



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE QUÍMICA BACHARELADO

ANTONIO LEVI FELIZARDO DA SILVA

**A INFLUÊNCIA DAS VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR NA QUALIDADE DA
CACHAÇA**

AREIA

2024

ANTONIO LEVI FELIZARDO DA SILVA

**A INFLUÊNCIA DAS VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR NA QUALIDADE DA
CACHAÇA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de bacharelado em Química da
Universidade Federal da Paraíba – campus II –
como requisito para a obtenção do título de
Bacharel em Química

Orientador: Prof. Dr. Normando Mendes
Ribeiro Filho.

AREIA

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586i Silva, Antonio Levi Felizardo da.

A Influência das variedades de cana-de-açúcar na
qualidade da cachaça / Antonio Levi Felizardo da Silva.

- Areia, 2024.

82 f. : il.

Orientação: Normando Mendes Ribeiro Filho.

TCC (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Cana-de-açúcar. 2. Cultivares. 3. Cachaça. 4.
Qualidade do Produto. I. Ribeiro Filho, Normando
Mendes. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

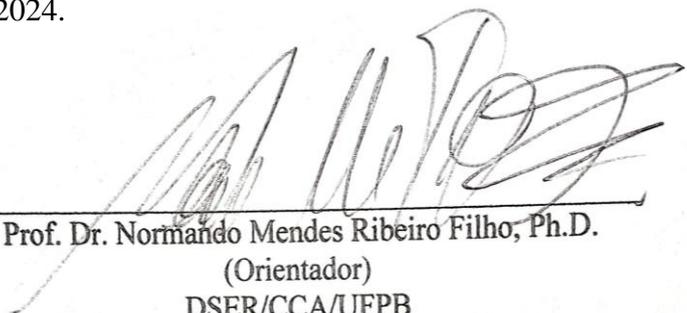
CDU 54 (02)

ANTONIO LEVI FELIZARDO DA SILVA

A INFLUÊNCIA DAS VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR NA QUALIDADE DA
CACHAÇA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso
de bacharelado em Química da Universidade Federal da
Paraíba – campus II – como requisito para a obtenção
do título de Bacharel em Química.

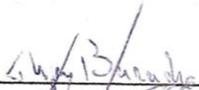
Aprovado em: 09/05/2024.



Prof. Dr. Normando Mendes Ribeiro Filho, Ph.D.
(Orientador)
DSER/CCA/UFPB



Prof. Dr. José Luiz Rufino
(Avaliador 1)
DQF/CCA/UFPB



M.Eng. Thiago Henrique de Albuquerque Baracho
(Avaliador 2)
Responsável técnico do Engenho Triunfo



Prof. Dr. Lucina Rocha Sousa
(Avaliador 3)
DQF/CCA/UFPB

A Deus e seu domínio, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me guiar nas dificuldades da vida, me dando sempre a força necessária para superá-las.

A meu pai, Francisco, e minha mãe, Verônica, verdadeiros pilares que sustentaram minha jornada desde os primeiros passos até os dias presentes. Suas mãos firmes e amorosas sempre estiveram ao meu lado, dando-me coragem para enfrentar todos os desafios que a vida me reservou. Apesar de não terem tido as mesmas oportunidades educacionais que eu, eles me conduziram com um apoio firme e constante, sendo minha âncora em meio às tempestades. Suas histórias de vida, marcadas por lutas e sacrifícios, são minha fonte inesgotável de inspiração. Cada conquista que alcancei e cada obstáculo que superei, devo à sua dedicação incansável e ao exemplo admirável que sempre foram para mim.

Aos meus amigos e segunda família, por todos os momentos que passamos juntos, desde os tristes, até os mais felizes, dentro e fora do convívio universitário, Vanderson, Valdei, Diego, Luan, Emmanuely, Leila, Maria Lacerda, Wanderson, Joselândio, Adônis, Jefferson e Muriel.

Em especial meus parceiros(as) de laboratório Maria Lacerda e Luan que me acompanharam e compartilharam os momentos de maiores exaustão e aprendizagem dentro do laboratório.

Agradeço imensamente ao meu orientador, Normando Mendes Ribeiro Filho, por seu apoio vital durante os momentos mais difíceis da minha graduação. Seus conselhos sábios e seu gesto de companheirismo não apenas me impediram de desistir, mas também iluminaram meu caminho, tanto dentro como fora da UFPB. Normando não foi apenas um orientador, mas também um amigo genuíno, cuja presença e orientação foram essenciais para minha jornada acadêmica e pessoal. Sou profundamente grato por sua dedicação e amizade.

À Luanna Maia, meu amor, expresso minha sincera gratidão por sua presença constante e apoio incondicional ao longo da minha graduação. Sua amizade, companheirismo e fidelidade foram pilares essenciais durante essa jornada, tornando os momentos difíceis mais suportáveis e os momentos felizes ainda mais memoráveis.

Aos os integrantes do LTPA, pois sem eles este trabalho não teria sido realizado, Julia, Wel, Clara, Maysa, sou grato por toda amizade e evolução que tivemos juntos.

“Lute com determinação, abrace a vida com paixão, perca com classe e vença com ousadia, porque o mundo pertence a quem se atreve e a vida é muito para ser insignificante.”

Charlie Chaplin

RESUMO

A cachaça é uma bebida destilada brasileira feita da cana-de-açúcar, uma cultura com vasto potencial industrial. Apesar da produção diversificada de mais de 260 produtos, a cachaça se destaca como uma bebida genuinamente brasileira. Recentemente, houve avanços significativos no controle de qualidade da cachaça. No entanto, a influência das variedades de cana-de-açúcar na produção e qualidade da cachaça ainda não é totalmente compreendida. Este estudo tem por objetivo avaliar a influência das variedades de cana-de-açúcar na qualidade da cachaça. Foram cultivadas onze cultivares de cana-de-açúcar em uma mesma área com características edafoclimáticas e ambientais semelhantes no Centro de Ciências Agrárias/Universidade Federal da Paraíba. O caldo de cana foi extraído e caracterizado. As fermentações foram conduzidas em recipientes de 20 L inoculando 3×10^7 células/mL. As destilações foram realizadas em alambiques de cobre de 20 L, utilizando 10L de vinho de cada variedade. As análises físico-químicas foram realizadas em triplicata. Os resultados revelam que cultivares como RB863129, RB962962, RB851541, RB1443 e RB002754 diferem, significativamente, de cultivares como SP79-1011, RB1754, RB992506, VAT90-212 e RB933509. Dentre todas as cultivares estudadas, a RB933509 se mostrou uma cultivar de colheita tardia. A SP 79-1011 contém o maior número de células de levedura selvagem/mL. A variedade Caiana demonstrou o maior valor de SST no caldo. A SP79-1011 destacou-se pelo maior AR, NR e AT. Para o vinho de cana-de-açúcar a Caiana demonstrou ter a menor concentração de SST, AR, NR, AT, além da maior produção de TA. As variedades RB1754, SP 79-1011 demonstraram as maiores VB do vinho. Nos destilados, a cultivar RB951541 obteve o maior AV, AT. A variedade RB002754 obteve a maior concentração de AF. A RB1754 obteve o maior Teor Alcoolico. A RB1443 obteve a maior concentração de cobre. Para Extrato Seco a SP79-1011 obteve a maior porcentagem e para ET a RB951541 obteve a maior concentração. As cultivares de cana-de-açúcar influenciaram o processo de produção da cachaça, incluindo produtividade e qualidade. Portanto, nossas descobertas são úteis para todas as indústrias que produzem cachaça a partir de diferentes variedades de cana-de-açúcar, para que os produtores possam escolher um genótipo específico de cana-de-açúcar para garantir melhores padrões de produto.

Palavras-chave: cana-de-açúcar; cultivares; cachaça; qualidade do produto.

ABSTRACT

Cachaça is a Brazilian distilled drink made from sugar cane, a crop with vast industrial potential. Despite the diversified production of more than 260 products, cachaça stands out as a genuinely Brazilian drink. Recently, there have been significant advances in the quality control of cachaça. However, the influence of sugarcane varieties on the production and quality of cachaça is not yet fully understood. This study aims to evaluate the influence of sugarcane varieties on the quality of cachaça. Eleven sugarcane cultivars were cultivated in the same area with similar edaphoclimatic and environmental characteristics at the Agricultural Sciences Center/Federal University of Paraíba. The sugarcane juice was extracted and characterized. Fermentations were carried out in 20 L containers inoculating 3×10^7 cells/mL. Distillations were carried out in 20 L copper stills. Physicochemical analyzes were carried out in triplicate. The results reveal that cultivars such as RB863129, RB962962, RB851541, RB1443 and RB002754 differ significantly from cultivars such as SP79-1011, RB1754, RB992506, VAT90-212 and RB933509. Among all the cultivars studied, RB933509 proved to be a late harvest cultivar. SP 79-1011 contains the highest number of wild yeast cells/mL. The Caiana variety demonstrated the highest TSS value in the broth. SP79-1011 stood out for its higher AR, NR and AT. For sugar cane wine, Caiana demonstrated to have the lowest concentration of TSS, AR, NR, AT, in addition to the highest production of TA. The varieties RB1754, SP 79-1011 demonstrated the highest VB in the wine. In distillates, cultivar RB951541 had the highest AV, AT. The RB002754 variety had the highest concentration of AF. RB1754 had the highest alcohol content. RB1443 had the highest copper concentration. For Dry Extract, SP79-1011 obtained the highest percentage and for ET, RB951541 obtained the highest concentration. Sugarcane cultivars influenced the cachaça production process, including productivity and quality. Therefore, our findings are useful for all industries that produce cachaça from different sugarcane varieties so that producers can choose a specific sugarcane genotype to ensure better product standards.

Keywords: sugarcane; cultivars; cachaça; product quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Localização de Areia, na Paraíba, limite entre municípios	17
Figura 2 –	Parque Agroindustrial Usina Santa Maria	18
Figura 3 –	Fluxograma das etapas da produção de cachaça.....	20
Figura 4 –	Partes da Cana-de-açúcar.....	21
Figura 5 –	Carregadeira Motocana, utilizada no carregamento e descarregamento do caminhão transportador de cana.....	23
Figura 6 –	Descarregamento de cana inteira com guindaste Hilo.....	24
Figura 7 –	Gráfico da composição da cana-de-açúcar.....	25
Figura 8 –	Picador de cana.....	25
Figura 9 –	Desfibrador de cana.....	26
Figura 10 –	Esquematização de um terno de Moenda.....	27
Figura 11 –	Esquematização de Embebição.....	27
Figura 12 –	Hidrólise enzimática da sacarose e fermentação alcoólica por ação das enzimas para produção de etanol a partir do caldo da cana-de-açúcar.....	29
Figura 13 –	Esquema de Alambique simples para a produção de cachaça.....	31
Figura 14 –	Coluna de destilação.....	32
Figura 15 –	Curva analítica para determinação de cobre, expressa em mg/L.....	41
Figura 16 –	Índice de Maturação.....	45
Figura 17 –	Leveduras Selvagens.....	47
Figura 18 –	Mapa de calor das análises físico-químicas do caldo de cana-de-açúcar.....	48
Figura 19 –	ACP - Parcela bidimensional de onze caldos de cana-de-açúcar.....	50
Figura 20 –	Mapa de calor das análises físico-químicas do vinho de cana-de-açúcar.....	52
Figura 21 –	Viabilidade Celular.....	54
Figura 22 –	ACP - Parcela bidimensional de onze vinhos de cana-de-açúcar.....	55
Figura 23 –	Mapa de calor das análises físico-químicas das cachaças.....	59
Figura 24 –	ACP - Parcela bidimensional de onze cachaças.....	63
Figura 25 –	ACP - Parcela bidimensional de onze caldos, onze vinhos e onze cachaças....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índice de Maturação.....	36
Tabela 2 – Valores obtidos da absorvância expressos em média e o resultado da concentração.....	41
Tabela 3 – Resultados das Análises Físico-químicas do caldo de cana-de-açúcar.....	48
Tabela 4 – Matriz de correlação (Pearson (n)) entre 9 parâmetros obtidos de 11 caldos-de-cana.....	50
Tabela 5 – Resultados das análises físico-químicas do vinho de cana-de-açúcar.....	52
Tabela 6 – Matriz de correlação (Pearson (n)) entre 9 parâmetros obtidos de 11 vinhos-de-cana.....	56
Tabela 7 – Resultados das análises físico-químicas das cachaças.....	57
Tabela 7 – Resultados das análises físico-químicas das cachaças (continuação).....	58
Tabela 8 – Matriz de correlação (Pearson (n)) entre 10 parâmetros obtidos de 11 cachaça.....	63
Tabela 9 – Correlação dos componentes principais (PCA) do caldo, vinho e cachaça.....	67

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 HISTÓRICO DO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL	13
2.2 VARIEDADES DE CANA-DE-AÇUCAR NO BRASIL	14
2.4 AREIA E A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR ATÉ OS DIAS ATUAIS	16
2.5 PROCESSO DE PRODUÇÃO DA CACHAÇA	19
2.5.1 Colheita da cana-de-açúcar, transporte, pesagem e descarrego	20
2.5.2 Preparo da cana-de-açúcar antes da extração do caldo	22
2.5.3 Moagem	24
2.5.4 Filtração, Decantação	25
2.5.5 Fermentação	26
2.5.6 Destilação	27
2.6 PARAMÊTROS FÍSICO-QUÍMICA DO CALDO, VINHO E CACHAÇA	29
2.6.1 Sólidos solúveis totais	29
2.6.3 Açúcares totais, redutores e não redutores	29
2.6.3 Teor alcoólico/Densidade	30
2.6.4 pH	31
2.6.5 Acidez total, volátil e fixa	31
2.6.6 Cobre	32
2.6.6 Extrato Seco	33
2.6.3 Aldeídos	33
2.6.4 PCA	34
3 METODOLOGIA	34
3.1 PROCESSO DE PRODUÇÃO DA CACHAÇA	34
3.2 ÍNDICE DE MATURAÇÃO	35
3.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICAS DO CALDO, VINHO E CACHAÇA	36
3.3.1 Determinação Sólidos Solúveis Totais	36
3.3.2 Determinação Açúcares Totais, Redutor e Não Redutor	36
3.3.3 Determinação Teor Alcoólico	37
3.3.4 Determinação pH	38
3.3.5 Determinação Acidez Total, Volátil e Fixa	38
3.3.6 Determinação Densidade	39
3.3.7 Determinação de Cobre	40
3.3.8 Determinação de Ésteres Totais	41
3.3.9 Determinação de Aldeídos Totais	42
3.4 CONTAGEM DE LEVEDURAS SELVAGENS E VIABILIDADE CELULAR	43
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1 ÍNDICE DE MATURAÇÃO POR VARIEDADE DE CANA-DE-AÇUCAR	45
4.2 CONTAGEM DE LEVEDURAS POR VARIEDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR	46
4.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO CALDO DE CANA-DE-AÇUCAR	47
4.3.1. Análises dos componentes principais (PCA) do caldo de cana-de-açúcar	49
4.4 ANÁLISE FÍSICO QUÍMICA DO VINHO DE CANA-DE-AÇUCAR	51
4.4.1 Viabilidade Celular	Erro! Indicador não definido.
4.4.2 Análises de componentes principais (PCA) do vinho de cana-de-açúcar	54
4.5 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DA CACHAÇA	56
4.5.1 Análises de componentes principais (PCA) da cachaça	62

4.6 ANÁLISES DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) DO CALDO, VINHO E CACHAÇA	64
REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

A produção de cachaça está intrinsecamente ligada à cana-de-açúcar, um recurso agrícola fundamental no Brasil, tanto historicamente quanto economicamente. A cana-de-açúcar é fundamental para movimentar a economia e a indústria no país. Dessa forma, é possível observar a grande importância que o transporte canavieiro possui para fazer com que derivados cheguem até a mesa do consumidor. Além do álcool combustível e do açúcar, tradicionais, importantes derivados da planta, existem outros produtos que são feitos a partir da cana, como por exemplo: aguardente, cachaça, rapadura entre outros (Edufu, 2020).

A qualidade da cachaça é influenciada pelos diferentes cultivares ou genótipos de cana-de-açúcar utilizados em sua produção, afetando diretamente suas características sensoriais e químicas. As cultivares de cana-de-açúcar resultam de cruzamentos de espécies ou outras cultivares e se adaptam a diferentes solos, clima e ambiente. Com isso, esses fatores influenciam a composição química e a maturação das plantas de cana-de-açúcar (Rosa et al. 2009; Lima et al. 2022). A cana-de-açúcar é uma cultura tropical que se desenvolve bem em climas quentes com temperaturas entre 18 e 35°C (Rossato et al. 2013). As cultivares de cana-de-açúcar contêm 75 a 89% de água e 11 a 25% de sólidos solúveis (incluindo carboidratos, aminoácidos, minerais, vitaminas e lipídios). O caldo de cana contém glicose, frutose e sacarose como açúcares primários (Rosa et al. 2009; Martini et al. 2010). Uma cultivar de cana-de-açúcar com má adaptação pode gerar baixa concentração de sólidos solúveis e afetar negativamente o rendimento e a qualidade da cachaça (Vilela et al. 2021).

A qualidade da cachaça é diretamente influenciada pela qualidade da cana-de-açúcar utilizada em sua produção, sendo que fatores como o tipo de solo, clima e variedade da planta podem impactar profundamente o perfil sensorial e químico do produto final (Machado, 2012). Para garantir a excelência do produto, é essencial monitorar e controlar as características físico-químicas e a presença de compostos indesejáveis ao longo das etapas de produção, visando não apenas aprimorar sua qualidade sensorial, mas também evitar possíveis riscos à saúde humana (Viana, 2016).

As produções de cachaça precisam reestruturar seus canaviais devido aos avanços genéticos e descobertas de novas variedades de cana-de-açúcar que apresentam melhor adaptabilidade a diversas condições climática com alto rendimento, produtividade, remoção eficiente da palha, resistência ao tombamento, resiliência a pragas, insetos e doenças (Ravaneli et al. 2006). A utilização dos novos cultivares tem influenciado, significativamente, os

pequenos produtores, fazendo com que suas práticas de cultivos sejam atualizadas devido a necessidade de garantir a qualidade e rendimento da cachaça (Martini et al 2010).

Recentemente, além dos avanços das práticas de campos, houveram avanços, significativos, quanto as práticas indústrias. Ambas as práticas influenciaram nas características de produção e qualidade da cachaça. No entanto, a influência das variedades de cana-de-açúcar na produção e qualidade da cachaça ainda não é totalmente compreendida. Este estudo tem por objetivo avaliar a influência das variedades de cana-de-açúcar na qualidade da cachaça. Antecipamos, que as descobertas descritas neste estudo contribuem para um melhor entendimento dos fatores que influenciam a qualidade da cachaça e pode ser utilizada por produtores para desenvolver novos produtos com valor agregado de alta qualidade para diferentes nichos de mercado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 HISTÓRICO DO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL

Ao analisar a história da cana-de-açúcar no Brasil, percebe-se uma estreita conexão com a própria narrativa do país, desde os primeiros momentos de sua descoberta até os dias atuais. As primeiras mudas de cana-de-açúcar foram trazidas da Ilha da Madeira, em Portugal, no século XIV, por Martim Afonso de Souza, o qual desempenhou um papel crucial na construção do primeiro engenho brasileiro na cidade de São Vicente – São Paulo, no ano de 1532. (“A História da Cana-de-açúcar – Da Antiguidade aos Dias Atuais”, [s.d])

No entanto, foi na região Nordeste do Brasil que os engenhos de produção de açúcar se proliferaram, transformando o país no principal produtor mundial já durante o século XV e continuando até o século XVII. Devido a considerações logísticas, muitos desses engenhos surgiram ao longo da costa brasileira, o que facilitou o transporte da produção e agilizou a entrega do produto final aos mercados consumidores. Com o objetivo de aumentar ainda mais a produção e incorporar avanços tecnológicos no processamento da cana-de-açúcar, alguns desses engenhos cresceram e se transformaram em grandes usinas produtoras de açúcar (Mattos et al.; 1942).

Atualmente, o Brasil ostenta a posição de maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, com a região Sudeste liderando a produção, seguida pela região Centro-Oeste e a região Nordeste. A Paraíba se destaca como o terceiro maior produtor de cana-de-açúcar entre os estados do Nordeste, tanto em termos de área plantada quanto de produtividade, conforme apontado pelo primeiro levantamento da safra 2023/24 da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2023).

A extensão das plantações de cana-de-açúcar abrange 26 cidades na faixa litorânea, com a microrregião do Brejo Paraibano contribuindo significativamente para a produção estadual (Paraíba total, 2014). Dentre essas cidades, Areia se destaca notavelmente devido à sua significativa produção de cachaça, já que grande parte da cana-de-açúcar cultivada na região é direcionada para a fabricação desse destilado apreciado.

2.2 VARIEDADES DE CANA-DE-AÇUCAR NO BRASIL

Diversas instituições e programas dedicaram-se ao aprimoramento genético da cana-de-açúcar, desempenhando papéis significativos na criação de variedades mais produtivas e resistentes a doenças, conforme destacado por Cursi et al (2021). Atualmente, o país conta com um total de 244 cultivares registradas, sendo notáveis as contribuições das variedades RB (82), CTC (43), SP (33), IAC (38) e outras (48). Essas cultivares foram desenvolvidas com foco na maximização da produtividade, resistência a doenças e eficiência energética (“5 Variedades de cana-de-açúcar mais cultivadas no Brasil - Agroadvance”, 2023)

Com base nos dados do Censo IAC, as cinco variedades mais amplamente cultivadas na última safra, são: RB867514, RB966929, CTC4, RB922579 e CTC9001. Destas, a variedade RB922579 se destaca, ocupando 8% da área total com cana-de-açúcar na Safra 2021/2022, sendo especialmente predominante na região Norte-Nordeste, onde representa impressionantes 41,8% da área de cultivo de cana.

As cultivares de cana-de-açúcar resultam de cruzamentos de espécies ou outras cultivares e se adaptam a diferentes solos, clima e ambiente. Com isso, esses fatores influenciam a composição química e a maturação das plantas de cana-de-açúcar. O constante aprimoramento das variedades de cana é crucial, permitindo aos produtores incrementar sua eficiência, reduzir perdas e contribuir para uma indústria mais sustentável, já dizia Rosa et al e Lima et al. (2022).

A evolução observada nas variedades de cana ao longo das décadas é reflexo da busca incessante por maior produtividade, resistência a doenças e adaptabilidade a diversas condições de cultivo, como dizia Ravaneli et al. (2006). Esse comprometimento contínuo com o desenvolvimento genético contribui para fortalecer a posição do Brasil como um líder na produção de cana-de-açúcar e seus derivados, promovendo a sustentabilidade e eficiência no setor sucroenergético (Martini et al. 2010).

2.3 HISTÓRIA DO SURGIMENTO DA CACHAÇA NO BRASIL

Diversas versões disputam a origem da cachaça no Brasil, mas a mais antiga remonta ao estado de Pernambuco, onde a lenda sugere que um escravo inadvertidamente deixou fermentar um caldo grosso e escuro, conhecido como "cagaça", resultante da fervura do caldo de cana. Posteriormente, o líquido evaporou e formou gotas no teto do engenho, as quais foram experimentadas pelos escravos famintos, revelando um sabor surpreendente (Feijó; Maciel, 2002).

Contudo, a versão mais amplamente aceita da origem da cachaça é defendida pelo historiador Cascudo (1986), que afirma que a primeira destilação ocorreu em meados de 1532, em São Vicente, coincidindo com a criação do primeiro engenho de açúcar.

Feijó e Maciel (2002, p. 13) descrevem esta história quase de forma lúdica, a respeito:

Os primeiros colonizadores desta terra apreciavam a bagaceira portuguesa e o vinho do Porto. A agricultura dos canaviais, inicialmente, destinava-se apenas à produção de açúcar e rapadura. Mas, num belo ou chuvoso dia, num engenho da Capitania de São Vicente, entre 1532 e 1548, aconteceu o inevitável. Alguém resolveu experimentar a *cagaça* [...] de aparência repugnante, ela era retirada com escumadeiras dos tachos e jogada nos cochos de madeira ao relento. Aí, o surpreendente. A *cagaça* fermentava dentro dos cochos e se transformava num caldo ao alcance dos animais que lá iam bebê-lo mui prazerosamente. Se não fazia mal aos bichos, muito pelo contrário, parecia alegrá-los. por que não experimentar só um pouquinho? [...] Moral da história? Quem provou, gostou. Do gosto e mais ainda do efeito da bebida.

Destacando que os primeiros colonizadores apreciavam a bagaceira portuguesa e o vinho do Porto, e que a cana-de-açúcar inicialmente destinava-se apenas à produção de açúcar e rapadura. No entanto, a experiência acidental com a "cagaça" transformou-a em um caldo apreciado, que passou a ser utilizado como um estimulante nas plantações de cana, beneficiando os donos de engenho (Curto, 2002). A cachaça não apenas encontrou seu lugar nos barracões, mas também nos grandes casarões dos senhores de engenho, conquistando a elite da época. Isso levou o governo português a tentar proibir a comercialização da bebida em várias ocasiões, devido ao declínio do consumo de vinho português em favor da cachaça. A insatisfação dos produtores lusitanos com a valorização da cachaça levou à sua proibição em 1679, embora tenha sido uma medida efêmera, durando apenas cerca de 5 meses, segundo Caetano (2003). Assim, fica claro que a cachaça sempre exerceu e continua a exercer um papel significativo na vida cotidiana do Brasil, moldando aspectos culturais e econômicos. Foi a bebida escolhida por D.

Pedro I para brindar a Independência do Brasil e também foi celebrada pelo ex-presidente Fernando Henrique Cardoso durante as comemorações dos 500 anos de descobrimento (Sebrae, 2008).

2.4 AREIA E A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR ATÉ OS DIAS ATUAIS

O crescimento de certas áreas altamente urbanizadas atualmente é resultado da incorporação, em seu passado, de culturas como o cultivo da cana-de-açúcar, o que impulsionou um notável progresso em seu momento histórico e ainda continua a ser uma fonte economicamente viável nos dias de hoje.

De acordo com Nascimento (2007, p.16):

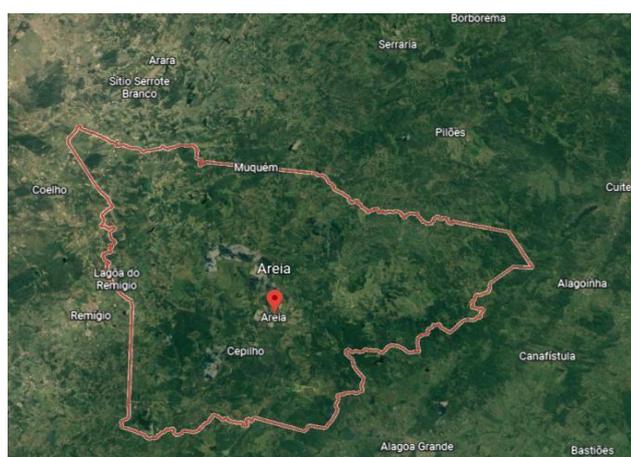
Para entender a organização espacial da região Nordeste, é necessário realizar um resgate histórico do seu processo de ocupação, oriundo do período colonial, o qual promoveu a formação sócio territorial de suas áreas produtoras de cana-de-açúcar: Zona da Mata Pernambucana e Recôncavo Baiano.

Na Paraíba, essa cultura foi introduzida por meio da Capitania de Itamaracá, que deu origem ao território atual do estado. A partir do final do século XVI, essa cultura começou a ser desenvolvida nas áreas litorâneas e gradualmente se expandiu para o interior do estado, tornando-se uma importante fonte de riqueza para a economia paraibana. Nesse período, o açúcar era o principal produto derivado dessa cultura, como mencionado por Nascimento (2007, p.47). A qualidade do açúcar produzido na região foi um fator chave para o sucesso da Capitania da Parahyba em 1574. Entretanto, com o tempo, muitos passaram a processar a cana-de-açúcar não apenas para a produção de açúcar, mas também para a obtenção de outros produtos, como rapadura e aguardente. A região conhecida como "brejeira" já era uma grande produtora de rapadura, açúcar e aguardente desde o início do século XX, especialmente nos municípios de Alagoa Grande, Areia e Bananeiras. Os senhores de engenho desempenhavam um papel significativo naquela época, contribuindo para o povoamento de várias localidades e impulsionando a economia, garantindo meios de subsistência para os trabalhadores da região. (Macedo; Moraes, 2008)

A cidade de Areia é um exemplo notável de como a cultura do cultivo de cana-de-açúcar sempre influenciou o cenário local e contribuiu para a formação de aspectos históricos. Areia, situada no planalto da Borborema, a uma altitude de 618 metros acima do nível do mar, desfruta de um clima predominantemente úmido e temperaturas amenas na maior parte do ano. Além

disso, seu solo argiloso profundo, característico de terras férteis, tornou-a uma escolha ideal para a implantação de engenhos produtores de cachaça e o cultivo de cana-de-açúcar, desde o início. A presença desses pequenos engenhos de rapadura e cachaça na região de Areia é o resultado de sua localização privilegiada desde o início, e isso contribuiu significativamente para seu valor histórico e cultural, conforme destacado por Dantas (2004).

Figura 1 - Localização de Areia, na Paraíba, limite entre municípios.



Fonte: Google Earth (2024).

Areia sempre foi conhecida por ser uma região onde diversas culturas foram cultivadas ao longo de sua história, incluindo algodão, cana-de-açúcar, café, agave e, por fim, a pecuária. No entanto, a cana-de-açúcar, de todas as culturas, sempre foi a de maior destaque, persistindo como uma cultura intermitente ao longo dos anos. Pode-se compreender que a cidade de Areia deve sua prosperidade aos pioneiros que impulsionaram a economia da época, centrada no processamento da cana-de-açúcar e seus produtos derivados, como cachaça e rapadura, como mencionado por Almeida (1994). Inicialmente, a ocupação do brejo paraibano consistia em pequenas plantações para subsistência, evoluindo para o cultivo de cana-de-açúcar para atender a uma crescente demanda, impulsionada pelo surgimento dos primeiros engenhos. O município de Areia registra a existência do engenho Bolandeira desde 1764, conforme descrito por Almeida (1994).

Areia experimentou um período de grande prosperidade na segunda metade do século XIX devido à expansão dos engenhos de açúcar (Almeida, 1958). Muitos engenhos surgiram, solidificando a posição da cidade como um centro de produção de produtos derivados da cana-de-açúcar. No entanto, essa dinâmica mudou com o surgimento da usina "Santa Maria" no

município, em 1931, localizada no que hoje é o Distrito de Santa Maria. A instalação da usina trouxe desenvolvimento, riqueza e uma grande quantidade de empregos diretos e indiretos. No entanto, o número de engenhos diminuiu, uma vez que muitos passaram a fornecer cana-de-açúcar para a usina (Almeida, 1994).

O complexo do parque agroindustrial Santa Maria (Figura 2) só voltaria a permitir o surgimento de novos proprietários de engenhos no início da década de 1990, quando o sistema de incentivo governamental conhecido como Proálcool chegou ao fim. No entanto, o parque agroindustrial enfrentou desafios para implementar a mecanização da colheita devido ao terreno acidentado e ao desgaste das terras devido a práticas inadequadas de manejo, entre outros fatores de gestão que contribuíram para a queda do império açucareiro da época. (“Areia, ontem e hoje: Usina Santa Maria” 2016)

Figura 2 - Parque Agroindustrial Usina Santa Maria.



Fonte:<https://areiaontemehoje.blogspot.com/2016/12/em-virtude-da-grande-opportunidade.html>

Hoje, na região que antes abrigava a grande indústria, vemos apenas ruínas, incluindo o armazém onde o açúcar era armazenado, a imponente chaminé em razão de seu tamanho e os casarões e edifícios que ainda beneficiam os moradores que se estabeleceram na área. Eles agora vivem uma nova realidade centrada na cultura da banana e nas divisões de terras resultantes da reforma agrária. De acordo com Almeida (1958), a região de Areia tinha mais de cem engenhos no final do século XIX, mas esse número reduziu em 20% na década de 1950. A situação piorou significativamente no final da década de 1990, quando a redução no número de engenhos foi superior a 90% (Almeida, 1994).

Atualmente a cidade de Areia conseguiu reinventar-se por meio da cultura da cana-de-açúcar, introduzindo modernização em seus engenhos, tecnologia avançada em suas áreas de cultivo e evitando depender inteiramente da venda de seus produtos. A cidade agora vive uma nova era de prosperidade, impulsionada pela produção de cachaça e, por consequência, pelo turismo que é o motor por trás do seu progresso. Um exemplo disso é o projeto "Caminho dos Engenhos", uma atividade realizada em algumas propriedades que tem crescido a cada ano. Isso não apenas atrai turistas para conhecer a região, mas também gera um impacto positivo, estimulando o desenvolvimento de restaurantes, bares, pousadas e outros negócios relacionados. ("Caminho dos engenhos é roteiro das cachaças de alambique – Destino Paraíba. Muito Mais que Sol e Mar", 2019)

Em 19 de abril de 2021, Areia ganhou destaque nacional e internacional ao ser reconhecida, de acordo com a Lei nº 11.873, como a "Capital Paraibana da Cachaça". Esse título é de grande importância para a cidade, atraindo turistas de todo o Brasil interessados em visitar seus engenhos e apreciar as diversas cachaças produzidas na região. Esses visitantes frequentemente levam consigo várias garrafas como presentes para amigos e familiares, destacando a relevância desse reconhecimento para a economia local e o turismo. Hoje, a cachaça em Areia é responsável por girar boa parte da economia da região, influenciando aspectos culturais e fazendo com que esta iguaria se torne cada vez mais destaque no cenário local, regional, nacional e mundial, pois recentemente uma das cachaças produzidas na cidade foi premiada com o selo de melhor cachaça do mundo (Parabaja, 2022).

2.5 PROCESSO DE PRODUÇÃO DA CACHAÇA

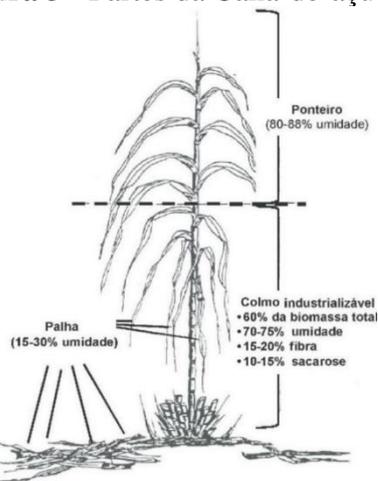
O processo de produção da cachaça abrange diversas etapas cruciais, que vão desde a escolha do tipo de cana até o engarrafamento. Cada fase, como a época certa da colheita, o tempo de moagem, os ingredientes e a duração da fermentação, além da forma de destilação e o envelhecimento em tonéis específicos, contribui para a qualidade final do produto (Cabral; Kremer; Trossini, 2006). Muitas vezes, o consumidor ao degustar uma dose de cachaça não imagina o quanto de fatores e variáveis estão envolvidos na produção daquela bebida. São essas etapas que garantem a qualidade final, e um controle rigoroso em cada uma delas é essencial para garantir a melhor processamento da matéria-prima e a presença mínima de contaminantes (Martini et al.; 2010). Cada engenho, destilaria ou usina tem seu próprio método de fabricação da cachaça, desde a mão-de-obra mecanizada ou manual nos canaviais até a destilação em

diferentes tipos de equipamentos. No entanto, o objetivo comum é sempre o mesmo: assegurar a qualidade do produto final, em conformidade com os padrões estabelecidos pelos órgãos de fiscalização.

2.5.1 Colheita da cana-de-açúcar, transporte, pesagem e descarrego

São necessárias diversas diretrizes para garantir a produção de cachaça de alta qualidade, incluindo a seleção de variedades de cana-de-açúcar que se adaptem bem ao solo, clima e período de safra da região. Além disso, é essencial que os procedimentos de colheita sejam executados com precisão, visando minimizar a presença de impurezas e minerais, os quais podem prejudicar a qualidade e o teor de açúcar no caldo. (Embrapa, 2022). A cana-de-açúcar contém quatro componentes: colmo, palmito (ponteiro), folhas verdes e folhas (Figura 3). Na produção de cachaça, a parte essencial a ser levada para a indústria é o colmo, que contém o açúcar necessário para o processo de fermentação e destilação. (Landell, 2010).

Figura 3 - Partes da Cana-de-açúcar.



Fonte: MATSUOKA *et al.* (2012).

O corte da cana-de-açúcar pode ser realizado por métodos mecanizados ou manual. Na Paraíba, o corte mecanizado é característico da mesorregião do litoral, pois serem áreas planas de fácil mecanização (Scopinho *al.* 1999). Por outro lado, o corte manual é característico da mesorregião do agreste paraibano, por serem áreas mais acidentadas. A colheita, pode ser feita por método mecanizado, semimecanizado ou tração animal. A eficiência de corte e colheita tem relação com a variedade da cana-de-açúcar, pois algumas apresentam facilidade de despalha e menor dureza devido à menor quantidade de lignina que facilita o corte. Porém, variedades de cana-de-açúcar que não apresentam fácil despalha e maior dureza (maior quantidade de lignina

na estrutura) podem requerer queima para facilitar o corte (Thiago e Vieira 2002). Porém, para produção de cachaça, apesar de facilitar a despalha, aumentar a eficiência do corte manual, afastar animais peçonhentos do local, auxiliar na redução de pragas da cultura e minimizar acidentes, a queima da cana-de-açúcar não é recomendada. Pois, resulta na formação de substâncias como furfural e hidroximetilfurfural no caldo da cana, comprometendo a fermentação e a qualidade do produto final (Vitti e Mazza 2002). Adicionalmente, a queima retira a camada serosa do colmo causando aberturas ou fissuras que favorecem o desenvolvimento de bactérias e outros microrganismos deterioradores do colmo; assim como, a exposição da sacarose presente nos colmos da cana-de-açúcar a altas temperaturas durante a queima compromete rapidamente sua estrutura, resultando em perda de sacarose (Godshall et al, 2000; Eggleston et al. 2001, Larrahondo 1997). Portanto, para produção de cachaça, recomenda-se que a cana-de-açúcar seja cortada crua. Após corte e colheita, a cana é transportada para a indústria por transportes de carga incluindo caminhões, bitrens ou treminhões.

Figura 4 - Carregadeira Motocana, utilizada no carregamento e descarregamento do caminhão transportador de cana.

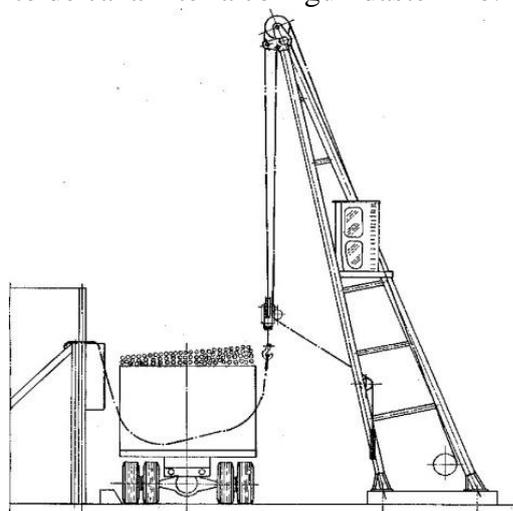


Fonte: motocana.com.br

O processo de chegada e descarregamento da cana-de-açúcar na indústria para a produção de cachaça é uma etapa crucial, onde a pesagem e registro de dados são essenciais para garantir a precisão e transparência nas transações. Segundo a Embrapa (2022), o caminhão que chega com a cana-de-açúcar deve ser pesado duas vezes, antes e depois do descarregamento, para determinar o peso da carga e a "Tara" do veículo. A determinação da massa da cana-de-açúcar é vital para diversos aspectos da indústria açucareira. Essa informação é crucial não apenas para o pagamento aos fornecedores, mas também para cálculos relacionados ao processamento, como o rendimento do caldo e a produção por hora (Silva et

al.; 2016). O método de descarregamento da cana varia entre as indústrias, sendo predominantes a "Motocana" e o guindaste "Hilo" (Figura 5). A "Motocana" é mais lenta e propensa a danificar a matéria-prima, enquanto o "Hilo" oferece uma abordagem moderna e eficiente, capaz de processar grandes quantidades de cana sem comprometer sua qualidade. Esse sistema, conforme destacado pela Embrapa (2022), não só agiliza o processo de transporte, reduzindo perdas e contaminação, mas também proporciona benefícios financeiros aos fornecedores, demonstrando a importância de escolher métodos eficazes para otimizar a produção de cachaça.

Figura 5 - Descarregamento de cana inteira com guindaste Hilo.

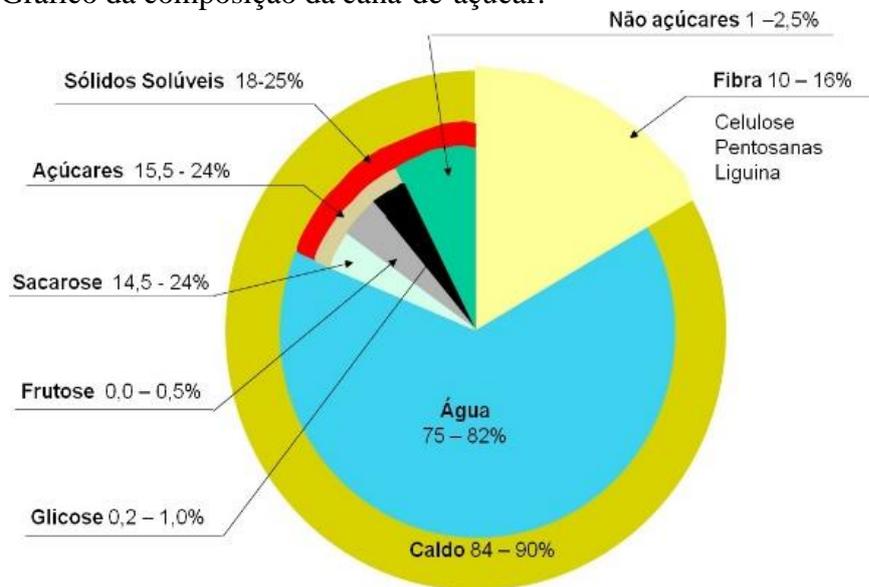


Fonte: CTC (1999).

2.5.2 Preparo da cana-de-açúcar antes da extração do caldo

A cana-de-açúcar é essencialmente formada por caldo e fibra. Um colmo de cana madura contém de 10-16% de fibra e de 84-90% de caldo (Figura 6). Além disso, ele possui aproximadamente 25% de partes duras, que incluem nós e cascas, e 75% de partes moles, que consistem nas partes internas dos meristemas (Castro e Andrade, 2006). A extração do caldo da cana requer pressões extremamente elevadas, pois os açúcares estão adsorvidos nas células da cana, portanto, protegido pelas paredes de tecidos fibrosos rígidos da cana-de-açúcar.

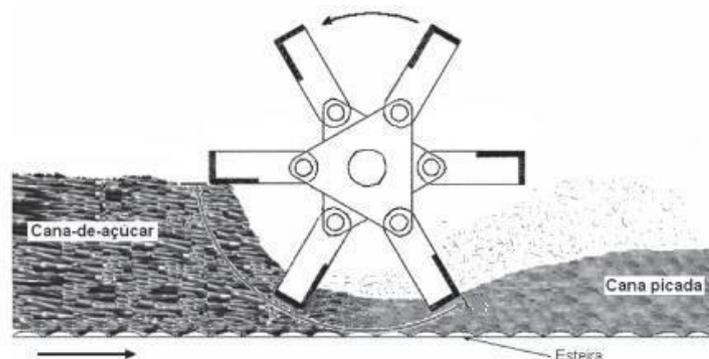
Figura 6 – Gráfico da composição da cana-de-açúcar.



Fonte: http://www.usinasaofernando.com.br/conteudo_site.asp?tipoID=3

Para facilitar a extração do caldo das partes duras da cana, é necessário prepará-la de forma que facilite a extração das partes mais macias (entre-nos) na etapa seguinte. Para isso, é essencial romper os tecidos duros, a fim de tornar o esmagamento mais eficaz nos sulcos das moendas na etapa subsequente. Portanto, após a cana ser limpa pelos jatos de água da mesa alimentadora, ela é conduzida por uma esteira para ser picada em pedaços menores. Nesta etapa, um picador equipado com facas metálicas (Figura 7) desempenha essa função, preparando a cana para evitar problemas na estrutura do desfibrador (Figura 8) na etapa seguinte.

Figura 7 - Picador de cana.

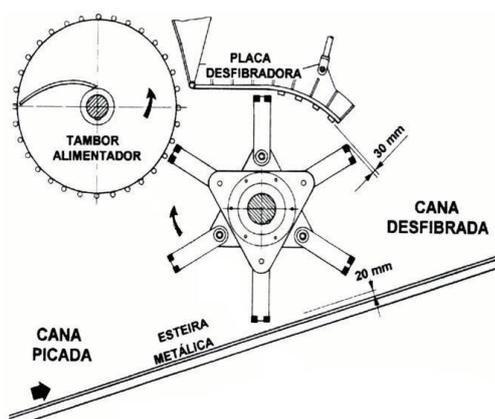


Fonte: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-2242010000200003

O desfibrador tem a função de desfibrar os pedaços menores de cana, expondo as fibras que contêm o caldo de cana para a próxima etapa, que é a extração, feita passando pelas moendas. É importante destacar que quanto menores forem os problemas na estrutura da cana

como um todo, menores serão os danos à estrutura das máquinas usadas na extração do caldo. Isso possibilita maior eficiência em todo o processo e reduz as perdas de sacarose. A eficiência da extração do caldo de cana está diretamente relacionada à qualidade da picagem e desfibragem da cana (Nogueira e Venturini Filho, 2005, Palácio, 2021).

Figura 8 - Desfibrador de cana.

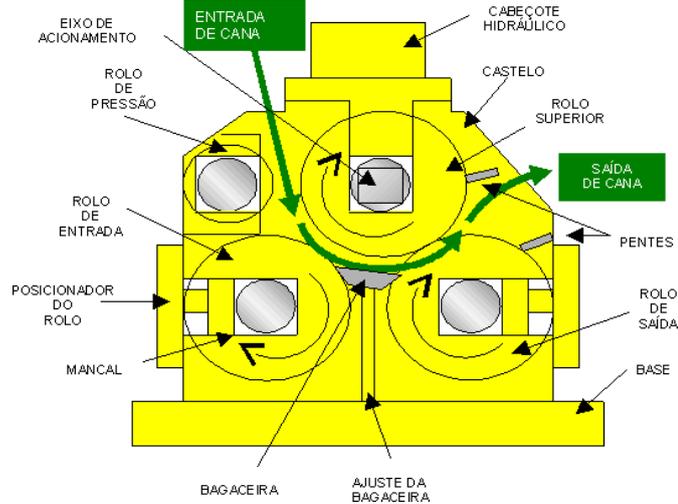


Fonte: <http://www.fatecc.com.br/eadmoodle/tecnicoacucarealcool/tecnologiaacucarealcool2.pdf>

2.5.3 Moagem

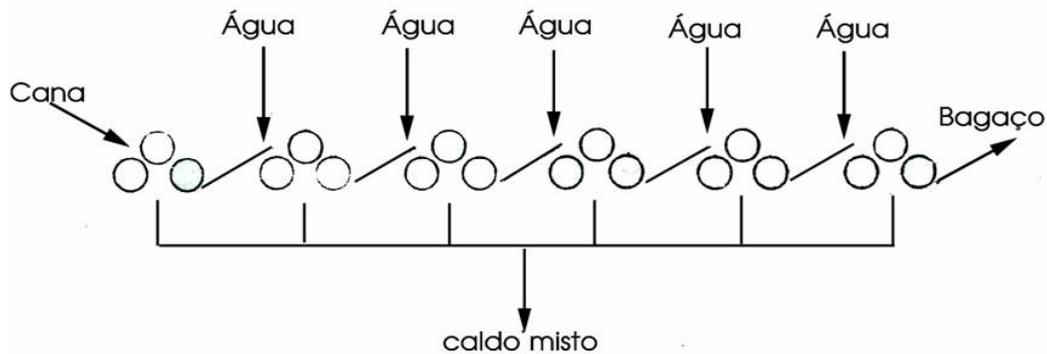
A moagem separa o caldo da fibra da cana-de-açúcar. O processo utiliza uma moenda de quatro rolos, com três pressões, facilitadas pela bagaceira (Figura 9). Mais de uma moenda, chamada ternos de moendas, é comumente usada para recuperar o açúcar dissolvido na garapa, armazenado nos tecidos de reserva dos colmos da cana (Venturini Filho, 2010). Quanto mais ternos de moenda, maior será a extração de caldo de cana, o que resultará em um maior rendimento de caldo, elevando também a produção do destilado e produto final. A fibra da cana, ao passar por cada um dos ternos de moenda, que podem variar de 1 a 5, sofre embebição com água (Figura 10), que tem por finalidade diluir a sacarose contida no bagaço, aumentando ainda mais a extração do açúcar, o que pode alcançar de 80% a 92% de extração.

Figura 9 - Esquematização de um terno de Moenda.



Fonte: Ribeiro (2003).

Figura 10 - Esquematização de Embebição.

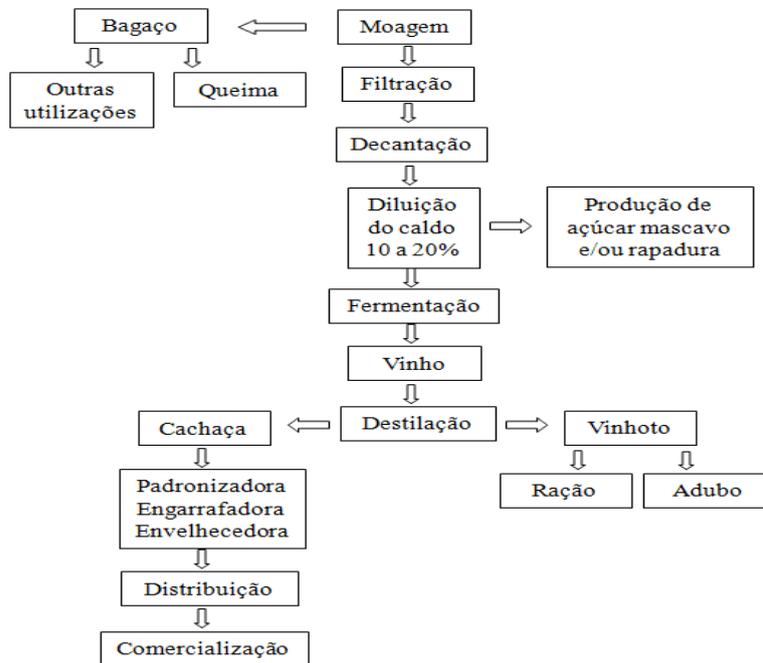


Fonte: <http://www.fatecc.com.br/eadmoodle/tecnicoacucarealcool/tecnologiaacucarealcool2.pdf>

2.5.4 Filtração, Decantação

O caldo de cana ao ser extraído é direcionado para etapas seguintes que irão filtrar e decantar o caldo, tendo como finalidade deixar a garapa o mais limpa possível, minimizando assim, os focos de infecções, e produtos que sejam indesejáveis para a qualidade da bebida. Assim, o caldo de cana passa a ser reconhecido como mosto, e estará apto para inoculação das leveduras (Lima et al.; 2001; Venturini Filho, 2010).

Figura 11 – Fluxograma das etapas da produção de cachaça.

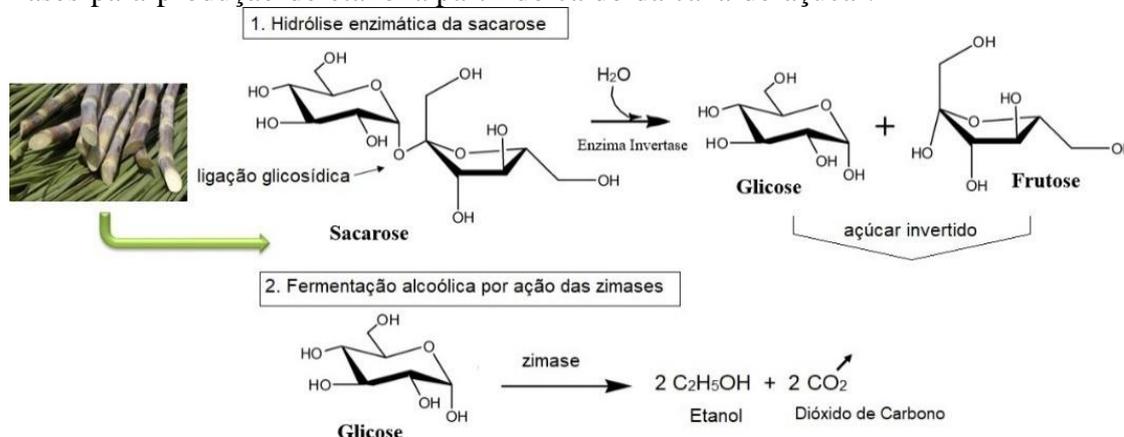


Fonte: SAKAI, 2006, adaptado.

2.5.5 Fermentação

No processo de fabricação da cachaça, a fermentação é essencial, sendo a *Saccharomyces cerevisiae* amplamente utilizada devido à sua resistência e capacidade fermentativa (Briggs et al.; 2004; Martini et al.; 2010; Duarte et al.; 2013; Ribeiro-Filho et al.; 2021). A fermentação alcoólica do mosto de cana-de-açúcar é um processo complexo que envolve a hidrólise da sacarose em glicose e frutose, seguida pela conversão desses açúcares em etanol e dióxido de carbono através da ação de enzimas presentes nas leveduras (Fig.12) (Rodrigues et al.; 2000). Fatores como concentração de etanol, temperatura, pH e contaminação bacteriana podem afetar significativamente o processo fermentativo, destacando a importância do controle dessas variáveis para garantir a qualidade e produtividade do produto final (Sonogo, 2016; Peisino, 1986; Daré, 2008). O monitoramento adequado do processo fermentativo é crucial para evitar contaminações e assegurar o término da fermentação, geralmente identificado pela redução dos Sólidos Solúveis Totais (Brix^o) e presença de álcool (Peisino, 1986; Daré, 2008).

Figura 12 - Hidrólise enzimática da sacarose e fermentação alcoólica por ação das zimases para produção de etanol a partir do caldo da cana-de-açúcar.

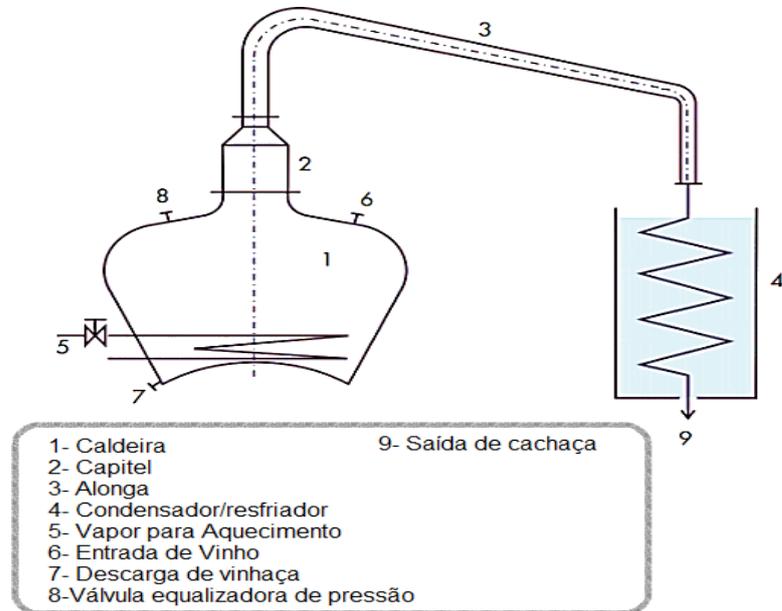


Fonte: produzido e adaptado de (Rodrigues *et al.*; 2000; Santos, 2021).

2.5.6 Destilação

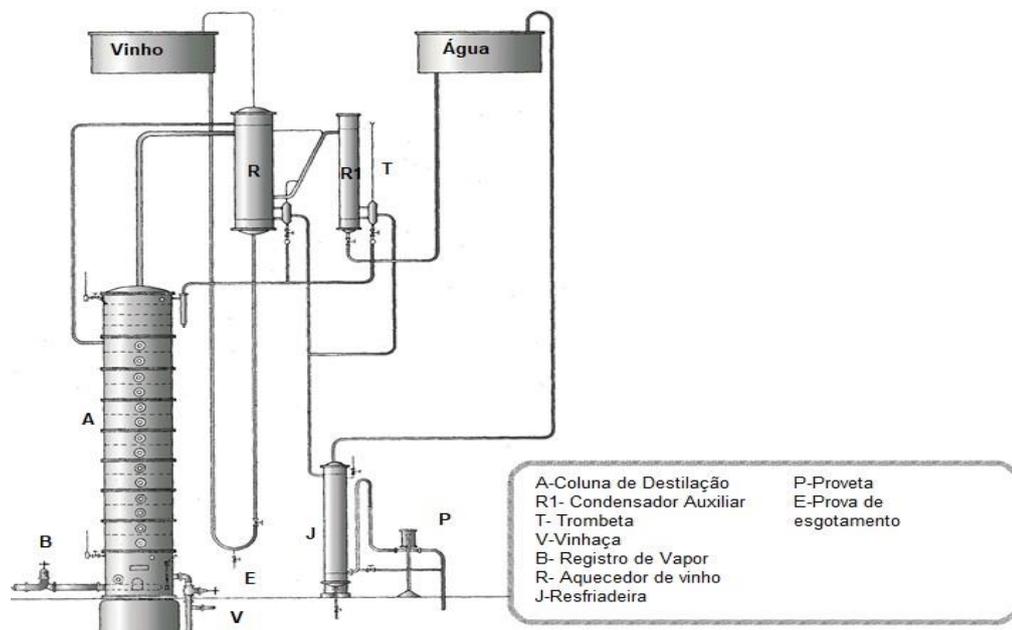
A destilação do mosto de cana fermentado, para produção de aguardente ou cachaça, é conduzida de duas maneiras: destilação simples em alambiques de cobre e destilação sistemática em colunas de inox (Alcarde et al.; 2012). Durante o processo, substâncias voláteis são separadas com base em seus pontos de ebulição, resultando na produção da cachaça e na vinhaça utilizada como fertirrigação (Alcarde et al.; 2012). A destilação simples envolve a evaporação lenta do destilado em uma caldeira (Figura 13), enquanto a destilação sistemática é contínua em colunas de destilação (Figura 14), permitindo uma produção em larga escala (Faria, 2000). O destilado é dividido em frações, com a "cabeça" contendo substâncias voláteis mais leves, seguida pelo "coração," a fração principal, e a "cauda," com substâncias menos voláteis (Alcarde et al.; 2012). Na destilação sistemática, o vinho é alimentado continuamente na parte superior da coluna, passando por bandejas internas, enquanto vapores contendo álcool são separados e coletados na parte superior (Ribeiro, Blumer, Horii, 1999). O destilado resultante pode ser diluído, adoçado e filtrado antes do engarrafamento, com teores alcoólicos variando conforme a finalidade (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2021).

Figura 13 - Esquema de Alambique simples para a produção de cachaça.



Fonte: adaptado de (Alcarde, 2017), p. 5

Figura 14 - Coluna de destilação.



Fonte: Adaptado de Stupiello, (1992).

2.6 PARAMÊTROS FÍSICO-QUÍMICA DO CALDO, VINHO E CACHAÇA

Na produção de cachaça, os principais constituintes são a água e o álcool, porém, alguns outros compostos, denominados componentes secundários, também estão presentes e são encontrados em concentrações relativamente baixas no destilado (Miguel, 2015). Esses componentes secundários são produzidos principalmente durante a fermentação do mosto e posteriormente são selecionados durante o processo de destilação. Eles pertencem a várias classes funcionais, incluindo ácidos, ésteres, aldeídos e álcoois, e podem também conter impurezas, como a presença de cobre (Wani et al.; 2023). A quantidade desses compostos secundários está sujeita à regulamentação do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que estabelece os padrões de identidade e qualidade para o destilado.

2.6.1 Sólidos solúveis totais

Os sólidos solúveis totais da cana-de-açúcar são compostos por uma variedade de substâncias solúveis, incluindo açúcares, ácidos orgânicos, sais minerais e outras substâncias solúveis. Os principais compostos encontrados nesses sólidos incluem sacarose (açúcar), glicose, frutose, ácidos orgânicos como o ácido cítrico e málico, além de diversos sais minerais como potássio, cálcio, magnésio e fósforo (Diniz et al.; 2005; da Silva et al.; 2007). Além de ser crucial para determinar a qualidade, concentração e composição de diversos produtos, fornecendo informações valiosas sobre características como sabor, textura e estabilidade. No contexto da indústria alimentícia, por exemplo, a análise dos sólidos solúveis totais é essencial para garantir a consistência e o padrão de qualidade dos produtos finais.

2.6.3 Açúcares totais, redutores e não redutores

Os açúcares totais representam a soma de todos os açúcares presentes em uma amostra, incluindo tanto os redutores quanto os não redutores (Embrapa, 2022). Os açúcares redutores são aqueles que têm a capacidade de reduzir íons metálicos, como os íons de cobre em testes químicos, devido à presença de grupos funcionais que podem participar em reações de oxirredução, como os grupos aldeído ou cetona (Rizzon, 2010).

Em contrapartida, os açúcares não redutores não possuem esses grupos funcionais, portanto não apresentam essa capacidade de reação. Os principais tipos de açúcares redutores (AR) são a

glicose e a frutose, ambos monossacarídeos que possuem grupos funcionais aldeído ou cetona, permitindo-lhes reduzir íons metálicos (Nelson & Cox, 2008). Já os açúcares não redutores (ANR) podemos citar a sacarose, um dissacarídeo composto por glicose e frutose unidas por uma ligação glicosídica (Voet et al.; 2016). A determinação dos açúcares totais, redutores e não redutores é fundamental em diversas áreas, especialmente na indústria alimentícia, onde influenciam diretamente no sabor, textura e valor nutricional dos produtos.

2.6.3 Teor alcoólico/Densidade

A determinação da concentração de etanol em misturas de água e etanol é comumente realizada por meio da alcoometria, que envolve a medição da densidade (Araújo, 2019). O título alcoométrico volumétrico de uma mistura de água e álcool é definido como a quantidade de volume de etanol, à temperatura de 20°C, presente em 100 volumes dessa mistura à mesma temperatura, expresso em % (v/v) ou °INPM. Por outro lado, o título alcoométrico ponderal é representado pela relação entre a massa de etanol contida na mistura e a massa total da mesma, expresso em °GL (grau Gay Lussac). (Genz et al, 2017; Andrade et al, 2002; Anvisa, 2020).

O teor alcoólico é uma propriedade de extrema importância na classificação da cachaça. De acordo com a legislação em vigor no Brasil a cachaça deve atender a limites específicos de teor alcoólico para ser designada como tal. A cachaça deve ter um teor alcoólico entre 38% e 48% para ser rotulada como tal, enquanto a aguardente deve situar-se na faixa de 38% a 54% (Brasil, 2021). A graduação alcoólica da cachaça é determinada pela porcentagem volumétrica de álcool presente na bebida, conforme Marinho, Rodrigues e Siqueira (2009). Esse teor alcoólico está diretamente relacionado à quantidade de água resultante do processo de destilação. Caso seja necessário, essa quantidade de água pode ser ajustada para garantir a conformidade com os padrões de graduação alcoólica estabelecidos. Portanto, a verificação do teor alcoólico é fundamental para diferenciar a cachaça da aguardente, bem como para garantir que os produtos atendam aos limites legais e possam ser rotulados corretamente. Isso é crucial para assegurar a autenticidade do produto e sua adequação ao consumo autorizado (Silva, 2022).

A densidade em relação ao teor alcoólico está relacionada à medição da concentração de álcool em uma solução, frequentemente usada na produção e análise de bebidas alcoólicas, como vinho, cerveja e destilados. A densidade é uma propriedade física que descreve a quantidade de massa por unidade de volume em uma substância, e sua relação com o teor

alcoólico é fundamental para a indústria de bebidas e a regulamentação de produtos alcoólicos (Hiraifarma, 2012).

A relação entre densidade e teor alcoólico é frequentemente usada na produção de bebidas alcoólicas para monitorar a fermentação e calcular o teor alcoólico exato da bebida final. Além disso, órgãos regulatórios em muitos países estabelecem padrões para a densidade e o teor alcoólico de produtos alcoólicos, o que é importante para garantir a precisão das informações fornecidas aos consumidores e a conformidade com a legislação. Portanto, a densidade desempenha um papel fundamental na produção e na regulamentação de bebidas alcoólicas.

2.6.4 pH

O pH, um parâmetro essencial no processo de produção da cachaça, e desempenha um papel crítico na qualidade do destilado, semelhante ao que ocorre com a acidez volátil na bebida, pois refere-se também ao nível de acidez ou alcalinidade presente no caldo, vinho de cana e, cachaça final (Volpe, 2013). O pH variar durante as etapas de produção, seu controle é fundamental para garantir a obtenção de uma cachaça de alta qualidade, pois tem influência na experiência sensorial do consumidor, afetando o sabor e aroma da bebida. Portanto, o equilíbrio adequado desse parâmetro é crucial para evitar sabores indesejados (Costa, 2024).

2.6.5 Acidez total, volátil e fixa

A acidez total é uma medida que representa a soma de todos os ácidos presentes em uma solução, que são os ácidos voláteis e os não voláteis (Rizzon, 2010). A acidez volátil, representa a concentração de ácido acético, é o componente predominante da fração ácida, desempenha um papel fundamental na determinação do nível de acidez da cachaça, assim como, na percepção de ardência na garganta ou no odor do destilado (Ribeiro-Filho et al. 2021). Cachaça com alta acidez total e volátil são indesejáveis para a qualidade da cachaça, pois não são bem aceitos por consumidor por gerar ardência elevada no paladar (Miranda 2005). Embora a acidez volátil contribua para as características sensoriais das bebidas destiladas, este não é o único fator que influencia a qualidade da cachaça.

Acidez fixa representa os compostos ácidos orgânicos não voláteis (incluindo ácido cítrico, ácido láctico, ácido succínico, ácido málico e ácidos graxos de cadeia curta e média).

Portanto, as variações de acidez fixa podem estar conectadas a influência da fermentação, tempo de destilação, e tipos de madeiras de envelhecimento (Campos et al, 2004). Durante a fermentação, a formação de ácidos não voláteis está conectada ao ciclo de Krebs (Ribeiro-Filho et al. 2021). Já o tempo de destilação influencia na formação de compostos devido à catálise destes influenciada pela presença do cobre (estrutura do alambique) (Ribeiro-Filho et al. 2021, Parazzi et al.; 2008). Adicionalmente, acidez fixa pode ser influenciada pelo aumento da concentração de compostos lignificados provenientes da madeira durante o envelhecimento. Como consequência, a acidez fixa é um parâmetro de controle importante, pois indica a presença de compostos que influenciam na composição do sabor da bebida.

2.6.6 Cobre

O cobre desempenha um papel crucial na produção de cachaça. Este metal é essencial na fabricação de alambiques, os equipamentos utilizados para destilar a cachaça (Lima et al. 2022; Bortoletto 2023). O uso do cobre durante o processo de destilação é fundamental, pois o metal atua como um catalisador de diversas reações químicas que contribuem para a qualidade e o sabor característico da cachaça. Além disso, o cobre auxilia na remoção de compostos indesejados, como enxofre (dimetil sulfeto) e outros elementos voláteis, que podem conferir aromas desagradáveis à bebida (Alcarde et al. 2014; Silvello et al. 2021).

2.6.4 Ésteres

Os ésteres são compostos químicos responsáveis pelo aroma característico e agradável da cachaça, muitas vezes lembrando o aroma de frutas. A presença desses ésteres em pequenas quantidades contribui para a complexidade do aroma da bebida, tornando-a mais agradável ao olfato (Ricardo, 2017). Os ésteres são, aroma positivos, gerados durante o processo de fermentação e destilação (Pedro et al. 2023). Ésteres gerados durante a fermentação são divididos em dois grupos tais como ésteres de acetato (incluindo acetato de etila, acetato de isoamila e acetato de isobutila) e éster de ácidos graxos (incluindo hexanoato de etila, octanoato de etila e decanoato de etila) (Meilgaard, 2001). Durante a fermentação, ésteres são produzidos pela condensação de ácidos graxos de cadeia média ativados por acétil Coa com etanol. As concentrações de ésteres variam amplamente nas bebidas alcoólicas. Durante a destilação, ésteres resultam da reação de esterificação entre o ácido acético com ácidos graxos de cadeia curta e média (Ribeiro-Filho 2020, Meilgaard, 2001). Todos os ésteres geram aromas agradáveis que podem variar entre frutados (maçã, banana e abacaxi), adocicado (doce, mel e

melaço), cítricos, e florais (Ribeiro-Filho et al. 2021). De acordo com a portaria em vigor, os limites estabelecidos para ésteres totais na cachaça são de 150 mg de acetato de etila por 100 mL de álcool anidro (Brasil, 2022). Essa regulamentação visa controlar os níveis de acetato de etila na cachaça para garantir um equilíbrio entre seus componentes de aroma e sabor, criando uma bebida agradável e sensorialmente equilibrada.

2.6.6. Extrato Seco

O extrato seco é o parâmetro que indica a quantidade total de compostos não-voláteis presentes na cachaça (incluindo ácidos orgânicos não voláteis, minerais e compostos fenólicos). Vale salientar que o extrato seco contém os ácidos fixos e, conseqüentemente, um aumento na concentração de ácidos fixos tem influência direta na concentração do extrato seco. Portanto, as variações de extrato seco e acidez fixa podem estar conectadas a influência da fermentação, tempo de destilação, e tipos de madeiras de envelhecimento (Campos et al.; 2004). A cachaça recém-destilada possui teores de extrato seco menores do que após descanso, pois a destilação é um processo de separação por ponto de ebulição. Portanto, o descanso da cachaça, após destilação, faz com que os seus compostos se homogeneizem gerando uma bebida mais equilibrada. Adicionalmente, as cachaças, quando descansadas e/ou envelhecidas em barris de madeira, contém uma quantidade maior do teor de extrato seco devido ao aumento de compostos fenólicos e derivados da lignina da madeira. Portanto, à medida que um destilado passa mais tempo em armazenado em barris de madeira, seu teor de extrato seco tende a aumentar influenciando a cor, o sabor e a qualidade da cachaça (Pinheiro 2010).

2.6.3. Aldeídos

Os aldeídos, álcoois superiores e ácidos graxos de cadeia curta são compostos formados durante a fermentação alcoólica via o caminho metabólico de Ehrlich, onde as leveduras consomem aminoácidos presentes no mosto gerando estes compostos que são precursores de ésteres (Hazelwood et al, 2008). O aldeído mais produzido durante a fermentação alcoólica é o acetaldeído, sendo gerado através da rota metabólica de formação do etanol (Ribeiro-Filho et al. 2021, Cardoso, 2001, Maia, 1994). Portanto, o acetaldeído é o precursor do etanol. Adicionalmente, o acetaldeído, não convertido à etanol, tende à oxidar gerando ácido acético devido ao efeito Crabtree (Ribeiro-Filho et al, 2021). A presença de acetaldeído em altas concentrações é frequentemente percebida por consumidores, podendo causar um odor forte e indesejáveis. Por outro lado, quantidades de acetaldeído um pouco acima do seu thershold (>20

g/L) podem atribuir a bebida aromas frutados (Pedro et al. 2023, Piggott e Conner, 2003). De acordo com a portaria em vigor os limites estabelecidos para ésteres totais na cachaça são de 30 mg de acetaldeído por 100 mL de álcool anidro (Brasil 2022). Essa regulamentação visa controlar os níveis de acetaldeído na cachaça para garantir a qualidade do produto com aromas agradáveis.

2.6.4. PCA

PCA, ou Análise de Componentes Principais, é uma ferramenta estatística crucial para simplificar conjuntos de dados complexos, especialmente aqueles com muitas variáveis. Ele opera transformando as variáveis originais em um novo conjunto de variáveis chamadas componentes principais, que são combinações lineares das variáveis originais. Esses componentes principais são organizados por sua variância, de modo que o primeiro componente captura a maior quantidade possível de variância nos dados, o segundo componente captura a segunda maior quantidade de variância e assim por diante. PCA é comumente empregado para reduzir a dimensionalidade dos dados, facilitar a visualização e também pode ser utilizado como uma etapa de pré-processamento para outras análises estatísticas (Varella, 2008).

3 METODOLOGIA

3.1 PROCESSO DE PRODUÇÃO DA CACHAÇA

O estudo foi conduzido utilizando 30 kg de cada variedade de cana-de-açúcar, compreendendo onze variedades diferentes, sendo elas: RB1443, RB962962, RB951541, RB002754, RB863129, RB93509, RB992506, RB1754, SP 79-1011, VAT90- 212, provenientes do Sítio Chã de Jardim, situado nas proximidades da cidade de Areia – PB e Caiana foi retirada de uma propriedade privada, situada na cidade de Areia – PB. A execução do estudo foi realizada no Laboratório de Tecnologia de Produtos Agropecuários (LTPA), instalado na Universidade Federal da Paraíba/UFPB, no Centro de Ciências Agrárias (CCA), Campus II – Areia, Paraíba.

Após a colheita da cana-de-açúcar, o índice de maturação (IM) das variedades utilizadas foi avaliado. Em seguida, os materiais foram transportados para o laboratório e submetidos ao processo de extração de caldo. O caldo cana-de-açúcar foi extraído individualmente de cada variedade usando uma moenda (B120, Motor Elétrico 2cv Monofásico Correia e Chave) e filtrado usando uma peneira. Após a extração, foi avaliado o número total de leveduras (cel/mL)

do caldo e 1 litro de caldo de cada variedade foi congelado para realização das análises físico-químicas.

As fermentações foram conduzidas em dornas com capacidade 20 L inoculando 3×10^7 células/mL (*Saccharomyces cerevisiae*) à 15°brix à 30°C. Ao final da fermentação, também foram separados 1 litro de vinho de cada variedade para realização da análises físico-químicas.

Após a finalização do processo fermentativo, o vinho foi descansado por 2 horas para que as leveduras decantassem, separando-as do vinho de cana-de-açúcar. As destilações foram conduzidas de forma individual para cada variedade de cana-de-açúcar. Para isso, foram coletados 10 L do vinho produzido a partir de cada variedade, os quais foram então destilados em um alambique com capacidade de 20L. As destilações foram separadas nas frações cabeça (10%, v:v), coração (80%, v:v), e cauda (10%, v:v) e cada fração foi armazenada em um recipiente de vidro, esterilizado. A fração coração, de cada variedade, foi submetida a análises físico-químicas.

3.2 ÍNDICE DE MATURAÇÃO

Os índices de maturação (IM) das variedades de cana-de-açúcar são avaliados de acordo com os teores de sacarose entre as partes extremas de seus colmos (Tab. 1) (EMBRAPA, 2022). São classificadas como cana precoce (IM de 0,85 – 1, \approx 8 meses), média (IM de 0,85 – 1, \approx 12° mês) e tardia (IM de 0,85 – 1, > 12 meses) (PEDRO et al, 2023). Adicionalmente, de acordo com o IM a cana-de-açúcar pode ser identificada como cana verde, cana em processo de maturação, cana madura e cana em eclínio de Sacarose (Tabela 1).

$$IM = \frac{\text{Brix ponta do colmo}}{\text{Brix base do colmo}} \quad (\text{Equação 1})$$

Fonte: Embrapa, 2022.

Tabela 1: Índice de Maturação

<0,6	Cana Verde
0,6 – 0,85	Cana em processo de maturação
0,85 – 1	Cana Madura
>1	Declínio de Sacarose

Fonte: Adaptado da EMBRAPA, 2023.

3.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICAS DO CALDO, VINHO E CACHAÇA.

Os parâmetros analisados foram: Sólidos Solúveis Totais, Açúcares Totais, Açúcares Redutores, Açúcares Não Redutores, Teor Alcolóico, pH, Acidez Total, Acidez Fixa, Acidez Volátil, Densidade, Extrato Seco, Cobre e Ésteres Totais (LUTZ, 2008).

3.3.1. Determinação Sólidos Solúveis Totais

A determinação de sólidos solúveis totais por sacarímetro foi realizada através da medição da densidade relativa da amostra. O sacarímetro foi inserido na amostra e sua posição na escala graduada foi lida. Os resultados foram expressos em graus °Brix, fornecendo uma medida da concentração de sólidos solúveis totais na amostra.

3.3.2. Determinação Açúcares Totais, Redutor e Não Redutor

As soluções de Fehling A e Fehling B são preparadas para identificar a presença de açúcares redutores em uma amostra. Para a preparação da solução de Fehling A, dissolve-se sulfato de cobre (II) pentahidratado em água destilada, adicionando-se ácido tartárico para acidificar a solução. A solução de Fehling B é feita dissolvendo-se hidróxido de sódio e tartarato de sódio e potássio em água destilada. Ambas as soluções são ajustadas para 500 mL e armazenadas em recipientes âmbar.

3.3.2.1 Quantificação dos açúcares redutores

Para determinar açúcares redutores, a amostra é titulada em uma solução de Fehling A e B, utilizando azul de metileno como indicador. O ponto final da titulação é indicado pela mudança de cor para vermelho tijolo.

$$AR \left(g \cdot \frac{glicose}{100mL} \right) = \frac{100 * 100 * 0,05}{10 * Vg} \quad (\text{Equação 2})$$

Vg - Volume gasto da amostra

3.3.2.2 Quantificação dos açúcares não redutores

Para açúcares não redutores, a determinação é feita a partir da adição de ácido clorídrico (P.A.) à amostra, seguida por um período de aquecimento de 40 minutos. Em seguida, a amostra é neutralizada com NaOH 40%, até que atinja o pH 7. As soluções de Fehling A e B são adicionadas em um Erlenmeyer e é realizada a titulação com o mosto. Durante a titulação, o azul de metileno é usado como indicador e o fim da titulação se dá pela mudança da cor para vermelho tijolo.

$$ANR \left(g \cdot \frac{sacaroso}{100mL} \right) = \left(\frac{100 * 100 * 0,05}{10 * Vg} \right) * 0,95 \quad (\text{Equação 3})$$

Vg - Volume gasto da amostra

3.3.2.3 Quantificação dos açúcares totais

Os açúcares totais são a soma dos açúcares redutores e não redutores presentes na amostra.

$$AT \left(\frac{g}{100mL} \right) = AR + ANR \quad (\text{Equação 4})$$

AT – Açúcares totais, AR – Açúcares Redutores, ANR – Açúcares Não Redutores

3.3.3. Determinação Teor Alcólico

O teor alcoólico foi determinado pelo método que se baseia na avaliação da densidade relativa da solução, realizado através da leitura direta da densidade ou em graus Gay Lussac

(°GL), utilizando um alcoômetro centesimal (Alcoômetro de Gay Lussac). Este instrumento é específico para a determinação do teor alcoólico ou da força real de misturas de água e álcool, indicando apenas a concentração de álcool em volume.

3.3.4. Determinação pH

A determinação do pH envolve a preparação cuidadosa da amostra, seguida pela calibração do pHmetro usando soluções tampão de pH específicas para garantir a precisão das medições. Uma vez calibrado, o eletrodo do pHmetro é inserido na amostra e o valor do pH é registrado quando a leitura se estabiliza, fornecendo uma medida da acidez ou basicidade da solução. A interpretação dos resultados é fundamental, com valores de pH abaixo de 7 indicando acidez, valores acima de 7 indicando basicidade e um pH de 7 sendo neutro. No presente trabalho, foi utilizado o pHmetro (Mod. Luca-210P - MS TECNOPON®).

3.3.5 Determinação Acidez Total, Volátil e Fixa

3.3.5.1 Acidez Total:

Para a cachaça, foi utilizado o método 221/IV, que se baseia na titulação de neutralização dos ácidos com solução padronizada de NaOH 0,1 M, utilizando como indicador a fenolftaleína até o ponto de equivalência. A acidez total é expressa em mg de ácido acético por 100 mL de amostra (LUTZ, 2008). Para o caldo e vinho de cana-de-açúcar, a titulação é feita com solução padronizada de NaOH 0,5 M, utilizando a fenolftaleína como indicador, até o ponto de equivalência. A acidez total é expressa em mg de ácido acético por 100 mL da amostra (LUTZ, 2008).

A equação para determinar a quantidade de Acidez total presente, está expressa abaixo:

$$AC\left(\frac{mg \text{ ac. acético}}{100mL}\right) = \frac{Vg \text{ NaOH} * M * 60}{10 * Va} \quad (\text{Equação 5})$$

Vg – Volume gasto NaOH, M – Molaridade do NaOH, 60 – Massa Molar do Ac. Acético,

Va – Volume da amostra.

3.3.5.2 Acidez Fixa:

Para a determinação da acidez fixa foi utilizado o método 222/IV, onde é realizado a evaporação da amostra, seguida de uma titulação dos ácidos residuais com NaOH 0,1 M. A acidez fixa é expressa em mg de ácido acético por 100 mL de amostra (LUTZ, 2008). A equação para determinar a quantidade de acidez fixa presente, está expressa abaixo:

$$AC\left(\frac{mg \text{ ac. acético}}{100mL}\right) = \frac{Vg \text{ NaOH} * M * 60}{10 * Va} \quad (\text{Equação 6})$$

Vg – Volume gasto NaOH, M – Molaridade do NaOH, 60 – Massa Molar do Ac. Acético, Va – Volume da amostra.

3.3.5.3 Acidez Volátil:

Para a determinação da acidez volátil utilizou-se o método 223/IV, descrito por Lutz (2008), no qual a quantificação é realizada pela diferença entre a acidez total e a acidez fixa da cachaça, podendo assim o resultado obtido ser expresso em mg de ácido acético por 100 mL de álcool anidro. A equação para determinar a quantidade de Acidez volátil presente, está expressa abaixo:

$$AV\left(\frac{mg \text{ a. anidro}}{100mL}\right) = \frac{AT - AF}{G} \quad (\text{Equação 7})$$

AT = Ácidos Totais, AF = Ácidos Fixos, G = Graduação Alcoólica

3.3.6 Determinação Densidade

Medição da densidade com um alcoômetro para as cachaças:

Para determinar a densidade de uma amostra líquida, segue-se este procedimento: primeiramente, enche-se um cilindro graduado com a amostra até que o alcoômetro esteja completamente submersa. Em seguida, insere-se o alcoômetro na amostra, garantindo a ausência de bolhas de ar e que ele flutue livremente. O alcoômetro é girado suavemente para liberar quaisquer bolhas de ar na superfície. Quando a flutuação estabiliza, lê-se a escala graduada no ponto em que o nível da amostra intersecta o alcoômetro. A leitura é anotada, correspondendo à densidade da amostra, geralmente expressa em unidades específicas como Gay-Lussac (°GL).

Medição da densidade com um sacarímetro (°Brix):

Para determinar a densidade no caldo e no vinho de cana-de-açúcar, insere-se o sacarímetro na amostra, garantindo que esteja livre de bolhas de ar e que flutue livremente. O sacarímetro é girado suavemente para liberar quaisquer bolhas de ar que possam estar presas na superfície. Quando a flutuação estabiliza, lê-se a escala graduada no ponto em que o nível da amostra intersecta o sacarímetro. Anota-se essa leitura, que corresponde ao teor de sólidos solúveis (SS) contidos na amostra, expresso em °Brix. A partir dos valores de SS, mensuramos a densidade da amostra usando tabelas de correlação entre SS e densidade (Anexo B). Outra forma de determinar é usando a equação de conversão, abaixo:

$$D = \left(\frac{SS}{258,6 - \left(\left(\frac{SS}{258,2} \right) * 227,1 \right)} \right) + 1 \quad (\text{Equação 8})$$

D – Densidade, SS – Sólidos Solúveis Totais.

3.3.7 Determinação de Cobre

Foram preparadas soluções incluindo padrões de cobre (0,5, 1, 1,5, 2, 3, 4, 4,5, 5 e 6 mg/L), EDTA - 0,025 mol/L, acetato de sódio (1 mol/L) e ácido acético (0,1 mol/L). As soluções padrão solução-padrão estoque de cobre foi preparada dissolvendo 3,928 g de sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) em 500 mL de água com adição de 1 mL de H_2SO_4 concentrado. Após a total dissolução, esta solução foi transferida para um balão volumétrico de 1 L e aferido com água destilada. A partir desta solução padrão de cobre foram preparadas as soluções padrão de cobre (0,5, 1, 1,5, 2, 3, 4, 4,5, 5 e 6 mg/L) para curva de calibração. A solução de EDTA 0,025 mol/L, foi preparada dissolvendo 7,31g de EDTA em 400 mL de água destilada; após a dissolução esta solução foi transferida para um balão volumétrico de 1 L e aferido com água destilada. Em seguida, foram preparadas as soluções de acetato de sódio (1 mol/L) e ácido acético (0,1 mol/L). A solução tampão (acetato de sódio + ácido acético com pH = 2,2,) foi preparada misturando as soluções de acetato de sódio (1 mol/L) e ácido acético (0,1 mol/L) a uma proporção de 1:10 (ácido acético: acetato de sódio), assim esta atingiu pH de 2,2.

Para preparar a curva de calibração foi tomado 5 mL de cada solução de cobre (0,5, 1, 1,5, 2, 3, 4, 4,5, 5 e 6 mg/L), separadamente, e em cada uma delas foi adicionado 5 mL da solução tampão (acetato de sódio + ácido acético com pH=2,2,) e 5 mL do EDTA. As leituras da absorbância das soluções padrão de calibração foram realizadas em espectrofotômetro (KASUAKI, Modelo: IL-593) a comprimento de onda de 745 nm. Os dados da curva de calibração de cobre (Tabela 2) foram plotados para obtenção da equação linear da reta ($y = 30,798x - 0,0989$) e coeficiente de regressão linear ($R^2 = 0,9995$) (Figura 15). Um coeficiente de correlação $> 0,99$ indica uma correlação linear muito forte entre a resposta do instrumento e a concentração do analito, conseqüentemente, indica precisão da calibração, confiabilidade e redução de erros. Portanto, os dados gerados são precisos, confiáveis e baixos erros.

Após a obtenção da curva de calibração, foram tomados 5 mL da amostra de cachaça e foram adicionados 5 mL da solução tampão (acetato de sódio + ácido acético com pH=2,2,) e 5 mL do EDTA. O método envolveu a formação do complexo Cu^{2+} com EDTA. Utilizou-se uma solução tampão de ácido acético e acetato de sódio (pH =2,2) para a formação de quelatos bivalentes mais estáveis, assim os íons de Cu^{2+} foram quantitativamente complexados pelo EDTA. As leituras da absorbância das soluções padrão de calibração foram realizadas em espectrofotômetro (KASUAKI, Modelo: IL-593) a comprimento de onda de 745 nm.

Tabela 2 – Valores obtidos da absorbância expressos em média e o resultado da concentração.

Solução de calibração	Abs (X)	Concentração (Y)
T1	0,000	0,0
T2	0,021	0,5
T3	0,037	1,0
T4	0,053	1,5
T5	0,067	2,0
T6	0,102	3,0
T7	0,133	4,0
T8	0,150	4,5
T9	0,165	5,0
T10	0,197	6,0

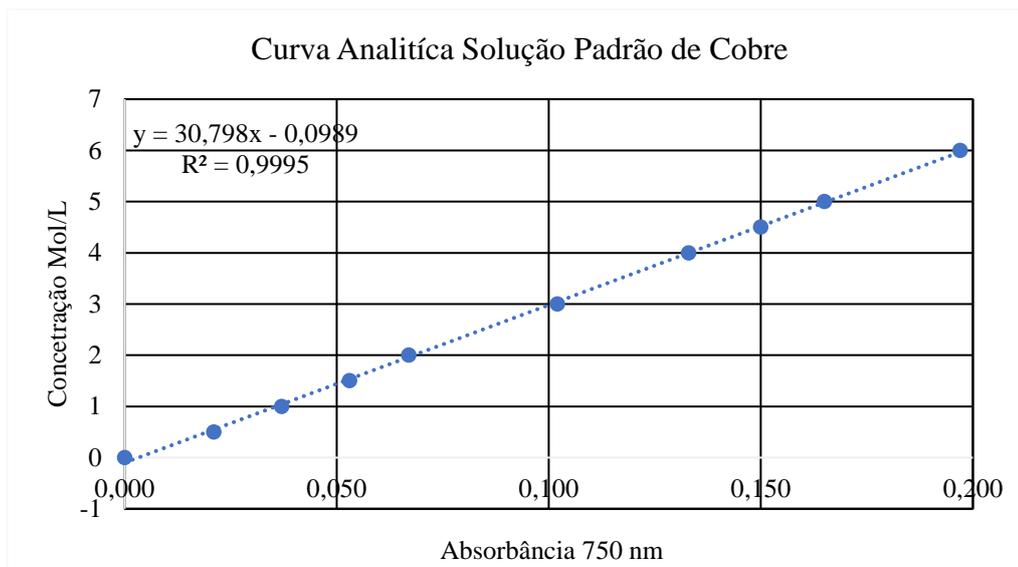


Figura 15: Curva analítica de para determinação de cobre, expressa em mg/L.

3.3.8 Determinação de Ésteres Totais

A determinação de ésteres totais foi realizada a partir do método descrito pelo Manual de Métodos de Análises de Bebidas e Vinagres – MAPA. A quantificação dos ésteres totais foi feita com base em sua hidrólise alcalina, seguida da titulação dos ácidos liberados com solução padronizada de hidróxido de sódio 0,1 mol L⁻¹. As quantidades encontradas foram expressas em miligramas de acetato de etila por 100 mL de álcool anidro.

$$ET \left(\frac{mg \text{ a. etila}}{100 \text{ mL a. a.}} \right) = \left(\frac{Vg \text{ NaOH} * M * 88 * 100}{Va} \right) * \frac{100}{G} \quad (\text{Equação 9})$$

Vg – Volume gasto de NaOH, M – Molaridade da solução de NaOH, 88 – Massa molecular do acetato de etila, Va – Volume da Amostra, em mL, G – Graduação Alcoólica.

3.3.9 Determinação de Aldeídos Totais

A determinação de aldeídos totais foi realizada a partir do método descrito pelo Manual de Métodos de Análises de Bebidas e Vinagres – MAPA. Em condições de pH convenientes (7,0 -7,2), os aldeídos se combinam quantitativamente com o sulfito. Já a grande estabilidade da combinação aldeídos-sulfito em meio alcalino (pH 8,5 -9), permite a titulação direta do SO₂ liberado com iodo 0,025 M. A quantificação é expressa em mg de aldeído acético por 100 mL de álcool anidro.

Reagente e soluções utilizadas:

- a) Solução de iodo 0,05 N (0,025 M).
- b) Solução de amido a 1%.
- c) Solução A: 15,0 g de metabissulfito de potássio p. a. ($K_2S_2O_5$) dissolvidos em água destilada com 70 mL de ácido clorídrico concentrado ($d = 1,19 \text{ g/cm}^3$) e diluído a 1000 mL num balão volumétrico.
- d) Solução B: 200 g de fosfato trissódico p. a. (Na_3PO_4) e 4,5 g de EDTA (Etilenodiaminotetracetato dissódico) dissolvidos em água destilada e diluídos a 1000 mL num balão volumétrico.
- e) Solução C: 250 mL de ácido clorídrico concentrado p.a. ($d = 1,19 \text{ g/cm}^3$) diluídos em água destilada a 1000 mL num balão volumétrico.
- f) Solução D: 100 g de ácido bórico p. a. e 170 g de hidróxido de sódio dissolvidos em água destilada e diluídos a 1000 mL num balão volumétrico.

Procedimento:

Colocar 300 mL de água destilada, 10 mL da solução A e 50 mL da amostra destilada num erlenmeyer de 500 mL com tampa esmerilhada, fechar o frasco, agitar e deixar em repouso por 15 minutos. Adicionar 10 mL da solução B (O pH deve estar entre 7,0 e 7,2). Caso contrário ajustá-lo adicionando solução de HCl ou NaOH à solução A e começar a análise novamente usando nova amostra). Fechar o frasco, agitar e deixar em repouso por 15 minutos. Acrescentar 10 mL da solução C (quando fizer análise em série, faça a determinação completa da primeira amostra antes de adicionar ácido na próxima) e 4 mL da solução de amido, agitar e acrescentar solução de iodo 0,05 N (0,025 M) até viragem azul, sem excesso. Juntar 10 mL da solução D e titular imediatamente o SO_2 liberado com solução de iodo 0,05 N (0,025 M) até o aparecimento de coloração azulada, agitando lentamente. O pH da solução final deve estar entre 8,8 e 9,5. Se necessário, ajuste-o adicionando solução de HCl ou NaOH à solução D.

$$AD \left(\frac{\text{mg aldeído acético}}{100\text{mL a. a.}} \right) = \frac{4,4 * Vg I * M}{G} * 1000 \quad (\text{Equação 10})$$

Vg I – Volume Gasto de Iodo, Molaridade do Iodo, G – Graduação Alcoolíca.

3.4 CONTAGEM DE LEVEDURAS SELVAGENS E VIABILIDADE CELULAR

Este método é utilizado para quantificar a concentração de células de levedura por mililitro de solução, utilizando a câmara de Neubauer. Esta câmara é uma lâmina de microscopia especialmente desenhada, com marcações em quadrantes de tamanho conhecido.

O procedimento envolve a adição de uma alíquota da amostra à lamínula da câmara de Neubauer, seguida pela observação microscópica utilizando uma objetiva de 40X. A ocular deve ser focada no quadrado grande central da câmara, onde estão dispostos 25 quadrados médios, que possuem mais 16 quadrados menores cada um. Para a contagem, são contabilizadas as leveduras presentes dentro dos quadrados médios, escolhendo 5 quadrados menores aleatórios. Essa técnica fornece uma estimativa da densidade de células de leveduras na amostra, sendo útil em várias aplicações, incluindo processos de fermentação e controle de qualidade em indústrias alimentícias e de bebidas.

$$\text{Leveduras} \left(\frac{\text{cel}}{\text{ml}} \right) = \left(\frac{\text{cels totais}}{5} \right) * 16 * 25 * 10^4 \quad (\text{Equação 10})$$

Cels totais – Células totais do quadrante média.

A viabilidade celular é determinada pela porcentagem de células vivas e segue um processo semelhante à contagem de leveduras. No entanto, utiliza-se azul de metileno, que cora apenas as células mortas, permanecendo as células vivas incolores. O cálculo da viabilidade é realizado considerando o número de células coradas em relação ao total de células contadas.

$$VB (\%) = \left(\frac{\text{Céls V}}{\text{Céls V} + \text{Céls M}} \right) \quad (\text{Equação 11})$$

Céls V – Células vivas, Céls M – Células mortas.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos foram avaliados por análise de variância (ANOVA) com teste Tukey's post hoc utilizando-se o software STATISTICA 5.0 e Microsoft excel®. Toda a análise estatística será baseada em um nível de significância de 5% ($p < 0,05$). A variação das letras nos permite distinguir entre diferentes grupos ou conjuntos de dados, enquanto as igualdades nos permitem lidar com valores que são idênticos entre si de forma mais eficaz.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Onze variedade de cana-de-açúcar tais como RB 1443, RB962962, RB951541, RB002754, RB863129, RB93509, RB992506, RB1754, SP 79-1011, VAT90- 212 foram cultivadas em uma mesma área com características edafoclimáticas e ambientais semelhantes

no Centro de Ciências Agrárias/Universidade Federal da Paraíba e a Caiana que foi cultivada em uma propriedade privada. O caldo de cana foi extraído e caracterizado. As fermentações foram conduzidas em dornas de 20 L inoculando 3×10^7 células/mL. As destilações foram realizadas em alambiques de cobre de 20 L, utilizando 10 L de vinho em cada destilação. Foram realizadas análises físico-químicas do caldo de cana-de-açúcar, do vinho de cana-de-açúcar e da cachaça. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

4.1 ÍNDICE DE MATURAÇÃO POR VARIEDADE DE CANA-DE-AÇUCAR

As variedades de cana-de-açúcar (CA) foram cortadas aos 12 meses de cultivo e avaliadas através do seu índice de maturação (IM). Este classifica o estágio de maturação da CA como: cana verde ($<0,6$), cana em processo de maturação ($0,60-0,85$), cana madura ($0,85-1$) e cana em declínio de sacarose (>1) (Tabela 1). Resultados revelaram que todas variedades de CA apresentaram valores de IM variando de 0,7 à 1,1, apresentando diferenças significativas ($p < 0,05$) (Fig. 16). Os genótipos RB851541, SP79-1011, e VAT-90212 apresentaram maiores IM ($1,1$, $p < 0,05$) (Fig. 16) e é classificada como cana-de-açúcar precoce por atingir seu IM ($0,85-1$) em 10 meses. Em contraste, o genótipo RB93509 apresentou menor IM ($0,7$, $p < 0,05$) e é classificado como cana-de-açúcar tardia por atingir IM ($0,85-1$) em 15 meses (Fig. 16). Todos os demais genótipos são classificados como cana-de-açúcar média, pois atingem estágio de maturação (IM $0,85-1$) aos 12 meses (Fig. 16). Todos os genótipos avaliados foram plantados nas mesmas condições edafoclimáticas, portanto, as diferenças de adaptação observadas estão relacionadas com as características fisiológicas e genéticas das mesmas.

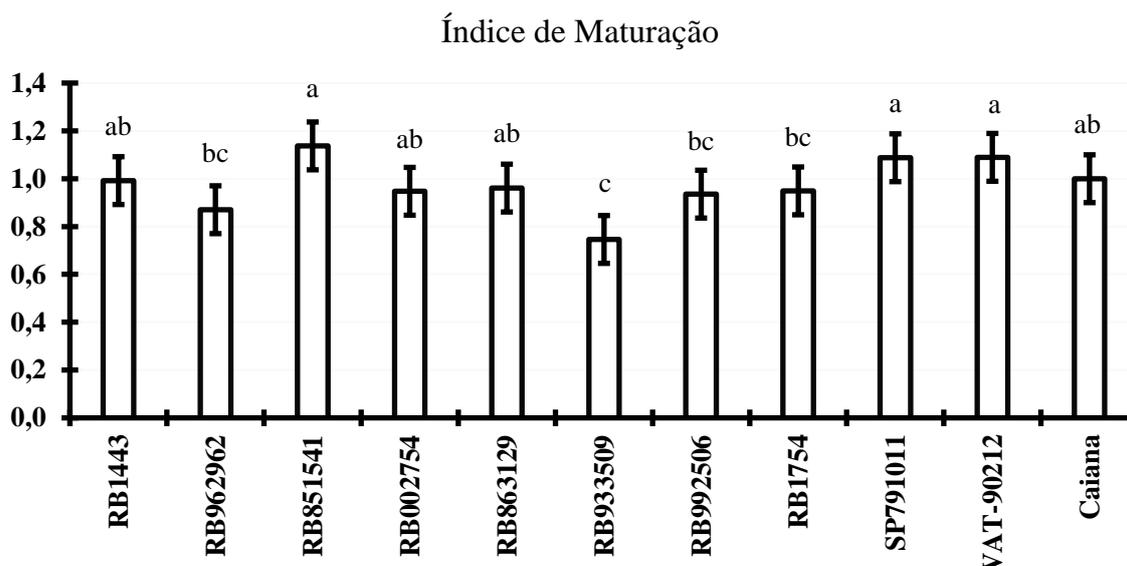


Figura 16: Índice de maturação da cana-de-açúcar por variedade.

4.2 CONTAGEM DE LEVEDURAS POR VARIEDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR

A microbiota do caldo de cana contém células de levedura que são responsáveis pela fermentação desse meio (Rosa et al. 2009). Popularmente denominadas de Leveduras selvagens, elas podem ter origem nos mais variados habitats. Além de várias espécies de *Saccharomyces*, são encontradas também espécies dos gêneros *Brettanomyces*, *Candida*, *Debaromyces*, *Hansenula*, *Kloeckera*, *Pichia*, *Rhodotorula*, *Torulaspora* e *Zygosaccharomyces*. Quando presentes como contaminantes no processo de produção, as leveduras selvagens podem causar problemas que variam de acordo com cada contaminante, como turbidez, odores e sabores indesejados, atenuação incompleta e floculação. Cerca de 80% das leveduras selvagens encontradas nas canas-de-açúcar são pertencentes ao gênero *Saccharomyces* (AQUARONE et al.; 2001; DRAGONE et al.; 2010). As variedades avaliadas demonstraram uma variação de concentração de leveduras selvagens entre $1,4 \times 10^7$ e $2,9 \times 10^7$ células/mL. As variedades SP 79 10-11 ($2,9 \times 10^7$ células/mL) e RB1443 ($2,8 \times 10^7$ células/mL) apresentaram maiores concentrações de leveduras selvagens (Fig. 16). Em contrapartida, observou-se que a Caiana ($1,4 \times 10^7$ células/mL) e a RB863129 ($1,5 \times 10^7$ células/mL) apresentaram menores concentrações de leveduras selvagens (Figura 16). As variedades de cana-de-açúcar apresentam em média 2×10^7 células de leveduras selvagens/mL.

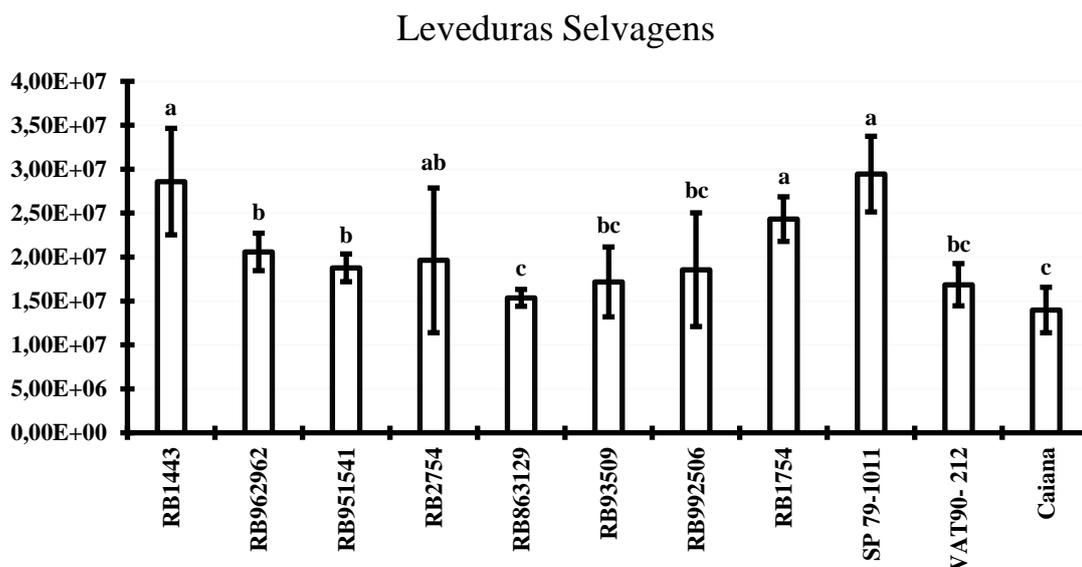


Figura 17: Numero de células de leveduras (células/mL) identificadas no caldo de cana-de-açúcar das 11 variedades.

4.3 ANÁLISES FISÍCO-QUÍMICAS DO CALDO DE CANA-DE-AÇUCAR

O caldo de cana-de-açúcar é composto principalmente por água (75 - 85%), e sólidos solúveis (15 - 25%). Os principais açúcares contidos no caldo de cana-de-açúcar são a sacarose, glicose e frutose (Sampaio, 2021). Os sólidos solúveis (SS) contidos são referentes ao total de todos os sólidos dissolvidos na água, como açúcar, sais, proteínas, ácidos e outros (Moraes, 2006). A cultivar Caiana (22°Brix) e apresentou a concentração de SST maior do que as demais variedades ($p < 0,05$) (Tab. 3) (Fig. 18). Já a variedade RB863129 (15°Brix). Os açúcares totais (açúcares redutores + açúcares não redutores) são uma parte significativa do caldo, logo podemos destacar que a SP79-1011 (16,6 mg/100mL) obteve a maior concentração de açúcares totais ($p < 0,05$) (Tab. 3) (Fig. 18). A Caiana (11,5 mg sacarose/100mL) demonstrou ser a variedade com a maior concentração de NR ($p < 0,5$) (Tab. 3) (Fig. 18/Tabela 2). A SP79-1011 (7,2 mg glicose/100mL) apresentou a maior concentração de AR ($p < 0,5$) (Tab. 3) (Fig. 18). Esses resultados podem ser atribuídos a processos de maturação da cana, nos quais enzimas da planta convertem parte da sacarose em glicose e frutose, que são açúcares redutores. Essas informações são cruciais para a avaliação da qualidade da cana-de-açúcar (CA) e têm implicações importantes na produção de açúcar e álcool a partir desta matéria-prima.

Tabela 3 - Resultados das análises físico químicas do caldo de cana-de-açúcar.

VARIEDADE	SST	pH	AC	AR	NR	AT	D
RB1443	18±0 ^b	5,3±0 ^{ac}	2,8±0,1 ^b	8,8±1,4 ^a	9,5±1,7 ^{ab}	18,2±0,6 ^a	1,05±0,1 ^a
RB962962	17±0 ^c	5,7±0 ^e	1,2±0 ^a	1±0 ^b	10,4±0,7 ^{ab}	11,3±0,7 ^d	1,05±0,1 ^d
RB951541	18±0 ^b	5,2±0 ^a	1,4±0,1 ^{ab}	0,8±0,1 ^c	11±2,3 ^{ab}	12±2 ^{cd}	1,05±0,1 ^a
RB002754	17±0 ^c	5,5±0 ^{bc}	2,3±0,1 ^c	0,4±0 ^e	9,7±1,1 ^{bc}	10,2±1,1 ^{de}	1,06±0,1 ^a
RB863129	15±0 ^d	5,3±0 ^a	3,7±0,3 ^f	0,7±0 ^d	8,4±0,9 ^{bc}	9,1±0,9 ^{de}	1,06±0,1 ^a
RB93509	17±0 ^c	5,5±0 ^b	2,2±0,1 ^{ec}	1,1±0 ^b	9,1±1,2 ^{bc}	10,2±1,1 ^{de}	1,06±0,1 ^a
RB992506	17,5±0 ^{bc}	5,3±0 ^a	1,5±0 ^e	0,8±0 ^c	11±0,3 ^{ab}	11,7±0,2 ^d	1,06±0,1 ^a
RB1754	18±0 ^b	5,5±0 ^{bc}	1,5±0 ^e	0,4±0,1 ^e	8,7±0,7 ^c	9,1±0,8 ^{de}	1,03±0,1 ^a
SP 79-1011	18,5±0 ^b	5,3±0 ^a	1,8±0,3 ^{cd}	7,2±0,7 ^a	9,4±0,2 ^c	16,6±0,9 ^b	1,05±0,1 ^a
VAT90- 212	17±0 ^c	5,6±0 ^b	1,9±0,1 ^{cd}	0,5±0 ^e	9,3±2,2 ^{abc}	9,8±2,2 ^{de}	1,05±0,1 ^a
Caiana	22±0 ^a	4,5±0,1 ^d	3,8±0,4 ^a	1,3±0 ^b	11,3±0,7 ^a	12,6±0,7 ^{cd}	1,06±0,1 ^a

Sólidos Totais Dissolvidos SST (Brix°), Densidade D (g/cm³), Acidez total AC (mg/100mL ác. acético), Açúcares Redutores AR (em g. glicose/100mL), Açúcares Não Redutores NR (em mg/100mL), Açúcares Totais AT (em mg/100mL).

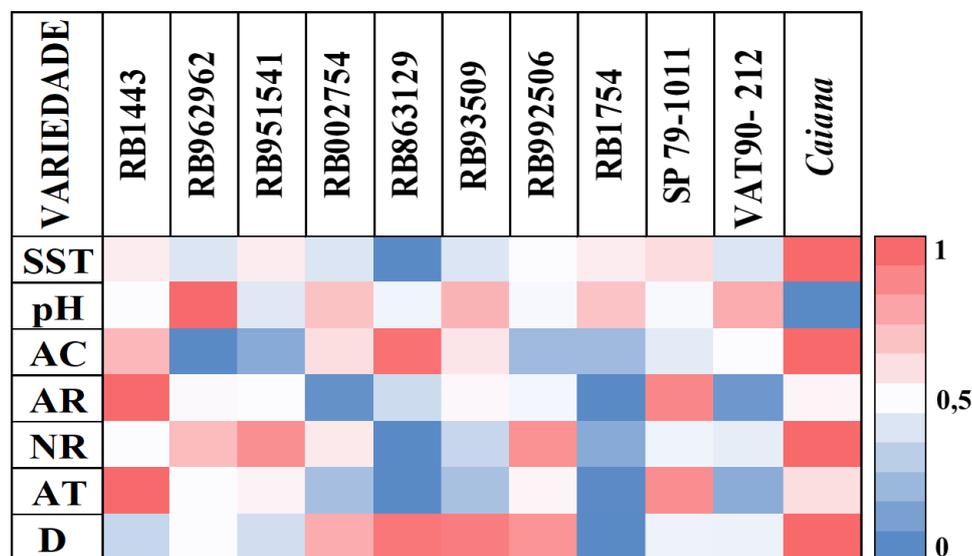


Figura 18 – Mapa de calor das análises físico-químicas do caldo de cana-de-açúcar (Sólidos Totais Dissolvidos- SST (Brix°), Acidez total- AC (mg/100mL ác. cético), Açúcares Redutores- AR (em g. glicose/100mL), Açúcares Não Redutores- NR (g. sacarose/100mL), Açúcares Totais- AT (mg/100mL), Densidade- D (g/cm³)).

As leveduras, de modo geral, exibem um ótimo desempenho metabólico dentro de uma faixa de pH ligeiramente ácido a neutro, compreendendo aproximadamente entre 4 e 5 (Menezes,1980). Em temperatura e pH ideal, as enzimas da levedura são capazes de catalisar reações e ativar transportadores celulares (Ribeiro-Filho et al. 2023). O pH dos caldos obteve uma variação de 4,4 e 5,7, destacando com o menor pH a Caiana (4,5) e com o maior valor a RB962962 (5,7) ($p < 0,05$) (Tab. 3/ Fig. 18). O pH alcalino ou ácido pode influenciar a absorção nutricional das leveduras (incluindo consumo de carboidratos, aminoácidos e elementos inorgânicos) e, como consequência, o crescimento das leveduras e a formação de compostos desejáveis (Ribeiro-Filho et al.; 2021). Vale ressaltar que quanto menor o pH, maior será o valor de Acidez total, apresentando uma variação de 3,80 e 1,20, concluindo que as variedades Caiana (3,8 mg ac. acético/100mL) e RB863129 (3,7 mg ac. acético/100mL) obtiveram maior concentração de ácido acético (AC) e com menor concentração a variedade RB962962 (1,2 mg ac. acético/100mL). Os níveis de acidez desempenham um papel crucial no processo industrial, exercendo influência direta sobre ele. Por exemplo, o ácido lático, gerado por bactérias contaminantes, pode inibir o metabolismo da levedura, causando uma redução no rendimento fermentativo durante os processos de produção de etanol (Oliva Neto & Yokoya, 2001). Além disso, o ácido acético tem se destacado quantitativamente como o principal constituinte da fração ácida das cachaças (Lima & Nobrega, 2004). A contaminação da cana-de-açúcar por bactérias acéticas aumenta a acidez da cachaça, consequentemente comprometendo a qualidade do produto final (Campus, 1999). A presença excessiva de acidez contribui para um sabor indesejado, afetando negativamente a qualidade da bebida (Cherubin, 1998).

4.3.1. Análises dos componentes principais (PCA) do caldo de cana-de-açúcar

A PCA (Fig. 19) mostrando as similaridades e diferenças entre onze caldos de cana-de-açúcar provenientes de onze genótipos distintos. A PC1 e PC2 correspondem a 33,73% e 32,07% da variância total, respectivamente, resultando em uma variância acumulada de 66,8% (Fig. 19). PC1 separou amostras tais como RB1443, SP79-1011, RB951541 e RB1754 das amostras RB962962, RB002754, RB863129, RB93509, RB992506, VAT90- 212 e Caiana. A PC2 separou as amostras RB951541 e RB992506 das amostras RB1443, RB962962, RB002754, RB863129, RB93509, RB1754, SP 79-1011, VAT90- 212 e Caiana (Fig. 19). Os genótipos RB1443, SP79-1011 contém caldo de cana-de-açúcar com as maiores concentrações de AT, AR e número de células de levedura/mL (Fig. 19). Os genótipos RB951541 e RB992506 contém caldo de cana-de-açúcar com as maiores concentrações de SS, ANR e AC (Fig. 19). O maior grupo identificado é composto pelos genótipos RB1754, RB002754, RB863129,

RB93509, RB992506, VAT90- 212 e Caiana, este contém maiores similaridades devido ao parâmetro pH.

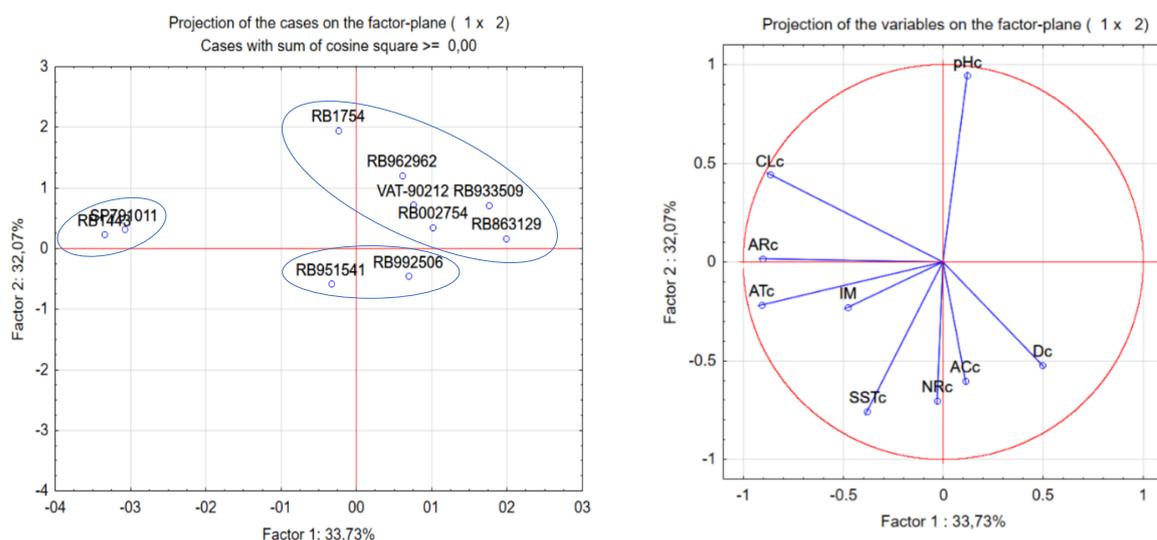


Figura 19: ACP - Parcela bidimensional de onze caldos de cana-de-açúcar produzidas a partir das onze variedades únicas de cana-de-açúcar, incluindo: RB1443, RB962962, RB951541, RB002754, RB863129, RB93509, RB992506, RB1754, SP 79-1011, VAT90- 212, e Caiana. Sólidos Totais Dissolvidos-SSTc (Brix^o), Densidade-Dc(g/cm³), Acidez total-ACc (mg/100mL ác. acético), Açúcares Redutores-ARc (em g. glicose/100mL), Açúcares Não Redutores-NRc (g. sacarose/100mL), Açúcares Totais-ATc (mg/100mL), Teor Alcoólico-TA (°GL), CLc – Contagem de leveduras (Cels/mL), IM – Índice de maturação.

Tabela 4: Matriz de correlação (Pearson (n)) entre 9 parâmetros obtidos de 11 caldos-de-cana.

Variável	SSTc	pHc	ACc	ARc	NRc	ATc	Dc	IM	CLc
SSTc	1,00								
pHc	-0,77	1,00							
ACc	0,21	-0,64	1,00						
ARc	0,19	-0,06	0,12	1,00					
NRc	0,64	-0,55	-0,09	-0,15	1,00				
ATc	0,40	-0,25	0,09	0,94	0,19	1,00			
Dc	-0,02	-0,33	0,50	-0,22	0,29	-0,12	1,00		
IM	0,25	-0,32	-0,03	0,24	0,21	0,31	-0,32	1,00	
CLc	0,02	0,31	-0,35	0,80	-0,30	0,70	-0,63	0,20	1,00

Sólidos solúveis – SSTc (Brix^o), Densidade – Dc (g/cm³), Acidez total - ACc (mg/100mL ác. acético), Açúcares Redutores-ARc (em g. glicose/100mL), Açúcares Não Redutores – NRc (g. sacarose/100mL), Açúcares Totais-ATc (mg/100mL), Teor Alcoólico – TA (°GL) Leveduras Selvagens – CLc (célis/mL).

Os sólidos solúveis totais (SST) apresentaram correlação negativa com o parâmetro de pH e uma correlação positiva com açúcares não redutores (Tab. 4). Portanto, quanto maior o pH do caldo da cana-de-açúcar, menores serão as suas concentrações de sólidos solúveis e maior a presença de açúcares não redutores (sacarose). O pH exibiu uma correlação negativa com o parâmetro de acidez total (Tab. 4), como esperado. Os açúcares redutores mostraram

correlação positiva com a acidez total (AT) e número de leveduras selvagens (CL) (Tab. 4). Logo, quanto maior a acidez total do caldo de cana-de-açúcar, maior será a quantidade de leveduras selvagens presentes no caldo e maior será a concentração de açúcares redutores (glicose e frutose). Adicionalmente, a densidade (D) apresentaram correlação negativas com as leveduras selvagens (CL) (Tab. 4). Portanto, quanto maior a densidade do caldo de cana-de-açúcar, menor será a concentração de leveduras presentes no mesmo.

4.4 ANÁLISE FÍSICO QUÍMICA DO VINHO DE CANA-DE-AÇUCAR

Para assegurar a eficácia da fermentação, é imprescindível que uma quantidade específica de leveduras seja incorporada ao mosto, com a capacidade de catalisar a conversão dos açúcares em álcool e dióxido de carbono, sob condições rigorosamente definidas (Embrapa, 2022). Além disso, os Sólidos Solúveis Totais (SST) no vinho da cana-de-açúcar representam um indicativo crucial da qualidade da fermentação, exercendo influência direta sobre as características sensoriais e o perfil organoléptico do produto final (Chalfounn, 2013; Carvalho, 2004; Rodrigues, Cunha, Almeida, 2020). Os resultados revelam que as variedades obtiveram uma variação de SST final de 0,10 a 6,30 ($p < 0,05$) (Tab. 4) (Fig. 20), indicando a presença de carboidratos não fermentescíveis em todas as variedades de cana avaliada, exceto a cana caiana que teve todos os seus açúcares consumidos completamente durante o processo de fermentação. As amostras RB1443 (6,3 °brix), RB951541 (6,1 °brix), RB002754 (6,1 °brix) apresentaram as mais elevadas concentrações de SST ($p < 0,05$) (Tab. 4). Por outro lado, a variedade Caiana (0,1 °brix) exibiu menor concentração SST ($p < 0,05$) (Tab. 4/ Fig. 20). O pH de todas as variedades de cana-açúcar variaram de 3,56 a 6,55 ($p < 0,05$) (Tabela 4/ Fig. 20). Pode-se destacar que as variedades SP 79-1011 (5,3), VAT 90- 212 (6,5) e Caiana geraram vinhos com maiores valores de pH ($p < 0,05$) (Tab. 4) (Fig. 20). As variedades RB93509, RB1754, RB1443, RB962962 e RB951541 (3,6) apresentaram menores valores de pH ($p < 0,05$) (Tab. 4) (Fig. 20). O controle de pH durante o processo fermentativo é de extrema importância devido ao meio se manter propício para o crescimento e atividade das leveduras, ajudando no controle da contaminação e também na produção de ácidos orgânicos, afetando a qualidade e estabilidade do produto final. (Freiria, 2023).

Tabela 5 - Resultados das análises físico químicas do vinho de cana-de-açúcar

VARIEDADES	SST	pH	AC	AR	NR	AT	D	TA
RB1443	6,3±0,1 ^a	3,6±0 ^a	32±7 ^b	0,4±0,1 ^f	0,42±0 ^c	0,78±0 ^e	1,02±0 ^a	3,5±0 ^f
RB962962	5,1±0,1 ^b	3,6±0 ^a	16±0,9 ^d	0,4±0,1 ^f	0,32±0 ^d	0,68±0 ^f	1,02±0 ^a	5,9±0 ^b
RB951541	6,1±0,1 ^a	3,7±0 ^a	16±1 ^d	0,3±0,1 ^f	0,33±0 ^d	0,67±0 ^f	1,02±0 ^a	4,6±0 ^e
RB002754	6,1±0,1 ^a	3,7±0 ^a	23±0,3 ^c	0,4±0,1 ^{ef}	0,32±0 ^d	0,7±0 ^f	1,01±0 ^a	4,5±0 ^e
RB863129	5,3±0,1 ^b	3,8±0 ^a	45,3±1 ^a	0,4±0,1 ^e	0,7±0,3 ^b	1,18±0 ^{bc}	1,02±0 ^a	5,5±0 ^c
RB93509	5,1±0,1 ^b	3,5±0 ^a	15±0,7 ^d	0,3±0,1 ^f	0,30±0 ^d	0,64±0 ^{fg}	1,01±0 ^a	5,0±0 ^d
RB992506	5,9±0,1 ^a	3,8±0 ^a	23±1 ^c	0,5±0,1 ^d	1,59±0 ^a	1±0,1 ^{ce}	1,02±0 ^a	5,8±0 ^b
RB1754	5,0±0 ^c	3,5±0 ^a	16±0 ^d	0,9±0,1 ^a	0,71±0 ^b	1,56±0 ^a	1,02±0 ^a	5,8±0 ^b
SP 79-1011	3,4±0 ^e	5,3±0,1 ^c	4,8±0 ^f	0,7±0,1 ^b	0,29±0 ^d	0,99±0 ^c	1,01±0 ^a	4,5±0 ^e
VAT90-212	4,5±0,1 ^d	6,6±0,1 ^d	3,0±0 ^g	0,6±0,1 ^{bc}	0,66±0 ^b	1,24±0 ^b	1,01±0 ^a	4,5±0 ^e
Caiana	0,1±0,1 ^e	4,5±0,1 ^b	12,2±0 ^e	0±0,1 ^g	0±0 ^e	0±0 ^h	1,02±0 ^a	6,2±0 ^a

Sólidos Totais Dissolvidos SST (Brix°), Densidade D (g/cm³), Acidez total AC (mg/100mL ác. acético), Açúcares Redutores AR (em g. glicose/100mL), Açúcares Não Redutores ANR (em g. sacarose/100mL), Açúcares Totais AT (em mg/100mL), Teor Alcoólico TA (°GL).

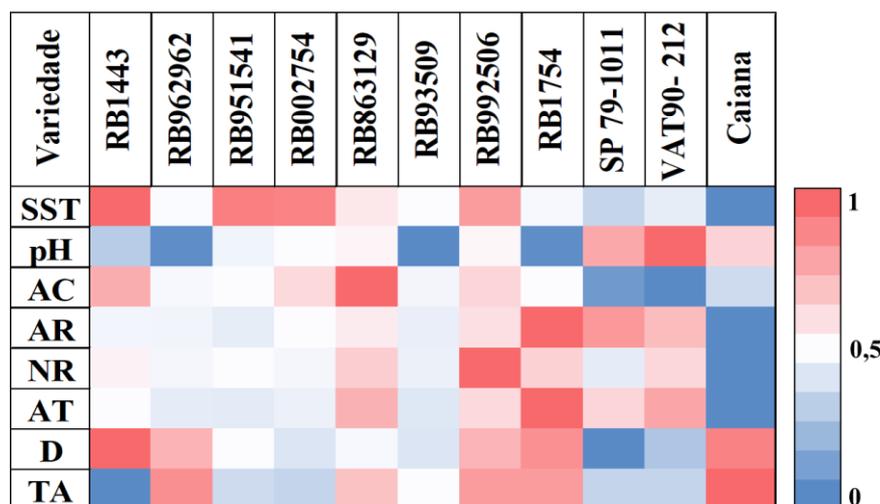


Figura 20 – Mapa de calor das análises físico-químicas do vinho de cana-de-açúcar Sólidos Totais Dissolvidos - SST (Brix°), Acidez total - AC (mg/100mL ác. acético), Açúcares Redutores - AR (em g. glicose/100mL), Açúcares Não Redutores - NR (em g. sacarose/100mL), Açúcares Totais - AT (em mg/100mL), Densidade - D (g/cm³), Teor Alcoólico - TA (°GL).

A acidez total (AC) de destilados é influenciada pela produção de ácidos orgânicos durante a fermentação, como ácido acético, ácido lático e ácido málico, os quais desempenham papéis cruciais no sabor, aroma e equilíbrio sensorial do produto final (Maria et al.; 1994). Os resultados revelaram que as variedades analisadas apresentaram uma faixa de acidez total entre 3,0 e 45,3 ($p < 0,05$) (Tab. 5) (Fig. 20). Destacou-se com concentrações elevadas de AC a variedade RB863129 (45,3 mg ác. Acético/100mL), enquanto as variedades SP79-1011 (4,8 mg ác. Acético/100mL) e VAT 90-212 (3 mg ác. Acético/100mL) demonstraram as menores concentrações ($p < 0,05$) (Tab. 5) (Fig. 20). A monitorização cuidadosa dos níveis de AC é

essencial para garantir a qualidade do destilado, pois uma gestão deficiente durante a produção pode resultar em um produto final de baixa qualidade e com características sensoriais indesejáveis, por isso treinar os manipuladores de produção nas Boas Práticas de Fermentação (BPF) é de extrema importância (Góes et al.; 2001). Além disso, altas concentrações de ácidos orgânicos podem tornar o destilado mais susceptível a alterações físico-químicas indesejáveis durante o armazenamento, afetando sua capacidade de envelhecimento em barris de forma adequada (Alcarde, Souza E Belluco, 2010).

O objetivo fundamental da atividade metabólica das leveduras reside na metabolização anaeróbica dos açúcares, resultando na produção de energia na forma de ATP. Esse processo energético é essencial para a realização de uma variedade de atividades fisiológicas e biossínteses vitais para a sobrevivência, crescimento e reprodução celular (Lima et al.; 2001). Em relação aos resultados obtidos para açúcares redutores (AR), não redutores (NR) e açúcares totais (AT), não foram observadas diferenças estatisticamente significativas. Os resultados indicam que as leveduras consumiram praticamente todo o açúcar disponível durante o processo de fermentação, incluindo glicose e sacarose, demonstrando uma eficiência notável nesse aspecto ($p < 0,05$) (Tab. 5) (Fig. 20). Essa observação destaca a eficácia do metabolismo das leveduras na utilização dos substratos disponíveis, o que contribui para a compreensão abrangente dos processos fermentativos e da dinâmica bioquímica envolvida.

O teor alcoólico do vinho de cana-de-açúcar é um indicador essencial que define a quantidade de álcool produzida durante o processo de fermentação, refletindo também a eficiência desse processo. As variedades analisadas apresentaram concentrações de teor alcoólico variando de 3,50 a 6,20 (Tab. 5). Destaca-se que a variedade Caiana (6,2 GL°) registrou a maior concentração de teor alcoólico, enquanto a variedade RB1443 (3,5 GL°) apresentou a menor concentração de teor alcoólico ($p < 0,05$) (Tab. 5) (Fig. 20). Além disso, fornece insights valiosos sobre a eficácia das leveduras na produção de álcool. Uma baixa produção de teor alcoólico pode ser atribuída a uma eficiência reduzida de fermentação ou a uma alta concentração de açúcar no caldo, destacando a importância do monitoramento desses parâmetros para garantir a qualidade e o rendimento adequado do produto final. Comparando a qualidade do vinho de cana-de-açúcar por variedade, destacamos que a variedade Caiana ($p < 0,05$) (Tab. 5) (Fig. 20), ser uma variedade de melhor qualidade, pois apresentou valores mais baixos de AC e maior TA. É notório também que quanto mais ácidos a levedura produziu, menor foi a quantidade de TA produzida, como se pode observar na variedade RB1443 ($p < 0,05$) (Tab. 5) (Fig. 20) (Teixeira et al, 2019).

4.4.1 Viabilidade Celular

Após o processo de fermentação, foi avaliada a viabilidade celular, pois é um importante indicador de qualidade e performance de fermentação (Ribeiro-Filho et al. 2021). A viabilidade celular (VB) refere-se à capacidade de uma célula permanecer viva e funcional ao longo do tempo, sendo um indicador fundamental para avaliar a saúde, a capacidade de crescimento e a eficácia das leveduras em diferentes contextos. Além disso, a viabilidade também é um parâmetro importante em estudos de longevidade celular, envelhecimento e resposta a estresses ambientais (Assunção et al, 2016). De forma geral, as leveduras obtiveram taxas de viabilidade de 30% à 80%. As variedades RB1754 (82,9 %) e SP 79 10-11(79,6 %) obtiveram mais de 70% de leveduras vivas após a fermentação, isso sugere que essas leveduras ainda poderiam ser reutilizadas para futuras fermentações ($p < 0,05$) (Fig. 21). Ao fim da fermentação, altos níveis de VB são esperados, devido a sua eficiência em serem reutilizadas. (Lima; Basso; Amorim, 2001; Montijo et al, 2014).

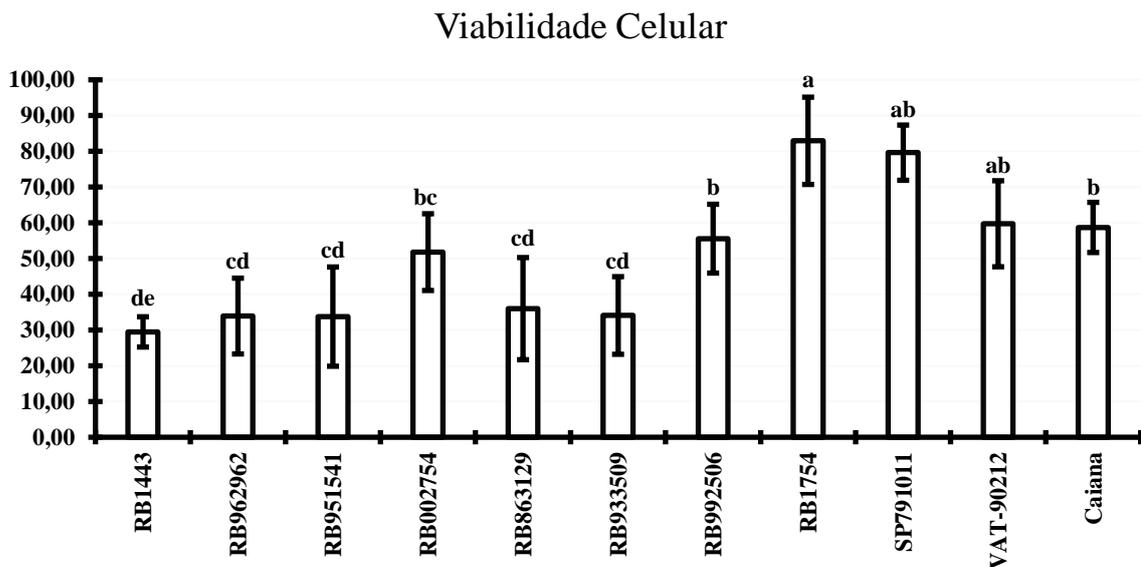


Figura 21: Viabilidade celular das leveduras (%) após a fermentação ($n = 3$) da levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

4.4.2 Análises de componentes principais (PCA) do vinho de cana-de-açúcar

A PCA (Fig. 22), expressa as correspondências e distinções entre onze vinhos de cana-de-açúcar provenientes de onze genótipos distintos. A PC1 e PC2 respondem 32,72% e 28,04% da variância total, respectivamente, resultando em uma variância total combinada de 60,76% (Fig. 22). A PC1 separou as amostras Caiana RB1443, RB962962, RB951541, RB002754, RB863129, RB93509 das RB992506, RB1754, SP 79-1011, VAT90- 212 (Fig. 22). A PC2

Separa os genótipos RB1443, RB962962, RB951541, RB002754, RB863129, RB933509, RB992506 das RB1443, RB962962, RB951541, RB002754, RB863129, RB933509, RB992506 (Fig. 22). O genótipo Caiana, obteve maior concentração de TA. Os genótipos VAT 90-212, SP 79-1011 obtiveram similaridades com os parâmetros pH e VB. O genótipo RB992506 obteve similaridade com os parâmetros de SST, NR, AT (Fig. 22). Para AR o genótipo que teve sua maior concentração foi a RB1754 (Fig. 22). O maior grupo identificado foi composto pelos genótipos RB951541, RB002754, RB962962 e RB933509. Este contém similaridades devido ao parâmetro de D (Fig. 22). Os genótipos RB863129 e RB1443 obtiveram similaridades com o parâmetro de AC (Fig. 21).

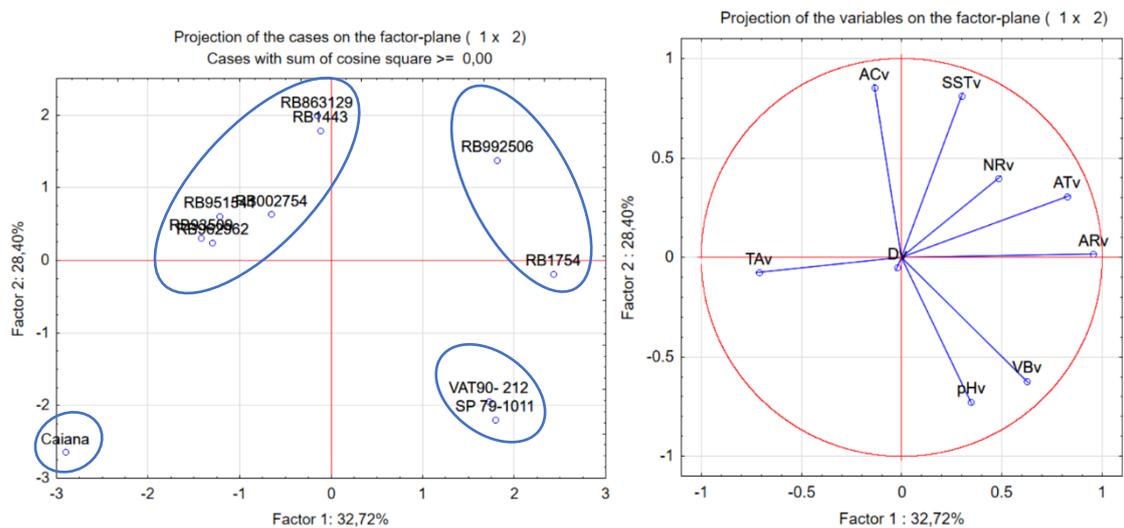


Figura 22: ACP – Parcela bidimensional de onze vinhos de cana-de-açúcar produzidas a partir das onze variedades únicas de cana-de-açúcar, incluindo: RB1443, RB962962, RB951541, RB002754, RB863129, RB933509, RB992506, RB1754, SP 79-1011, VAT90- 212, e Caiana. Sólidos Totais Dissolvidos - SSTv (Brix°), Densidade - Dv (g/cm³), Acidez total - ACv (mg/100mL ác. acético), Açúcares Redutores - ARv (em g. glicose/100mL), Açúcares Não Redutores - NRv (g. sacarose/100mL), Açúcares Totais-Atv (mg/100mL), Teor Alcoólico - TA v (°GL), Viabilidade Celular – VBv (%)

Tabela 6: Matriz de correlação (Pearson (n)) entre 9 parâmetros obtidos de 11 vinhos-de-cana.

Variável	SSTv	pHv	ACv	ARv	NRv	ATv	Dv	TAv	VBv
SSTv	1,00								
pHv	-0,43	1,00							
ACv	0,45	-0,61	1,00						
ARv	0,35	0,22	-0,19	1,00					
NRv	0,31	-0,09	0,26	0,39	1,00				
ATv	0,46	0,11	0,24	0,81	0,34	1,00			
Dv	-0,16	0,07	-0,05	-0,07	0,03	-0,01	1,00		
TAv	-0,26	-0,26	-0,01	-0,57	-0,29	-0,45	-0,23	1,00	
VBv	-0,43	0,45	-0,55	0,63	0,09	0,32	-0,19	-0,28	1,00

Sólidos Totais Dissolvidos - SSTv (Brix^o), Densidade - Dv (g/cm³), Acidez total - ACv (mg/100mL ác. acético), Açúcares Redutores - ARv (em g. glicose/100mL), Açúcares Não Redutores - NRv (g. sacarose/100mL), Açúcares Totais - Atv (mg/100mL), Teor Alcoólico - TAv (°GL).

Resultados indicam que os AR tem correlação positiva com o parâmetro de açúcares totais (AT) (Tab. 6). Portanto, isso indica que, o final das fermentações, o total de açúcares remanescentes são na sua maioria açúcares redutores; porém, não são açúcares tipo glicose e frutose, pois não foram consumidos pelas leveduras. Isso indica a presença de dextrana no mosto, que é um polímero composto por unidades de glicose, uma forma de polissacarídeo, em que as unidades de glicose estão ligadas principalmente por ligações glicosídicas α (1 \rightarrow 6) e pode também conter ligações secundárias α (1 \rightarrow 2), α (1 \rightarrow 3) e α (1 \rightarrow 4), dependendo do método de síntese ou da origem do polímero (Aquino et al, 2011). As causas da formação de dextrana na cana-de-açúcar podem ter sido causadas devido a colheita de todas as variedades ter sido realizadas no mesmo dia e o tempo que estas levaram para serem processadas. Isso permite a proliferação de bactérias produtoras de dextrana, e/ou chuva excessiva durante o crescimento da mesma (Oliveira-Filho et al, 2016).

4.5 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DA CACHAÇA

Estudos e projetos estão em curso para elevar a qualidade da cachaça, mediante aprimoramentos técnicos e científicos em todas as fases de produção. Áreas de foco incluem o desenvolvimento genético de mudas de cana, técnicas de corte e manejo, processos de fermentação, destilação e envelhecimento. O objetivo é garantir a produção de cachaça padronizada, comprovadamente excelente em termos físico-químicos e sensoriais (Rodrigues, 2016).

Tabela 7 - Resultados das análises físico-químicas das cachaças.

AMOSTRA	pH	AV	AT	AF
RB1443	4,8±0,1 ^a	79±0,4 ^g	82±0,2 ^g	2,4±0,1 ^c
RB962962	4,4±0,1 ^c	113±0,3 ^f	115±0,6 ^f	1,8±0,1 ^d
RB951541	4,4±0,1 ^c	207±0,7 ^a	211±0,2 ^a	3,0±0,1 ^b
RB002754	4,2±0,1 ^{cd}	136±0,5 ^d	140±0,6 ^d	3,0±0,1 ^b
RB863129	4,4±0,1 ^c	121±0,5 ^e	127±0,2 ^e	5,4±0,1 ^a
RB93509	4,2±0,1 ^{cd}	133±0,5 ^d	135±0,5 ^d	1,8±0,1 ^d
RB992506	4,1±0,1 ^{de}	146±0,1 ^c	149±0,3 ^c	1,8±0,1 ^d
RB1754	4,1±0,1 ^{de}	123±0,6 ^e	125±1 ^e	1,8±0,1 ^d
SP 79-1011	4,3±0,1 ^{cd}	151±0,4 ^b	153±0,5 ^b	1,8±0,1 ^d
VAT90- 212	4,4±0,1 ^c	56±0 ^h	58±0,4 ^h	2,4±0,1 ^c
Caiana	4,6±0,1 ^{abc}	11±0 ⁱ	12,3±0,1 ⁱ	0,2±0,1 ^e

pH – Potencial Hidrogeniônico, AT – Acidez Total (mg/100mL Ac. Cético), AV – Acidez Volátil (mg/100mL Á. Anidro), AF - Acidez Fixa (mg/100mL Ac. Cético)

O pH é um parâmetro fundamental na caracterização de destilados, exercendo influência direta sobre suas propriedades químicas e sensoriais (Galinaro, Franco, 2011). A análise dos destilados revelou valores de pH variando de 4,36 a 4,84 ($p < 0,05$) (Tab. 7). Notavelmente, a variedade RB1443 (4,5) apresentou uma concentração de pH maior, enquanto a RB951541 (4,0) demonstrou a menor concentração ($p < 0,05$), destacando a variabilidade entre as amostras. Essa variação nos níveis de pH pode ser atribuída aos processos intrínsecos de produção dos destilados, bem como à formação de ácidos durante a fermentação. Tradicionalmente, os destilados tendem a possuir um pH mais ácido. Além disso, mudanças abruptas neste parâmetro podem comprometer a qualidade sensorial e química do produto final. (Aqarone; Lima; Borzani, 1999). Vale ressaltar que o pH está intrinsecamente relacionado ao parâmetro de Acidez Total, predominantemente constituído por Ácido Acético em cerca de 80%, conferindo características distintivas de sabor e aroma. (Nykänen & Suomalainen, 1983).

Adicionalmente, a Acidez Total não apenas serve como um indicador da acidez relativa dos destilados, mas também desempenha um papel essencial na avaliação da qualidade, sabor e estabilidade de produtos alimentícios, bebidas e compostos químicos. Conforme evidenciado na Tabela 4, as concentrações de Ácido Acético nos destilados variaram de 12,33 mg/100mL a 210 mg/100mL ($p < 0,05$) (Tab. 7). Neste contexto, destaca-se que a variedade RB951541 (210 mg ác. Acético/100mL) exibiu a maior concentração, enquanto a Caiana (12,3 mg ác. Acético/100mL) apresentou a menor concentração. Tais resultados sublinham a importância do controle rigoroso do pH e da Acidez Total durante o processo de produção de destilados, visando assegurar a consistência e a excelência das características sensoriais e químicas do produto final (Jerônimo 2004; Cherubin, 1998)

A acidez volátil se refere à presença de ácidos que evaporam rapidamente em condições normais de temperatura e pressão, como o ácido acético e o ácido etílico. A variedade Caiana obteve a maior concentração de AV foi a RB951541 (207 mg ác. Anidro/100mL) enquanto a variedade que obteve a menor concentração foi Caiana (10,9 mg á. Anidro/100mL) ($p < 0,05$) (Tab. 7). Sendo o parâmetro utilizado para avaliar a qualidade da cachaça devido a sua influência direta no sabor, aroma e palatabilidade. Sendo de obrigação do proprietário manter a cachaça dentro dos limites aceitáveis, para garantir uma cachaça equilibrada e agradável ao paladar (Cardoso, 2006).

Acidez fixa, como esperado é o oposto da acidez volátil sendo todos os ácidos que não evaporam em condições normais de temperatura e pressão. Sendo composta em sua maior parte de ácido succínio, málico e láctico, contribuindo diretamente no sabor e aroma e complexidade da cachaça. A variedade RB863129 (5,4 mg ác. Acético/100mL) obteve a maior concentração de AF e a Caiana (0,2 mg ác. Acético/100mL) obteve a menor concentração ($p < 0,05$) (Tab. 7). Fornecendo a cachaça sabor frutado e floral, além de ajudar no equilíbrio entre o dulçor proveniente dos açúcares residuais e teor alcoólico, além da contribuição para inibir o crescimento de microrganismos prolongando a vida útil da bebida, assim dizia Miranda et al. (2008).

Tabela 7 - Resultados das análises físico químicas da cachaça (Continuação).

AMOSTRA	D	TA	ES	Cu	ET	AD
RB1443	0,941±0,1 ^a	45±0 ^f	3,39±0,1 ^c	7,2±0 ^a	158,4±0,1 ^g	19,2±0,5 ^e
RB962962	0,937±0,1 ^a	47±0 ^e	15±0,1 ^{ab}	0,4±0 ^f	268,8±0,1 ^f	12,1±0,3 ⁱ
RB951541	0,944±0,1 ^a	43±0 ^g	0,84±0,1 ^{ab}	0,4±0 ^f	462,6±0,1 ^a	28,4±0,8 ^a
RB002754	0,933±0,1 ^a	49±0 ^c	0,68±0,2 ^a	0±0 ^g	316,9±0,1 ^b	12,7±1,0 ^{hi}
RB863129	0,937±0,1 ^a	50±0 ^b	0,54±0,4 ^a	0,4±0 ^f	299,9±0,1 ^e	21,6±0 ^c
RB93509	0,935±0,1 ^a	48±0 ^d	0,68±0,3 ^a	0,5±0 ^e	317,9±0,1 ^b	13,6±0,1 ^h
RB992506	0,931±0,1 ^a	50±0 ^b	0,54±0,2 ^a	1,3±0 ^d	313,5±0,1 ^c	23,6±0,5
RB1754	0,931±0,1 ^a	51±0 ^a	0,58±0,3 ^d	1,3±0 ^d	313,5±0,1 ^c	15,1±0,1 ^g
SP 79-1011	0,931±0,1 ^a	49±0 ^c	15,5±0,1 ^a	2,3±0 ^b	305,8±0,1 ^d	21,0±0,7 ^{cd}
VAT90- 212	0,933±0,1 ^a	49±0 ^c	0,42±0,1 ^b	1,3±0 ^d	150,9±0,1 ^h	17,9±0,2 ^f
Caiana	0,949±0,1 ^a	40±0 ^h	0,27±0,1 ^a	1,6±0 ^c	158,4±0,1 ^g	19,3±0,5 ^e

D – Densidade (g/cm³), TA – Teor Alcoólico (°GL - 20°C), ES - Extrato Seco (%), Cobre - Cu (mgCu/L A. Anidro), ET - Ésteres Totais (mg Ac. Etila/100mLA. Anidro). Aldeídos -AD (mg Aldeído acético/100mL Á. Anidro)

A densidade se refere à massa por unidade de volume da bebida, sendo importante para definir a qualidade e autenticidade de produção (Oliveira, et. al. 2013). Logo, podemos destacar que os valores de densidade não demonstraram variância significativa entre si ($p < 0,05$) (Tab. 7). Uma cachaça com valores de densidade extremamente baixos, sugere diluição de água ou

presença de impurezas. Já valores elevados, sugerem presença de açúcares não fermentados ou outros componentes indesejados. Cavalcante (2017) ressalta que a alteração da densidade pode ocorrer através da absorção, umidade e outros compostos, de modo que o preparo e o armazenamento podem afetar diretamente o valor da densidade.

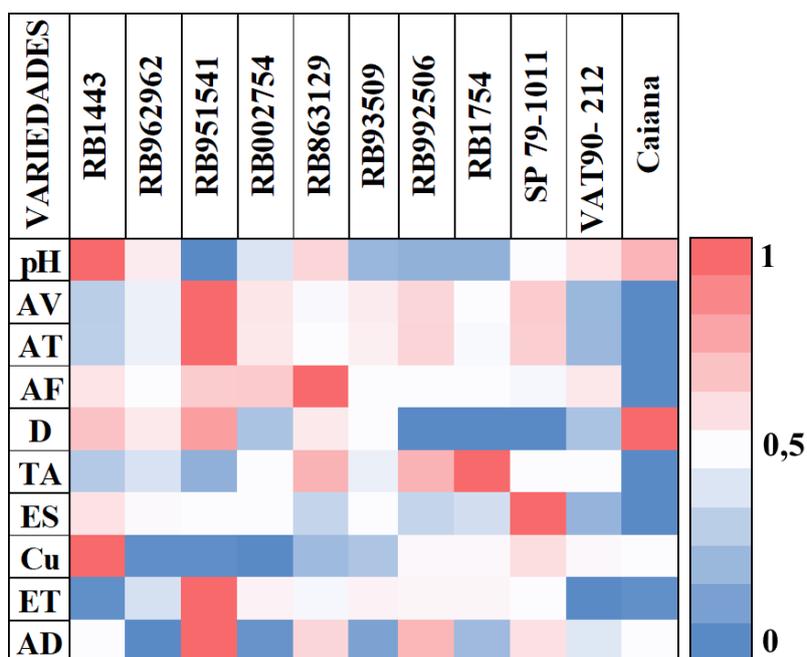


Figura 23 - Mapa de calor das análises físico-químicas das cachaças (Acidez total - AC (mg/100mL ác. acético), Acidez Volátil – AV (mg/100mL A. A), Acidez Fixa - AF (mg/100mL ác. Acético), pH - Potencial hidrogeniônico, D – Densidade (g/cm³), TA – Teor Alcoólico (°GL - 20°C), ES - Extrato Seco (%), Cobre - Cu (mg Cu/L A. Anidro), ET - Ésteres Totais (mg Ac. Etila/100mLA. Anidro). Aldeídos -AD (mg Aldeído acético/100mL Á. Anidro))

Segundo a PORTARIA N° 339, DE 28 DE JUNHO DE 2021, um líquido só é considerado cachaça se estiver na faixa de 38 a 48 °GL (Gay Lussac), para cachaças padronizadas. As variedades demonstraram uma variação de 40 à 51 °GL ($p < 0,05$) (Tab. 7). Diante disso, podemos destacar que a variedade RB1754 (51° GL) obteve o maior TA, já a variedade Caiana (40 °GL) obteve a menor concentração ($p < 0,05$) (Tab. 7). Vale ressaltar que nenhuma cachaça produzida passou pelo processo de padronização, logo, já era esperado que estas não estariam dentro dos valores determinados pela legislação.

O extrato seco, representa a parte não volátil da cachaça, influenciando diretamente na percepção sensorial da cachaça. Foi obtido uma variância de 0,27 a 3,39, sendo a RB1443 (3,39 %) com a maior concentração e a Caiana (0,2 %) com a menor concentração ($p < 0,05$) (Tab. 7).

Altos níveis de ES na cachaça cristal pode ser indicativo de falta de destilação eficaz e contaminação (Bortoletto, 2021).

A presença excessiva de cobre pode acarretar desafios devido as ramificações para a integridade da saúde humana e a qualidade do produto. Dado que o processo de produção de cachaça se realiza mediante o emprego de alambiques, torna-se inevitável a presença residual de cobre na cachaça, independentemente de sua escala. É oportuno mencionar que a PORTARIA N° 339, DE 28 DE JUNHO DE 2021 estabeleceu um limiar máximo admissível de 5 mg/L de cobre na cachaça.

Conforme as diretrizes estabelecidas pelo Food Nutritional Board (FBN), a recomendação de ingestão diária adequada (RDA - Recommended Dietary Allowance) de cobre para adultos varia de 1,5 a 3 mg. Vale ressaltar que, no contexto da destilação da cachaça, muitos pesquisadores atribuem ao cobre um papel catalisador, contribuindo para a remoção de odores desagradáveis vinculados a compostos sulfurados, os quais podem ser perceptíveis em aguardentes destiladas em alambiques fabricados com outros materiais. Contudo, essa abordagem pode levar à contaminação do produto com cobre, caso as práticas de higienização e produção não sejam executadas de forma adequada, conforme observado por Nascimento et al. (1998).

No escopo das amostras analisadas é relevante mencionar que a variedade RB1443 (7,0 mgCu/L), obteve a maior concentração de cobre e ultrapassou o valor máximo permitido ($p < 0,05$) (Tab. 7). Todas as demais se mantiveram dentro do valor máximo permitido, com a variedade RB002754 (0,0 mgCu/100mL) obtendo a menor concentração de cobre. Vale ressaltar que a variedade RB1443, foi a primeira variedade a ser destilada, o que pode ter influenciado na sua alta concentração de cobre. Os estudos de Garbin et al. (2005) e Taylor et al. (2020) destacam que concentrações elevadas de cobre no organismo humano podem acarretar toxicidade, dado sua afinidade com grupos sulfidrilas presentes em diversas proteínas e enzimas. Essa condição pode estar associada a doenças como epilepsia, artrite reumatoide e melanoma, as quais têm sido relacionadas ao excesso de cobre na corrente sanguínea. Logo, é possível inferir que níveis elevados de cobre na cachaça poderiam eventualmente expor os consumidores a riscos de adquirirem condições como epilepsia e Alzheimer. Por essa razão, é fundamental que as cachaças estejam em conformidade com critérios de qualidade rigorosos, além de adotarem práticas de produção pautadas em boas práticas de fabricação, conforme destacado por Attia & Essam Eldin (2018).

Segundo as constatações de Mariño (1983) e Nykamen et al. (1983), a formação de ésteres de ácidos graxos emerge a partir de um processo que envolve a ativação dos ácidos carboxílicos através da descarboxilação oxidativa desses ácidos, a síntese de ácidos monocarboxílicos e seus intermediários de cadeia extensa, assim como a álcoolise de compostos derivados da acetil-Coenzima-A. Essa formação de ésteres é altamente influenciada pela composição do meio fermentativo. Em consonância, Mariño (1983), Soles (1992), Killian e Ough ressaltam que fatores como a concentração de carbonos, suplementação de nitrogênio, utilização de micronutrientes e o grau de insaturação dos ácidos graxos presentes no fermentado e nas variedades vegetais, juntamente com variáveis como linhagens de leveduras, temperatura de fermentação, concentração de CO₂, oxigenação do meio, turbidez, teor de dióxido de enxofre e pH, podem exercer influência sobre a formação de ésteres.

Dentro desse contexto, obtiveram uma variância de 150,9 e 462,6 mg/100mL de acetato de etila ($p < 0,05$) (Tab. 7). A variedade que obteve maior concentração de ésteres foi a RB951541 (462 mg ac. etila/100mL) e com menor concentração foi a VAT90-212 (150,9 mg ac. Etila/100mL). A formação de ésteres pode ocorrer em várias etapas do processo de produção de bebidas alcoólicas, como na fermentação, na destilação e no repouso. Na fermentação, os ésteres são formados pela interação entre álcoois, como o etanol ou álcoois superiores, e o acetil CoA. Durante a destilação, os ésteres podem ser formados a partir da interação entre álcoois, como o etanol ou álcoois superiores, e o ácido acético. No período de repouso, os ésteres podem continuar a se formar por reações químicas entre os álcoois e os ácidos presentes no ambiente, resultando em uma maior complexidade e diversidade de aromas e sabores na bebida final (Ribeiro-Filho et al.; 2021) O excesso de ésteres constatado nas demais variedades pode originar-se das características das cultivares de cana-de-açúcar, do próprio processo fermentativo, destilação e descanso que resultou em aumentos significativos nas amostras. Ademais, outra explicação plausível reside na possibilidade de que algum erro sistemático tenha interferido durante a condução da análise.

Os aldeídos, podem ser formados no início do processo fermentativo pelas leveduras (Piggott; Conner, 2003). As concentrações de aldeídos encontradas nas amostras estudadas estão de acordo com a legislação vigente, que é de 30 mg 100 mL⁻¹ álcool anidro (Brasil, 2005). Os resultados são expressos em mg de aldeído acético/100mL, como se pode observar, a variedade RB951541 (28,4 mg de aldeído acético/100mL) obteve a maior concentração e com a menor, foi a variedade RB962962 (12,1 mg de aldeído acético/100mL) ($p < 0,05$) (Tab. 7). Os aldeídos contribuem para o aroma da cachaça e são gerados pela levedura através da via de

Ehrlich, assim como os ácidos graxos de cadeia curta (Hazelwood et al. 2008). O principal aldeído formado nessa etapa de produção da bebida é o acetaldeído. Os demais aldeídos são obtidos a partir da oxidação de álcoois superiores. A intoxicação por aldeídos pode levar a sérios problemas relacionados ao sistema nervoso central. Uma das maneiras de minimizar e controlar grandes quantidades de aldeídos é a correta separação da primeira fração do destilado (cabeça) (Pereira et al. 2003; Cardoso, 2013). Valores elevados de aldeídos observados em cachaças, foram em alambiques de cobre e estão associados a erros no processo do corte entre as frações de cabeça e coração. Esse erro é associado a produtores que não calculam a graduação alcoólica de bebida desejada ou não calcula o volume do mosto fermentado e/ou não acompanha a mudança do grau alcoólico do destilado que está sendo obtido (Cardoso, 2013). Valores razoáveis desses compostos são desejáveis, uma vez que, juntamente com os álcoois superiores, ésteres e ácidos são responsáveis pela formação do sabor e aroma da cachaça, compondo assim o chamado “flavour ou buquê” da bebida (Ribeiro-Filho, 2021; Cravo, 2017).

4.5.1 Análises de componentes principais (PCA) da cachaça

A PC1 e PC2 responderem 43,86% e 20,04% da variância total, respectivamente, resultando em uma variância total combinada de 63,90%. A PCA 1 separou as cachaças Caiana, RB1443 e RB951541 das RB933509, RB002754, RB863129, RB1754, SP79-1011, RB992506, VAT90-212 e RB962962 (Fig. 9). A PC2 separou as cachaças RB1443, Caiana VAT90-212, RB962962 das cachaças SP79-1011, RB1754 e RB863129, RB992506, RB002754, RB933509, RB951541 (Fig.9). As cachaças Caiana mostraram afinidade com a densidade, enquanto a cachaça RB1443 demonstrou correlação com os níveis de Cu e pH, devido às suas concentrações elevadas (Fig.9). Um agrupamento proeminente inclui as cachaças SP79-1011, RB1754, RB863129, RB992506, RB002754 e RB933509, que exibiram similaridade nos parâmetros de ES, AF e TA (Fig.9). Por outro lado, a variedade RB951541 apresentou similaridade no parâmetro de ET e AD, também devido às suas concentrações elevadas (Fig.9).

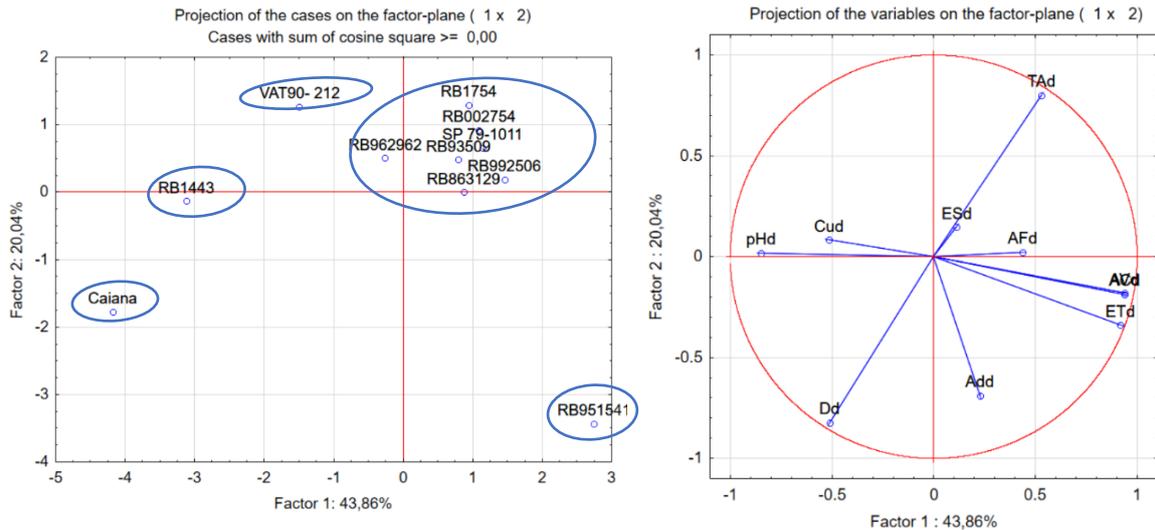


Figura 24: ACP - Parcela bidimensional de onze cachaça produzidas a partir das onze variedades únicas de cana-de-açúcar, incluindo: RB1443, RB962962, RB951541, RB002754, RB863129, RB93509, RB992506, RB1754, SP 79-1011, VAT90- 212, e Caiana, Acidez total – Acd (mg/100mL ác. acético), Acidez Volátil – Avd (mg/100mL A.A), Acidez Fixa - AFd (mg/100mL ác. Acético), pHd - Potencial hidrogeniônico, Dd – Densidade (g/cm³), TAd – Teor Alcoólico (°GL - 20°C), ESd - Extrato Seco (%), Cobre - Cud (mgCu/L A. Anidro), ETd - Ésteres Totais (mg Ac. Etila/100mLA. Anidro). Aldeídos - ADd (mg Aldeído acético/100mL Á. Anidro).

Tabela 8: Matriz de correlação (Pearson (n)) entre 10 parâmetros obtidos de 11 cachaça.

Variável	pHd	AVd	ACd	AFd	Dd	TAd	ESd	Cud	ETd	Add
pHd	1,00									
AVd	-0,71	1,00								
ACd	-0,70	1,00	1,00							
AFd	-0,02	0,40	0,41	1,00						
Dd	0,42	-0,35	-0,34	-0,17	1,00					
TAd	-0,37	0,33	0,33	0,40	-0,95	1,00				
ESd	0,07	0,21	0,20	-0,13	-0,27	0,12	1,00			
Cud	0,73	-0,29	-0,29	-0,12	0,09	-0,14	0,32	1,00		
ETd	-0,80	0,94	0,94	0,33	-0,16	0,18	0,04	-0,51	1,00	
Add	-0,09	0,33	0,35	0,22	0,32	-0,28	0,16	0,10	0,33	1,00

Acidez total - ACd (mg/100mL ác. acético), Acidez Volátil-AVd (mg/100mL A. A), Acidez Fixa - AFd (mg/100mL ác. Acético), pHd - Potencial hidrogeniônico, Dd – Densidade (g/cm³), TAd – Teor Alcoólico (°GL - 20°C), ESd - Extrato Seco (%), Cobre - Cud (mgCu/L A. Anidro), ETd - Ésteres Totais (mg Ac. Etila/100mLA. Anidro). Aldeídos -ADd (mg Aldeído acético/100mL Á. Anidro).

As correlações de Pearson quanto aos parâmetros, foram analisados para as cachaças produzidas (Tabela 8). O pH apresentou correlação negativa quanto ao parâmetro de acidez volátil (AV), Acidez total (AC) e Ésteres totais (ET) (Tab. 8); por outro lado, apresentou correlação positiva para o parâmetro cobre (Tab. 8). ET apresentaram correlação positivas quanto ao parâmetro de AC e AV. As correlações inversas entre o pH e os parâmetros de acidez volátil (AV), acidez total (AC) e ésteres totais (ET) em cachaças sugerem que quanto menor o

pH final da cachaça, maior será a concentração de acidez volátil (AV), acidez total (AC) e ésteres totais (ET) (Figura 24). Durante a fermentação a formação de ésteres ocorre através da síntese álcoois (etanol e álcoois superiores) ou ácidos graxos (cadeia curta e média) com Acetil-CoA; porém, durante a destilação, os ésteres são formados devido a síntese álcoois (etanol e álcoois superiores) ou ácidos graxos (cadeia curta e média) com ácido acético (Ribeiro-Filho, 2020, Boulton et al.; 2001). Em contraste, pH apresentou correlação positiva com o cobre, indicando quando maior o pH maior será a presença de cobre (Tab. 8). Esse resultado pode ser atribuído a diferentes fatores, como as características do processo de destilação, as condições de armazenamento ou até mesmo a presença de materiais de cobre nas instalações de produção (Boscolo, 2001). A densidade e o teor alcoólico apresentam uma correlação negativa, como esperado, indicando que à medida que a densidade da cachaça diminui, o teor alcoólico tende a aumentar, e vice-versa.

4.6 ANÁLISES DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) DO CALDO, VINHO E CACHAÇA

A PC1, PC2 e PC3 responderem 28,06%, 20,26% e 13,33% da variância total, respectivamente, resultando em uma variância total combinada de 61,65%. A PCA 1 separou os genótipos Caiana RB962962, RB951541, RB002754, RB863129, RB93509 e RB992506 das RB1443, RB1754, SP 79-1011 e VAT90- 212 (Fig. 25). A PC2 separou as cachaças RB1443, Caiana das cachaças VAT90-212, RB962962, SP79-1011, RB1754 e RB863129, RB992506, RB002754, RB933509 e RB951541 (Fig.25). Os genótipos RB951541, RB002754, RB863129 e RB93509 obtiveram as maiores concentrações ETd (Fig. 25). A RB992506 demonstrou afinidade com ACd, AVd e SSTv, enquanto a RB962962 apresentou maiores concentrações nos parâmetros de ACv e NRv (Fig. 25). Quanto aos parâmetros de ATv, ARv, Tad e pHc, a RB1754 foi o genótipo com as maiores concentrações. O genótipo VAT 90-212 teve a maior concentração para VBv, enquanto a SP 79-1011 obteve a maior concentração de CLc e ESd (Fig. 25). A RB1443 mostrou maior concentração para Cud, ARc e ATc. Por fim, a variedade Caiana destacou-se com a maior concentração no parâmetro de densidade (Fig. 25).

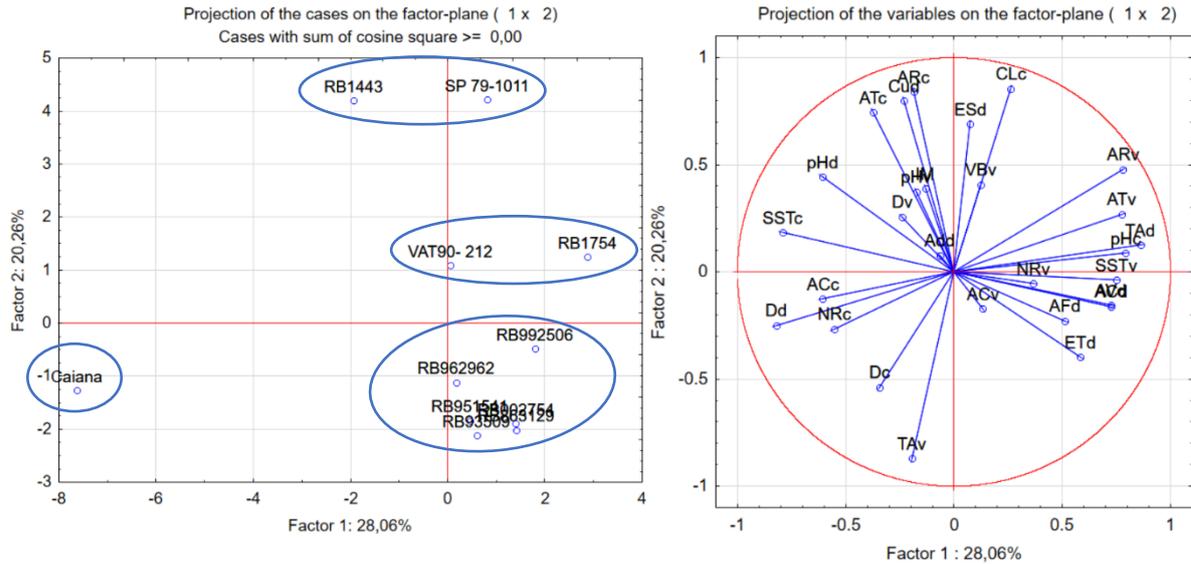


Figura 25: ACP - Parcela bidimensional de onze caldos, onze vinhos e onze cachaças produzidas a partir das onze variedades únicas de cana-de-açúcar, incluindo: RB1443, RB962962, RB951541, RB002754, RB863129, RB93509, RB992506, RB1754, SP 79-1011, VAT90- 212, e Caiana (Sólidos Totais Dissolvidos-SST (Brix^o), Açúcares Redutores-AR (em g. glicose/100mL), Açúcares Não Redutores-NR (g. sacarose/100mL), Açúcares Totais-AT (mg/100mL), Acidez total-Ad (mg/100mL ác. acético), Acidez Volátil-AV (mg/100mL A.A), Acidez Fixa - AF (mg/100mL ác. Acético), pH - Potencial hidrogeniônico, D – Densidade (g/cm³), TA – Teor Alcoólico (°GL - 20°C), ES - Extrato Seco (%), Cobre - Cu (mgCu/L A. Anidro), ET - Ésteres Totais (mg Ac. Etila/100mLA. Anidro). Aldeídos -AD (mg Aldeído acético/100mL Á. Anidro), Viabilidade Celular – VBv (%), Leveduras Selvagens – CLc (cels/mL). c- Caldo, v- Vinho, D- destilado.)

Todas as correlações quanto aos parâmetros analisados para o caldo, vinho e cachaça produzidas (Tabela 9). SSTc apresenta correlação negativa com os parâmetros de pHc, SSTv, ATv, AFd e TAd (Tab. 9). Por outro lado, o pHc correlaciona-se positivamente com os parâmetros de SSTv e TAd, mas negativamente com Dd (Tab. 9). O ARc mostra correlação positiva com os parâmetros de ATc, CLc e ESd (Tab. 9), enquanto o NRc se correlaciona positivamente com ATv e TAd (Tab. 9). O ATc correlaciona-se negativamente com ATv e TAd, mas positivamente com CLc e Cud (Tab. 9). O IM correlaciona-se positivamente com ADD (Tab. 9). O CLc apresenta correlação negativa com VBv, mas correlação positiva com ESd e Cud (Tab. 9). O SST tem correlação positiva com AVd (Tab. 9), enquanto o ACv correlaciona-se positivamente com AFd (Tab. 9). O ARv tem correlação negativa com Dd e positiva com ATv e TAd (Tab. 9). ATv correlaciona-se negativamente com Dd (Tab. 9), enquanto o TAv correlaciona-se negativamente com Cud (Tab. 9). O pHd mostra correlação negativa com AVd, ACd e ETd, mas positiva com Cud (Tab. 9). AVd tem correlação direta com ACd (Tab. 9), enquanto ETd está relacionado diretamente com AVd e ACd (Tab. 9). Por fim, Dd correlaciona-se negativamente com TAd (Tab. 9).

A figura 10, mostra que diferentes resultados e características únicas, foram identificados entre as variedades. Mesmo quando cultivadas nas mesmas condições ambientais,

ressalta a complexidade e a diversidade genética dentro da espécie *Saccharum spp.* Essa diversidade genética pode influenciar uma série de características diferentes e qualidade da cana-de-açúcar, como produtividade, teor de açúcares, teor alcoólico, produção de ésteres, aldeídos, extrato seco, entre outros (Andrade, 2013). É importante ressaltar que a compreensão dessas correlações pode fornecer insights valiosos para produtores de cachaça, permitindo uma seleção mais precisa de variedades de cana-de-açúcar e o desenvolvimento de práticas de cultivo e processamento mais eficientes. No entanto, é necessário realizar mais estudos para elucidar completamente as interações entre os parâmetros avaliados e como elas podem ser utilizadas para otimizar a produção de cachaça e garantir sua qualidade final (Embrapa, 2022).

Tabela – 9 Correlação dos componentes principais (PCA) do caldo, vinho e cachaça.

Variável	SSTc	pHc	ACc	ARc	NRc	ATc	Dc	IM	CLc	SSTv	pHv	ACv	ARv	NRv	ATv	Dv	TAv	VBv	pHd	AVd	ACd	AFd	Dd	TAd	ESd	Cud	ETd	ADd	
SSTc	1,00																												
pHc	-0,77	1,00																											
ACc	0,21	-0,64	1,00																										
ARc	0,19	-0,06	0,12	1,00																									
NRc	0,64	-0,55	-0,09	-0,15	1,00																								
ATc	0,40	-0,25	0,09	0,94	0,19	1,00																							
Dc	-0,02	-0,33	0,50	-0,22	0,29	-0,12	1,00																						
IM	0,25	-0,32	-0,03	0,24	0,21	0,31	-0,32	1,00																					
CLc	0,02	0,31	-0,35	0,80	-0,30	0,70	-0,63	0,20	1,00																				
SSTv	-0,77	0,72	-0,46	0,00	-0,33	-0,11	-0,25	-0,14	0,24	1,00																			
pHv	0,15	-0,06	0,00	0,09	-0,05	0,07	0,03	0,52	-0,03	-0,43	1,00																		
ACv	-0,46	-0,01	0,47	0,10	-0,26	0,01	0,20	-0,24	-0,05	0,45	-0,61	1,00																	
ARv	-0,38	0,54	-0,59	0,09	-0,49	-0,08	-0,57	0,18	0,53	0,35	0,22	-0,19	1,00																
NRv	-0,24	0,08	-0,23	-0,18	0,17	-0,12	0,18	-0,10	-0,11	0,31	-0,09	0,26	0,39	1,00															
ATv	-0,67	0,54	-0,23	-0,06	-0,75	-0,31	-0,45	0,09	0,26	0,46	0,11	0,24	0,81	0,34	1,00														
Dv	0,18	-0,16	-0,08	0,25	0,15	0,30	-0,23	0,12	0,10	-0,16	0,07	-0,05	-0,07	0,03	-0,01	1,00													
TAv	0,04	-0,24	0,22	-0,64	0,29	-0,54	0,55	-0,27	-0,70	-0,26	-0,26	-0,01	-0,57	-0,29	-0,45	-0,23	1,00												
VBv	0,35	-0,12	-0,19	0,00	-0,12	-0,04	-0,38	0,30	0,28	-0,43	0,45	-0,55	0,63	0,09	0,32	-0,19	-0,28	1,00											
pHd	0,22	-0,29	0,63	0,59	-0,06	0,57	0,08	0,10	0,20	-0,25	0,14	0,35	-0,42	-0,27	-0,20	0,21	-0,35	-0,26	1,00										
AVd	-0,46	0,41	-0,58	-0,07	-0,08	-0,10	-0,18	0,05	0,24	0,65	-0,40	0,10	0,42	0,22	0,28	-0,10	0,10	-0,10	-0,71	1,00									
ACd	-0,47	0,40	-0,57	-0,07	-0,08	-0,10	-0,17	0,06	0,23	0,65	-0,40	0,12	0,42	0,23	0,28	-0,10	0,10	-0,12	-0,70	1,00	1,00								
AFd	-0,81	0,31	0,20	-0,12	-0,53	-0,30	0,09	0,10	-0,12	0,58	-0,18	0,68	0,13	0,08	0,56	-0,19	0,10	-0,39	-0,02	0,40	0,41	1,00							
Dd	0,58	-0,73	0,51	0,04	0,57	0,24	0,22	0,21	-0,34	-0,43	-0,16	0,12	-0,85	-0,41	-0,71	0,35	0,39	-0,44	0,42	-0,35	-0,34	-0,17	1,00						
TAd	-0,72	0,72	-0,35	-0,15	-0,70	-0,38	-0,19	-0,26	0,21	0,48	0,06	0,11	0,81	0,43	0,84	-0,32	-0,30	0,34	-0,37	0,33	0,33	0,40	-0,95	1,00					
ESd	0,14	0,01	-0,13	0,71	-0,17	0,65	-0,14	0,34	0,71	-0,19	0,35	-0,30	0,40	-0,16	0,08	0,07	-0,35	0,42	0,07	0,21	0,20	-0,13	-0,27	0,12	1,00				
Cud	0,17	-0,07	0,20	0,86	-0,16	0,80	-0,31	0,16	0,66	0,10	0,02	0,26	0,05	-0,02	0,04	0,30	-0,81	-0,08	0,73	-0,29	-0,29	-0,12	0,09	-0,14	0,32	1,00			
ETd	-0,31	0,21	-0,47	-0,30	0,05	-0,28	-0,11	0,02	0,00	0,46	-0,47	0,06	0,25	0,14	0,15	-0,12	0,37	-0,08	-0,80	0,94	0,94	0,33	-0,16	0,18	0,04	-0,51	1,00		
ADd	0,12	-0,46	0,05	0,14	0,35	0,26	0,02	0,66	-0,04	0,04	0,09	0,14	0,04	0,35	0,04	0,40	-0,12	-0,06	-0,09	0,33	0,35	0,22	0,32	-0,28	0,16	0,10	0,33	1,00	

Sólidos Totais Dissolvidos-SST (Brix°), Açúcares Redutores-AR (em g. glicose/100mL), Açúcares Não Redutores-NR (g. sacarose/100mL), Açúcares Totais-AT (mg/100mL), Acidez total-Ad (mg/100mL ác. acético), Acidez Volátil-AV (mg/100mL A.A), Acidez Fixa-AF (mg/100mL ác.acético), pH-Potencial hidrogênico, D – Densidade (g/cm³), TA – Teor Alcoólico (°GL - 20°C), ES - Extrato Seco (%), Cobre - Cu (mg Cu/L A. Anidro), ET - Ésteres Totais (mg Ac. Etila/100mLA. Anidro). Aldeídos -AD (mg Aldeído acético/100mL Á. Anidro), Viabilidade Celular – VBv (%), Leveduras Selvagens – CLc (cels/mL). c- Caldo, v- Vinho, D- destilado.

O experimento avaliou a influência de diferentes variedades de cana-de-açúcar na fabricação de cachaça. Os resultados indicam que a maturação da cana-de-açúcar pode variar entre diferentes variedades e que a concentração de leveduras selvagens também pode ser influenciada pela genética da planta. As variedades Caiana e SP 79-1011 apresentaram valores notavelmente superiores de sólidos solúveis totais (SST), indicando um maior potencial de rendimento na produção de cachaça. Além disso, as variedades Caiana e RB992506 exibiram maiores valores de açúcares não redutores, o que também pode contribuir para a produção de álcool. No contexto da fermentação, o pH teve um papel crucial. A variedade Caiana apresentou um pH mais baixo, maior produção de álcool e menor acidez. Para a viabilidade celular as variedades RB1754, SP 79-1011 e VAT 90-212 obtiveram as maiores concentrações. A análise do destilado revelou que as amostras atingiram teores alcoólicos diversos, com destaque para a variedade Caiana, mantendo-se dentro dos padrões estipulados pela legislação. A presença de cobre no destilado foi observada, sendo que a variedade RB1443 exibiu o maior teor de cobre, ultrapassando o valor máximo permitido pelo MAPA. A acidez volátil também foi avaliada, e algumas amostras excederam os limites estabelecidos pela regulamentação. No geral, o estudo demonstrou que diferentes variedades de cana-de-açúcar podem influenciar significativamente as propriedades físico-químicas do caldo e do destilado resultantes. A escolha da variedade de cana-de-açúcar pode afetar o teor alcoólico, acidez e outros aspectos essenciais para a qualidade da cachaça. Portanto, é importante considerar essas diferenças ao planejar a produção de cachaça e buscar otimizar as condições de fermentação e destilação para obter um produto final de alta qualidade. Além disso, o cumprimento das regulamentações e padrões de qualidade é essencial para garantir a segurança e a comercialização adequada da cachaça produzida. Estudos futuros como o carbamato de etila gerado por cultivar; e a influência das variedades de cana-de-açúcar no perfil de aromas da cachaça são necessários. Isso permitirá uma abordagem mais focada para melhorar a qualidade da cachaça, garantindo sua consistência e conformidade com padrões regulamentares.

5 CONCLUSÃO

Os resultados das análises sugerem que as diferentes variedades de cana-de-açúcar apresentam uma gama de características únicas, influenciando diretamente a qualidade do caldo, vinho e cachaça. A PCA e as correlações de Pearson proporcionaram uma compreensão mais profunda das relações entre esses parâmetros. Essa informação é valiosa para os produtores de cachaça, pois permite uma seleção mais precisa de variedades de cana e uma melhor compreensão dos processos de fermentação e destilação. Os resultados das análises de 11 variedades de cana-de-açúcar, incluindo RB1443, RB962962, RB951541, RB002754, RB863129, RB93509, RB992506, RB1754, SP79-1011, VAT90-212 e Caiana, revelaram insights significativos quanto ao índice de maturação, contagem de células de levedura, análises físico-químicas do caldo, vinho de cana e destilado. O índice de maturação (IM) das variedades de cana-de-açúcar revelaram valores que variam entre 0,7 e 1,1. Os genótipos SP79-1011, VAT90-212 e RB951541 apresentaram os maiores valores de IM (1,1), indicando um estágio avançado de maturação. Por outro lado, a RB93509 exibiu o menor IM (0,7), sugerindo uma cana ainda em estágio mais verde ou em processo de maturação. A contagem de células de leveduras selvagens no caldo de cana revelou variações significativas entre as variedades. As variedades SP79-1011 ($2,9 \times 10^7$ células/mL) e RB1443 ($2,8 \times 10^7$ células/mL) apresentaram as maiores concentrações de leveduras selvagens. Caiana ($1,4 \times 10^7$ células/mL) e RB863129 ($1,5 \times 10^7$ células/mL) mostraram as menores contagens. As variedades de cana-de-açúcar apresentam em média 2×10^7 células de leveduras selvagens/mL. As análises físico-químicas do caldo de cana revelaram variações em parâmetros como sólidos totais solúveis (SST), pH, acidez total (AC), açúcares redutores (AR), não redutores (NR) e densidade. A variedade Caiana apresentou o maior valor de SST (22 °Brix), enquanto RB863129 teve o menor valor (15 °Brix). A SP79-1011 destacou-se com a maior concentração de açúcares totais (16,6 mg/100mL). As variações no pH sugerem diferenças no equilíbrio químico e na capacidade de fermentação entre as variedades. O vinho de cana-de-açúcar foi analisado para determinar a qualidade da fermentação. As amostras RB1443 (6,3 °Brix) e RB951541 (6,1 °Brix) apresentaram os maiores valores de SST. Por outro lado, Caiana (0,1 °Brix) apresentou o menor SST, sugerindo uma fermentação mais completa. O pH variou de 3,56 a 6,55, com Caiana e VAT90-212 apresentando os valores mais altos de pH. As análises da cachaça enfocaram parâmetros como pH, acidez total, acidez volátil, acidez fixa, densidade, teor alcoólico, extrato seco, cobre, ésteres totais e aldeídos. As variedades RB951541 e RB1754 apresentaram os maiores valores de acidez total e volátil, respectivamente. A RB951541 também teve o maior teor de ésteres

totais (462,6 mg/100mL), enquanto a Caiana apresentou a menor acidez total (12,3 mg/100mL). Na Cachaça, a RB1754 apresentou os maiores teores de etanol e extrato seco. RB992506 e SP79-1011 geraram alto teor de etanol. RB863129 gerou alta acidez seca. SP79-1011 gera o maior rendimento de fermentação e destilação. VAT90-212, RB1754 e RB992506 geraram alto rendimento de suco e destilação. Os resultados obtidos para Caiana, podem ter sofrido influencia devido a sua diferença de solo, porém a caiana para o campo é uma variedade não atrativa, pois suas características físicas não são atrativas para o cultivo no campo em larga escala.

REFERÊNCIAS

5 Variedades de cana-de-açúcar mais cultivadas no Brasil - Agroadvance. Disponível em: <<https://agroadvance.com.br/blog-5-variedades-de-cana-mais-cultivadas/>>.

A História Da Cana-De-Açúcar - Da Antiguidade Aos Dias Atuais. Disponível Em: <<https://www.udop.com.br/noticia/2003/01/01/a-historia-da-cana-de-acucar-da-antiguidade-aos-dias-atuais.html>>.

ALCARDE, A. R.; SOUZA, P. A.; BELLUCO, A. E. S. Aspectos Da Composição Química E Aceitação Sensorial Da Aguardente De Cana-De-Açúcar Envelhecida Em Tonéis De diferentes Madeiras. **Ciência E Tecnologia De Alimentos**, V.30, P.226-232, 2010.

BORTOLETTO A. M. Rum and cachaça. **Elsevier eBooks**, p. 61–74, 1 jan. 2023.

ALMEIDA, A. A. **Brejo Paraibano**: contribuição para o inventário do patrimônio cultural. João Pessoa: Museu do Brejo Paraibano, 1994.

ALMEIDA, H. **Brejo de Areia**: memórias de um município. Rio de Janeiro: Departamento de Imprensa Nacional, 1958.

ANDRADE, D.; SANTOS, L. S.; OLIVEIRA, B. A.; BERALDO, C. C. **Alcoóis: a produção do conhecimento com ênfase na sua atividade antimicrobiana.** Medicina Ribeirão Preto. v. 35, n. 1, p. 7-13, 2002.

ANDRADE, L. A. B. **Cultura da cana-de-açúcar.** In: CARDOSO, M. G. **Produção de aguardente de cana.** 3 ed. Lavras: Editora da UFLA, p. 25- 55.; 2013.

ANVISA, RDC N° 350. Agência Nacional de Vigilância Sanitária; Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) N° 350 define os critérios e os procedimentos extraordinários e temporários para a fabricação e comercialização de preparações antissépticas ou sanitizantes oficinais sem prévia autorização da ANVISA e dá outras providências, em virtude da emergência de saúde pública internacional relacionada ao sars-cov-2; **diário oficial da união (dou)**, Brasília, no. 55, de 20/03/2020, p. 154. 2.

AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A. **Biotechnologia Industrial: Biotechnologia Na Produção De Alimentos**, V. 4. São Paulo: Edgard Blucher, 2001.

AQUARONE, E.; LIMA, U. A.; BORZANI, W. **Alimentos E Bebidas Produzidos Por Fermentação.** São Paulo: E. Blucher, 1990. V. 5, 243 P.

ARAÚJO, L. F.; MELO, T.N.L.; FORTUNA, J. L. Avaliação da eficácia do álcool comercial para desinfecção de superfícies. **Revista Científica do ITPAC**, v. 12, n. 2, p. 66-71, 2019

Areia, Ontem E Hoje: Usina Santa Maria. Disponível Em: <<https://areiaontemhoje.blogspot.com/2016/12/em-virtude-da-grande-oportunidade.html>>. Acesso Em: 15 Abr. 2024.

ASSUNÇÃO, G. M. Avaliação da viabilidade celular de levedura cultivada em permeado de soro de queijo após secagem. **ENGEVISTA**, V. 18, n. 1, p. 62-77, Jul, 2016. ISSN: 1415-7314.

ATTIA, A.; ESSAM ELDIN, I. (2018). Organizational learning, knowledge management capability and supply chain management practices in the Saudi food industry. **Journal of Knowledge Management**, 22(6), 1217.

BOSCOLO, M. Caramelo e carbamato de etila em aguardente de cana. Ocorrência e quantificação. São Paulo. Tese (Doutorado em Ciências em Química Analítica) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 100 f.; 2001.

BOULTON, C.; QUAIN, D. **Brewing yeast and fermentation**. Wiley Online Library, 2001.

Briggs, B. C. A.; Brookes P.A.; Stevens R. Fabricação de cerveja: ciência e prática. **Woodhead Publishing**, Cambridge, Reino Unido. 2004.

CABRAL, G. J. KREMER, H.; TROSSINI, T. **Cachaça**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2006. Disponível em:

http://www.enq.ufsc.br/labs/probio/disc_eng_bioq/trabalhos_grad/trabalhos_grad_2006-1/cachaca.doc. Acesso em: 04 mai. 2024.

CAETANO, A. F. P. **Entre a sombra e o sol: a Revolta da Cachaça**, a freguesia de São Gonçalo do Amarante e a crise política fluminense (Rio de Janeiro, 1640-1667). 2003. Dissertação (Mestrado em História Social) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2003

Caminho Dos Engenhos É Roteiro Das Cachaças De Alambique – Destino Paraíba. Muito Mais Que Sol E Mar. Disponível Em:

<<https://www.destinoparaiba.pb.gov.br/ondeir/caminho-dos-engenhos-e-roteiro-das-cachacas-de-alambique/>>. Acesso Em: 15 Abr. 2024.

CAMPOS, R. G. S. S. A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental. **Editora da Universidade Federal de Uberlândia/MG. EDUFU**, 2020.

CAMPUS, G. A. Cachaça: Qualidade E Produção. **Dissertação (Mestrado) UFLA** 1999. P 07-14

CARDOSO, M. G. Produção de aguardente de cana. 3. ed. Lavras: **Editora UFLA**, 2013. 444 p.

CARDOSO, M. G. Produção Artesanal De Aguardente. Lavras: **UFLA**, 2006.

CARDOSO, M. G. Produção De Aguardente De Cana. 2 Ed. Lavras, Ed. **UFLA**, 2013. 340p.

CARDOSO, M.G. Análises físico-químicas de aguardente. Produção de aguardente de cana de açúcar. Lavras: **UFLA**, 2001.

CARVALHO, L. G. Modelo De Regressão Para A Previsão De Produtividade De Cafeeiros No Estado De Minas Gerais. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental**, V.8, N.2/3, P.204-211, 2004.

Cavalcante, S. S. (2017) **Determinações das características físico-químicas das cachaças de alambique produzidas e comercializadas na Paraíba**. (licenciatura em ciências agrárias). 37p. Universidade Estadual da Paraíba, 2017.

<http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/13968/1/PDF%20-%20Samara%20da%20Silva%20Cavalcante.pdf>

CHALFOUN, S. M.; FERNANDES, A. P. **Efeitos Da Fermentação Na Qualidade Da Bebida Do Café**. Visão Agrícola, USP, P. 105-108, 2013.

CHERUBIN, R. A. Efeitos Da Adição De Benzoato De Sódio Na Fermentação Alcoólica Para Produção De Aguardente De Cana-De-Açúcar (*Saccharum Spp*). 1998. 70p. **Dissertação (Mestrado Em Ciência E Tecnologia De Alimentos)** - Escola Superior De Agricultura "Luiz De Queiroz", Universidade De São Paulo, Piracicaba, 1998.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Brasília, DF, v. 9, n. 1, abril 2022.

COSTA, M. Caracterização química e sensorial do grau de maturação de cachaça envelhecida em tonéis de madeiras brasileiras. 5 jan. 2024.

CRAVO, F. C.; **COMPOSIÇÃO DE CACHAÇAS OBTIDAS DE CINCO VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR E A CORRELAÇÃO DA PRESENÇA DE DHURRIN NA CANA COM O CARBAMATO DE ETILA**. 2017. 71 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Programa de Pós Graduação em Ciências de Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

CURSI, D. E. History and current status of sugarcane breeding, germplasm development and molecular genetics in Brazil. **Sugar Tech**, v. 23, n. 1, p. 1-22, 2021.

CURTO, J. C. **Álcool e Escravos: o comércio luso-brasileiro do álcool em Mpinda, Luanda e Benguela durante o tráfico atlântico de escravos (C.1480-1830) e o seu impacto nas sociedades da África Central Ocidental**. Lisboa: Vulgata, 2002.

DANTAS, L. Estratégias de desenvolvimento local nos engenhos de cana-de-açúcar: o caso do Brejo Paraibano. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23.; Ouro Preto, 2003. **Anais...** Ouro Preto: ABEPRO, 2003. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/ENEGERP2003_TR0111_0713.pdf. Acesso em: 04 mai. 2024.

AQUINO, F. W. B.; FRANCO, D. W. Formation of Dextran Deposits in Brazilian Sugar Cane Spirits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 15, p. 8249–8255, 10 ago. 2011.

SOUZA, P. P. Brazilian cachaça: “Single shot” typification of fresh alembic and industrial samples via electrospray ionization mass spectrometry fingerprinting. **Food Chemistry**, v. 115, n. 3, p. 1064–1068, ago. 2009.

BORTOLETTO, A. **RISCOS E PREVENÇÃO DOS CONTAMINANTES EM CACHAÇA**. 2021. Disponível em: <<https://www.inovbev.com/post/riscos-e-preven%C3%A7%C3%A3o-dos-contaminantes-em-cacha%C3%A7a>>.

DUARTE, W. F.; AMORIM, J. C.; SCHWAN, R. F. (2013). Efeitos do cocultivo de leveduras não *Saccharomyces* com *S. cerevisiae* no processo de fermentação da aguardente de cana-de-açúcar (cachaça). *Antonie van Leeuwenhoek*, 103, 175–194. DOI: 10.1007/s10482-012-9798-8.

EGGLESTON, G.; LEGENDRE, B.; RICHARD, C. Effect Of Harvest Method And Storage Time On Sugarcane Deterioration I: Cane Quality Changes. **International Sugar Journal**, V.103, N.1232, P. 331-338, 2001.

FEIJÓ, A.; MACIEL, E. **Cachaça artesanal: do alambique à mesa**. Rio de Janeiro: Senac, 2002.

Freiria, B. H. Levedura Selvagem: **Comparação E Análise De Contaminação Do Processo Fermentativo Para Obtenção De Etanol De Cana-De-Açúcar**. 2023.

- FREIRIA, B. H. **Levedura Selvagem: Comparação e análise de contaminação do processo fermentativo para obtenção de etanol de cana-de-açúcar.** 2023. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.
- GALINARO, C. A.; FRANCO, D. F. Formação De Carbamato De Etila Em Aguardentes Recém Destiladas: Proposta Para Seu Controle. **Química Nova.** São Paulo, V. 34, N. 6, P.996-1000, 2011.
- Garbin, R.; Bogusz, J. S.; Montano, M. A. Níveis De Cobre Em Amostras De Cachaça Produzidas Na Região Noroeste Do Rio Grande Do Sul. *Ciência Rural*, 35(6), 1436-1440. [Http://Dx.Doi.Org/10.1590/S0103-84782005000600033](http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000600033) **Instituto Nacional De Metrologia, Qualidade E Tecnologia – INMETRO. (2020).** DOQ-CGCRE-008: Orientação Sobre Validação De Métodos Analíticos. Duque De Caxias. (2005).
- GENZ, T. B.; CALLAI, T. SCHLESENER, V. R. F.; OLIVEIRRA, C. F.; RENNER, J. D. P. Eficácia antibacteriana de agentes de limpeza na desinfecção de superfícies de consultórios odontológicos. **Revista da Faculdade de Odontologia.** v. 22, p. 162-166, 2017.
- GODSHALL, M. A Et Al. **Effect Of Harvest System On Cane Juice Quality.** Proceedings Of The 2000 Sugar Processing Research Conference, Porto, Portugal, 9-12 April, 2000.
- GÓES, J. A. W. Et. Al. Capacitação Dos Manipuladores De Alimentos E A Qualidade Da Alimentação Servida. **Higiene Alimentar.** V. 15, N. 82, P. 20-22, 2001.
- HAZELWOOD, L.; TAI, S.; BOER, V.W. J.; PRONK, J.; DARAN, J. (2006). A new physiological role for Pdr12p in *Saccharomyces s cerevisiae*: Export of aromatic and branched-chain organic acids produced in amino acid catabolism. **FEMS Yeast Research**, 6(6), 937–945. <https://doi.org/10.1111/j.1567-1364.2006.00094.x>.
- HIRAIFARMA. **Determinação do álcool 70% utilizado para antisepsia em drogarias e farmácias de Maringá- Paraná.** Rio de Janeiro, 2012.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análises de alimentos.** 4ª ed. (1ª Edição digital), 2008. 1020 p.
- KILLIAN, E. E. & OUGH, C. S. Fermentation esters – formation and retention as affected by fermentation temperature. **Am. J. Enol. Vitic. Davis.** v. 30. n. 4, p. 301-305, 1979.
- LANDELL, M.G.A. **A Cultura Da Cana De Açúcar. Tecnologia Para O Pequeno Produtor.** Disponível Em [Http:// Www.Agrobyte.Com.Br/Cana.Htm](http://www.Agrobyte.Com.Br/Cana.Htm). Acesso Em 14 De Abr.2024.
- Lima, C. M.; Benoso, P.; Pierezan, M. D.; Santana, R. F.; Hassemer, G.; Rocha, R. A.; Dalla, N. F. M.; Verruck, S.; Caetano, D.; Simal- Gandara. J. 2022. Uma Revisão Do Estado Da Arte Da Composição Química Da Aguardente De Cana-De-Açúcar E Avanços Atuais No Controle De Qualidade. **J Food Compost Anal** 106: 104338. [Https://Doi.Org/10.1016/J.Jfca.2021.104338](https://doi.org/10.1016/J.Jfca.2021.104338)
- LIMA, A. K. Dos S; NÓBREGA, I. C. Da C. Avaliação De Parâmetros De Qualidade Em Aguardentes De Cana Produzidas No Estado Da Paraíba. **CNPQ/UFPB.** Paraíba. 2004.
- LIMA, U. A.; BASSO, L. C.; AMORIM, H. V. Produção De Etanol. In: SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W. (Coord.). **Biotecnologia Industrial: Processos Fermentativos E Enzimáticos**, V.3, Capítulo 1, São Paulo, SP, Editora Edgard Blucher, 2001.

MELO, F. H.; FONSECA, E. G. Proálcool, Energia E Transportes. São Paulo: **Editora Pioneira/Fundação Instituto De Pesquisas Econômicas**, 1981. 163 P.

LIMA, U. A.; BASSO, L. C.; AMORIM, H. V. **Biotecnologia Industrial: Processos Fermentativos E Enzimáticos**. São Paulo: Edgard Blucher, 2001.

MACHADO, S.S.; 2012. **Tecnologia da fabricação do açúcar**. Inhumas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. 56 p.

MAIA, A. B. R. Componentes secundários da aguardente. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 12, n.6, p 29-34, 1994.

MARIA, D. **Fatores que afetam a formação de ácidos orgânicos bem como outros parâmetros da fermentação alcoólica**. Piracicaba, 1994. Disponível Em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11144/Tde-20210917-161601/Publico/Alvesdenisemariagandara.Pdf>>.

MARIÑO, J. I. M. Présence Et Évolution Dês Esters Supérieurs, Em Fonction Dês Différents Facteurs, Au Cours De La Fermentation Alcoolique. **Revue Française d'Oenologie**, Paris, V. 23, N. 90, P. 41-48,1983.

Martini C.; Margarido L. A.; Ceccato-Antonini S.R. Avaliações Microbiológicas E Físico-Químicas Do Caldo Extraído De Diferentes Partes Do Colmo Da Cana-De-Açúcar De Três Variedades Cultivadas Sob Manejo Orgânico. **Ciências Tecnologia de Alimentos**. 30:808–813. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000300037>, 2010.

MATTOS, A. R. **Açúcar e álcool no Brasil**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1942.

MEILGAARD, M. Effects on Flavour of Innovations in Brewery Equipment and Processing: A Review. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 107, n. 5, p. 271–286, 2001.

MENEZES, T. J. B. de. **Etanol, o combustível do Brasil**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. p. 141-178.

MIGUEL, B. Composição química de aguardentes de cana-de-açúcar obtidas por fermentação com diferentes cepas de levedura *Saccharomyces cerevisiae*. 11 nov. 2015.

Miranda, M B. Qualidade Química De Cachaças E De Aguardentes Brasileiras. **Food Science and Technology** [Online]. 2007, V. 27, N. 4 [Acessado 14 Junho De 2023], Pp. 897-901. Disponível Em: <<https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000400034>>. Epub 12 Fev 2008.

Miranda, M B.; MARTINS, N. G.; BELLUCO, A. E. S.; HORRI, J.; ALCARDE, A. R. Perfil físico-químico de aguardente durante envelhecimento em tonéis de carvalho. **Ciênc. Tecnol. Alim.**; Campinas, v. 28, supl.; p. 84-89, dez. 2008.

MONTIJO, N. A. Yeast CA-11 fermentation in musts treated with brown and green propolis. **African Journal of Microbiology Research**, v. 8, n. 39, p. 3515–3522, 24 set. 2014.

MORAES, F.V. **Como Controlar A Qualidade Da Cachaça. Engarrafador Moderno**, V.10, N.85, P.24-29, Mai. 2001.

MORAES, G. M. S. M.; FERNANDO, C. D. M. Areia - Paraíba: morfologia e desenvolvimento urbano (séculos XVIII, XIX e XX). 2008. **Dissertação (Mestrado)**. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

MUTTON, M. J. R. Reflexos Da Qualidade Da Matéria-Prima Sobre A Fermentação Etanoica. In: Workshop Sobre: “Produção De Etanol: Qualidade De Matéria-Prima”. **Anais**. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, Brasil, 2003.

NASCIMENTO, J. **A cultura da cana-de-açúcar e a (Re) Produção do Espaço Agrário do Município de Areia/PB. 2007**. Monografia (Graduação em Licenciatura Plena em Geografia) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2007.

NASCIMENTO, R. F.; CARDOSO, D. R.; LIMA, N. B. S.; FRANCO, D. W. Influência do material do alambique na composição química das aguardentes de cana-de-açúcar. **Química Nova**, Araraquara, v. 21, n. 6, p. 735-39, jan. 1998.

Nelson, D. L.; Cox, M. M. (2008). **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. Porto Alegre: **Artmed Editora**.

NOBRE, T. P.; HORII, J.; ALCARDE, A. R. Viabilidade Celular De Saccharomyces Cerevisiae Cultivada Em Associação Com Bactérias Contaminantes Da Fermentação Alcoólica. **Food Science And Technology**, V. 27, N. 1, P. 20–25, Jan. 2007.

NYKÄNEN, L.; SUOMALAINEN, H. **Aroma of beer, wine and distilled alcoholic beverages**. Berlin: Akademik-Verlag, 1983. 413 p.

OLIVA NETO, P; YOKOYA, F. Susceptibility Of Saccharomyces Cerevisiae And Lactic Acid Bacteria From The Alcohol Industry To Several Antimicrobial Compounds. **Brazilian Journal Of Microbiology**, V.32, P.10-14, 2001.

OLIVEIRA, B. M.; MELO FILHO, J. M.; AFONSO, J. C. A densidade e a evolução do densímetro. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, p. 1–10, jan. 2013.

Oliveira-Filho, J. H.; 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*, Campinas, 19, e2015069. 2016. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.6915>

PALÁCIO, M. **FATEC**. Disponível em: <<https://www.fatecc.com.br/>>. Acesso em: 25 abr. 2024.

PARAÍBA TOTAL. **Produção de cana-de-açúcar na Paraíba deve superar previsão**. Paraíba, 4, agosto 2014. Disponível em: <https://www.paraibatotal.com.br/2014/08/04/38624-producao-de-cana-de-acucar-na-paraiba-deve-superar-previsao/>. Acesso em: 04 MAI. 2024.

PARAÍBAJA - **Eleita a melhor do mundo, Boa do Brejo está entre as cachaças mais saudáveis do Brasil**. João Pessoa, 9, abr.; 2022. Disponível em: <https://paraibaja.com.br/eleita-a-melhor-do-mundo-boa-do-brejo-esta-entre-as-cachacas-mais-saudaveis-do-brasil/>. Acesso em: 04 mai. 2024.

PEDRO, V. Cachaça production: from sugar cane to spirit. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 129, n. 4, 14 dez. 2023.

PEREIRA, N. E. Compostos secundários em cachaças produzidas no Estado de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 27, n. 5, p. 10681075, 2003.

PIGGOTT, J. **Alcoholic Beverages: Sensory Evaluation And Consumer Research**. 1 Ed. Cambridge: **Woodhead Publishing - Elsevier**, 2012. 795 P.

PIGGOTT, J.R.; COONER, J.M. whiskies. In: LEA, A. G. H.; PIGGOTT, J.R.; (Ed). Fermented beverage production. 2 ed. New York; Klumer Academic/plenum Publishers, 2003. Cap. 11, p. 2390-262.

PINHEIRO, S. H. M. **Avaliação Sensorial Das Bebidas Aguardente De Cana Industrial E Cachaça De Alambique**. Minas Gerais, Viçosa. 2010. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/34071/1/OT10016.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2024.

Ravaneli, G.C.; Madaleno, L.L.; Presotti, L.E.; Mutton, M.A.; Mutton, M. J. R. **Infestação De Cigarrinhas Na Cana-de-Açúcar Afeta Fermentação Etanólica**. Ciência Agrícola 63:534-539. 2006. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162006000600004>

Ribeiro Filho, M. N. (2020). Capítulo 13: Processamento De Cana-De-Açúcar Para Produção de Cachaça e de Etanol. In: Mielezrski, F. & Lopes, G. N. Cultivo de Cana-de-açúcar na Paraíba. João Pessoa, PB; **Editora UFPB**. Cap. 13, p. 168-180.

Ribeiro-Filho N.; Ayed, C.; and Akepach, P. (2023). The buffering capacity of single amino acids in brewing wort. *International Journal of Food Science and Technology* 58 (3):1611-1620. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15924>

Ribeiro-Filho, N.; Linforth, R.; Powell, C. D.; Fisk, I. D. (2021). Influence of essential inorganic elements on flavour formation during yeast fermentation. *Food Chem*, 361, 130025. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130025>

RICARDO, A.; André. **Cachaça: ciência, tecnologia e arte**. [s.l.] Editora Blucher, 2017.

RIZZON, L. A. Metodologia para análise de vinho. **Embrapa Informação Tecnológica Brasília**, DF, 2010.

Rodrigues, G. Z.; da Cunha, L. T.; & Almeida, G. R. R. (2020). DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DA FERMENTAÇÃO CONTROLADA DE FRUTOS DO CAFÉ NO PÓS-COLHEITA EM DIFERENTES TEMPOS. *Revista Agroveterinária Do Sul De Minas - ISSN: 2674-9661*, 2(1), 45 - 52. Recuperado de <https://periodicos.unis.edu.br/index.php/agrovetsulminas/article/view/357>

RODRIGUES, L. M. A. Quantificação De Contaminantes Em Aguardentes De Cana/Cachaças De Alambique E De Coluna. 2016. 134 P. Tese (Doutorado Em Ciência Dos Alimentos) -Universidade Federal De Lavras, Lavras, 2016.

Rosa CA, Soares AM, Faria JB. 2009. Capítulo 34: Produção De Cachaça. In: Ingledew WM, Kelsall DR, Austin GD, Kluhspies C. O Livro Didático Sobre Álcool. Quinta Edição. **Imprensa Da Universidade De Nottingham**. Capítulo 34:481-490.

Rossato JA, Costa GHG, Madaleno LL, Mutton MJR, Higley LG, Fernandes OA. 2013. Caracterização E Impacto Da Broca Da Cana-De-Açúcar Na Produtividade E Qualidade Da Cana-De-Açúcar. *Agron J* 105:643. <https://doi.org/10.2134/Agronj2012.0309>.

SAMPAIO, M. R. F; Prospecção química em produtos da cana-de-açúcar da Região Sul do Brasil. 2021. **Tese** (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

SANTOS, F. Et Al. **Cana-De-Açúcar Biomassa, Açúcar E Álcool – Tecnologia E Perspectivas**. Viçosa – MG [S.N.], 2010. 575 P.

SEBRAE. **Cachaça Artesanal – relatório completo**. São Paulo, 2008. 154p

SEBRAE. **Fábrica de aguardente de cana-de-açúcar**. Vitória, 1999. 28p.

SILVA, C. A. P. DA. **Avaliação da concentração de compostos secundários presentes em cachaças comercializadas na capital paraibana da cachaça, Areia-PB**. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/23430>>. Acesso em: 24 abr. 2024.

SILVA, F. Z.; BASTOS, I. C.; COSTA, P. R. Aplicação De Metodologia Clássica Para Determinação De Cobre Em Cachaça Artesanal. **Brazilian Journal Of Food Technology**, V. 24, P. E2020228, 2021.

SILVA, Iara Santos e. **Obtenção de cafés especiais pela fermentação**. 2021. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

SILVA, J. M.; MOREIRA, R. T.; COUTINHO, E. P.; CRUZ, R. B.; SOUZA, J. R. T.; Características físico-químicas e sensoriais de cachaças de alambiques produzidas na microrregião do brejo paraibano, PB. BARRE, O.; BLONDIN, B.; DEQUIN, S.; FEUILLAT, M.; SABLAYROLLES, J.M.; **Revista Brasileira De Produtos Agroindustriais**. CG, 2014.

SILVELLO, G. C.; BORTOLETTO, A. M.; CASTRO, M. C.; Alcarde, A. R. (2021). Nova abordagem para classificação de destilados envelhecidos em barris com base no nível de maturação e aprendizado de máquina: Um estudo sobre cachaça. **LWT - Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 140, 110836. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110836>

SOLES, R. M.; OUGH, C. S.; KUNKEE, R.E. Ester concentration differences in wine fermented by various species and strains of yeasts. **Am. J. Enol. Vitic. Davis**. v. 33, n. 2, p. 94-98, 1992.

TAYLOR, A. A.; TSUJI, J. S.; GARRY, M. R.; MCARDLE, M. E.; GOODFELLOW JUNIOR, W. L.; ADAMS, W. J.; MENZIE, C. A. (2020). Critical Review Of Exposure And Effects: Implications For Setting Regulatory Health Criteria For Ingested Copper. **Environmental Management**, 65(1), 131-159. [Http://Dx.Doi.Org/10.1007/S00267-019-01234-Y](http://Dx.Doi.Org/10.1007/S00267-019-01234-Y)

TEIXEIRA, V. Utilização Do Extrato De Semente De Moringa Oleífera Lamarck Para Controle De Contaminação Microbiana Na Produção De Cachaça Orgânica. **Jornal Internacional De Microbiologia Alimentar**, V. 308, 2019.

THIAGO, L. R. L. S.; VIEIRA, J.M. **Cana-De-Açúcar: Uma Alternativa De Alimento Para A Seca**. Comunicado Técnico. N.73, Dez. 2002. Acesso Em 04 De Mar.2010.

VARELLA, C. A. A. **PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA -CPGA-CS Análise Multivariada Aplicada as Ciências Agrárias Análise de Componentes Principais**. Seropédica, Rio de Janeiro. 2008. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/multivariada%20aplicada%20as%20ciencias%20agrarias/Aulas/analise%20de%20componentes%20principais.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2024.

VIAN, C. E. F. **Qualidade de matéria-prima - Portal Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pos-producao/gestao-industrial/qualidade-de-materia-prima>>. Acesso em: 04 MAI. 2024.

VIANA, E. J. **Diagnóstico da Cadeia Produtiva e Avaliação Físico-Química de Cachaças do Estado da Bahia**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itaperinga, 2016.

VILELA, A.F.; OLIVEIRA, L.S.C.; MUNIZ M.B.; MELO B.C.A.; FIGUEIREDO, M.J.; VIEIRA, N. J.M. 2021. Avaliação Da Qualidade Sensorial, Físico-Química E Potencial Para Certificação De Cachaças Do Estado Da Paraíba, Brasil. **Tecnologia Científica Alimentar** 41:661-668. [https:// Doi.Org/10.1590/Fst.13520](https://doi.org/10.1590/Fst.13520)

VOET, D.; VOET, J. G.; PRATT, C. W. (2016). Fundamentos de Bioquímica: A Vida em Nível Molecular. Porto Alegre: **Artmed Editora**.

VOLPE, T. C. **Avaliação das características físico-químicas da cachaça industrial e artesanal comercializadas no centro norte paranaense**. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/6778>>. Acesso em: 28 abr. 2024.

WANI, A. K. et al. Advances in safe processing of sugarcane and bagasse for the generation of biofuels and bioactive compounds. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 12, p. 100549, 1 jun. 2023.

ANEXO A – Coordenadas fatoriais das variáveis, com base nas correlações

Variável	F. 1	F. 2	F. 3	F. 4	F. 5	F. 6	F. 7	F. 8	F. 9	F. 10
SSTc	-0,79	0,18	0,47	0,11	-0,10	-0,08	-0,08	0,28	-0,05	-0,05
pHc	0,79	0,09	-0,15	-0,22	-0,38	-0,05	0,18	-0,33	-0,04	0,07
ACc	-0,61	-0,13	-0,51	-0,19	0,35	0,31	-0,17	0,23	0,08	-0,11
ARc	-0,19	0,84	-0,28	0,29	-0,15	0,18	-0,17	-0,08	0,06	-0,03
NRc	-0,55	-0,27	0,40	0,44	-0,04	-0,36	-0,17	-0,13	-0,22	0,20
ATc	-0,37	0,74	-0,15	0,44	-0,16	0,06	-0,23	-0,12	-0,01	0,03
Dc	-0,34	-0,54	-0,19	-0,08	0,15	0,14	-0,59	-0,39	0,10	-0,04
IM	-0,13	0,39	0,31	0,35	0,59	0,20	0,30	-0,08	-0,35	0,10
CLc	0,26	0,85	-0,03	0,23	-0,32	0,12	-0,04	0,13	-0,03	0,10
SSTv	0,75	-0,04	-0,43	0,29	-0,15	-0,18	0,09	-0,14	-0,28	-0,09
pHv	-0,17	0,37	0,40	-0,41	0,44	0,15	0,11	-0,51	-0,05	-0,07
ACv	0,13	-0,17	-0,87	0,20	0,19	-0,05	-0,16	0,27	0,00	0,14
ARv	0,78	0,48	0,30	-0,14	0,17	-0,08	-0,04	0,12	0,04	0,02
NRv	0,36	-0,06	0,00	0,07	0,38	-0,67	-0,51	-0,03	0,00	0,06
ATv	0,77	0,27	-0,15	-0,26	0,41	-0,04	0,16	0,16	0,12	0,05
Dv	-0,24	0,26	-0,02	0,31	0,11	-0,39	0,40	-0,14	0,65	0,05
TAv	-0,19	-0,87	0,15	0,04	-0,10	0,36	0,00	0,00	0,13	0,14
VBv	0,12	0,41	0,68	-0,37	0,21	0,09	-0,16	0,38	-0,02	0,04
pHd	-0,61	0,44	-0,61	-0,16	0,04	0,02	0,05	-0,06	-0,07	0,16
AVd	0,73	-0,16	0,15	0,63	-0,08	0,15	-0,07	-0,01	0,03	-0,04
ACd	0,72	-0,16	0,13	0,63	-0,07	0,14	-0,07	-0,01	0,02	-0,04
AFd	0,51	-0,23	-0,58	0,12	0,43	0,34	0,14	-0,05	-0,06	0,08
Dd	-0,82	-0,25	-0,13	0,40	0,03	0,04	0,28	0,09	0,00	0,01
TAd	0,86	0,12	-0,05	-0,43	0,10	-0,01	-0,20	0,02	0,07	0,03
ESd	0,07	0,69	0,26	0,20	-0,02	0,49	-0,31	-0,15	0,22	0,10
Cud	-0,23	0,80	-0,47	0,13	-0,07	-0,18	-0,03	0,06	-0,08	-0,16
ETd	0,58	-0,40	0,26	0,61	-0,05	0,18	-0,02	0,15	0,07	-0,04
ADd	-0,06	0,08	0,10	0,71	0,67	-0,11	0,00	-0,04	0,05	-0,10

F – Fator, Açúcares Redutores-AR (em g. glicose/100mL), Açúcares Não Redutores-NR (g. sacarose/100mL), Açúcares Totais-AT (mg/100mL), Acidez total-Ad (mg/100mL ác. acético), Acidez Volátil-AV (mg/100mL A.A), Acidez Fixa-AF (mg/100mL ác.acético), pH-Potencial hidrogênionico, D – Densidade (g/cm³), TA – Teor Alcoólico (°GL - 20°C), ES - Extrato Seco (%), Cobre - Cu (mgCu/L A. Anidro), ET - Ésteres Totais (mg Ac. Etila/100mLA. Anidro). Aldeídos -AD (mg Aldeído acético/100mL Á. Anidro), Viabilidade Celular – VBv (%), Leveduras Selvagens – CLc (cels/mL). c- Caldo, v- Vinho, D- destilado.

ANEXO B – Correlação de graus brix e densidade.

Relação entre graus brix e densidade de solução de açúcar em água ⁽¹⁾

Graus brix % p/p	Densidade g/mL	Graus brix % p/p	Densidade g/mL
0,0	1,0000	13,0	1,0526
0,5	1,0019	13,5	1,0547
1,0	1,0039	14,0	1,0568
1,5	1,0058	14,5	1,0589
2,0	1,0078	15,0	1,0611
2,5	1,0098	15,5	1,0633
3,0	1,0117	16,0	1,0654
3,5	1,0137	16,5	1,0676
4,0	1,0157	17,0	1,0698
4,5	1,0177	17,5	1,0719
5,0	1,0197	18,0	1,0741
5,5	1,0217	18,5	1,0763
6,0	1,0237	19,0	1,0785
6,5	1,0257	19,5	1,0807
7,0	1,0277	20,0	1,0830
7,5	1,0298	20,5	1,0852
8,0	1,0318	21,0	1,0874
8,5	1,0338	21,5	1,0897
9,0	1,0359	22,0	1,0919
9,5	1,0380	22,5	1,0942
10,0	1,0400	23,0	1,0965
10,5	1,0421	23,5	1,0987
11,0	1,0442	24,0	1,1009
11,5	1,0463	24,5	1,1031
12,0	1,0484	25,0	1,1053
12,5	1,0505	25,5	1,1075

⁽¹⁾A 20°C.