (Cabral; Kremer; Trossini, 2006).

A destilação consiste, portanto, em um processo de separação física que envolve transferência simultânea de calor e massa entre as fases líquida e vapor. O calor fornece energia suficiente para que os componentes mais voláteis passem ao estado gasoso, enquanto os menos voláteis permanecem na fase líquida. Em seguida, o vapor formado é resfriado, promovendo a condensação e recuperação do destilado. A eficiência do processo depende diretamente de fatores como a composição inicial da mistura, o tipo de equipamento utilizado e o controle das variáveis operacionais.

Nos processos de destilação de aguardentes, o destilado é tradicionalmente fracionado em três partes: cabeça, coração e cauda. O primeiro e o último volumes devem ser descartados, uma vez que concentram compostos indesejáveis e impurezas. O coração, que representa entre 75% e 80% do volume total, constitui o produto final de qualidade superior (Cabral; Kremer; Trossini, 2006). Essa prática, além de tradicional, é essencial para o controle sensorial e químico da bebida, evitando a presença de compostos tóxicos e voláteis de baixo ponto de ebulição, como o metanol e o acetaldeído.

De acordo com Fioreze (2004), durante a destilação ocorre a transferência de massa em duas direções, do líquido para o vapor e vice-versa, resultando no aumento da concentração do constituinte mais volátil na fase gasosa e no esgo-

tamento do mesmo na fase líquida. Assim, o processo de separação baseia-se na diferença de volatilidade entre os componentes, sendo que o etanol é o principal composto transferido para o vapor durante a destilação do vinho.

O mosto fermentado, denominado “vinho” nos processos industriais, é composto por uma mistura complexa de substâncias químicas, entre elas água, etanol, álcoois superiores, aldeídos, ésteres e ácidos orgânicos. Essa diversidade de compostos confere à bebida suas propriedades sensoriais e químicas características. Segundo Faria (2000), após o processo fermentativo, o vinho apresenta substâncias dissolvidas nas fases gasosa, líquida e sólida:

- **Fase gasosa:** constituída predominantemente por dióxido de carbono (CO_2), formado na transformação do ácido pirúvico em acetaldeído e CO_2 ;
- **Fase sólida:** composta principalmente por biomassa (leveduras e bactérias), sais minerais, açúcares não fermentescíveis e impurezas em suspensão;
- **Fase líquida:** formada essencialmente por água e etanol, além de compostos secundários responsáveis pelas características sensoriais das bebidas destiladas.

A ebulição do vinho em alambique ocorre, em média, a 80 °C, temperatura que permite a vaporização seletiva dos compostos mais voláteis, principalmente o etanol. Essa diferença de volatilidade entre os constituintes do vinho é o que possibilita a separação eficiente das substâncias durante a destilação, resultando em um destilado com características químicas e sensoriais distintas.

A eficiência do processo também é influenciada pelo tipo de equipamento utilizado. Em destilações artesanais, os alambiques de cobre são amplamente empregados por promoverem reações catalíticas benéficas, especialmente na formação de ésteres e compostos aromáticos (Novais, 2000). Já nos sistemas industriais, o uso de colunas de destilação permite uma separação mais controlada e contínua, com maior rendimento, embora possa reduzir a complexidade sensorial do produto (Lima, 1983).

Além disso, fatores como pressão atmosférica, taxa de aquecimento e refluxo interno afetam significativamente a pureza e o teor alcoólico do destilado. Uma elevação na pressão, por exemplo, aumenta o ponto de ebulição dos componentes, exigindo temperaturas mais elevadas para a vaporização. Por outro lado, o controle do refluxo, retorno parcial do vapor condensado ao sistema, permite o aumento da pureza do destilado e a redução de impurezas voláteis (Mccabe; Smith; Harriott, 2005).

Em síntese, o princípio fundamental da destilação está na diferença de volatilidade entre os componentes da mistura, na aplicação controlada de calor e no aproveitamento das propriedades físico-químicas de cada substância. No

contexto da produção de cachaça, a compreensão e o controle desses fatores são essenciais para a obtenção de um produto com características sensoriais equilibradas, teor alcoólico adequado e ausência de contaminantes.

3 TIPOS DE ALAMBIQUES E COLUNAS

3.1 Histórico e origem dos alambiques

Os primeiros registros sobre destilação remontam à Antiguidade, quando os egípcios, há mais de quatro mil anos, já utilizavam dispositivos rudimentares semelhantes aos alambiques para obtenção de essências e óleos aromáticos. Gravuras em templos de Mênfis evidenciam o uso de vasos e condensadores primitivos com finalidade de destilação. Contudo, foi na tradição árabe que o processo assumiu caráter científico, sendo o termo alambique derivado do árabe *al-ambiq*, que significa “vaso destilatório”, e álcool, de *al-kuhl*, que originalmente designava um pó fino e puro (Lima, 1983).

O alquimista árabe Jabir Ibn Hayyan (ou Geber), no século VIII, é reconhecido como o inventor do alambique moderno. Foi ele quem desenvolveu os primeiros estudos sistematizados sobre destilação e registrou detalhadamente seus experimentos, utilizando o aparelho tanto para obtenção de essências quanto para a purificação de líquidos. A palavra alambique acabou adquirindo também um sentido metafórico: o de algo que refina e transforma substâncias por meio do calor e da condensação (Gerber, 850 *apud* Lima, 1983).

Na Europa medieval, a destilação se difundiu a partir das traduções das obras árabes, consolidando-se entre monges e alquimistas que buscavam elixires e substâncias puras. Posteriormente, com o advento da química moderna, o processo foi aperfeiçoado e aplicado industrialmente, originando o que hoje conhecemos como destilação de bebidas alcoólicas, incluindo a aguardente e a cachaça (Fioreze, 2004; Venturini Filho, 2016).

3.2 Estrutura e funcionamento dos alambiques

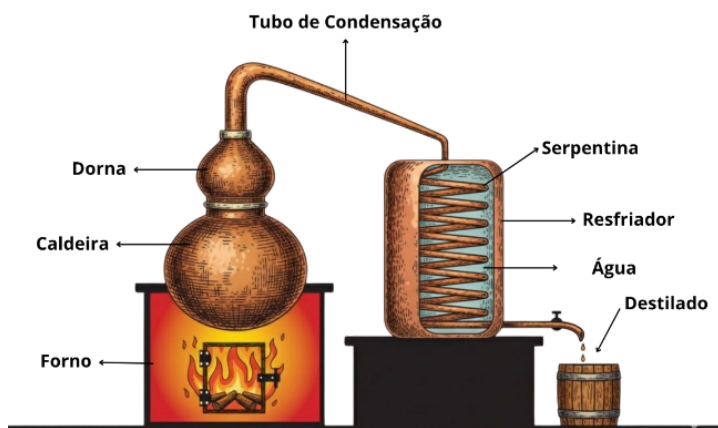
Os alambiques utilizados nas destilarias artesanais de cachaça mantêm, em essência, a estrutura clássica dos equipamentos antigos. São constituídos basicamente de:

- **Panela ou caldeira:** recipiente onde o vinho de cana é aquecido;
- **Capitel ou cabeça:** parte superior que coleta e direciona os vapores alcoólicos;
- **Tubo de condensação:** canal condutor do vapor até o resfriador;
- **Serpentina:** tubo imerso em água fria, responsável por condensar os vapores em líquido;

- **Resfriador:** reservatório que mantém a água fria para completar a condensação (Lima, 1983).

O funcionamento ocorre de forma cíclica. O aquecimento do vinho provoca a vaporização dos compostos mais voláteis, que sobem em direção ao capitel, sendo posteriormente conduzidos até a serpentina, onde se condensam e são recolhidos sob a forma de destilado. Esse processo resulta em uma mistura hidroalcoólica com teor alcoólico significativamente superior ao do vinho inicial (Lima, 1983).

Figura 1 – Processo de Destilação



Fonte: Lima, 1983.

Em resumo, a destilação consiste na geração controlada de vapores alcoólicos, seu transporte por condensação e subsequente liquefação. A qualidade do destilado depende diretamente da eficiência da transferência térmica, da geometria do equipamento e do controle do processo de condensação.

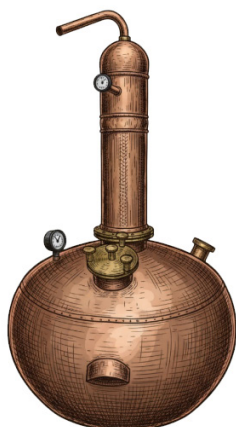
3.3 Tipos de alambiques

A configuração do alambique influencia diretamente na qualidade e no rendimento do destilado. A seguir são descritos os principais tipos empregados na produção artesanal e industrial de cachaça.

a) Alambique simples (modelo tradicional ou “cabeça quente”)

É o modelo mais antigo e de construção mais simples, formado apenas por caldeira, capitel e serpentina. Nele, os vapores seguem diretamente para o condensador sem refluxo intermediário. Embora seja fácil de operar e produza bebidas com aroma marcante, apresenta limitações quanto à pureza do destilado, pois há arraste de compostos pesados e impurezas. Essa característica torna o processo dependente da habilidade do operador para realizar cortes precisos entre as frações cabeça, coração e cauda (Lima, 1983).

Figura 2 – Alambique tipo cebola cabeça quente



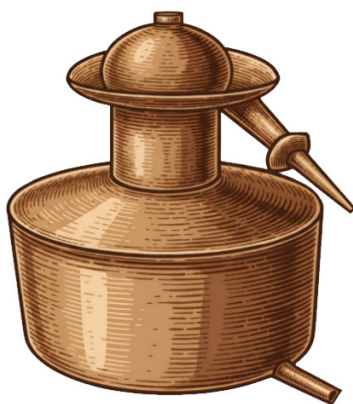
Fonte: Lima, 1983.

Apesar das limitações, muitos produtores artesanais mantêm o uso desse tipo de alambique por tradição e por considerarem que ele preserva o “caráter regional” da cachaça.

b) Alambique tipo “tromba de elefante”

Este modelo possui uma longa curvada e longa, que lembra uma tromba de elefante, projetada para facilitar a condução dos vapores. No entanto, o formato provoca condensação precoce e reduz o refluxo, comprometendo a separação entre compostos leves e pesados (Faria, 2000).

Figura 3 – Alambique tipo tromba de elefante



Fonte: Lima, 1983.

Como consequência, o destilado tende a apresentar menor teor alcoólico e qualidade sensorial inferior. Atualmente, seu uso é restrito a produções artesanais menores, sendo considerado tecnicamente obsoleto.

c) Alambique com capelo e deflegmador

Esse tipo representa um aprimoramento significativo em relação aos modelos anteriores. Possui uma coluna vertical (capelo) e um deflegmador, dispositivo de resfriamento parcial que promove o refluxo de vapores mais pesados de volta à caldeira.

O resultado é uma destilação mais seletiva, com aumento do teor alcoólico e redução de contaminantes metálicos e compostos indesejáveis, como o carbamato de etila. O deflegmador também contribui para a preservação dos ésteres aromáticos, compostos que conferem suavidade e aroma característico à cachaça (Venturini Filho, 2010; Espinoza; Botelho, 2006).

Figura 4 – Alambique tipo cebola com capelo



Fonte: Lima, 1983

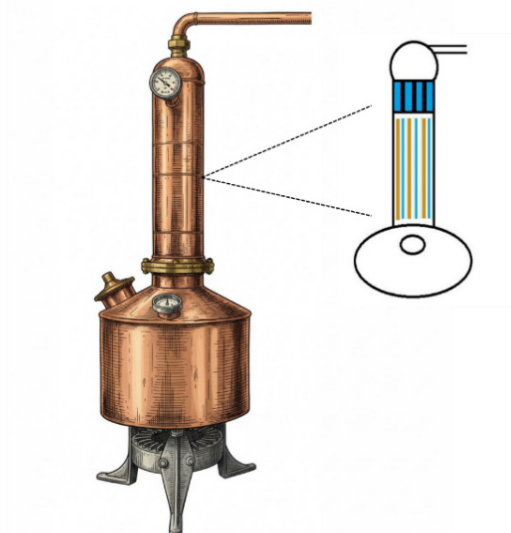
Quando o deflegmador e o capelo são construídos em aço inoxidável, mantendo apenas a caldeira em cobre, o risco de contaminação por cobre é drasticamente reduzido, sem perda de qualidade sensorial (Cardoso, 2012).

d) Alambique tipo “cebola” com coluna longa

O alambique tipo cebola é considerado um dos modelos mais eficientes e é amplamente utilizado em destilarias modernas. O corpo arredondado (“cebola”) permite melhor distribuição térmica e evita o superaquecimento localizado.

A coluna longa acoplada à caldeira contém pratos internos ou deflegmadores sucessivos, que aumentam o contato entre vapor e líquido, simulando uma retificação fracionada dentro do próprio alambique (Fioreze, 2004).

Figura 5 – Alambique tipo cebola com coluna longa



Fonte: Lima, 1983.

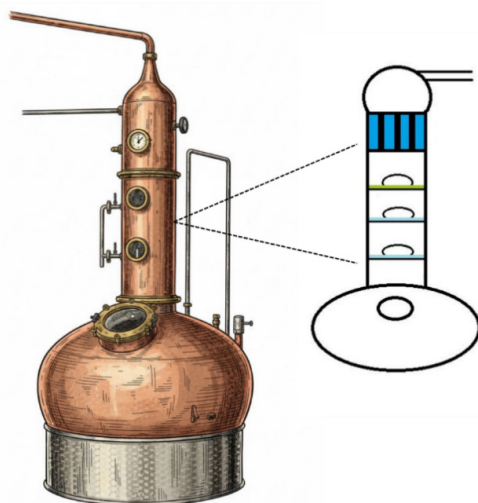
Esse modelo garante uma separação mais precisa das frações, produzindo destilados de alto grau alcoólico e aroma limpo, mantendo, contudo, as notas características da cana. É considerado o equilíbrio ideal entre tradição artesanal e eficiência tecnológica (Venturini Filho, 2016).

3.4 COLUNAS DE DESTILAÇÃO CONTÍNUA

Nos sistemas industriais, a destilação é conduzida em colunas contínuas, nas quais o vinho entra pela parte superior e o vapor de aquecimento pela base. Em cada estágio ou “prato”, ocorre o contato entre o líquido descendente e o vapor ascendente, promovendo múltiplos equilíbrios de vaporização e condensação (Lima, 1983).

As colunas modernas permitem operação ininterrupta e controle automatizado de temperatura, pressão e refluxo, proporcionando maior rendimento e padronização. Contudo, o produto resultante tende a ser mais neutro em aroma, diferindo do perfil sensorial da cachaça artesanal (Nogueira; Filho, 2005).

Figura 6 – Destilador de Coluna



Fonte: Lima, 1983.

Apesar disso, avanços tecnológicos têm possibilitado ajustes finos na destilação contínua, permitindo que grandes destilarias produzam aguardentes de qualidade comparável às de alambique, mas em escala muito superior (Venturini Filho, 2016).

4 ETAPAS DA DESTILAÇÃO

O processo de destilação da cachaça é uma das etapas mais determinantes para a obtenção de um produto final de qualidade. Envolve uma sequência de operações físicas e químicas que ocorrem de forma controlada dentro do alambique, desde o aquecimento do vinho até o corte das frações — cabeça, coração e cauda.

Além de atuar como método de separação, a destilação também promove transformações químicas induzidas pela temperatura e catalisadas pelo cobre, responsáveis pela formação de compostos voláteis que definem o aroma, sabor e características sensoriais da bebida (Venturini Filho, 2016; Novais, 2000).

4.1 Aquecimento do vinho

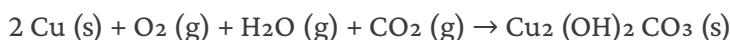
Na produção de cachaça artesanal, o processo de destilação é geralmente conduzido de forma descontínua (ou em batelada), utilizando alambiques de cobre. Nessa etapa, o vinho, que é o mosto fermentado da cana-de-açúcar, é submetido ao aquecimento direto, normalmente por fogo a lenha ou por vapor.

O aquecimento pode ocorrer por condução térmica direta, quando a chama entra em contato com o fundo da caldeira, ou por convecção indireta, quando

o calor é transferido por meio de vapor em camisa ou serpentina. O tipo de aquecimento influencia diretamente o tempo de destilação, a formação de compostos secundários e a qualidade sensorial do produto final (Fioreze, 2004).

O cobre, material tradicional dos alambiques, possui papel essencial nessa etapa, pois atua como catalisador na formação de ésteres e outros compostos desejáveis. Também remove compostos sulfurados, como o dimetilsulfeto, responsável por odores desagradáveis quando presente em excesso (Novais, 2000).

Entretanto, o contato do vinho com as paredes de cobre pode causar a formação de carbonato de cobre $[\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3]$, conhecido como zinabre ou azinhavre, um resíduo tóxico que se dissolve parcialmente no destilado, prejudicando a qualidade da bebida (Espinoza; Botelho, 2006). A reação de formação do zinabre ocorre conforme a equação:



Para evitar essa contaminação, é fundamental realizar a limpeza periódica dos alambiques, utilizando soluções ácidas suaves, como água e suco de limão, que dissolvem os resíduos de cobre e restauram a superfície metálica (Cardoso, 2012; Venturini Filho, 2010).

De acordo com a legislação brasileira, o teor máximo permitido de cobre na cachaça é de 5 mg/L, valor estabelecido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2012).

4.2 Controle de temperatura e tempo de destilação

A eficiência da destilação depende do controle preciso da temperatura e do tempo de aquecimento. Temperaturas muito elevadas favorecem o arraste de compostos pesados e impurezas, enquanto temperaturas muito baixas podem comprometer o rendimento alcoólico e prolongar o processo.

Durante a destilação, o objetivo é manter o equilíbrio entre a vaporização e a condensação, garantindo a separação seletiva dos componentes com base em seus pontos de ebulição. O etanol, por exemplo, vaporiza a 78,4 °C, enquanto a água só o faz a 100 °C. Assim, o controle térmico é determinante para que apenas os compostos desejados sejam transportados para o destilado (McCabe; Smith; Harriott, 2005).

O tempo de destilação, por sua vez, deve ser suficiente para permitir a evaporação completa das frações voláteis, sem que ocorra degradação térmica dos compostos aromáticos. Em alambiques artesanais, esse tempo varia conforme o volume do vinho, o tipo de combustível e o design do equipamento (Lima, 1983).

4.3 Separação das frações: cabeça, coração e cauda

Após atingir a temperatura de ebulição, os vapores formados ascendem pelo capitel e seguem para o condensador, onde se liquefazem. O destilado obtido é dividido em três frações principais, denominadas cabeça, coração e cauda, com base na sequência de evaporação e na composição química de cada parte.

a) Cabeça

Corresponde à primeira fração destilada, cerca de 10% do volume total. Contém a maior parte dos compostos voláteis leves, como metanol, acetaldeído e acetato de etila, substâncias tóxicas e sensorialmente agressivas, responsáveis por aromas indesejáveis. Essa fração deve ser totalmente descartada (Cabral; Kremer; Trossini, 2006).

b) Coração

É a fração nobre da destilação, representando de 75% a 80% do volume total. Rica em etanol e compostos aromáticos desejáveis, constitui a base da cachaça de qualidade. Essa fração contém pequenas quantidades de aldeídos e ésteres que conferem aroma e suavidade ao produto (Faria, 2000).

c) Cauda

A fração final, também correspondente a cerca de 10% do volume total, é formada por compostos de alto ponto de ebulição, como álcoois superiores, ácidos graxos voláteis e furfural. Além de apresentar aroma pesado e adstringente, sua presença em excesso prejudica a qualidade sensorial e a estabilidade da bebida, devendo ser descartada ou redestinada à próxima destilação (Nogueira; Filho, 2005).

O corte adequado entre essas três frações é uma habilidade essencial do mestre alambiqueiro, que deve avaliar continuamente o odor, a temperatura e a densidade do destilado, garantindo a uniformidade e pureza da cachaça (Venturini Filho, 2016).

5 CONTROLE DE QUALIDADE NA DESTILAÇÃO

O controle de qualidade é uma etapa essencial na produção da cachaça, pois assegura que o produto final atenda aos padrões legais e às expectativas sensoriais do consumidor. No contexto da destilação, o controle envolve tanto o monitoramento de parâmetros operacionais, como temperatura, refluxo e tempo de corte, quanto a análise físico-química e sensorial do destilado obtido.

A qualidade de uma cachaça está diretamente associada à precisão do processo de destilação. Pequenas variações no manejo do equipamento podem alterar significativamente a composição do produto final, interferindo em

seu aroma, sabor e pureza. Assim, o controle de qualidade na destilação deve ser contínuo, sistemático e orientado por normas técnicas estabelecidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (MAPA, 2012).

5.1 Parâmetros operacionais de controle

Durante a destilação, o operador deve monitorar constantemente variáveis críticas como temperatura, pressão e vazão de vapor, além da temperatura de resfriamento da água na serpentina. Essas condições influenciam diretamente a separação das frações (cabeça, coração e cauda) e o equilíbrio entre as fases líquida e gasosa.

O controle adequado da temperatura de corte, ponto em que se interrompe a coleta do coração e inicia-se a cauda é fundamental para evitar o arraste de compostos de alto ponto de ebulição, que conferem sabores indesejáveis e podem aumentar o teor de impurezas (Faria, 2000).

Outro parâmetro operacional relevante é a taxa de refluxo, que representa o retorno parcial de vapores condensados ao sistema. Um refluxo adequado permite maior pureza do destilado, reduzindo a presença de álcoois superiores e aldeídos (McCabe; Smith; Harriott, 2005).

A calibração e higienização dos instrumentos - como termômetros, manômetros e densímetros - também são indispensáveis para garantir a confiabilidade das medições e evitar contaminações (Cardoso, 2012).

5.2 Determinação do teor alcoólico

A determinação do teor alcoólico é uma das análises de rotina mais importantes no controle de qualidade da cachaça. Ela é realizada por meio de densímetros específicos, conhecidos como alcoômetros, aferidos a 15 °C.

Durante a medição, é comum utilizar tabelas de correção de temperatura, já que o volume e a densidade do álcool variam conforme a temperatura do líquido. Assim, a leitura feita a uma temperatura diferente da aferição deve ser ajustada com base nessas tabelas para obter o valor real (Queiroz, 1994).

Existem dois tipos principais de alcoômetros utilizados na indústria:

- **Gay-Lussac**, que expressa diretamente a porcentagem volumétrica de álcool (% v/v).
- **Cartier**, que utiliza uma escala arbitrária, sendo mais comum em pequenas destilarias e em medições rápidas.

A correta leitura do teor alcoólico evita tanto perdas econômicas por comercialização de produto acima do grau declarado quanto fraudes involuntárias, decorrentes de medições incorretas (CABRAL; KREMER; TROSSINI, 2006).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A destilação constitui-se como uma das etapas mais determinantes na produção de cachaça, sendo responsável não apenas pela separação física dos componentes do vinho de cana, mas também pela formação dos compostos que definem o perfil sensorial da bebida. A compreensão dos princípios físico-químicos envolvidos, bem como o domínio das variáveis operacionais tais como, temperatura, tempo, refluxo e tipo de equipamento, são fundamentais para a obtenção de um destilado de alta qualidade e em conformidade com os padrões legais.

Os estudos históricos e técnicos evidenciam que, desde a Antiguidade, o processo de destilação evoluiu de práticas alquímicas rudimentares para métodos científicos precisos, aplicados hoje tanto em escala artesanal quanto industrial. A introdução dos alambiques de cobre e, mais recentemente, das colunas de destilação contínua, representa o avanço tecnológico que alia tradição e eficiência, permitindo o controle rigoroso das frações cabeça, coração e cauda e garantindo um produto final seguro e sensorialmente equilibrado.

Na produção da cachaça, a destilação simples em alambiques preserva características únicas de aroma e sabor, que diferenciam essa bebida das demais aguardentes e destilados internacionais. Contudo, a manutenção da qualidade depende do controle sistemático das condições de operação e da higienização adequada dos equipamentos, a fim de evitar contaminações, principalmente por cobre.

Dessa forma, a destilação da cachaça é uma arte que integra ciência, tradição e tecnologia. O domínio desse processo não apenas assegura a pureza e a padronização do produto, mas também valoriza o patrimônio cultural e econômico brasileiro, promovendo uma bebida que simboliza a identidade nacional e a excelência técnica de sua produção.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. **Tecnologia da Aguardente e do Alcool**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1940.

CABRAL, F. A.; KREMER, G. A.; TROSSINI, M. H. **Fabricação de Cachaça**. São Paulo: Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas (SBRT), 2006.

CARDOSO, M. G. **Produção e Controle de Qualidade da Cachaça**. Lavras: Editora UFLA, 2012.

- ERWIN WEIMANN. **Cachaça: A Bebida Brasileira**. São Paulo: Editora Senac, 2009.
- ESPINOZA, L. A.; BOTELHO, R. J. Corrosão e contaminação por cobre em alambiques. **Revista Brasileira de Tecnologia de Bebidas**, v. 12, n. 3, p. 45–52, 2006.
- FARIA, J. B. **Ciência e Tecnologia da Cachaça**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2000.
- FIGUEROA, R. **Destilação e Reações Químicas em Alambiques de Cobre**. Campinas: UNICAMP, 2004.
- FURIGO JUNIOR, A.; VENTURINI FILHO, W. G.; *et al.* **Processos de Separação e Purificação: Fundamentos e Aplicações na Indústria de Bebidas**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2006.
- GUYMON, M. F. **Principles of Distillation in the Production of Brandy**. Berkeley: University of California Press, 1974.
- LÉAUTÉ, R. Distillation in Cognac. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 41, n. 1, p. 90–103, 1990.
- LIMA, U. A. **Destilação de Aguardentes e Cachaças**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1983.
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 13, de 29 de junho de 2005**. Regulamento Técnico para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade da Cachaça. Brasília: MAPA, 2012.
- MCCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOTT, P. **Unit Operations of Chemical Engineering**. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 2005.
- NOGUEIRA, M. C.; FILHO, L. C. **Processos de Destilação de Cachaça: Princípios e Aplicações Industriais**. Recife: UFPE, 2005.
- NOVAIS, F. J. **Tecnologia da Cachaça de Alambique**. Belo Horizonte: CETEC, 2000.
- QUEIROZ, A. J. **Tabelas de Correção para Alcoômetros e Determinação do Teor Alcoólico**. São Paulo: IPT, 1994.
- STUPIELLO, J. P. *et al.* **Tecnologia da Destilação de Bebidas Alcoólicas**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1973.
- VENTURINI FILHO, W. G. **Tecnologia de Bebidas: Matérias-Primas, Processos e Produtos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2016.

CAPÍTULO V

ARMAZENAMENTO E ENVELHECIMENTO



Ângela Lima Meneses de Queiroz

Vanessa Pedro da Silva

1 INTRODUÇÃO

A produção de cachaça pode ser realizada utilizando alambiques de cobre ou colunas de inox (Bortoletto, 2023), armazenada em tonéis de inox ou submetida à maturação/envelhecimento em barris de madeira, contribuindo para alterações em sua composição química e sensorial, podendo ser produzidas tanto em pequenas quanto em grandes unidades industriais (Alcarde *et al.*, 2014; Santiago *et al.*, 2017).

Com o intuito de agregar valor à bebida, os produtores realizam a prática de armazenamento e envelhecimento da cachaça recém destilados, em toneis fabricados de diferentes madeiras, que são etapas fundamentais para definir sua qualidade sensorial. Durante o armazenamento, a cachaça descansa em recipientes que podem ser de madeira, inox, vidro ou cerâmica, sem passar necessariamente por transformações químicas e sensoriais significativas (Oliveira *et al.*, 2024). De acordo com a Portaria 126 de 2005 do Inmetro, a cachaça deve ser armazenada em recipientes de madeira, aço inoxidável ou aço carbono revestida internamente com madeira, de forma a reduzir as perdas por evaporação. É proibido o uso de recipientes plásticos, de cerâmica, de ferro ou tanques de concretos (INMETRO, 2023; IMA, 2005).

Já o envelhecimento é o processo em que a cachaça permanece em contato direto com tonéis ou barris de madeira, por um período de tempo maior, ocorrendo trocas químicas que alteram cor, aroma, sabor e textura, por exemplo, (Oliveira *et al.*, 2024). No Brasil, a etapa de envelhecimento da cachaça é opcional, não sendo realizada sistematicamente devido ao tempo requerido para o processo e aos custos introduzidos pelo armazenamento. Porém, essa etapa é indispensável quando se deseja agregar qualidade e, consequentemente, valor a uma bebida destilada (Miranda *et al.*, 2008).

O armazenamento é uma etapa do processamento da cachaça fundamental após a destilação, pois influenciam diretamente nas características sensoriais,

qualidade e valor do produto final. Pode ser feito de duas formas principais: em recipientes inertes ou em recipientes de madeira.

- **Recipientes inertes:** os materiais utilizados são o aço inoxidável, vidro, cerâmica ou polietileno atóxico, que tem como função, apenas conservar a cachaça, sem alterar aroma, cor ou sabor, e tem como resultado a cachaça “prata” ou “branca”, geralmente mais neutra, com sabor fresco e marcante da cana-de-açúcar. Estes recipientes inertes mantêm a pureza e frescor da cachaça.
- **Recipientes de madeira:** A cachaça é colocada em tonéis ou barris de madeira, podendo permanecer de meses a anos, cuja função é filtrar impurezas e suavizar o destilado. Interage quimicamente com a bebida, conferindo aromas e sabores, como também altera a cor, que pode variar do amarelo-dourado ao âmbar, dependendo da madeira e do tempo de armazenamento. Este tipo de armazenamento em madeira agrega complexidade, cor e aromas, permitindo diferentes estilos e qualidades do destilado.

O envelhecimento da cachaça é uma prática que traz qualidade, corrige imperfeições sensoriais e, conseqüentemente, gera um valor agregado ao produto. Isso acontece em função dos diversos tipos de madeiras utilizadas nesta etapa do processamento. O envelhecimento da cachaça é o processo que mais valoriza a bebida, pois a madeira atua como um “tempero natural”, modificando cor, aroma, sabor e até a textura do destilado (Santiago *et al.*, 2024).

Com a crescente demanda por bebidas artesanais de alta qualidade, o envelhecimento em barris tornou-se extremamente relevante para produtores e consumidores. Este método se destina a proporcionar complexidade e refinamento ao destilado, tornando-o comparável, em termos de prestígio e sabor, a outros destilados envelhecidos como whisky e rum (Silva *et al.*, 2023).

Os barris de madeira utilizados para o envelhecimento da cachaça desempenham um papel fundamental na definição da qualidade da bebida. Feitos de diferentes tipos de madeiras, cada qual confere características únicas ao destilado, e sua escolha é determinante para o perfil sensorial final da cachaça. Entre as madeiras mais utilizadas no Brasil estão carvalho, amburana, jequitibá e bálsamo (Oliveira *et al.*, 2024; Santiago *et al.*, 2024).

Diferentes madeiras são utilizadas para o envelhecimento/armazenamento de cachaças comerciais, como o carvalho (*Quercus rubra*), a amburana (*Amburana cearensis*), a castanheira (*Bertholletia excelsa*) e o bálsamo (*Sedum dendroideum*), que conferem características químicas e sensoriais distintas à cachaça (Bortoletto *et al.*, 2013; Souza *et al.*, 2025). Diferente do uísque e do rum, que usam quase exclusivamente carvalho, a cachaça pode envelhecer em mais de 30 tipos de madeiras brasileiras. Cada espécie confere características únicas.

1.1 Madeiras mais comum no Brasil, utilizadas no envelhecimento de cachaças (CACHAÇA GESTOR, 2025)

- **Carvalho (*Quercus*)**: esta é a madeira mais utilizada no mundo para envelhecer bebidas destiladas, e o carvalho europeu é a mais utilizada no envelhecimento de cachaças. Produzem bebidas com cores que vão do amarelo-pálido ao mogno e aromas doces, que lembram a amêndoa, contribuindo com textura e adstringência. Podem apresentar também sabores de baunilha, caramelo e outras especiarias, além de proporcionar uma coloração dourada.

Figura 1 - Barril de Carvalho



Fonte: <https://www.cachacamg.com.br/duplicado-tonel-barril-de-carvalho-50-litros-41015533>

- **Amburana (*Amburana cearenses*)**: apresenta uma bebida com cor dourada ou âmbar cristalino em tonéis de baixo volume (até 200 litros), com tempo de armazenamento de pelo menos um ano. Em dorna de grande volume apresenta cor amarelo-pálido. Apresentam aromas e sabores de baunilha, cravo, canela e outras especiarias, dependendo do volume, tempo de maturação e se o barril passou ou não por tosta. Pode conceder também, um tom levemente amadeirado e uma coloração amarelada à bebida.

Figura 2 - Barril de Amburana



Fonte: <https://loja.bartenderstore.com.br/barris/barril-amburana-pequeno-1l-para-envelhecer-bebidas-e-coqueteis>

A Amburana (*Amburana cearensis*) tem sido amplamente utilizada no envelhecimento de cachaças, sendo uma madeira nativa brasileira (Bortoletto *et al.*, 2016). Estão presentes ésteres de ácidos graxos e alguns compostos fenólicos em seu perfil volátil, com predominância de ácido vanílico, cumarina e 4-metilumbelliferona (Santiago *et al.*, 2016), que são importantes para o sabor e o aroma da bebida, conferindo marcadores aromáticos de baunilha, canela e outras especiarias, além de notas florais e frutadas (Souza *et al.*, 2025).

- **Jequitibá-rosa (*Cariniana legalis*):** apresenta cor, aromas e sabores pronunciados ao destilado se envelhecido em barris de pequeno porte. É considerada a madeira nacional que mais se assemelha ao carvalho americano, não interfere significativamente no sabor, porém clareia a cachaça. Pela presença de vanilina agrega notas de baunilha ao sabor da cachaça. Jequitibá-rosa é uma árvore típica da Mata Atlântica com características sensoriais distintas de outros jequitibás encontrados pelo Brasil.

Figura 3 - Barril de Jequitibá-rosa



Fonte: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1591448856-barril-madeira-de-jequitiba-rosa-para-cachaca-1-litro-_JM

- **Bálsamo (*Myrocarpus frondosus*):** em barris novos, chega a tons âmbar-avermelhados e sabores amadeirado e vegetal. Nas cachaças envelhecidas por muitos anos em tonéis antigos e de grande volume, a cachaça assume uma cor dourada com tons esverdeados e aromas intensos, trazendo notas herbáceas e de especiarias, como anis, cravo e erva-doce, e também a sensação de picância e adstringência ao destilado. O bálsamo traz muita especiaria (rico em eugenol), frutado e tânico. É uma madeira resinosa, que, assim como a amburana, merece atenção e períodos mais curtos de envelhecimento acelerado para não ficar intragável. Sua tosta reduz a intensidade tânica e eleva seu dulçor em equilíbrio com as especiarias (cravo).

Figura 4 - Barril de Bálsamo



Fonte: <https://www.ateliedacachaca.com.br/barris-e-toneis/barril-de-balsamo-3-litros>.

O processo de envelhecimento se inicia após a destilação, quando a cachaça é transferida para barris de madeira para maturação. O tempo de envelhecimento pode variar de meses a anos, dependendo dos objetivos do produtor.

Figura 5 - Mapa visual das madeiras brasileiras mais usadas no envelhecimento da cachaça

Madeira	Cor	Aroma/Sabor	Influência na qualidade
Carvalho (importado, europeu ou americano)	Dourado a âmbar	Baunilha, coco, amêndoas, especiarias	Elegância, padrão internacional, muito valorizada
Amburana (brasileira)	Amarelo-dourado intenso	Doce, baunilha, canela, cravo	Perfil aromático marcante, adocicado, típico e cachaças artesanais
Bálsamo	Verde-dourado a castanho	Herbal, anis, especiarias, leve amargor	Dá personalidade forte, muito apreciada por consumidores experientes
Jequitibá	Levemente dourado	Neutro, pouco interfere no sabor	Suaviza a bebida sem alterar muito o perfil, indicada para cachaças mais leves
Ipê	Dourado suave	Leve, discreto, levemente amadeirado	Contribui mais para maciez do que para aroma
Jatobá	Dourado escuro	Frutado, adocicado, com notas de castanhas	Gera cachaças equilibradas e aromáticas
Castanheira	Dourado avermelhado	Notas de castanha, leve adstringência	Sofisticação e maior complexidade sensorial

Fonte: CACHAÇA GESTOR, 2025.

Algumas cachaças são envelhecidas por até 15 anos, adquirindo uma complexidade que rivaliza com os mais finos destilados do mundo. Existem três categorias principais de cachaça em relação ao envelhecimento (Cachaça e Negócios, 2024):

- **Cachaça Branca:** Não envelhecida ou armazenada por até um ano em barris, mantendo um sabor mais puro do caldo de cana;
- **Cachaça Amarelada:** Também chamada de “descansada”, são armazenadas por um período mais curto, adquirindo leves notas amadeiradas;
- **Cachaça Envelhecida:** Passa por um processo prolongado de maturação em barris, absorvendo profundamente as características da madeira.

Cada uma dessas variedades oferece uma experiência única de degustação. As cachaças brancas são mais robustas e versáteis em coquetéis, enquanto as envelhecidas são geralmente apreciadas puras, como um bom uísque ou conhaque.

Durante o processo de envelhecimento da cachaça, a madeira confere alguns atributos, como por exemplo: filtra e suaviza compostos agressivos, além de liberar substâncias aromáticas importantes nas características de cada produto; confere cor de acordo com o tipo de madeira utilizada e melhora a complexidade e a qualidade sensorial da bebida (Oliveira *et al.*, 2024; Santiago *et al.*, 2024).

A qualidade da cachaça está relacionada aos compostos voláteis formados durante a produção e envelhecimento, os quais conferem características sensoriais únicas, como aromas florais, frutados e amadeirados (Santiago *et al.*, 2016; Souza *et al.*, 2025). Esses compostos podem ser influenciados por diversos fatores, como o tipo de madeira utilizada, o tempo de armazenamento, o volume e a capacidade dos barris, pois quanto menor, mais intensa a troca (Bortoletto *et al.*, 2016; Alcarde *et al.*, 2014).

Outros compostos formados durante o processo de envelhecimento da cachaça em barris de madeira são os compostos fenólicos, que por definição, são compostos que contêm em sua estrutura química, um ou mais grupos OH ligados a um anel aromático. Esses compostos apresentam forte potencial antioxidante, reduzindo os danos celulares e envelhecimento precoce. A cachaça em contato com a superfície dos barris utilizados no envelhecimento degrada as macromoléculas de lignina, celulose e hemicelulose através da hidrólise e transformam em moléculas menores, as quais são incorporadas com maior facilidade à bebida (Oliveira *et al.*, 2024).

1.2 Classificação Oficial De Cachaças Quanto Ao Tempo De Envelhecimento (Brasil, 2022):

- **Cachaça armazenada:** repousada em recipientes de madeira por até (1) um ano (independentemente do volume);
- **Cachaça envelhecida:** pelo menos 50% do volume final deve ter envelhecido por mínimo de (1) um ano em barris de até 700 l;
- **Cachaça premium:** 100% do volume envelhecido por mínimo de (1) um ano;
- **Cachaça extra-premium:** 100% do volume envelhecido por mínimo de (3) três anos.

Quadro 1 - Comparativo entre os diferentes tipos de armazenamento/envelhecimento

Tipo de armazenamento	Recipiente	Tempo típico	Características da cachaça	Exemplos/Classificação
Inerte	Aço inox, vidro, cerâmica ou plástico atóxico	Meses a anos	Sabor fresco e marcante da cana; incolor; sem alteração de aroma	Cachaça branca ou prata
Madeira (armazenada)	Tonéis de diversas madeiras	Até 1 ano	Leve suavização; pequenas notas de madeira; pode ter cor sutil	Cachaça armazenada
Madeira (envelhecida)	Barris de até 700 l	Mínimo 1 ano (≥50% do volume)	Aromas e sabores mais complexos (baunilha, especiarias, herbal, adocicado); cor amarelada a dourada	Cachaça envelhecida
Madeira (premium)	Barris de até 700 l	100% envelhecida por ≥1 ano	Equilíbrio entre suavidade e complexidade; cor dourada	Cachaça premium
Madeira (extra premium)	Barris de até 700 l	100% envelhecida por ≥3 anos	Perfil sofisticado; aromas intensos, cor dourada a âmbar; produto de alto valor	Cachaça extra-premium

Fonte: Brasil, 2022.

O envelhecimento da cachaça em barris de madeira confere qualidade química e aromática à bebida; no entanto a composição volátil e os parâmetros de qualidade, como teor de álcoois superiores, ésteres, acidez volátil e carbamato de etila, variam conforme as práticas de produção adotadas bem como durante o envelhecimento.

Neste contexto, é necessário aplicar alguns cuidados durante o armazenamento/envelhecimento, nos quais são: armazenar as cachaças em locais frescos, arejados, sem luz direta, realizar o controle da umidade e da temperatura para evitar evaporação excessiva, além de fazer a higienização adequada dos recipientes de armazenamento (Silva *et al.*, 2023).

2 INFLUÊNCIAS NA QUALIDADE SENSORIAL

Cada madeira funciona como um “condimento” diferente, dando identidade única à cachaça. Enquanto o carvalho traz sofisticação e padrão internacional, madeiras brasileiras como amburana, bálsamo e jatobá dão diversidade sensorial e valorizam a tradição regional. O tipo de madeira associado ao tempo de contato são os grandes responsáveis pela identidade da cachaça envelhecida, moldando cor, aroma, sabor e qualidade final (Oliveira *et al.*, 2024).

- **Cor:** varia do dourado claro ao âmbar escuro, dependendo da madeira e do tempo de armazenamento/envelhecimento;
- **Aroma:** madeiras doces, como a amburana e o carvalho, trazem notas de baunilha, mel e especiarias; madeiras herbais, como o bálsamo e o ipê, dão frescor e toques verdes;
- **Sabor:** envelhecimento confere equilíbrio, maciez, adstringência moderada e complexidade;
- **Qualidade:** a maturação reduz a potencialidade alcoólica, valoriza a bebida e diferencia estilos regionais.

Além do valor agregado obtido, a melhoria dos atributos sensoriais relacionados é rapidamente percebida, mostrando que o armazenamento e envelhecimento se apresentam como uma etapa positiva para a melhoria das percepções sensoriais do produto (Oliveira *et al.*, 2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cachaça é uma bebida que combina tradição, arte e inovação, e os consumidores modernos estão mais exigentes e atentos à origem e qualidade dos produtos que consomem. O armazenamento e o envelhecimento da cachaça são etapas fundamentais para a obtenção de um produto de qualidade, que valoriza suas características sensoriais e sua identidade brasileira. Os tipos de madeiras dos barris utilizados no envelhecimento e o tempo de maturação exercem influência sobre a qualidade sensorial e na incorporação dos compostos bioativos formados, que enriquecem o perfil da cachaça e não só incrementa seu valor econômico, mas também intensifica a vasta opção de sabores e aromas que são oferecidos no final do processo. Portanto, é necessário o controle das condições ambientais, como: temperatura e umidade, assim como utilizar

madeiras de qualidade, a fim de garantir a estabilidade do produto durante o armazenamento e envelhecimento, como forma de preservar a autenticidade das cachaças produzidas.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, A. R.; SOUZA, L. M.; BORTOLETTO, A. M. Formation of volatile and maturation-related congeners during the aging of sugarcane spirit in oak barrels. **Institute of Brewing & Distilling**. v.120, p.529-536. 2014.

BORTOLETTO, A. M.; ALCARDE, A. R. Congeners in sugar cane spirits aged in casks of different woods. **Food Chemistry**. v. 139, p. 695-701. 2013.

BORTOLETTO, A. M.; CORREA, A. C.; ALCARDE, A. R. Aging practices influence chemical and sensory quality of cachaça. **Food Research International**. v. 86, p. 46-53, 2016.

BORTOLETTO, A. M. Rum and cachaça. In: HILL, A.; JACK, F. (Eds). *Distilled Spirits*. 1.ed. **Academic Press**, p.61-74. 2023.

BRASIL (2022). **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Portaria MAPA nº 539, de 26 de dezembro de 2022. Estabelece os Padrões de Identidade e Qualidade da aguardente de cana e da cachaça. Diário Oficial da União: Seção 1, Edição: 243, p. 13, 27 de dezembro de 2022. Brasília, DF.

ENVELHECIMENTO EM BARRIS: VEJA COMO A CACHAÇA FICA AINDA MELHOR. cachacaenegocios.com.br, 2024. Disponível em: <https://cachacaenegocios.com.br/envelhecimento/envelhecimento-em-barris/>. Acesso em: 13 set. 2025.

IMA (Instituto Mineiro de Agropecuária). **Portaria Nº 738 de 07 de Novembro de 2005**. Disponível em: https://www.ima.mg.gov.br/index.php?preview=1&option=com_dropfiles&format=&task=frontfile.download&catid=1665&id=16940&Itemid=1000000000000. Acesso em: 06 out. 2025.

INMETRO. **Portaria INMETRO Nº 300 DE 18/08/2023**. Aprova o regulamento de avaliação da conformidade da cachaça. DOU Brasília. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=448819>. Acesso em: 06 de out. 2025.

MIRANDA, M. B.; MARTINS, N. G. S.; BELLUCO, A. E. S.; HORII, J.; ALCARDE, A. R. Perfil físico – químico de aguardente durante envelhecimento em tonéis de

carvalho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, 28(supl.), p.84-89, dez. 2008.

OLIVEIRA, P. H. V. *et al.* Cachaças armazenadas em amburana: Análise e avaliação quantitativa dos congêneres por um período de 180 dias. **Research, Society and Development**. v. 13, n.9. e3913946754, setembro, 2024.

SANTIAGO, W. D.; CARDOSO, M. G.; SANTIAGO, J. A.; TEIXEIRA, M. L.; BARBOSA, R. B.; ZACARONI, L. M.; SALES, P. F.; NELSON, D. L. Physicochemical profile and determination of volatile compounds in cachaça stored in new oak (*Quercus* sp.), amburana (*Amburana cearensis*), jatoba (*Hymenaeae carbouril*), balsam (*Myroxylon peruiferum*) and peroba (*Paratecoma peroba*) casks by SPME-GC–MS. **Institute of Brewing & Distilling**. v. 122, p. 624-634. 2016.

SANTIAGO, W. D.; CARDOSO, M. G.; LUNGUINHO, A. S.; BARBOSA, R. B.; CRAVO, F. D.; GONÇALVES, G. S.; NELSON, D. L. Determination of ethyl carbamate in cachaça stored in newly made oak, amburana, jatobá, balsa and peroba vats and in glass containers. **Institute of Brewing & Distilling**. v. 123, p. 572-578, 2017.

SANTIAGO, M. A. A. *et al.* Transformações qualitativas e quantitativas dos parâmetros físico-químicos em cachaças envelhecidas. **Research, Society and Development**. v. 13, n.8, e10613846629, 2024.

SILVA, V. P. *et al.* Cachaça Production: from sugar cane to spirit. **Institute of Brewing & Distilling**. v. 129, p.259-275, dezembro, 2023.

SOUZA, E. G. T., SILVA, M. M. A. M., SILVA, V. P., GALVÃO, M. S, LIMA, M. S., SILVA, J. A., MADRUGA, M. S., MUNIZ, M. B., BEZERRA, T. K. A. Accelerated aging of Brazilian sugarcane spirit: Impact of wood chips reuse on the phenolic and volatile profile of the beverage. **Food Chemistry**, v. 476, 2025.

TIPOS DE MADEIRA PARA O ENVELHECIMENTO DA CACHAÇA: UMA INTRODUÇÃO. cachacagestor.com.br, 2025. Disponível em: <https://cachacagestor.com.br/blog/tipos-de-madeira-para-envelhecimento-da-cachaca/>. Acesso em: 15 set. 2025.

CAPÍTULO VI

CONTROLE DE QUALIDADE E PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS



Márcia Helena Pontieri

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Portaria nº 539/2022 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a cachaça é a denominação típica e exclusiva da aguardente de cana produzida no Brasil, com graduação alcoólica entre 38,0% e 48,0% (v/v) a 20°C. Essa bebida é obtida pela destilação do mosto fermentado do caldo de cana-de-açúcar, apresentando características sensoriais peculiares e podendo conter adição de açúcares (Brasil, 2022).

A referida Portaria estabelece os Padrões de Identidade e Qualidade (PIQ) da aguardente e da cachaça comercializadas em território nacional e destinadas à exportação. Neste capítulo, discute-se o controle de qualidade da cachaça, com ênfase nos principais parâmetros físico-químicos definidos pela legislação vigente.

2 CLASSIFICAÇÃO DE CACHAÇAS

As cachaças são classificadas segundo sua composição e o processo produtivo, considerando os métodos de destilação, maturação, o teor de açúcares e a denominação rotulada (Brasil, 2022). O quadro 1 apresenta as diferentes denominações conforme essa classificação.

Quadro 1- Classificação de cachaças

Critério	Denominação	Descrição
Processo de destilação	Cachaça de alambique	Produzida exclusivamente em alambique de cobre, obtida pela destilação do mosto fermentado do caldo de cana-de-açúcar crua.
	Cachaça	Produzida por outro método de destilação ou por mistura de cachaças provenientes de diferentes processos.
Processo de maturação	Cachaça envelhecida	Contém pelo menos 50% do volume envelhecido em recipiente de madeira com capacidade máxima de 700 litros, por no mínimo 1 ano.
	Cachaça armazenada	Armazenada em madeira, sem atender aos critérios definidos para envelhecimento.
	Cachaça	Acondicionada em recipiente adequado, sem enquadrar-se nas categorias anteriores.
Teor de açúcares	Cachaça adoçada	Contém entre 6,0 g/L e 30,0 g/L de açúcares adicionados.
	Cachaça	Pode conter até 6,0 g/L de açúcares adicionados.
Denominação impressa no rótulo	No rótulo deve constar “Cachaça”, seguida de sua classificação: (a) quanto ao processo de destilação (opcional); (b) quanto ao processo de maturação (obrigatório) e; (c) quanto ao teor de açúcar (obrigatório).	

Fonte: BRASIL, 2022.

A qualidade da cachaça comercializada depende fortemente do processo de produção. A adoção de boas práticas de fabricação, aliada às análises físico-químicas, é essencial para garantir a padronização, a segurança do produto e o cumprimento dos limites estabelecidos pela legislação brasileira.

Os parâmetros físico-químicos são influenciados por fatores como a matéria-prima (variedade da cana, condições de cultivo, corte e transporte) e o processo de produção, que envolve fermentação, tipo de destilação, tempo de envelhecimento e teor de açúcares adicionados.

3 CONTROLE ANALÍTICO DE CACHAÇAS

Os produtores estão sujeitos à fiscalização quanto ao cumprimento dos PIQ, que pode ocorrer sobre a bebida envasilhada e a granel e, quando necessário em amostras intermediárias do processo (Brasil, 2022).

O quadro 2 apresenta os limites dos parâmetros físico-químicos a serem respeitados conforme a Portaria nº 539/2022.

Quadro 02 - Limites dos parâmetros físico-químicos no controle de qualidade de cachaças.

Item	Parâmetro	mín	máx
1	Graduação alcoólica em %, (v/v, a 20°C)	38,0	48,0
2	Acidez volátil, expressa em ácido acético, (mg/100mL de álcool anidro)	-	150
3	Ésteres totais, em acetaldeído (mg/100mL de álcool anidro)	-	200
4	Aldeídos totais, em acetaldeído (mg/100mL de álcool anidro)	-	30
5	Soma de furfural e hidroximetilfurfural (mg/100 mL de álcool anidro)	-	5
6	Soma de álcoois isobutílico (2-metil propanol), isoamflicos (2-metil-1-butanol e 3-metil-1-butanol) e n-propílico (1-propanol), (mg/100mL de álcool anidro)	-	360
7	Coefficiente de congêneres, em mg/100mL de álcool anidro (soma dos itens 2 a 6)	200	650
8	Compostos fenólicos totais (para cachaça envelhecida)	Presente	
9	Açúcares totais para cachaça (em g/L expressos em glicose)	-	≤ 6,0
10	Açúcares totais para cachaça adoçada (g/L expressos em glicose)	> 6,0	< 30,0

Fonte: Portaria 539/2022.

O quadro 3 mostra os limites de contaminantes orgânicos e inorgânicos que também devem ser controlados, pois sua presença pode comprometer a qualidade e a segurança da bebida.

Quadro 03 - Limites de contaminantes orgânicos e inorgânicos em cachaça

Item	Parâmetro	Max
1	Álcool metílico (metanol), (mg/100 mL de álcool anidro)	20
2	Carbamato de etila, (µg/L)	210
3	Acroleína (2-propenal), (mg/100mL de álcool anidro)	5
4	Álcool sec-butílico (2-butanol), (mg/100mL de álcool anidro)	10
5	Álcool n-butílico (1-butanol), (mg/100mL de álcool anidro)	3
6	Cobre, (mg/L)	5,0

Fonte: Portaria 539/2022.

Os parâmetros físico-químicos asseguram a identidade e a qualidade da cachaça, sendo diretamente influenciados pelo processo produtivo. Alterações nesses parâmetros podem comprometer tanto a segurança do consumidor quanto às propriedades sensoriais da bebida.

Para ampliar a competitividade da cachaça nos mercados nacional e internacional, é imprescindível o cumprimento rigoroso dos critérios físico-químicos, garantindo a segurança do consumidor e a preservação dos atributos sensoriais - sabor, cor e aroma.

As análises físico-químicas devem abranger todas as etapas produtivas, desde a matéria-prima até o produto final, contribuindo para uma produção mais eficiente e sustentável nos âmbitos ambiental, social e econômico.

4 Parâmetros Físico-Químicos da Cachaça

A seguir, apresentam-se os principais parâmetros físico-químicos, sua origem e influência na qualidade final da bebida.

4.1 Graduação Alcoólica

O processo de destilação é dividido em três frações — cabeça, coração e cauda — com teores alcoólicos de aproximadamente 70–50% v/v, 50–38% v/v e 38–14% v/v, respectivamente. A fração coração corresponde à porção adequada para a produção da cachaça, assegurando graduação alcoólica entre 38% e 48% (v/v), a 20°C, e preservando as características sensoriais desejáveis (Melo *et al.*, 2021).

4.2 Acidez Volátil

A acidez volátil é um indicador da qualidade e estabilidade do processo produtivo. Durante a fermentação alcoólica, forma-se o ácido acético, principal componente ácido da cachaça. Elevações desse parâmetro podem decorrer de contaminações bacterianas ou de armazenagem inadequada, especialmente quando há demora entre a fermentação e a destilação (Oliveira *et al.*, 2024).

O processo de armazenamento e o envelhecimento também podem aumentar a acidez devido à extração de compostos fenólicos da madeira (Santiago, Cardoso E Nelson, 2017).

4.3 Ésteres

Os ésteres são formados pelo metabolismo secundário das leveduras durante a fermentação alcoólica e pela esterificação de ácidos graxos com etanol durante o envelhecimento. Conferem notas aromáticas frutadas à bebida (Gonçalves *et al.*, 2021).

O acetato de etila é o principal éster presente. Em baixas concentrações, confere um aroma agradável; em altas concentrações, causa sabor enjoativo e indesejável (Barbosa, 2013).

4.4 Aldeídos Totais

Os aldeídos, especialmente o acetaldeído, influenciam o odor e sabor da cachaça. São formados nas etapas iniciais da fermentação, especialmente o acetaldeído, e tendem a se volatilizar no final do processo, caso não haja aeração excessiva, que deve ser evitada (Fernandes, 2013).

Concentrações elevadas de acetaldeído são tóxicas, podendo causar danos ao sistema nervoso central (Oliveira, 2012).

4.5 Furfural e Hidroximetilfurfural

Compostos indesejáveis, associados ao superaquecimento e à presença de açúcares residuais. Produzem aromas intensos e desagradáveis. Sua formação está associada à presença de açúcares residuais, à queima da palha da cana e ao aquecimento excessivo do mosto durante a destilação. Para evitá-los, recomenda-se destilar o mosto sem excesso de matéria orgânica em suspensão (Cardoso, 2006 *apud* Gonçalves *et al.*, 2021).

4.6 Álcoois Superiores: álcoois isobutílico (2-metil propanol), isoamílicos (2-metil-1-butanol e 3-metil-1-butanol) e n-propílico (1-propanol)

Os álcoois isobutílico, isoamílico e n-propílico estão entre os principais responsáveis pelas características sensoriais da cachaça (Monteiro, 2010). Sua formação depende das condições de fermentação e do tipo de equipamento utilizado (Bortolletto, 2013).

4.7 Coeficiente de Congêneres

O coeficiente de congêneres representa a soma dos compostos voláteis que não são etanol — como ácidos, aldeídos, ésteres, álcoois superiores e furfural — expressos em mg/100mL de álcool anidro e podem conferir características sensoriais desejáveis ou indesejáveis à bebida.

Esse parâmetro reflete a qualidade e autenticidade da bebida, permitindo identificar sua origem e avaliar o processo produtivo. O envelhecimento tende a elevar esse coeficiente, intensificando o perfil sensorial (Bortolletto; Alcarde, 2013).

4.8 Compostos Fenólicos

Os componentes fenólicos são os compostos agregados durante o processo de envelhecimento das bebidas em barris de madeira. Durante o envelhecimento em barris de madeira, há a migração de compostos fenólicos provenientes da lignina, celulose e hemicelulose, que sofrem degradação por hidrólise, dando origem a moléculas menores que se incorporam com maior facilidade à bebida (Oliveira *et al.*, 2024).

Esses compostos suavizam a cachaça jovem e agregam complexidade aromática.

5 CONTAMINANTES

5.1 Metanol

Formado pela degradação da pectina, o metanol é altamente tóxico. Pode causar dores de cabeça, vertigem e vômitos, e dependendo da quantidade e do tempo de ingestão pode levar o indivíduo à cegueira e até mesmo à morte, pois provoca acidose e disfunção celular (Gonçalves *et al.*, 2021).

No processo de produção de cachaça, o metanol pode ser formado pela degradação da pectina presente nos bagacilhos da cana-de-açúcar quando não é

feita uma filtração para separá-lo adequadamente do caldo. Sua formação pode ser evitada com adequada filtração e decantação do caldo de cana (Bortolletto; Alcarde, 2013).

5.2 Acroleína e Carbamato de Etila

Ambos são compostos potencialmente carcinogênicos, originados durante a fermentação e destilação.

Segundo Fernandes (2013), a acroleína possui gosto amargo, odor penetrante e apimentado.

O íon cianeto, formado pela degradação enzimática de glicosídeos cianogênicos presentes na matéria-prima, é considerado o principal precursor do carbamato de etila em bebidas destiladas. Além disso, o cobre e a temperatura no equipamento de destilação funcionam como catalisadores da reação de formação de carbamato de etila. (Gonçalves *et al.*, 2021)

5.3 Álcoois sec-butílico (2-butanol) e n-butílico (1-butanol)

Aparecem como contaminantes no processo de fabricação de cachaça, seja por bactérias produtoras de álcool n-butílico, seja pela linhagem das leveduras e condições inapropriadas de fermentação tais como a temperatura, o pH, nutrientes, entre outros fatores (Gonçalves *et al.*, 2021).

5.4 Cobre

O cobre, material de que é feito o alambique usado na produção artesanal da cachaça, é essencial para a redução da acidez e dos níveis de aldeídos e compostos sulfurosos, melhorando o sabor e o odor do produto final. No entanto, durante no processo de destilação da bebida, pode ocorrer a formação de carbonato de cobre $[CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2]$ na superfície do metal, conhecido como azinhavre que é solubilizado pelos vapores ácidos produzidos durante a destilação, e por arraste conduz à contaminação do produto final por íons de cobre (Nascimento, 1998).

O cobre é fundamental para o bom funcionamento do corpo humano, sendo empregado pelo organismo na produção dos glóbulos vermelhos do sangue e de colágeno na pele. Ele também contribui para a saúde dos ossos, além de auxiliar na ativação do sistema imunológico (Corassa; Nardi, 2023).

Porém, o excesso deste mineral no organismo pode ocasionar problemas de saúde, estando relacionado com diversas doenças como epilepsia, melanomas, artrite reumatoide e doenças neurodegenerativas (Corassa; Nardi, 2023)

O consumo de quantidades bem pequenas de cobre pode provocar náuseas, vômitos e diarreia. Grandes quantidades, podem danificar os rins, inibir a produção de urina e causar anemia devido à ruptura dos glóbulos vermelhos (anemia hemolítica), podendo até levar à morte (Johnson, 2021)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dessa forma, o controle de qualidade da cachaça constitui um elemento essencial para garantir a segurança do consumidor, a padronização da bebida e a preservação de suas características sensoriais típicas. A observância dos Padrões de Identidade e Qualidade estabelecidos pela legislação brasileira permite assegurar que parâmetros físico-químicos, como graduação alcoólica, acidez volátil, ésteres, aldeídos, álcoois superiores e coeficiente de congêneres, permaneçam dentro dos limites adequados, contribuindo para a obtenção de uma bebida equilibrada e de qualidade superior. Além disso, o monitoramento rigoroso de contaminantes, como metanol, carbamato de etila, acroleína e cobre, torna-se indispensável para minimizar riscos toxicológicos e ampliar a competitividade da cachaça nos mercados nacional e internacional. Nesse contexto, a adoção de boas práticas de fabricação, aliada ao acompanhamento analítico em todas as etapas do processo produtivo, desde a seleção da matéria-prima até o armazenamento final, representa uma estratégia fundamental para promover maior eficiência produtiva, sustentabilidade e valorização da cachaça como patrimônio cultural e econômico do Brasil.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, Edilene A. **Caracterização molecular e bioquímica de linhagens de *Saccharomyces cerevisiae* da região de salinas para fins de identificação geográfica**. 140 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/server/api/core/bitstreams/009adfc6-6b70-4a9b-8bc0-bbd6b552702f/content>. Acesso em: 30 set. 2025.

BORTOLLETO, Aline M. ALCARDE, André R. Congeners in sugar cane spirits aged in casks of different woods. **Food Chemistry** 139 (2013) 695–701. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814613000228>. Acesso em: 05 out. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **PORTARIA MAPA Nº 539, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2022**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mapa-n-539-de-26-de-dezembro-de-2022-453828778>. Acesso em: 29 set. 2025.

CORASSA, Stephanie A.; NARDI, Mariza C. C. Determinação de cobre em amostras de cachaça artesanal produzidas na região de Itapira-SP. **Observatório De La Economía Latinoamericana**, [S. l.], v. 21, n. 12, p. 27808–27823, 2023. DOI: 10.55905/oelv21n12-233. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/2637>. Acesso em: 08 out. 2025.

FERNANDES, Oscar W. B. **Avaliação da composição físico-química da cachaça de alambique obtida de cinco cultivares de cana-de-açúcar colhidas em três épocas de maturação**. 115 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/items/94acd568-b7b4-4877-bb02-cc40950ed3eb>. Acesso em: 03 out. 2025.

GONÇALVES, Cleber M.; CARVALHO, Samuel; GÓES NETO, Aristóteles; SERENO, Henrique R.; HUGHES, Alice F. da S.; OLIVEIRA, Bruno M.; PINHEIRO, Carla S. R.; UETANABARO, Ana P. T. Produção e análise química de cachaça de alambique a partir de cepa selecionada de *Saccharomyces Cerevisiae*. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 37, n. 2, Curitiba. November 2021. DOI:10.5380/bceppa.v37i2.

JOHNSON Larry. **Manual MSD Versão Saúde para a Família, Excesso de cobre**. 05/2025. Disponível em: <https://www.msdmanuals.com/pt/casa/distúrbios-nutricionais/minerais/excesso-de-cobre>. Acesso em: 08 out. 2025.

MELO Tayonara S.; MAGALHÃES, Eduarda M.; SILVA Auygna P. G.; SILVA, Eniete L.; LINS Talita S.; FERREIRA, Mikaela C.; MELO, Tuanne S.; OLIVEIRA, Marina M. B. Processo de produção da aguardente e cachaça: Uma revisão. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.10, p.95981-96001oct.2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/37121/pdf>. Acesso em: 07 out. 2025.

NASCIMENTO, Ronaldo F.; CARDOSO Daniel R.; LIMA NETO. Benedito dos S. ; FRANCO, Douglas W.; FARIAS, João B.. Influência do material do alambique na composição química das aguardentes de cana-de-açúcar. **Quím. Nova** 21 (6) 1998. Doi.org/10.1590/S0100-40421998000600013.

OLIVEIRA, Sônia Paula Alexandrino de. **Níveis de congêneres, carbamato de etila e outros contaminantes em runs e uísques de consumo popular no Brasil**. 2012. 87p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Ciências e Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, 2012. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/5099>. Acesso em: 29 set. 2025.

OLIVEIRA, Pedro H. V.; CARDOSO Maria das Graças, SANTIAGO, Douglas; MACHADO, Ana M.de R.; FERNANDES, Antonia I.; TEIXEIRA, Maria L.. Cachaças armazenadas em amburana: Análise e avaliação quantitativa dos congêneres por um período de 180 dias. **Research, Society and Development**, v. 13, n.9, e3913946754, 2024(CC BY 4.0) ISSN 2525-3409. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v13i9.46754>.

NASCIMENTO, Ronaldo F.; CARDOSO Daniel R.; LIMA NETO. Benedito dos S. ; FRANCO, Douglas W.; FARIAS, João B.. Influência do material do alambique na composição química das aguardentes de cana-de-açúcar. **Quím. Nova** 21 (6) 1998. Doi.org/10.1590/S0100-40421998000600013.

SANTIAGO, W. D., CARDOSO, M. G., NELSON, D. L. (2017a). Cachaça stored in casks newly constructed of oak (*Quercus* sp.), amburana (*Amburana cearensis*), jatobá (*Hymenaea courbaril*), balsam (*Myroxylon peruiferum*), and peroba (*Paratecoma peroba*): Alcohol content, phenol composition, colour intensity and dry extract. **Journal of the Institute of Brewing**, 123(2), 232-241. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/jib.414>. Acesso em: 02 out. 2025.

CAPÍTULO VII

AVALIAÇÃO SENSORIAL DA CACHAÇA: IMPORTÂNCIA, PROCESSOS PRODUTIVOS E ESTRATÉGIAS DE QUALIDADE NO SETOR SUCROALCOOLEIRO



Camila Santiago Saraiva

1 INTRODUÇÃO

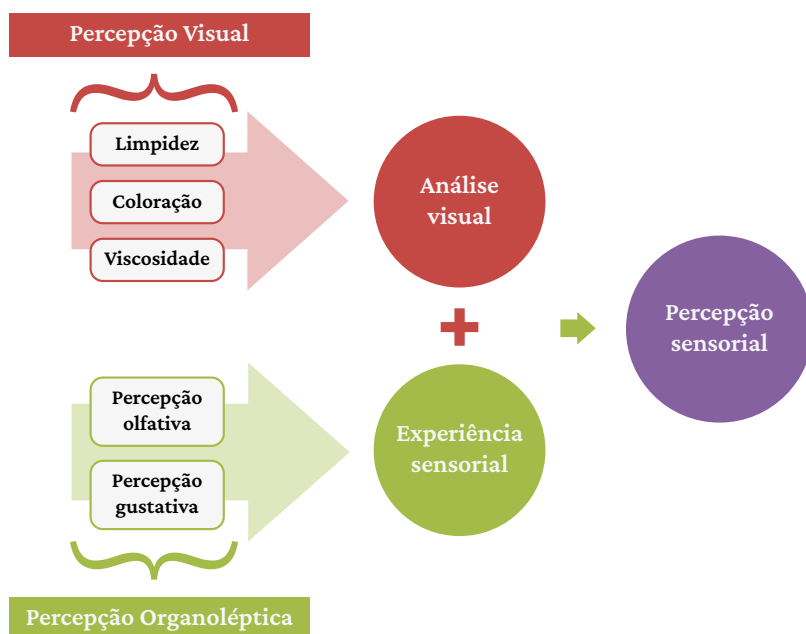
A cachaça, bebida típica do Brasil, é um destilado que apresenta teor alcoólico entre 38 e 48% v/v a 20 °C, de acordo com a legislação nacional, gerado por meio da fermentação alcoólica do caldo de cana-de-açúcar fresco pela levedura *Saccharum officinarum* L., seguida de destilação simples (Lima *et al.*, 2022; Brasil, 2005). Esse destilado possui uma mistura complexa de compostos que são responsáveis pela identidade aromática da bebida. Dentre esses compostos tem os secundários como ésteres, aldeídos, cetonas, álcoois superiores e ácidos orgânicos e os majoritários, água e etanol (Nonato *et al.*, 2001; Duarte *et al.*, 2011a).

2 RELEVÂNCIA DA ANÁLISE SENSORIAL

A avaliação sensorial de alimentos tem como objetivo mensurar percepções e preferências para subsidiar controle de qualidade, desenvolvimento de produtos e estratégias de marketing.

O primeiro contato do consumidor com a bebida é o que determina sua aceitação e é conhecido como percepção sensorial (Figura 1) do produto. Ela engloba a fase inicial compreendida pela análise visual e posteriormente a fase da percepção organoléptica. A fase visual permite avaliar atributos como coloração, limpidez e viscosidade. Já a percepção organoléptica compreende percepção olfativa e gustativa proporcionados pela percepção dos compostos voláteis e não voláteis da cachaça.

Figura 1 - Percepção sensorial da cachaça.



Fonte: Próprio autor.

A decisão de compra é diretamente influenciada pela embalagem, design e a rotulagem do produto, que exercem um papel estratégico na comunicação inicial entre marca e consumidor. Após a aquisição, a consolidação da percepção de qualidade se dá por meio da avaliação da cor, aroma, sabor e textura, concluindo a experiência sensorial do consumidor (Mehta *et al.*, 2024).

Portanto, a adoção de estratégias como padronização de parâmetros físico-químicos, o controle rigoroso da fermentação e destilação e a aplicação de técnicas adequadas de envelhecimento tornam-se cruciais para agregar valor e consolidar a identidade sensorial ao produto (Granato *et al.*, 2014; Vicente *et al.*, 2006). Em relação à cachaça, por ser um dos principais produtos do setor sucroenergético brasileiro, a implementação dessas estratégias tecnológicas e mercadológicas proporcionam um impacto socioeconômico relevante ao mesmo tempo em que favorece a competitividade do destilado no mercado internacional (Alcarde, 2010).

3 PROCESSOS PRODUTIVOS E IMPACTO NOS ATRIBUTOS SENSORIAIS

O processo de envelhecimento é realizado logo após a destilação e tem a função de suavizar atributos sensoriais não desejáveis, causados por notas alcoólicas intensas e desequilíbrio de aromas. Utilizam-se tonéis de madeira, a exemplo o de bálsamo e o de carvalho, e apesar de não ser um processo

obrigatório, exerce grande impacto na qualidade química e organoléptica da cachaça (Bortoletto, 2016; Alcarde, 2010). De acordo com a legislação, a cachaça envelhecida deve permanecer em recipientes de até 700 litros, por período mínimo de 12 meses (Brasil, 2005).

Diversas são as transformações físico-químicas promovidas pelo envelhecimento, as quais conferem complexidade, estabilização da cor, harmonia sensorial, maior maciez e desenvolvimento de notas amadeiradas características (Souza *et al.*, 2025; Cardello; Faria, 1999). Tais transformações incluem a migração de componentes não voláteis da madeira para a cachaça, a oxidação de compostos da bebida e formação de novos compostos voláteis (Santos *et al.*, 2025; Mosedale; Puech, 1998; Francis; Sefton; Williams, 1992).

A madeira mais utilizada para maturar destilados é o carvalho (*Quercus* spp.), uma vez que estudos comprovaram seu elevado potencial de geração de compostos que contribuem para a aceitação sensorial da bebida (Bortoletto; Alcarde, 2013; Alcarde *et al.*, 2010). Dentre esses compostos gerados estão os taninos hidrolisáveis, lactonas, vanilina e eugenol (Bortoletto; Alcarde, 2013; Singleton, 1974; Chatonnet; Dubourdieu, 1998). Além do carvalho, diversas espécies nativas brasileiras, como bálsamo, amendoim, jequitibá, jatobá, grábia e ipê-roxo, mostraram-se com grande potencial para serem usadas no envelhecimento por promoverem características sensoriais desejáveis na cachaça (Delgado *et al.*, 1996; Faria *et al.*, 2003a).

Algumas variáveis críticas são determinantes para a qualidade final do produto. Estas incluem o tipo de madeira, o tempo de maturação, as condições de armazenamento e a intensidade da tostagem das aduelas que leva a uma alteração das propriedades físicas e químicas da madeira e intensifica a liberação de compostos voláteis relevantes (Parazzi *et al.*, 2008; Miranda *et al.*, 2008; Chatonnet, 1999).

4 TREINAMENTO SENSORIAL E DESENVOLVIMENTO COGNITIVO

Instrução normativa nº 13, de 29 de junho de 2005 do MAPA descreve o Regulamento Técnico para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Aguardente de Cana e para Cachaça, conceituando a bebida da seguinte forma:

“Cachaça é a denominação típica e exclusiva da Aguardente de Cana produzida no Brasil, com graduação alcoólica de 38% vol (trinta e oito por cento em volume) a 48% vol. (quarenta e oito por cento em volume) a 20°C (vinte graus Celsius), obtida pela destilação do mosto fermentado do caldo de cana-de-açúcar com características sensoriais peculiares, podendo ser adicionada de açúcares até 6g/L (seis gramas por litro), expressos em sacarose”.

No item 2.1 da mesma Instrução Normativa, é estabelecida a composição química dos congêneres da cachaça, que são aldeídos, ácidos orgânicos, álcoois superiores (álcoois com mais de 2 carbonos) e ésteres, formados durante a fermentação e responsáveis pelo sabor e seguem uma determinação quantitativa expressa em valores no Quadro 1.

Quadro 1 - Limites para congêneres estabelecidos pelo padrão de qualidade da cachaça.

CONGÊNERES	LIMITE MÍNIMO (mg/100ml de álcool anidro)	LIMITE MÁXIMO (mg/100ml de álcool anidro)
Aldeídos Totais	Não se aplica	30 (Acetaldeído)
Ésteres Totais	Não se aplica	200 (Acetato de Etila)
Furfural+HMF (Hidroximetilfurfural)	Não se aplica	5 (Furfural+HMF)
Álcoois superiores	Não se aplica	360 (Álcool isobutílico+Isoamílico+n-Propílico)
Acidez Volátil	Não se aplica	150 (Ácido Acético)
Congêneres Totais	200	650

Fonte: IN/MAPA nº 13 de 29/06/2005.

Existe também a presença de contaminantes na cachaça, gerados devido a negligências na produção, como falta de monitoramento das variáveis de processo, contaminações externas e erros na execução de procedimentos que introduzem substâncias não desejáveis no produto final. Exemplos de contaminantes são: metanol, carbamato de etila, cobre e chumbo. Tais compostos são responsáveis pela alteração da qualidade sensorial e da segurança alimentar do consumidor (Leite *et al.*, 2024).

Alteração da qualidade sensorial não pode ser detectada por análises químicas dos compostos presentes na cachaça, por não permitir avaliar seus estímulos sensoriais, conforme são percebidos pelos consumidores. Daí a relevância da análise sensorial, na qual permite a interação entre o provador e o produto, e a avaliação deste último, por meio das sensações provocadas por estímulos psicológicos, durante o contato.

Quando se prova um alimento, todos os seus componentes voláteis orgânicos (aroma) e não voláteis (sabor), os congêneres, se interagem produzindo o flavor específico para aquele determinado produto. Estes, por sua vez, se unem as papilas gustativas quando em contato com a língua e por terminações nervosas enviam um sinal para o cérebro que irá determinar a sua aceitação ou não, enviando a resposta para os nervos das faces. Nesse processo, o registro e o reconhecimento dos descritores aromáticos e gustativos se dão por meio da memória sensorial, a qual aprimora a capacidade de distinguir notas desejáveis de possíveis defeitos (Chen *et al.*, 2023).

Isso mostra que a análise sensorial ultrapassa a avaliação amadora e empírica, exigindo treinamento especializado para garantir reprodutibilidade e acurácia. A precisão na identificação de atributos qualitativos é obtida por meio do treinamento sensorial, processo responsável pela calibração dos sentidos humanos. Para tanto, existem ferramentas que atuam na redução da subjetividade e consequente aumento da confiabilidade das análises, como é o caso do Mapa de Aromas, que vêm sendo utilizado para orientar o reconhecimento dos principais descritores.

Dessa forma, a padronização de um produto pode não depender de máquinas e equipamentos, processos e fluxos, ela pode ocorrer com a utilização de testes sensoriais através da seleção e treinamento de provadores, os quais são capazes de produzir respostas calibradas que são medidas através dos sentidos humanos (Dutcosky, 2019).

5 INTERAÇÃO COGNITIVA E PREFERÊNCIA DO CONSUMIDOR

A forma como o consumidor interpreta os atributos sensoriais é diretamente influenciada pela interação cognitiva e aspectos socioculturais, indo além de somente estímulos fisiológicos; envolve as crenças, expectativas, experiências individuais e conhecimentos específicos. Assim, a aceitação do consumidor é uma junção da experiência sensorial com a qualidade intrínseca do produto.

A interação cognitiva — entendida como o conjunto de processos mentais que incluem atenção, memória de trabalho, expectativas e estilos cognitivos — modula de forma consistente a percepção sensorial e, por consequência, as preferências e intenções de compra dos consumidores. Estudos recentes demonstram que manipulações cognitivas (p. ex., carga cognitiva, distração, informação prévia) alteram intensidades percebidas e avaliações hedônicas de atributos gustativos e olfativos, sugerindo que a preferência do consumidor é produto de uma interação dinâmica entre sinais sensoriais e processos cognitivos superiores.

Nos últimos anos, diversos estudos científicos têm se dedicado à análise sensorial e ao perfil da cachaça, bebida típica do Brasil que ocupa um papel central na cultura e economia do país.

Esses estudos, predominantemente realizados no Brasil, empregam uma variedade de métodos para avaliar a qualidade sensorial da cachaça, utilizando painéis de avaliadores treinados e técnicas como Análise Descritiva Quantitativa (QDA), *Check-All-That-Apply* (CATA) e *Rate-All-That-Apply* (RATA).

Os atributos sensoriais analisados incluem aroma, sabor, cor e outros aspectos como frutado, amadeirado, alcoólico e *off-flavors*, além de características gerais como a impressão global da bebida. Os estudos também investigam fatores como o impacto do envelhecimento da cachaça em diferentes tipos de madeira, como carvalho, amburana e bálsamo, e a presença de compostos voláteis relacionados a esses processos. A qualidade sensorial da cachaça é ainda influenciada por aspectos técnicos do processo de produção, como a reciclagem de leveduras e a presença de contaminantes químicos.

Além disso, pesquisas sobre a embalagem da cachaça, como a comparação entre garrafas de PET e vidro, demonstram que o tipo de embalagem pode alterar características como sabor e cor da bebida. Outro campo de pesquisa emergente envolve a autenticação não destrutiva da cachaça, utilizando tecnologias como Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR) e Espectroscopia no Infravermelho Médio (MIR) para validar sua origem e qualidade, garantindo a autenticidade do produto em um mercado global cada vez mais competitivo. Esses estudos não apenas aprimoram o conhecimento sobre a cachaça, mas também contribuem para o desenvolvimento de métodos mais eficazes para garantir a qualidade e a autenticidade desta bebida tão emblemática.

Essas associações são importantes para a caracterização de um produto alimentício e avaliação da sua aceitação pelo consumidor e a análise sensorial é a ferramenta essencial responsável pela interpretação dos resultados.

Entretanto, a resposta do consumidor a um produto não deriva apenas do estímulo físico (sabor, aroma, textura); processos cognitivos — como expectativas induzidas por informações prévias, estilos cognitivos e carga atencional durante o consumo — exercem influência determinante sobre as preferências declaradas. Revisões e estudos recentes em sensorialidade e neurociência do consumidor, como o trabalho desenvolvido por Zanini *et al.* (2023), evidenciam que integrar medidas cognitivas amplia a validade ecológica e interpretativa das análises sensoriais.

Zanini *et al.* (2023) sugeriram um método analítico chamado Análise de Fatores Paralelos (PARAFAC) e propuseram seu uso como uma abordagem exploratória avançada para a extração de informações em conjuntos de dados sensoriais de natureza tridimensional. O estudo demonstrou o uso da PARAFAC

— uma técnica multivariada de segunda ordem — para extrair informações mais completas e precisas de análises sensoriais. Foram apresentados três exemplos experimentais (cachaça, café e pão de queijo) com diferentes formas de organização e interpretação de dados, comparando o desempenho do PARAFAC com métodos tradicionais como Análise de Variância (ANOVA), *Principal Component Analysis* (PCA) e *Projection Pursuit*. O PARAFAC permite interpretação tridimensional simultânea: produto $\times$ atributo sensorial $\times$ avaliador. Conclui que a ferramenta fornece informações detalhadas sobre os julgadores, identifica atributos importantes das diferenças sensoriais e gera resultados mais robustos e completos que os métodos bidimensionais (PCA e ANOVA). Além disso, mostrou potencial para uso rotineiro em quimiometria sensorial, controle de qualidade e desenvolvimento de produtos alimentícios.

6 DEFEITOS SENSORIAIS DA CACHAÇA

A cachaça é uma bebida alcoólica destilada tipicamente brasileira, obtida a partir da fermentação e destilação do caldo de cana-de-açúcar. Seu perfil sensorial é resultado direto da interação entre matérias-primas, processo fermentativo, destilação e envelhecimento (Bortoletto *et al.*, 2021). A qualidade final do destilado depende do equilíbrio entre compostos voláteis desejáveis — como álcoois superiores, ésteres e aldeídos — e substâncias indesejáveis, responsáveis pelos chamados defeitos sensoriais, que comprometem o aroma, o sabor e a aceitação do produto.

Os defeitos sensoriais da cachaça podem ser agrupados em três categorias principais: defeitos de fermentação, defeitos de destilação e defeitos de armazenamento ou envelhecimento. Cada grupo está associado à formação de compostos químicos específicos que impactam negativamente o perfil sensorial.

6.1 Defeitos de fermentação

A fermentação é o estágio mais crítico para o desenvolvimento de compostos indesejáveis. O uso de mostos contaminados, leveduras selvagens ou condições inadequadas de temperatura e pH favorecem a formação de álcoois superiores em excesso (n-propanol, isobutanol, isoamílico), que conferem notas olfativas agressivas e sensação de ardor na boca (Silva *et al.*, 2020). A produção de ácidos graxos voláteis e aldeídos — como o acetaldeído — gera aromas irritantes, metálicos e pungentes. Já a presença de compostos sulfurados, resultantes da degradação de aminoácidos sulfurados, origina odores de ovo podre ou borracha queimada.

6.2 Defeitos de destilação

A etapa de destilação deve promover a separação adequada das frações ‘cabeça’, ‘coração’ e ‘cauda’. Quando o corte é mal executado, ocorre contaminação do coração por compostos das extremidades, resultando em aromas desagradáveis de solvente, verniz e fumaça (Bortoletto *et al.*, 2021). O uso de equipamentos metálicos inadequados também pode gerar notas metálicas e amargas, causadas pela presença de óxidos metálicos dissolvidos no destilado (Janegitzet *et al.*, 2010).

6.3 Defeitos de envelhecimento e armazenamento

Durante o envelhecimento, a interação da cachaça com a madeira confere compostos aromáticos nobres — como vanilina, lactonas e aldeídos fenólicos. Contudo, o uso de tonéis mal higienizados ou de espécies de madeira inadequadas pode provocar a formação de notas fenólicas indesejáveis, adstringência excessiva e sabor amargo persistente (Janegitzet *et al.*, 2010).

Outro defeito comum é o sabor oxidado, resultante da exposição prolongada ao oxigênio ou de vedação deficiente, levando à degradação de compostos voláteis. Os defeitos sensoriais reduzem o valor comercial da cachaça e afetam diretamente a aceitação sensorial.

Estudos demonstram que consumidores associam notas de fruta madura, baunilha e doçura a produtos de alta qualidade, enquanto rejeitam percepções de álcool agressivo, cheiro químico e gosto amargo (Lima *et al.*, 2022).

Ferramentas quimiométricas, como PCA e PARAFAC, têm sido empregadas para correlacionar dados físico-químicos e sensoriais, identificando padrões de defeitos e prevendo o impacto de determinados compostos sobre o perfil aromático (Zanini *et al.*, 2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise sensorial da cachaça constitui uma ferramenta indispensável para o controle de qualidade, o aprimoramento tecnológico e o fortalecimento da identidade do produto no mercado nacional e internacional. A integração entre parâmetros físico-químicos, treinamento sensorial e percepção cognitiva permite compreender de forma mais ampla a interação entre composição química e resposta sensorial, garantindo maior consistência e reprodutibilidade nos resultados.

Os avanços nas metodologias analíticas e sensoriais, como o uso de técnicas cromatográficas, quimiométricas e abordagens multivariadas, ampliaram a capacidade de identificar e correlacionar compostos voláteis com descritores aromáticos específicos, auxiliando na prevenção e correção de defeitos senso-

riais. Ao mesmo tempo, a incorporação de métodos cognitivos e psicofísicos na avaliação sensorial tem revelado novas dimensões na percepção do consumidor, destacando a importância de fatores emocionais, culturais e de expectativa na aceitação do produto.

A consolidação da qualidade sensorial da cachaça depende de uma cadeia produtiva tecnicamente estruturada, que envolve desde o manejo da fermentação e destilação até o envelhecimento e armazenamento adequados. O controle rigoroso desses processos assegura a preservação de compostos desejáveis e a minimização de contaminantes, refletindo diretamente na experiência sensorial e na segurança do consumidor.

Em síntese, a evolução científica e tecnológica aplicada à análise sensorial da cachaça representa um avanço significativo para o setor sucroalcooleiro. O desenvolvimento de produtos com perfis sensoriais equilibrados e identidade regional consolidada é resultado direto da aplicação integrada de técnicas analíticas, sensoriais e cognitivas, reforçando a cachaça como um destilado de excelência e símbolo da cultura brasileira.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, A. R. **Produção de aguardente de cana**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2010.

ALCARDE, A. R.; SOUZA, L. M.; BELLUCO, A. E. Influência do tipo de madeira no envelhecimento de cachaça. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 226-232, 2010.

BORTOLETTO, A. M.; ALCARDE, A. R. Chemical markers of barrel-aged Brazilian sugarcane spirit. **Food Chemistry**, v. 141, p. 1445-1454, 2013.

BORTOLETTO, A. M. **Perfil químico e sensorial de cachaças envelhecidas em diferentes madeiras**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2016.

BORTOLETTO, A. M.; SILVELLO, G. C.; ALCARDE, A. R. Aromatic profiling of flavor active compounds in sugarcane spirits aged in tropical wooden barrels. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 24, e2019071, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.07119>.

BORTOLETTO, T.; JANZANTTI, N. S.; ALCARDE, A. R. The Spirit of Cachaça Production: An Umbrella Review of Processes, Quality and Sensory Evaluation. **Foods**, v. 12, n. 7, p. 1310, 2023. DOI: 10.3390/foods12071310.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa n. 13**, de 29 de junho de 2005. Regulamento técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade para aguardente de cana e cachaça. Diário Oficial da União, Brasília, 30 jun. 2005.

CAMPOS, C. R. et al. Seleção de leveduras para produção de cachaça. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, p. 354-361, 2010.

CALIARI, M.; FERREIRA, P. S.; SOUZA, R. Kinetics of volatile aromatic compound production during the aging of cachaça in different woods. **Food Science and Technology Journal**, v. 60, p. 220-234, 2025. DOI: 10.1016/j.fst.2025.03.012.

CARDELLO, H. M. A. B.; FARIA, J. B. Influência do envelhecimento sobre a qualidade sensorial da aguardente de cana. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 3, p. 391-395, 1999.

CHATONNET, P.; DUBOURDIEU, D. Comparative study of the characteristics of barrels made from French oaks (*Quercus robur*, *Q. petraea*) and American oaks (*Q. alba*) and their incidence on wine aging. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 49, n. 1, p. 79-85, 1998.

CHATONNET, P. Influence des procédés de tonnellerie et des conditions d'élevage sur la composition et la qualité des vins. **Revue Française d'Œnologie**, v. 185, p. 9-17, 1999.

CHEN, Yanping; LIU, Ying; FENG, Xi. Food perception: taste, smell and flavour. **Foods**, Basel, v. 12, n. 19, p. 3628, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12193628>.

DELGADO, A. A.; MARQUES, M. O. M.; ALMEIDA, E. E. Madeiras brasileiras no envelhecimento de aguardente de cana. **Bragantia**, v. 55, p. 247-255, 1996.

DUARTE, W. F.; DE SOUSA, M. V.; DIAS, D. R.; SCHWAN, R. F. Effect of different yeast strains on the fermentation, chemical composition and sensory quality of cachaça. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 27, p. 1119-1127, 2011a.

DUARTE, W. F.; AMORIM, J. C.; SCHWAN, R. F. Influence of non-Saccharomyces yeasts on the fermentation of cane juice for the production of cachaça. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v. 40, p. 1-10, 2013.

DUTCOSKY, Silvia Deboni. **Análise sensorial de alimentos**. 5. ed. rev. e atual. Curitiba: PUCPRESS, 2019. 540 p. ISBN 978-85-54945-47-3.

FARIA, J. B. et al. Alterações químicas e sensoriais da aguardente de cana durante envelhecimento em tonéis de carvalho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 3, p. 515-520, 2003a.

FRANCIS, I. L.; SEFTON, M. A.; WILLIAMS, P. J. Sensory descriptive analysis of the aroma of oak wood. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 43, p. 55-63, 1992.

GRANATO, D.; DE OLIVEIRA, C. C.; CARUSO, M. S. F.; NAGATO, L. A.; ALABURDA, J. Chemical and sensory quality of Brazilian sugarcane spirits. **Food Research International**, v. 62, p. 1-8, 2014.

JANEGITZ, B. C.; OLIVEIRA, A.; GOMES, M. S.; SARTORI, E. R.; PEREIRA-FILHO, E. R.; FATIBELLO-FILHO, O. Removal of copper(II) from sugar-cane spirits employing chitosan. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 458-460, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000200034>.

LIMA, U. U.; AMORIM, H. V.; BASSO, T. O. Cachaça: Science, Technology and Art. **Sugar Tech**, v. 24, n. 8, p. 2932-2945, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01146-7>.

LEITE, B. F. et al. Análise dos aspectos sensoriais no controle de qualidade da indústria de cachaça de alambique. **Revista Aracê**, São José dos Pinhais, v. 8, n. 3, p. 5718-5735, 2024. DOI: <https://doi.org/10.52563/arac.v8i3.0658>.

MEHTA, A.; GUPTA, R.; BANSAL, T. Yeast recycling and the chemical and sensory quality of cachaça. **Journal of the Institute of Brewing**, Londres, v. 130, n. 4, p. 311-324, 2024. DOI: 10.1002/jib.789.

MEHTA, P.; GUPTA, A.; BANSAL, R. Emotional responses to food packaging: An eye-tracking and facial expression analysis. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 59, n. 5, p. 2152-2165, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.16885>.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (Brasília). **Instrução Normativa/MAPA nº 13, de 29 de junho de 2005**. Aprova o Regulamento Técnico para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Aguardente de Cana e para Cachaça. Diário Oficial da União, Brasília, n. 124, p. 03, 30 jun. 2005.

MOSEDALE, J. R.; PUECH, J. L. Wood maturation of distilled beverages. **Trends in Food Science & Technology**, v. 9, p. 95-101, 1998.

MIRANDA, M. B. et al. Alterações químicas durante o envelhecimento de cachaça em tonéis de diferentes madeiras. **Química Nova**, v. 31, n. 6, p. 1538-1544, 2008.

NONATO, A.; CARAZZA, F.; SILVA, C.; CARVALHO, C.; CARDEAL, Z. Volatile compounds in Brazilian sugarcane spirit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, p. 3520-3524, 2001.

PARAZZI, C.; MENDES, L. C.; NASCIMENTO, R. F.; NASCIMENTO, E. S. Alterações físico-químicas de aguardente de cana durante envelhecimento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 702-708, 2008.

PEREIRA, A. A. M.; ACEVEDO, M. S. M. S. F.; ALCARDE, A. R. Improvement of the Chemical Quality of Cachaça. **Beverages**, v. 10, n. 3, p. 79, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/beverages10030079>.

SILVA, J. H. N.; VERRUMA-BERNARDI, M. R.; OLIVEIRA, A. L. de. Cachaça production in Brazil and its main contaminant (ethyl carbamate). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 77, n. 2, e20180135, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0135>.

SANTOS, F.; RIBEIRO, G.; MORAES, T. Cachaça sold in polyethylene terephthalate packaging: quality and sensory attributes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 46, e1234, 2022. DOI: 10.1590/cia.1234.

SANTOS, Wilton Amaral; BONFIM, Gabriel Benedito Rozendo; JESUS, Jaqueline Santos; FONSECA, Raimunda Fernandes Souza; CONCEIÇÃO, Maria de Fátima Bomfim da; SOUSA, Luciane Santos; SOARES, Sarah Adriana Rocha; MENDES, Benjamim Almeida; ANJOS, Jeancarlo Pereira; DALA-PAULA, Bruno Martins; GLORIA, Maria Beatriz A.; MAMEDE, Maria Eugênia Oliveira. Influence of Jackfruit Wood Barrels and Chips During Aging on the Quality and Phenolic Compounds of Cachaça. **Foods**, Basel, v. 14, n. 10, p. 1812, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods141>

SILVA, C. F. et al. Evaluation of yeasts for the production of the Brazilian sugarcane spirit cachaça. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 25, p. 1615-1622, 2009.

SILVA, P.; LIMA, A.; FERREIRA, J. Non-destructive authentication of cachaças from Brejo Paraibano using spectroscopy and sensory validation. **Food Chemistry**, Amsterdã, v. 430, p. 136901, 2025. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.136901.

SINGLETON, V. L. Some aspects of the wooden container as a factor in wine maturation. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 25, n. 4, p. 166-174, 1974.

SOUZA, L. M.; VÁSQUEZ, S.; DEL MASTRO, N.; ACREE, T. E.; LAVIN, E. H. Characterization of volatile compounds of cachaça. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, p. 485-491, 2006.

SOUZA, R. A.; MARTINS, C.; OLIVEIRA, P. Maceration time: antioxidant activity, volatile compounds and sensory profile of macerated cachaça. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 42, 2022. DOI: 10.1590/fst.98765.

SOUZA, Tainá Francisca Cordeiro de; MIRANDA, Bruna Melo; BRICENO, Julio Cesar Colivet; GÓMEZ-ESTACA, Joaquín; SILVA, Flávio Alves da. The science of aging: understanding phenolic and flavor compounds and their influence on alcoholic beverages aged with alternative woods. **Foods**, Basel, v. 14, n. 15, p. 2739, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods14152739>.

VIDAL, E. E. *et al.* Influence of yeast strains on the volatile composition of cachaça. **Food Chemistry**, v. 139, p. 695-701, 2013.

VICENTE, M. A. *et al.* Influência do envelhecimento na qualidade de cachaça. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, p. 584-590, 2006.

VILELA, A.; COSTA, A.; LOPES, M.; *et al.* Assessment of sensory and physical-chemical quality, and potential for certification of cachaças from Paraíba, Brazil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 41, 2021. DOI: 10.1590/fst.12345.

ZANINI, C. D. *et al.* Extracting information from sensory analysis with the multi-way PARAFAC tool – Examples and possibilities. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 243, 105015, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2023.105015>.

CAPÍTULO VIII

GESTÃO DE RESÍDUOS E SUSTENTABILIDADE



Edivaldo Alexandre Bezerra da Silva

Eduardo Leite Vieira

1 INTRODUÇÃO

O setor sucroalcooleiro é responsável por produzir o açúcar e o etanol no cenário industrial brasileiro, através do tratamento da cana-de-açúcar. Esse mercado engloba a participação agrícola e processos industriais, contando com milhões de trabalhadores encarregados de obter o produto final.

Através da fertilidade do solo brasileiro, condições climáticas e as demandas de produtos derivados da cana, proporcionaram que o Brasil se estabelecesse como protagonista no mercado mundial de cana-de-açúcar. Entre os produtos obtidos, a produção do etanol está se destacando no cenário industrial, levando o Brasil a explorar novos mecanismos econômicos (D'alessandro; Cavichioli, 2025).

Diante do crescimento agrícola e industrial abrangendo o manejo da cana-de-açúcar na síntese do álcool, é destacado a formação de resíduos considerados como subprodutos, apresentando malefícios ao meio ambiente se forem descartados de forma errada. Acerca dessa situação, é importante que seja analisado o potencial de poluição que esses rejeitos ocasionam, estabelecendo ações sustentáveis no cultivo ou na industrialização da cana.

A Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), afirma que o gerenciamento desse tipo de material deve ser através de ações que promovam o desenvolvimento sustentável, inserindo etapas de coleta, transporte, tratamento e destinação final do subproduto formado. O ciclo de vida do resíduo sintetizado é responsabilidade de fabricantes, importadores, distribuidores e indústrias, que durante a sua atividade comercial produzam substâncias que causam danos ao meio ambiente (Brasil, 2010).

2 BAGAÇO, VINHAÇA E REUTILIZAÇÃO

2.1 Bagaço

O bagaço é um dos resíduos gerados na fabricação da cachaça, mais precisamente no processo da moagem da cana-de-açúcar para obter o etanol. Nesse processo, a cana-de-açúcar passa por dois rolos utilizando força mecânica, onde ocorre a separação do caldo e o bagaço. Em etapas posteriores, o caldo é utilizado para a produção da cachaça e o subproduto formado deixa de ser útil para essa finalidade, sendo necessário o gerenciamento correto desse material.

Figura 1 - Bagaço de cana-de-açúcar



Fonte: VITAL, 2025.

A produção de bagaço é estimada em mais de 150 milhões de toneladas por ano no Brasil, sendo distribuído nos diversos tipos de aplicações da cana-de-açúcar, seguindo uma proporção na qual a cada tonelada de matéria prima utilizada pela indústria, ocasiona a geração de 300 kg desse subproduto (Correia *et al.*, 2020; Oliveira, 2011).

Devido a esse grande acúmulo, é imprescindível que esse material proveniente da obtenção do etanol para a fabricação da cachaça, seja reutilizado nos setores industriais para que não seja descartado de forma incorreta e venha a ocasionar a degradação ao meio ambiente. Inserir o bagaço em mecanismos de reaproveitamento aponta medidas de sustentabilidade ambiental e benefícios econômicos para o setor agroindustrial.

Apesar da grande quantidade de matéria orgânica produzida no processo de moagem da cana-de-açúcar, o bagaço pode ser considerado como o resíduo de maior importância para o setor agrícola, devido ao seu alto poder energético. A utilização desse subproduto apresenta propriedades bioenergéticas, sendo

muitas vezes reaproveitado nas áreas agroindustriais como combustível na geração de vapor nas caldeiras, servindo como fonte de energia derivada da biomassa (Schneider *et al.*, 2012).

O bagaço é rico em fibras, tendo em sua constituição orgânica a celulose, lignina e hemicelulose. A partir disso, esse produto pode ser reaproveitado também como forma de ração para gado confinado, com o intuito de ganho de peso rápido, sendo uma opção viável para os criadores desses animais (Embrapa, 2025).

Outra maneira de implementar o reuso do bagaço é através da compostagem, um processo biológico de decomposição da matéria orgânica que utiliza resíduos vegetais. A ação da compostagem é de forma natural, com auxílio de bactérias e fungos, que consomem o resíduo e o converte em um produto rico em nutrientes. Essa utilização não oferece riscos sanitários na adubação de plantações, apresentando ainda na sua composição propriedades que estão dentro da lei para promover o uso de compostos orgânicos dentro do cenário agrícola (Schneider *et al.*, 2012).

2.2 Vinhaça

Durante o processo de produção da cachaça é obtido um resíduo líquido chamado de vinhaça. Essa substância é um subproduto derivado da destilação do caldo fermentado. Nesse processo, ocorre a separação do etanol, onde o líquido que sobra será a vinhaça.

Figura 2 - Tanque reservatório de vinhaça



Fonte: Agroadvance, 2023.

A respeito da quantidade desse resíduo gerado na obtenção do etanol, estatísticas apontam que para cada 1 litro de álcool, é produzido de 10 a 12 litros de vinhaça. O total produzido desse resíduo pode ser alterado a depender dos processos industriais utilizados pelas destilarias (Andrade; Diniz, 2007).

Em relação aos resíduos líquidos provenientes do manuseio da cana-de-açúcar, a vinhaça pode ser relacionada como a substância que mais apresenta perigo para o meio ambiente. Se esse resíduo for lançado na água, aumenta a concentração de matéria orgânica, contribuindo com a proliferação de micro-organismos aeróbicos que consomem o oxigênio dissolvido. Essa ação promove o aumento da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a demanda química de oxigênio (DQO), acarretando a morte de animais aquáticos e a poluição da água (Gurgel *et al.*, 2024).

Quando despejada no solo, a vinhaça pode ocasionar alterações importantes no solo, como modificações físicas em sua estrutura, possibilitando o aumento de infiltrações da água, sendo capaz de poluir águas subterrâneas. Essas alterações no solo podem acarretar ainda, o aumento da concentração de nutrientes para as plantas, ocasionando desequilíbrios na vegetação (Fialho *et al.*, 2019).

Sabendo disso, é necessário que a vinhaça passe por um gerenciamento ambientalmente viável, para que essa substância não acarrete problemas ao meio ambiente. A melhor maneira para que isso ocorra de uma forma favorável, é analisar as possibilidades onde esse subproduto possa ser reutilizado de maneira sustentável e benéfica para a sociedade.

Uma opção para evitar o descarte errado da vinhaça ao meio ambiente, é a fertirrigação para a produtividade da própria cana-de-açúcar. Essa prática consiste em utilizar esse resíduo como fertilizante para melhorar a qualidade do solo, substituindo uma boa parte dos fertilizantes químicos, e apresentando um fator econômico e sustentável favorável (Pereira; Alquini; Günther, 2009).

Para a aplicação dessa técnica é necessário que o armazenamento da vinhaça seja realizado em tanques individuais, misturada com a água, de acordo com critérios técnicos. A partir das recomendações e análises essenciais desse processo, a fertirrigação é aplicada no solo onde ocorrerá as plantações por meio de caminhão-tanque ou aspersão, onde realizam os processos de aplicações para o cultivo desejado (Gurgel *et al.*, 2024).

3 TECNOLOGIAS LIMPAS E ECONOMIA CIRCULAR

3.1 Importância da cachaça no contexto cultural, econômico e social do Brasil

A cachaça ocupa uma posição de destaque na identidade cultural brasileira, sendo reconhecida não apenas como uma bebida alcoólica, mas como um patrimônio histórico e social do país. Produzida desde o período colonial, tornou-se um símbolo da resistência cultural e da formação da sociedade brasileira, acompanhando festas populares, rituais e manifestações artísticas.

Em 2001, o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) reconheceu a cachaça como bem cultural imaterial do Brasil, reforçando sua relevância simbólica na construção da memória coletiva e na valorização das tradições locais (IPHAN, 2001; Almeida; Souza, 2019).

No âmbito econômico, a cachaça representa um dos segmentos mais promissores do agronegócio brasileiro. Estima-se que o país produza cerca de 1,2 bilhão de litros por ano, dos quais mais de 40 milhões são destinados à exportação, movimentando uma cadeia que envolve milhares de pequenos e médios produtores. A bebida gera emprego e renda em áreas rurais, favorecendo a permanência de famílias no campo e fortalecendo o turismo gastronômico e cultural em diversas regiões produtoras (IBRAC, 2022). Essa relevância socioeconômica é ampliada pelo crescente interesse internacional em bebidas artesanais e de origem controlada, em que a cachaça tem ganhado espaço, especialmente em mercados como Alemanha, Estados Unidos e Portugal (Brasil, 2021).

Além disso, a produção da cachaça é marcada pela diversidade regional, resultando em um produto plural que expressa as características culturais, ambientais e históricas de cada localidade. Essa diversidade é um diferencial competitivo no mercado global de bebidas, onde a valorização da origem e da autenticidade tem grande peso. Portanto, a cachaça não é apenas um produto agrícola e industrial, mas um elemento central da identidade e da economia criativa do Brasil (Moraes; Silva, 2020).

3.2 Desafios ambientais e de sustentabilidade na cadeia produtiva

Apesar de sua relevância, a produção de cachaça enfrenta grandes desafios relacionados à sustentabilidade e à gestão ambiental. O processo produtivo, que envolve etapas como moagem, fermentação, destilação e envelhecimento, consome volumes significativos de água e energia. Além disso, a destilação gera o vinhoto, efluente líquido com alta carga orgânica, cuja disposição inadequada pode causar poluição do solo e contaminação de corpos hídricos. Estima-se que para cada litro de cachaça produzido sejam gerados de 10 a 15 litros de vinhoto, configurando um passivo ambiental relevante quando não tratado de forma apropriada (SEBRAE, 2022; Oliveira *et al.*, 2018).

Outro ponto crítico está relacionado ao uso de lenha em caldeiras, prática comum em engenhos tradicionais, que contribui para a pressão sobre áreas florestais nativas. Embora alguns produtores já utilizem o bagaço da cana como biomassa, a dependência da lenha ainda é significativa em pequenas propriedades. Além disso, o consumo de embalagens, especialmente garrafas de vidro descartadas sem reaproveitamento, também se soma aos impactos ambientais da cadeia (Moraes; Pereira, 2021).

Do ponto de vista social, a ausência de regulamentações específicas voltadas à gestão de resíduos em alambiques artesanais agrava a situação. Muitos produtores carecem de infraestrutura e de recursos técnicos para adotar medidas de controle ambiental. Esse cenário evidencia a necessidade de políticas públicas e programas de capacitação que incentivem a adoção de práticas mais sustentáveis, além de fomentar a inovação tecnológica no setor (Santos; Ferreira, 2019).

3.3 Justificativa para o uso de tecnologias limpas e práticas de economia circular

A adoção de tecnologias limpas na produção de cachaça surge como resposta aos desafios ambientais, permitindo minimizar impactos e agregar valor ao produto. Essas tecnologias englobam medidas como a recirculação da água de resfriamento, o tratamento adequado de efluentes e a substituição de fontes de energia não renováveis por alternativas mais sustentáveis, como a energia solar e o biogás. Além de reduzir custos operacionais no médio prazo, tais práticas fortalecem a imagem da cachaça como um produto diferenciado, alinhado às exigências de consumidores cada vez mais atentos à sustentabilidade (Sanhaçu, 2022; Weber Haus, 2023).

A economia circular, por sua vez, apresenta-se como um paradigma essencial para a cachaça ao propor o aproveitamento integral dos resíduos. O bagaço da cana, por exemplo, pode ser utilizado como combustível, insumo para compostagem ou matéria-prima para novos produtos industriais. Já o vinhoto pode ser transformado em biofertilizante ou utilizado em biodigestores para a geração de biogás. Esses exemplos demonstram como a circularidade na cadeia produtiva contribui não apenas para a preservação ambiental, mas também para a criação de novas oportunidades de negócio, transformando passivos em ativos (Oliveira; Lima, 2020).

A justificativa para a implementação dessas práticas também encontra respaldo na crescente valorização de produtos sustentáveis no mercado internacional. Ao adotar tecnologias limpas e estratégias circulares, a cachaça brasileira fortalece sua competitividade global e atende a demandas contemporâneas por bebidas de qualidade, rastreáveis e ambientalmente responsáveis. Assim, a sustentabilidade deixa de ser apenas uma exigência normativa e passa a constituir diferencial estratégico e mercadológico para o setor (IBRAC, 2022; Brasil, 2021).

4 PANORAMA DA PRODUÇÃO DE CACHAÇA E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS

4.1 Características do processo produtivo

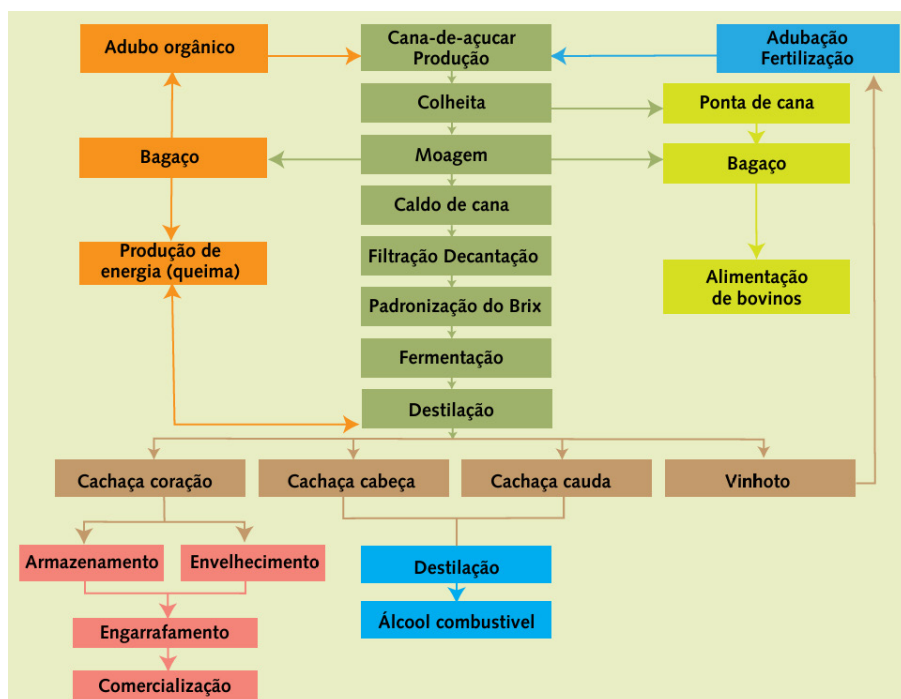
A produção de cachaça envolve um conjunto de etapas interdependentes que, além de determinar a qualidade sensorial da bebida, possuem relevância no que diz respeito à geração de impactos ambientais. A primeira fase é a moagem da cana-de-açúcar, em que o caldo é extraído a partir da prensagem dos colmos. Esse processo gera como subproduto o bagaço da cana, um resíduo fibroso que, quando não aproveitado adequadamente, pode se tornar passivo ambiental, mas que também possui elevado potencial energético e de reaproveitamento industrial (Cardoso *et al.*, 2017).

A etapa seguinte é a fermentação, geralmente conduzida por leveduras naturais ou selecionadas, responsáveis pela transformação dos açúcares do caldo em etanol. Nessa fase, há produção de compostos secundários que influenciam no perfil sensorial da cachaça. Do ponto de vista ambiental, o principal desafio é o controle da higiene e a destinação dos resíduos líquidos gerados durante a lavagem das dornas e equipamentos, que podem apresentar elevada carga orgânica (Amorim *et al.*, 2011).

Posteriormente, ocorre a destilação, tradicionalmente em alambiques de cobre ou em colunas de aço inoxidável. Essa operação unitária é responsável pela separação das frações voláteis, resultando em três correntes: cabeça, coração e cauda. Apenas o “coração” é aproveitado, enquanto as frações “cabeça” e “cauda” devem receber tratamento adequado, pois possuem substâncias como aldeídos, metanol e ácidos orgânicos que, se descartados de forma incorreta, representam risco de contaminação ambiental (Mutton; Mutton, 2010).

Por fim, o envelhecimento em tonéis de madeira agrega valor ao produto e fortalece sua identidade cultural. Embora essa etapa não seja tão expressiva em termos de geração de resíduos, ela demanda cuidados na seleção e manejo das madeiras utilizadas, uma vez que a exploração predatória de espécies nativas pode acarretar impactos significativos na biodiversidade. Assim, a rastreabilidade da origem das madeiras de envelhecimento se torna fundamental para garantir práticas produtivas sustentáveis (Souza *et al.*, 2018).

Figura 3 – Fluxograma produção da cachaça



Fonte: PASCOAL FILHO; REGINA ([s.d.], p. 2).

O fluxograma do processo produtivo da cachaça evidencia os pontos críticos de consumo de água, energia e geração de resíduos, servindo como base para identificar oportunidades de aplicação de tecnologias limpas e práticas de economia circular (Pascoal Filho; Regina, [s.d.]).

4.2 Consumo de água, energia e geração de resíduos

A cadeia produtiva da cachaça é intensiva em consumo de recursos naturais, especialmente água e energia. A água é utilizada em praticamente todas as fases do processo: na lavagem da cana, preparo do mosto, fermentação, resfriamento durante a destilação e higienização dos equipamentos. Estimativas indicam que a produção de um litro de cachaça pode demandar de 10 a 15 litros de água, dependendo do grau de eficiência do processo, o que evidencia a necessidade de tecnologias limpas para reduzir o desperdício (Machado *et al.*, 2019).

No que tange à energia, a biomassa do bagaço da cana é frequentemente utilizada como combustível em caldeiras, sendo considerada uma solução de baixo custo e relativamente sustentável. Entretanto, a queima do bagaço libera material particulado e gases como dióxido de carbono (CO₂) e monóxido de carbono (CO), o que reforça a importância de adotar sistemas de filtragem e tecnologias mais eficientes de combustão (Oliveira; Silva, 2020).

A geração de resíduos é outro ponto crítico. O vinhoto, resíduo líquido da destilação, é o principal subproduto do setor, podendo alcançar até 13 litros para cada litro de cachaça produzido. Embora apresente elevado teor de matéria orgânica, que inviabiliza seu descarte direto em corpos d'água, o vinhoto possui potencial de reaproveitamento como biofertilizante ou matéria-prima para biodigestores, se tratado de forma correta (Christofolletti *et al.*, 2013).

4.3 Legislações ambientais e a gestão de resíduos na produção de cachaça

A produção de cachaça, apesar de sua relevância cultural e econômica, está sujeita a uma série de regulamentações ambientais no Brasil, especialmente no que se refere à gestão de resíduos sólidos e efluentes líquidos. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, estabelece diretrizes para a destinação adequada dos resíduos e incentiva práticas como a reciclagem, reutilização e logística reversa. Para os produtores de cachaça, isso significa a necessidade de adotar estratégias que reduzam a poluição e assegurem o retorno de embalagens ao ciclo produtivo, diminuindo a pressão sobre aterros sanitários e cursos d'água (Brasil, 2010).

Outro marco legal importante é a Lei nº 9.605/1998 (Lei de Crimes Ambientais), que prevê sanções penais e administrativas para empreendimentos que causarem danos ambientais, inclusive aqueles relacionados ao descarte irregular de vinhoto, um dos principais efluentes líquidos da destilação. A utilização desse resíduo como biofertilizante em lavouras de cana-de-açúcar é aceita pela legislação desde que respeitados limites técnicos e ambientais, conforme normas do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). A Resolução CONAMA nº 375/2006, por exemplo, regulamenta a aplicação de resíduos no solo, exigindo monitoramento para evitar contaminação do lençol freático e degradação ambiental (CONAMA, 2006).

Adicionalmente, normas estaduais e municipais complementam a legislação federal, estabelecendo regras específicas para o licenciamento ambiental de engenhos e alambiques. Em alguns estados, como Minas Gerais e Pernambuco, regiões de forte tradição produtiva, as secretarias estaduais de meio ambiente possuem diretrizes próprias para o uso do vinhoto na fertirrigação, a gestão do bagaço da cana e a destinação de cinzas provenientes da queima de biomassa. Essa diversidade normativa exige que o produtor esteja atento não apenas à legislação federal, mas também às exigências locais, o que pode representar desafios para pequenos produtores que carecem de suporte técnico e financeiro (Oliveira *et al.*, 2019).

Por fim, cabe destacar que a adoção de práticas sustentáveis alinhadas à legislação não deve ser vista apenas como obrigação legal, mas também como

oportunidade estratégica. Cumprir com as normas ambientais aumenta a competitividade, facilita a exportação, uma vez que mercados internacionais são cada vez mais exigentes em termos de rastreabilidade e sustentabilidade e fortalece a imagem da cachaça como bebida premium e responsável socioambientalmente. Assim, a legislação ambiental atua como indutora da transição para modelos de produção baseados em tecnologias limpas e na economia circular (Sebrae, 2022; Lima; Rodrigues, 2021).

4.4 Impactos ambientais mais recorrentes

Os efluentes líquidos, principalmente o vinhoto, representam o maior desafio ambiental da produção de cachaça. Quando descartado inadequadamente, pode causar a eutrofização de corpos hídricos e comprometer a qualidade do solo devido à alta carga de matéria orgânica e sais minerais. Por esse motivo, a legislação brasileira regula seu uso em fertirrigação, exigindo monitoramento rigoroso para evitar contaminações (CONAMA, 2006).

Em relação às emissões atmosféricas, a queima do bagaço em caldeiras é a principal fonte poluidora. Apesar de ser considerada uma prática de reaproveitamento energético, a ausência de sistemas de controle pode resultar em impactos à qualidade do ar, principalmente em comunidades rurais próximas a alambiques. A emissão de gases de efeito estufa também deve ser considerada, especialmente diante dos compromissos globais de mitigação das mudanças climáticas (Silva *et al.*, 2021).

No que diz respeito aos resíduos sólidos, os principais são o bagaço e as cinzas provenientes da queima em caldeiras. Embora ambos possam ser reaproveitados, o bagaço como biomassa energética ou insumo para produção de papel, e as cinzas como corretivo de solo, em muitos casos esses materiais ainda são descartados de maneira ineficiente, representando perdas de oportunidade dentro de uma lógica de economia circular (Nogueira *et al.*, 2015).

Assim, o panorama da produção de cachaça revela um setor que, ao mesmo tempo em que carrega forte identidade cultural e econômica, enfrenta importantes desafios de sustentabilidade. A integração de tecnologias limpas, gestão eficiente de recursos e práticas de reaproveitamento são fundamentais para reduzir os impactos ambientais recorrentes e alinhar a cadeia produtiva com os princípios da economia circular.

5 TECNOLOGIAS LIMPAS NO SETOR DA CACHAÇA GESTÃO HÍDRICA

A gestão da água é um dos principais pontos críticos na produção de cachaça, visto que a bebida depende fortemente de processos como lavagem da cana,

fermentação e destilação. Uma das práticas mais relevantes é a recirculação e o reuso da água de resfriamento, que pode reduzir drasticamente o consumo hídrico. Sistemas de circuitos fechados permitem que a água utilizada nos condensadores seja reaproveitada diversas vezes, diminuindo o desperdício e os custos associados ao bombeamento e tratamento (Barbosa *et al.*, 2018). Essa prática, além de eficiente, está alinhada com as diretrizes de sustentabilidade previstas na Política Nacional de Recursos Hídricos.

Outro aspecto fundamental é o tratamento de efluentes líquidos, principalmente o vinhoto, que apresenta alta carga orgânica e potencial poluidor se descartado sem controle. Tecnologias como lagoas de estabilização, wetlands construídos e reatores anaeróbios têm sido aplicadas para reduzir a DBO e evitar a contaminação de corpos d'água (Silva *et al.*, 2019). Além disso, a adoção de práticas de fertirrigação com monitoramento adequado transforma o vinhoto em insumo agrícola, promovendo a economia circular dentro da propriedade.

5.1 Eficiência Energética

No campo energético, a substituição de combustíveis fósseis por alternativas renováveis representa um avanço expressivo. Muitos engenhos já utilizam o bagaço da cana como biomassa para alimentar caldeiras, reduzindo custos e diminuindo as emissões de gases de efeito estufa (Moraes *et al.*, 2014). Além disso, há experiências crescentes no uso de energia solar fotovoltaica para alimentar equipamentos auxiliares, como bombas e sistemas de iluminação, fortalecendo o papel das fontes limpas no setor.

Outra inovação em curso é a aplicação de biodigestores para geração de biogás, a partir da degradação anaeróbia do vinhoto e outros resíduos orgânicos. O biogás pode ser utilizado tanto na cogeração de energia elétrica quanto no aquecimento de caldeiras, substituindo lenha ou derivados de petróleo (Souza; Lima, 2021). Dessa forma, a destilaria passa a operar em modelo de autossuficiência energética, diminuindo sua pegada de carbono.

5.2 Inovações em Equipamentos e Processos

As tecnologias limpas não se restringem ao uso de insumos e fontes energéticas, mas também englobam inovações em equipamentos e processos produtivos. Os novos modelos de alambiques e colunas de destilação vêm sendo projetados com foco em maior eficiência térmica, reduzindo o consumo de lenha ou biomassa. O isolamento térmico dos equipamentos, por exemplo, pode minimizar perdas de calor e aumentar a eficiência global da produção (Oliveira *et al.*, 2020).

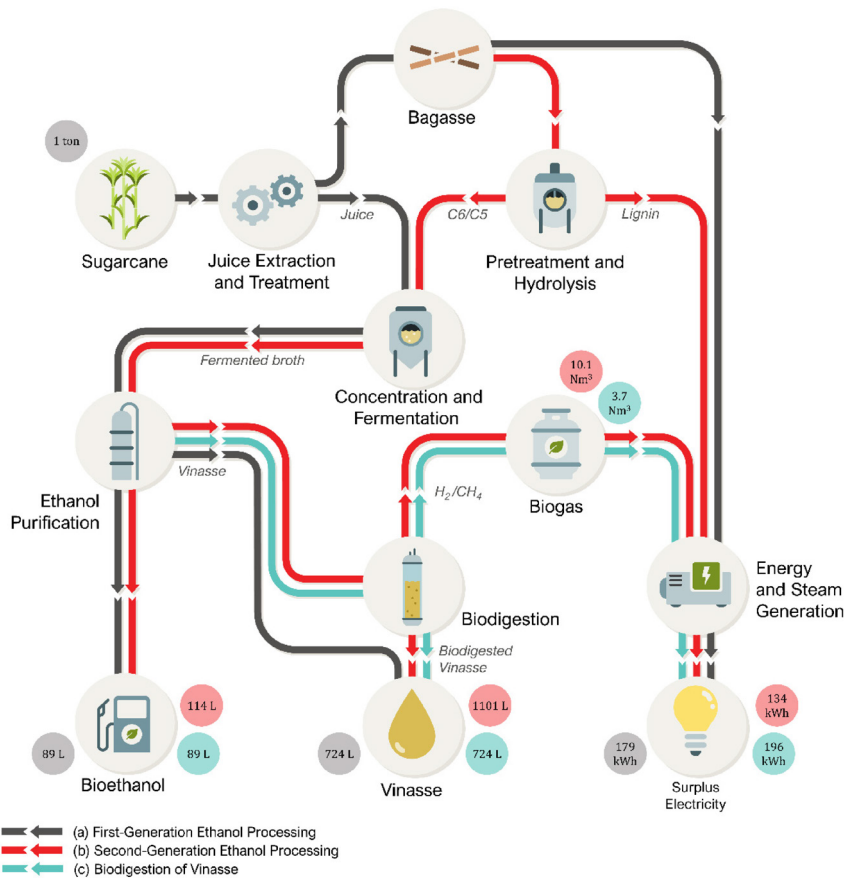
A diminuição das perdas produtivas e a melhoria da qualidade final da cachaça configuram-se como aspectos estratégicos para o setor. A introdução de sistemas automatizados em etapas como a moagem e a fermentação contribui

para reduzir erros operacionais e assegurar maior precisão no controle de variáveis essenciais do processo. Essa modernização resulta em menor desperdício de matéria-prima, reduzindo os impactos ambientais associados à produção. Além disso, reforça a competitividade da cachaça, especialmente em mercados internacionais que valorizam a rastreabilidade e o cumprimento de critérios de sustentabilidade.

6 ECONOMIA CIRCULAR APLICADA À PRODUÇÃO DE CACHAÇA

Na figura 4, é apresentado um diagrama com o conceito de biorrefinaria integrada à cadeia da cana, demonstrando fluxos de aproveitamento de resíduos como vinhoto e bagaço para produção de biogás, energia e bioprodutos. Exemplifica visualmente a economia circular aplicada ao setor, reforçando a ideia de cadeias produtivas circulares e de alto valor agregado.

Figura 4 – Diagrama conceitual de biorrefinaria com reciclagem de resíduos



Fonte: LONGATI *et al.*, 2023.

6.1 Aproveitamento do Bagaço da Cana

O bagaço da cana-de-açúcar é um dos principais subprodutos da produção de cachaça, e seu aproveitamento é peça-chave para uma economia circular no setor. Do ponto de vista energético, o bagaço pode ser queimado em caldeiras para geração de vapor e eletricidade, funcionando como fonte renovável e diminuindo a dependência de combustíveis fósseis. Além disso, pesquisas recentes exploram sua utilização na produção de etanol de segunda geração (2G), agregando valor à biomassa residual (Dias *et al.*, 2012).

Pesquisas recentes têm demonstrado a viabilidade do uso das cinzas provenientes da queima do bagaço da cana-de-açúcar como meio de recuperação de nutrientes presentes na vinhaça. Essa prática está alinhada aos princípios da economia circular, uma vez que permite a reutilização de resíduos sólidos e líquidos em processos agrícolas, reduzindo a dependência de fertilizantes químicos e mitigando impactos ambientais. Além disso, as cinzas atuam na correção do pH da vinhaça, tornando-a mais adequada para o uso no campo (FAPESP, 2025).

No âmbito agrícola, o bagaço pode ser aplicado em compostagem e como ração animal, reduzindo custos na propriedade rural e evitando o acúmulo de resíduos. Há também usos industriais inovadores, como a produção de papel, embalagens sustentáveis e bioplásticos, que ampliam as oportunidades de diversificação econômica e inserem o setor de cachaça em cadeias produtivas mais amplas de bioeconomia (Rocha; Gomes, 2017).

6.2 Reutilização do Vinhoto

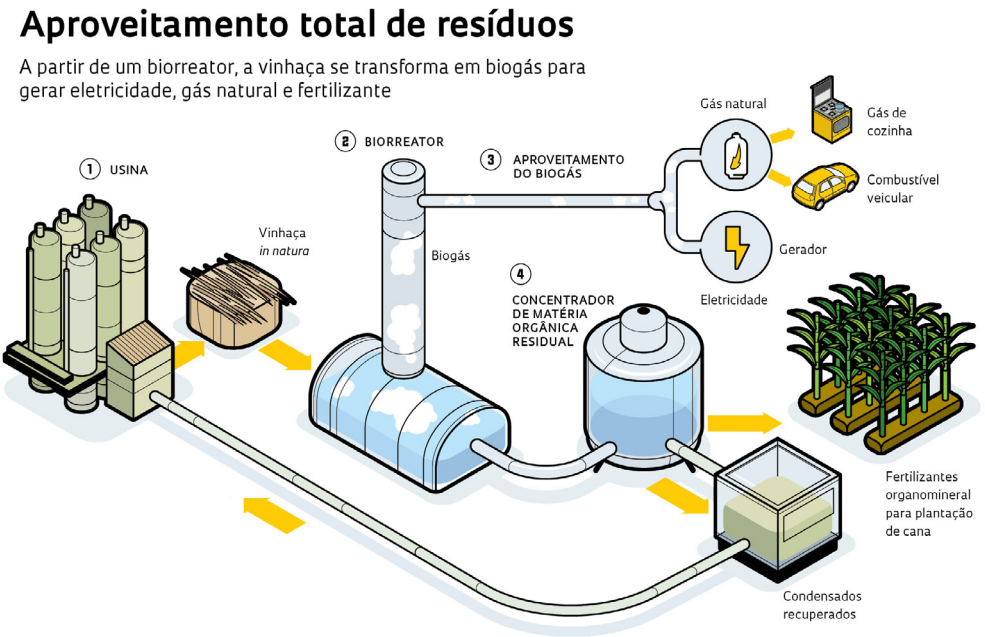
O vinhoto, resíduo líquido da destilação, é considerado um dos maiores desafios ambientais do setor devido à sua alta carga poluidora. No entanto, quando manejado corretamente, ele pode ser convertido em recurso estratégico. A fertirrigação é a aplicação mais comum, permitindo a devolução de nutrientes como potássio ao solo e reduzindo a necessidade de fertilizantes minerais (Christofolletti *et al.*, 2013).

A vinhaça, quando submetida à biodigestão anaeróbica, apresenta potencial para a geração de biogás, um combustível renovável de alta relevância para o setor agroindustrial. Essa técnica, além de reduzir a carga orgânica e os riscos de poluição ambiental, permite a recuperação de nutrientes e água, favorecendo a sustentabilidade. A integração da biodigestão da vinhaça ao aproveitamento energético do bagaço reforça a autossuficiência energética das destilarias e promove ganhos econômicos e ambientais (Saneamento Básico, 2024).

Além do uso agrícola, o vinhoto pode ser direcionado para a produção de biogás e bioenergia, fechando ciclos energéticos na propriedade. Contudo, o mau

manejo desse efluente, como o descarte sem tratamento em rios ou o excesso de aplicação no solo, pode gerar impactos graves como eutrofização, mau cheiro e contaminação de lençóis freáticos. Por isso, a adoção de tecnologias limpas de monitoramento e controle é fundamental para transformar o resíduo em insumo e não em passivo ambiental (Silva *et al.*, 2019).

Figura 5 - Fluxograma de aproveitamento da vinhaça



Fonte: Agroadvance, 2023.

A partir da usina (1), a vinhaça é conduzida até o biorreator (2), onde ocorre a ação de microrganismos que transformam a matéria orgânica contida no resíduo em biogás. Esse biogás, por sua vez, pode ser utilizado para gerar energia elétrica em um gerador (3). Quando submetido a processos de purificação, torna-se apto para uso como gás natural, seja em veículos ou em cozinhas.

O processo de biodigestão também produz subprodutos valiosos: a fração sólida restante, rica em nutrientes, pode ser aplicada como fertilizante, enquanto a água gerada pode ser reutilizada na própria usina para diversas atividades, promovendo eficiência no uso de recursos.

6.3 Embalagens Sustentáveis e Logística Reversa

No contexto da economia circular, as embalagens sustentáveis representam uma oportunidade de alinhar a produção de cachaça às demandas ambientais globais. O reuso de garrafas de vidro, prática comum em pequenas destilarias, contribui para a redução do consumo de matérias-primas e da energia associada à fabricação de novas embalagens. Essa estratégia é potencializada pela adoção de

sistemas de logística reversa, em que produtores e distribuidores compartilham responsabilidades na coleta e reaproveitamento das garrafas (SEBRAE, 2022).

Adicionalmente, algumas empresas têm investido em embalagens biodegradáveis e recicláveis, como tampas de cortiça natural, rótulos em papel reciclado e até mesmo bioplásticos derivados de resíduos da própria cana. Essas inovações fortalecem a imagem da cachaça artesanal e premium, atendendo consumidores que valorizam práticas de consumo consciente. A logística reversa, prevista na Política Nacional de Resíduos Sólidos, torna-se, portanto, uma ferramenta estratégica de sustentabilidade e competitividade para o setor (Brasil, 2010).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de cachaça a partir da cana-de-açúcar gera diversos produtos e subprodutos ao longo do processo, sendo essencial o gerenciamento adequado desses resíduos para preservar o meio ambiente. A reutilização eficiente do bagaço e da vinhaça não apenas reduz os impactos ambientais, evitando a contaminação do solo e da água, mas também oferece alternativas econômicas viáveis para o agronegócio. Esses resíduos podem ser aproveitados em setores biogenéticos, como adubos agrícolas e fertilizantes, beneficiando a agricultura, a pecuária e a indústria de forma sustentável.

Sob a perspectiva da sustentabilidade, o setor de cachaça encontra-se em um processo gradual, mas irreversível, de transformação. A adoção de práticas de gestão de resíduos, tecnologias limpas e princípios da economia circular demonstra que é possível conciliar preservação ambiental, eficiência produtiva e valorização econômica do produto. Exemplos concretos incluem o reaproveitamento do bagaço, o uso da vinhaça como biofertilizante, a substituição de combustíveis fósseis por biomassa ou energia solar e a implementação de embalagens recicláveis.

No contexto global, a cachaça sustentável se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os ODS 6 (Água Potável e Saneamento), ODS 7 (Energia Limpa e Acessível), ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima). A incorporação de práticas sustentáveis na cadeia produtiva fortalece a imagem da cachaça como produto cultural e premium, atendendo a consumidores cada vez mais exigentes em qualidade e responsabilidade socioambiental.

As perspectivas futuras para o setor são promissoras. O avanço tecnológico, a disseminação de energias renováveis e o fortalecimento de políticas públicas voltadas à agricultura familiar e à sustentabilidade tendem a consolidar a cachaça como produto competitivo nos mercados interno e externo. O principal desafio será ampliar a adesão de pequenos e médios produtores às práticas sustentáveis, garantindo apoio técnico, financeiro e capacitação para uma

transição inclusiva. Dessa forma, a cachaça pode se consolidar como exemplo de integração entre tradição, inovação e sustentabilidade, reafirmando seu papel não apenas como patrimônio cultural do Brasil, mas também como referência em produção limpa e responsável.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA FAPESP. **Cientistas usam cinzas geradas pela queima do bagaço da cana para recuperar nutrientes da vinhaça.** Agência FAPESP, 2025. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/cientistas-usam-cinzas-geradas-pela-queima-do-bagaco-da-cana-para-recuperar-nutrientes-da-vinhaca/52577>. Acesso em: 25 ago. 2025.

AGROADVANCE. **Vinhaça: de resíduo a recurso – Utilização e Perspectivas Futuras.** Blog Agroadvance, Piracicaba, SP, 01 ago. 2023 (atualizado em 26 fev. 2025). Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-vinhaca-de-residuo-a-recurso/>. Acesso em: 25 ago. 2025.

ALMEIDA, P. R.; SOUZA, M. R. Cachaça: cultura e identidade brasileira. **Revista Brasileira de Estudos Culturais**, v. 15, n. 2, p. 45-62, 2019.

AMORIM, H. V.; BASSO, L. C.; ALVES, D. M. **Fermentação alcoólica: ciência e tecnologia.** Piracicaba: Fermentec, 2011.

ANDRADE, José Mário Ferreira de; DINIZ, Kátia Maria. **Impactos ambientais da agroindústria da cana-de-açúcar: subsídios para a gestão.** 2007. Monografia (Especialização em Gerenciamento Ambiental) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

BARBOSA, G. F. *et al.* Gestão da água em destilarias de cachaça artesanal: desafios e oportunidades. **Revista Engenharia Ambiental**, v.25, n.2, p. 89-102, 2018.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 19 ago. 2025.

BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.** Dispõe sobre sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, 1998.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Cachaça: panorama do mercado e exportações.** Brasília: MAPA, 2021.

CARDOSO, M. G.; FONSECA, J. B.; GALINARO, C. A. **Produção de cachaça de alambique**. 3. ed. Lavras: UFLA, 2017.

CHRISTOFOLETTI, C. A. et al. Uso do vinhoto na agricultura: benefícios e riscos ambientais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.9, p. 984-990, 2013.

CHRISTOFOLETTI, C. A. et al. Vinhoto: impactos ambientais, alternativas de uso e tratamento. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 29, p. 97-108, 2013.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006**. Dispõe sobre critérios e procedimentos para o uso de resíduos no solo. Brasília, 2006.

CORREIA, Mateus Azevedo Chaves et al. Características e potencial energético do bagaço da cana-de-açúcar armazenado sem cobertura por um período prolongado. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 1, p. 173-187, 2020.

D’ALESSANDRO, Victor Rodrigues; CAVICHIOLI, Fábio Alexandre. A IMPORTANCIA DO SETOR SUCROALCOOLEIRO NA ECONOMIA BRASILEIRA. **Revista Interface Tecnológica**, Taquaritinga, SP, v. 21, n. 1, p. 665–680, 2025. DOI: 10.31510/infa.v21i1.1922. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/1922>. Acesso em: 18 ago. 2025.

DIAS, M. O. S. et al. Produção de etanol 2G a partir do bagaço de cana: perspectivas e desafios. **Biomass and Bioenergy**, v.46, p. 70-78, 2012.

EMBRAPA. Outros produtos. Embrapa Agência de Informação Tecnológica. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pos-producao/processamento-da-cana-de-acucar/outras-produutos>. Acesso em: 2 ago. 2025.

FIALHO, Marcelito Lopes et al. O impacto da vinhaça produzida pela cana-de-açúcar na produção de etanol–poluição ambiental. **Rev intr@ científica**, v. 17, p. 1-14, 2019.

GURGEL, MN do A. et al. **Gerenciamento, tratamento e disposição de resíduos na cana-de-açúcar**. 2024.

IBRAC – Instituto Brasileiro da Cachaça. **Relatório Anual do Setor da Cachaça**. Brasília: IBRAC, 2022.

IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Cachaça como patrimônio cultural brasileiro**. Brasília: IPHAN, 2001.

LIMA, M. J.; RODRIGUES, P. F. Economia circular e gestão de resíduos no setor sucroalcooleiro. **Revista Interdisciplinar de Sustentabilidade**, v.3, n.1, p. 45-60, 2021.

LONGATI, V. D. et al. Biogas production from sugarcane vinasse: State of the art and perspectives for energy integration in Brazil. **Fermentation**, v. 9, n. 4, p. 321, 2023.

MACHADO, A. M.; GONÇALVES, R. F.; BARBOSA, A. L. Uso racional da água na produção de cachaça artesanal. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.13, n.2, p. 55-64, 2019.

MORAES, A. C.; PEREIRA, J. L. Sustentabilidade e produção artesanal de cachaça. **Revista Agroecologia Hoje**, v. 8, n. 3, p. 122-138, 2021.

MORAES, M. A. F. D. et al. Sustentabilidade na cadeia produtiva da cana-de-açúcar: energia e biomassa. **Estudos Avançados**, v.28, n.82, p. 189-206, 2014.

MORAES, R. B.; SILVA, G. T. Diversidade regional e identidade da cachaça brasileira. **Estudos de Cultura Popular**, v. 6, n. 1, p. 33-50, 2020.

MUTTON, M. A.; MUTTON, R. **Produção de cachaça de qualidade**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2010.

NOGUEIRA, R. S.; PEREIRA, L. C.; OLIVEIRA, J. R. Reaproveitamento de resíduos do setor sucroenergético: perspectivas para a economia circular. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v.4, n.2, p. 75-88, 2015.

OLIVEIRA, FÁBIO MARTINS. **Hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar pré-tratado com uréia**. Itapetinga-BA: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2011.

OLIVEIRA, F. S.; SILVA, J. P. Avaliação do uso energético do bagaço de cana em alambiques artesanais. **Revista de Energias Renováveis**, v.9, n.1, p. 33-47, 2020.

OLIVEIRA, L. F.; LIMA, H. P. Economia circular e agroindústria da cana: oportunidades para a cachaça. **Cadernos de Sustentabilidade**, v. 11, n. 4, p. 66-81, 2020.

OLIVEIRA, L. S.; SILVA, R. A.; MOURA, L. C. Sustentabilidade e legislação ambiental na produção de cachaça artesanal. **Revista Verde de Agroecologia**, v.14, n.2, p. 210-220, 2019.

OLIVEIRA, R. S. et al. Inovações tecnológicas no processo de destilação da cachaça. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.40, n.1, p. 55-64, 2020.

OLIVEIRA, V. S. et al. Gestão ambiental na produção de cachaça artesanal. **Revista Engenharia Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 201-214, 2018.

PASCOAL FILHO, W.; REGINA, S. B. **Produção de cachaça de alambique**. Belo Horizonte: EMATER-MG, [s.d.].

PEREIRA, Marcelo Castro; ALQUINI, Fernanda; GÜNTHER, Wanda MR. Fertirrigação com vinhaça, aspectos técnicos, ambientais e normativos. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, v. 18, 2009.

ROCHA, G. J. M.; GOMES, F. J. B. Aplicações industriais do bagaço de cana: da energia à produção de novos materiais. **Química Nova**, v.40, n.5, p. 552-562, 2017.

SANEAMENTO BÁSICO. Estudo mostra potencial da biodigestão anaeróbica da vinhaça na geração de biogás. Saneamento Básico, 2024. Disponível em: <https://saneamentobasico.com.br/acervo-tecnico/estudo-biodigestao-anaerobica/>. Acesso em: 25 ago. 2025.

SANHAÇU. **Cachaça Sanhaçu: sustentabilidade e energia solar**. Recife: Sanhaçu Orgânicos, 2022.

SANTOS, E. L.; FERREIRA, D. P. Resíduos da agroindústria da cachaça: desafios e soluções. **Revista Interdisciplinar de Sustentabilidade**, v. 4, n. 1, p. 90-107, 2019.

SCHNEIDER, Cristina Fernanda et al. Formas de gestão e aplicação de resíduos da cana-de-açúcar visando redução de impactos ambientais. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 5, p. 2, 2012.

SEBRAE. **Boas práticas ambientais na produção de cachaça artesanal**. Brasília: SEBRAE, 2022.

SEBRAE. **Produção sustentável de cachaça: oportunidades e desafios**. Brasília: SEBRAE, 2022.

SILVA, A. C.; LIMA, T. J.; MORAES, F. Impactos ambientais da queima do bagaço de cana e alternativas de mitigação. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, v.25, n.2, p. 88-101, 2021.

SILVA, Aldeni Barbosa da; SANTOS, Karina Maria Souza dos; MONTEIRO, Gabriella Vitória Batista; VITAL, José et al. Aspectos morfo-fisiológicos e importância energética da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **ResearchGate**, 2025. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-7-Bagaço-de-cana-de-acucar-para-a-producao-de-energia-Fonte-VITAL-2025_fig4_393922090. Acesso em: 25 ago. 2025.

SILVA, J. A.; PEREIRA, L. A.; SOUZA, R. M. Tratamento de efluentes na produção de cachaça artesanal. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.24, n.3, p. 477-486, 2019.

SOUZA, R. C.; MORAES, M. F.; FIGUEIREDO, P. M. Sustentabilidade e uso de madeiras no envelhecimento da cachaça. **Revista Biodiversidade**, v.17, n.3, p. 150-162, 2018.

SOUZA, V. H.; LIMA, P. F. Geração de biogás a partir do vinhoto na produção de cachaça. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.10, n.2, p. 130-144, 2021.

WEBER HAUS. **Relatório de sustentabilidade da Cachaçaria Weber Haus**. Ivoti: Weber Haus, 2023.

SOBRE OS AUTORES E AS AUTORAS

Angela Lima Meneses de Queiroz

Engenheira de Alimentos, Mestra e Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Atua como Técnica de Laboratório do Departamento de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira do CTDR/UFPB. Desenvolve pesquisas em operações unitárias, desenvolvimento de produtos a partir de subprodutos da indústria sucroenergética e controle de qualidade.

Camila Santiago Saraiva

Engenheira de Alimentos, Mestra e Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Atua como Técnica de Laboratório do Departamento de Tecnologia de Alimentos do CTDR/UFPB. Desenvolve pesquisas em cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE/HPLC) aplicada à determinação de compostos bioativos, controle de qualidade de produtos à base de cafeína e desenvolvimento de novos produtos lácteos.

Cláudia Gouveia Rodrigues

Engenheira de Alimentos, Mestra em Ciência e Tecnologia de Alimentos e Doutora em Engenharia de Processos pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Atua como Técnica de Laboratório do CTDR/UFPB, com experiência em desenvolvimento de produtos alimentícios, controle de qualidade e tecnologias aplicadas à indústria de alimentos.

Clóvis Gouveia da Silva

Engenheiro de Alimentos, Mestre em Engenharia Agrícola e Doutor em Engenharia de Processos pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). É Técnico em Agropecuária e Coordenador Técnico do Laboratório de Análises e Pesquisas de Bebidas Alcoólicas do CTDR/UFPB. Desenvolve pesquisas nas áreas de processos fermentativos, desenvolvimento de produtos e tecnologias aplicadas à produção de bebidas alcoólicas.

Edivaldo Alexandre Bezerra da Silva

Tecnólogo em Produção Sucroalcooleira pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e mestrando em Engenharia Química. Atua como microbiologista, desenvolvendo pesquisas nas áreas de microbiologia industrial, análises físico-químicas e métodos analíticos aplicados ao setor sucroenergético.

Eduardo Leite Vieira

Licenciado em Química pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e mestrando em Química pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Professor da Escola Cidadã Integral Elaine Soares Brasileiro. Desenvolve atividades nas áreas de ensino de Química, educação ambiental e divulgação científica.

Erika Adriana de Santana

Engenheira Química pela Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), Mestra e Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Professora do Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional da Universidade Federal da Paraíba (CTDR/UFPB). Atua nas áreas de operações unitárias, tecnologia sucroenergética e análises físico-químicas de açúcar, com ênfase nos padrões estabelecidos pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA).

Hebert Henrique Souza Lima

Químico Industrial, Mestre em Engenharia Civil e Ambiental e doutorando em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Técnico de Laboratório do CTDR/UFPB, atua em pesquisas voltadas às operações unitárias da indústria sucroenergética, tecnologias aplicadas à produção de açúcar, etanol e cachaça, e ao aproveitamento sustentável de resíduos agroindustriais para o desenvolvimento de materiais e soluções inovadoras.

Heloísa Luciana Marinho da Silva

Tecnóloga em Produção Sucroalcooleira pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e mestranda em Engenharia Química. Atua nas áreas de Engenharia das reações químicas e bioquímicas.

Karoliny Brito Sampaio

Nutricionista, Mestra e Doutora em Ciências da Nutrição pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Atua como Técnica de Laboratório do Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA/UFPB), desenvolvendo pesquisas nas áreas de microbiologia de alimentos, segurança alimentar e controle microbiológico.

Márcia Aparecida Cezar

Engenheira Agrônoma, Mestra e Doutora em Agronomia, com área de concentração em Proteção de Plantas, pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Professora Titular da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Desenvolve pesquisas nas áreas de microbiologia, fitopatologia, diagnose e controle alternativo de doenças de plantas e controle biológico de fitopatógenos.

Márcia Helena Pontieri

Bacharela, Mestra e Doutora em Química pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Professora Associada IV da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e pós-doutoranda. Desenvolve pesquisas nas áreas de Química Analítica e Ambiental, com ênfase em qualidade da água e do ar, sustentabilidade, combustíveis sustentáveis de aviação (SAF), análise de ciclo de vida e monitoramento ambiental.

Natasha Carolina Melo Diniz

Engenheira de Alimentos e Mestra em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Atua como Técnica de Laboratório do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional (CTDR/UFPB), desenvolvendo atividades relacionadas a análises reológicas de materiais, aplicação de polímeros celulósicos na produção de álcool em gel e desenvolvimento de produtos panificados com adição de melhoradores de textura.

Sara da Graça Fernandes da Silva

Arquiteta e Urbanista pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), especialista em Arquitetura de Interiores e Lighting Design e em Cidades 4.0: Planejamento Urbano e Tecnologias, ambas pela UNINTER. Mestranda em Ciências e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais (PPCEM), na linha de pesquisa Materiais Cerâmicos: Síntese, Processamento e Aplicações. Desenvolve pesquisas voltadas ao processamento, caracterização e aplicação de materiais cerâmicos, com ênfase em soluções inovadoras e sustentáveis para a Engenharia de Materiais.

Tammyrys Maria de Oliveira Dantas Nascimento

Engenheira de Alimentos, Mestra e Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Desenvolve pesquisas nas áreas de desenvolvimento de produtos, inovação tecnológica e controle de qualidade de alimentos, com atuação voltada à tecnologia de alimentos e processos industriais.

Vanessa Pedro da Silva

Engenheira de Alimentos pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Mestra e Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA/UFPB). Atua como Técnica de Laboratório do Departamento de Gastronomia do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional (CTDR/UFPB). Desenvolve pesquisas nas áreas de Ciência e Tecnologia de Alimentos, cromatografia gasosa, caracterização química e perfil de compostos voláteis em cachaças e outras bebidas alcoólicas.



<i>Título</i>	Do campo ao copo: ciência, tecnologia e qualidade da cachaça
<i>Organizadores</i>	Hebert Henrique Souza Lima Sara da Graça Fernandes da Silva
<i>Projeto de diagramação e Capa</i>	Ana Gabriella Carvalho
<i>Formato/Tamanho</i>	e-book (PDF – 16x256 cm)/ 7,1MB
<i>Tipografia</i>	Crimson Pro
<i>Número de páginas</i>	140

