

AVALIAÇÃO DO ENVELHECIMENTO DE CACHAÇA UTILIZANDO UM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO COM USO DE CHIPS DE CARVALHO

Lucas Scherer Bamberg¹

Orientador(a): Leilane Costa de Conto²

Coorientador: Gustavo Henrique Santos Flores Ponce³

Resumo: A cachaça, tradicional destilado brasileiro, enfrenta desafios em termos de padronização e qualidade, especialmente no processo de maturação. O envelhecimento tradicional, realizado em barris de carvalho, é eficaz, mas demorado e dispendioso. Este estudo propõe o desenvolvimento de um sistema contínuo de maturação por recirculação, utilizando chips de carvalho para acelerar o envelhecimento da cachaça. O objetivo foi estimar o tempo necessário para alcançar características similares às do método com chips de carvalho por um período de maturação de 70 dias. O sistema foi testado com amostras de cachaça a cada hora de recirculação, analisando parâmetros como composição fenólica e intensidade de cor. Após 43 horas de recirculação, a cachaça recirculada atingiu 80% da concentração de compostos fenólicos da cachaça maturada por 70 dias, embora apresentasse diferenças na cor e aroma. Foi observada uma correlação positiva forte entre a composição fenólica e a intensidade de cor, porém não em mesma proporção, indicando que a aceleração da maturação pode ser eficaz nas características sensoriais da bebida. No entanto, o processo apresentou algumas limitações, como perdas de compostos para o sistema, comprometendo a eficiência. A conclusão do estudo é que o sistema de maturação por recirculação tem potencial para acelerar o envelhecimento da cachaça, mas ajustes no processo e estudos adicionais são necessários para otimizar a extração de compostos fenólicos e atender aos padrões regulatórios e sensoriais exigidos.

Palavras-Chave: Bebida alcoólica artesanal, Processo de envelhecimento contínuo, Fragmentos de madeira de carvalho, Polifenóis, Avaliação sensorial.

1 INTRODUÇÃO

A cachaça é mais do que um simples destilado; ela carrega a identidade e a tradição do Brasil. Produzida a partir da fermentação do caldo de cana-de-açúcar, sua graduação alcoólica varia entre 38% a 48%, e sua popularidade a coloca entre os destilados mais consumidos no mundo (IBRAC, 2024). Com milhares de produtores espalhados pelo país, a cachaça reflete a diversidade cultural brasileira, mas ainda enfrenta desafios quando se trata da padronização e qualidade do produto, especialmente no processo de maturação.

O envelhecimento tradicional em tonéis de madeira é uma das etapas cruciais na obtenção de cachaças dos tipos envelhecida, premium e extra premium. A madeira mais comumente utilizada na fabricação dos tonéis para o envelhecimento de bebidas destiladas é o carvalho. Durante esse envelhecimento, ocorrem reações

¹ Lucas Scherer Bamberg do curso de Engenharia Química do Instituto Federal de Santa Catarina – Câmpus Lages; bamberg Lucas2002@gmail.com

² Docente do curso de Engenharia de Alimentos do Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus Lages; Leilane Costa de Conto; leilane.conto@ifsc.edu.br

³ Docente do curso de Engenharia Química do Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus Lages, Gustavo Henrique Santos Flores Ponce; gustavo.ponce@ifsc.edu.br

que favorecem a formação de compostos que influenciam a cor, o aroma e o sabor da bebida (BOSCOLO; TONON; BENEVIDES, 2000).

Os barris de carvalho se mostram como os recursos obrigatórios para a produção de bebida de alta qualidade, porém há alguns fatores que desmotivam a utilização de barris para envelhecer bebidas (CHATONNET; BOIDRON, 1988). Este método tradicional de maturação é demorado e demanda grande espaço físico, limitando a capacidade produtiva e elevando os custos operacionais. Além disso, a falta de padronização nesse processo pode resultar em variações na qualidade do produto final, comprometendo a competitividade da cachaça nos mercados nacionais e internacionais (FARIA et al., 2003).

Diante disso, o uso de fragmentos de madeiras, principalmente tostadas, é considerado um acelerador de envelhecimento em bebidas (SINGLETON, 1995). A taxa de extração de compostos de lascas de carvalho é mais rápida que o envelhecimento em barris. Singleton (1995) indicou que aproximadamente uma semana de contato é suficiente para esgotar 90% de compostos de fragmentos de dimensões de 1 mm.

A qualidade de uma bebida envelhecida é julgada pelo consumidor por meio de suas propriedades sensoriais, como cor, aroma e sabor. Estudos indicam que o uso de chips de carvalho no processo de maturação pode acelerar a interação entre a bebida e os compostos da madeira, potencializando as características sensoriais desejadas e reduzindo o tempo necessário para o envelhecimento (SERAFIM et al., 2016).

Além das características sensoriais, outros parâmetros importantes são os considerados marcadores de envelhecimento, que são quantificados por meio dos compostos fenólicos que, segundo a legislação brasileira, tem a sua detecção como a única análise exigida para a comprovação do envelhecimento da cachaça, não estabelecendo nem um máximo ou mínimo para isso. (BRASIL, 2009; MAPA, 2022). Inicialmente, a lignina entra em contato com o álcool para posterior oxidação, produzindo os aldeídos fenólicos, tais como siringaldeído, sinapaldeído, vanilina e coniferaldeído. Posteriormente, estes aldeídos fenólicos se oxidam nos seus ácidos: ácido siríngico; ácido sinápico; ácido vanílico; e ácido ferúlico (PUECH, 1981).

Diante do contexto apresentado, este estudo propõe o desenvolvimento e a implementação de um sistema contínuo de maturação da cachaça, utilizando chips de carvalho com o objetivo de acelerar o envelhecimento da bebida. A proposta busca otimizar a extração de compostos, reduzir os custos operacionais, garantir maior padronização na qualidade do produto e, assim, aumentar a competitividade da cachaça no mercado. O principal objetivo do projeto foi acompanhar a extração de compostos fenólicos e a intensificação da cor com base no tempo de recirculação da cachaça, a fim de estimar o tempo necessário para se obter uma qualidade igual à obtida pelo método tradicional de maturação com chips de carvalho em um período de 70 dias, período indicado pelos fabricantes da madeira.

2 METODOLOGIA

2.1 Procedimento experimental e montagem do sistema de recirculação

Inicialmente, prepararam-se três amostras de um litro de cachaça branca pura da marca "Menina da Canastra", com teor alcoólico de 38% (v/v), acondicionadas

em recipientes escuros. A cada amostra, foram adicionados chips de carvalho americano de tosta alta HT comercializado pela marca Indupropil, na proporção de 5 g/L. Os recipientes foram incubados e mantidos em processo de maturação por um período de 70 dias. Este procedimento estabeleceu o padrão experimental.

Para a maturação da cachaça por recirculação, utilizou-se um tanque de fermentação de 20 L. Mangueiras foram instaladas nas duas saídas do tanque para permitir a recirculação, juntamente com o acoplamento de uma bomba de recirculação (centrípeta) elétrica 220 V com vazão de 12 L/min, conforme a Figura 1. O tanque foi preenchido com dez litros de cachaça da mesma marca. Para o processo de maturação, adicionaram-se os mesmos chips de carvalho, cujos marcadores remetem a café, baunilha, chocolate e pão tostado, também na proporção de 5 g/L. Os chips de carvalho foram acondicionados em um véu (Figura 1) para facilitar sua remoção após cada uma hora de recirculação e assegurar a continuidade do processo após a bomba resfriar. Este método foi adotado devido à limitação do funcionamento contínuo da bomba de recirculação por um período superior ao testado, bem como para possibilitar a realização de análises horárias.

A recirculação da cachaça através dos chips de carvalho foi realizada em intervalos de uma hora, buscando a lavagem contínua dos chips e a otimização da extração de compostos. Para assegurar a continuidade da lavagem, os chips de carvalho eram removidos do tanque durante as interrupções da recirculação. Alíquotas de 50 mL foram coletadas após cada ciclo de recirculação para análises subsequentes. Cada amostra coletada foi submetida a análises de composição fenólica, por medidas de absorbância, e os parâmetros de cor também foram determinados, no espaço de cor cielab.

Figura 1 - Imagens do sistema de recirculação (bomba centrípeta, mangueiras, tanque de fermentação e véu com chips de carvalho).



Continuação...



Fonte: autores (2025)

2.2 Análises físico-químicas

As análises foram realizadas nos Laboratórios do Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Lages.

2.2.1 Análise de parâmetros de cor

A cor das amostras foi monitorada e comparada à da cachaça maturada pelo método tradicional. As análises foram realizadas por espectrofotometria, utilizando um espectrofotômetro digital da marca Bioespectro, modelo SP-22 (Figura 2). O equipamento foi zerado com água destilada e alíquotas de 3,5 mL foram coletadas com pipeta, alocadas em uma cubeta para a realização das leituras de absorbância 430nm (FARIA *et al.*, 2003; MIRANDA; HERR; ALCARDE, 2006; ANJOS *et al.*, 2011). Todas as análises foram feitas em triplicata.

2.2.2 Análise de compostos fenólicos totais

Para a análise da composição fenólica, foram realizadas em quadruplicata, em espectrofotômetro digital de bancada do mesmo modelo (Figura 2), seguindo o método descrito por Sganzerla e Veeck (2022). A descrição do método segue abaixo.

Figura 2 - espectrofotômetro digital da marca Bioespectro, Modelo SP-22. Utilizado na análise de cor e composição fenólica total.



Fonte: autores (2025)

Inicialmente preparou-se uma solução de carbonato de sódio (1 mol L^{-1}) dissolvendo 26,497 g de Na_2CO_3 em 250 mL de água deionizada, com auxílio de ultrassom, e uma solução de ácido gálico ($0,4 \text{ mg mL}^{-1}$), dissolvendo 20 mg em 50 mL de água deionizada, armazenada sob refrigeração em frasco escuro.

O procedimento analítico consistiu na adição de $104 \mu\text{L}$ do extrato de cachaça ou padrão ao tubo de ensaio com $1667 \mu\text{L}$ de água deionizada. Um branco foi preparado com água destilada. Adicionaram-se $104 \mu\text{L}$ do reagente Folin-Ciocalteu ($0,25 \text{ N}$), com reação por 3 minutos, seguida da adição de $208 \mu\text{L}$ da solução de Na_2CO_3 . Após incubação por duas horas em temperatura ambiente, a absorbância foi lida a 725 nm com espectrofotômetro, utilizando cubeta de vidro.

A tabela 1 apresenta as diluições para o preparo da curva padrão com a solução de ácido gálico $0,4 \text{ mg mL}^{-1}$, ajustando as concentrações conforme necessário para a construção da curva de calibração, sendo a coluna de absorbância posteriormente preenchida com os valores lidos no espectrofotômetro.

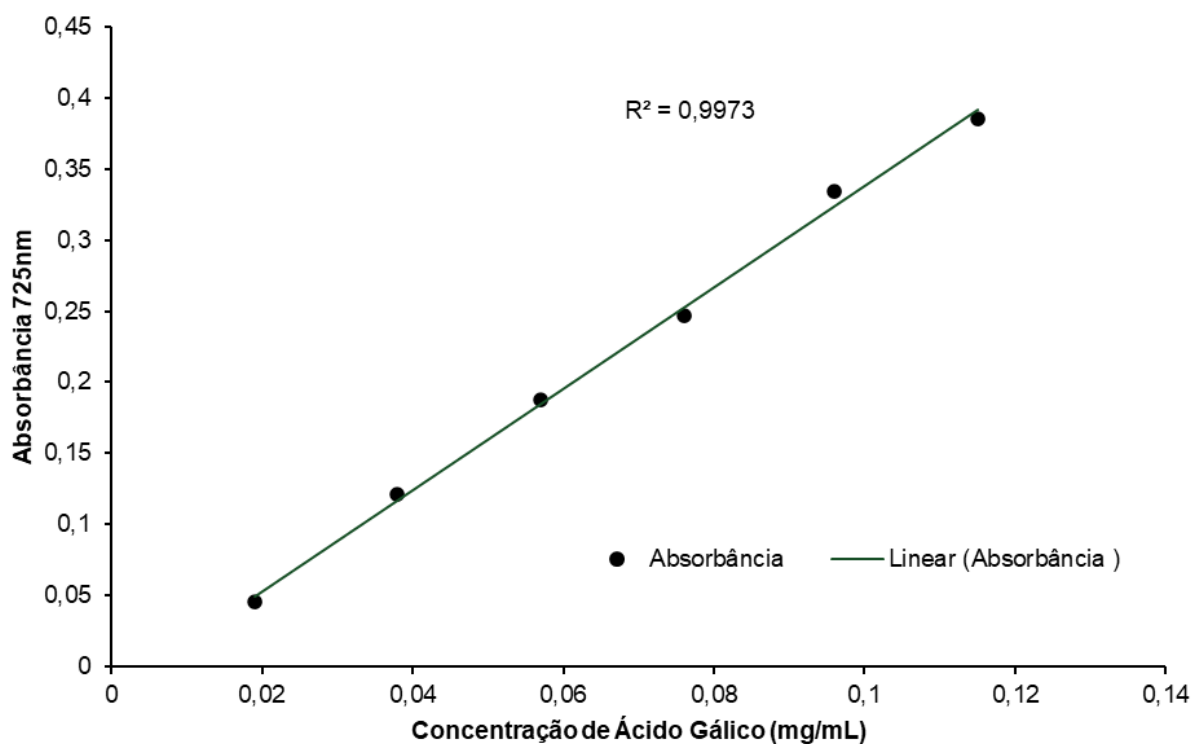
Tabela 1: Modelo de diluições da curva padrão de ácido gálico

Ponto	VOLUME de ácido gálico 0,4 mg mL-1	Concentração de ácido gálico (mg mL-1)	Absorbância
1	30	0,115	
2	25	0,096	
3	20	0,076	
4	15	0,057	
5	10	0,038	
6	5	0,019	

Fonte: Adaptado Sganzerla e Veek (2022).

A Curva padrão obtida com o ácido gálico é apresentada na Figura 3, com um coeficiente de determinação de 0,9973.

Figura 3 - Curva de calibração de ácido gálico



Fonte: autores (2025)

2.3 Análise sensorial

Para a avaliação de aroma e cor da amostra com 43 horas de recirculação em comparação com o padrão de 70 dias de imersão dos chips, foi realizado um teste triangular segundo Palermo (2015), com 30 provadores não treinados.

Figura 4 - Análise sensorial feita pelo teste triangular.



Fonte: autores (2025)

2.4 Colorimetria

Foi utilizado um colorímetro modelo Cielab para análise das coordenadas cromáticas L, a e b, das cachaças finais, maturada por 70 dias e 43 recirculações, feitas em triplicata.

2.5 Análise estatística

Foram calculadas as médias e desvios padrões das amostras.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise dos parâmetros físico-químicos e colorimetria

Os resultados obtidos com o sistema de maturação por recirculação demonstram potencial para maturação acelerada da cachaça e os parâmetros físico-químicos avaliados seguem apresentados na Tabela 2. A amostra maturada durante 70 dias (m), considerada como referência neste estudo, apresentou uma concentração de 79,78 mg/L de compostos fenólicos totais. Já as amostras submetidas à recirculação alcançaram, ao final de 43 horas acumuladas de processo, um valor de 63,50 mg/L (tabela 2).

Tabela 2 - Composição fenólica total, intensidade da cor da cachaça e coordenadas cromáticas da cachaça maturada por 70 dias e a recirculada por 43 horas.

Parâmetros	Fenólicos Totais	Intensidade da Cor	L	a	b
Cachaça 70 dias (m)	79,7893 ± 0,232	0,221 ± 0	19,1 ± 0,023	-1,11 ± 0,231	11,3 ± 0,028
Cachaça 43 Horas	63,4972 ± 0,121	0,14867 ± 0,0005	21,77 ± 0,244	-1,38 ± 0,016	7,03 ± 0,289

Fonte: autores (2025)

Um estudo de Rodrigues (2013) demonstrou que, ao envelhecer a cachaça em barril de carvalho de 700 L durante 108 meses, obteve-se uma concentração total de compostos fenólicos de 95,492 mg/L. Cardello e Faria (2000), encontraram concentrações de compostos fenólicos variando entre 40,04 mg/L e 54,05 mg/L por um período de 12 meses em cachaças comerciais envelhecidas em carvalho, um valor representativo para o processo de maturação.

Ao observarmos os resultados obtidos com o sistema de maturação por recirculação, nota-se que a concentração de fenólicos totais alcançada após 43 horas de processo foi de 63,50 mg/L, representando cerca de 80% do valor obtido pela maturação convencional, que levou 70 dias. Este resultado é particularmente significativo quando comparado ao tempo de contato com os chips de carvalho, que foi consideravelmente mais curto. Isso corrobora com a interpretação de que o sistema de recirculação, apesar de ser mais rápido, consegue atingir uma composição fenólica próxima a da cachaça (m), em um período mais curto.

Os dados sobre a maturação com chips de carvalho de torra alta (HT) também oferecem uma visão interessante para a comparação com o método tradicional. A cachaça padrão (m), maturada por 70 dias com 5 g/L de chips de carvalho americano de torra alta, apresentou concentração de fenólicos mais alta que Cardello e Faria (2000), e menor que Rodrigues (2013), visto que a segunda pesquisa teve um total de 9 anos de maturação. Mesmo assim, é importante destacar que o tempo de contato com a madeira ainda é importante para desenvolver características sensoriais importantes, apesar da concentração fenólica significativa atingida neste trabalho.

As diferenças entre valores de literatura podem ser associadas às condições operacionais, sendo que parâmetros como área de contato, condições ambientais, tempo de envelhecimento, espécie de madeira utilizada, teor alcoólico da bebida e o termo tratamento dos chips, influenciam no processo. No presente estudo, o uso de chips pode ser a causa da diferença entre a concentração de fenólicos experimental e a de literatura; ainda que a relação área/volume do envelhecimento com chips fosse igual à do envelhecimento com barril, diferenças seriam encontradas, devido a

particularidades de cada madeira utilizada no envelhecimento (ARAPITSAS *et al.*, 2004)

Duan *et al.* (2024) mencionam que o aumento na graduação alcoólica do destilado resulta em uma extração mais lenta dos taninos, devido à necessidade de água para a degradação hidrolítica da madeira. Contudo, o uso de lascas de madeira tostadas acelera esse processo, aumentando a concentração de fenólicos e taninos em um curto período. Essa é uma vantagem importante quando se busca intensificar a maturação em menos tempo, como no sistema de recirculação, que demonstrou ser capaz de acelerar a extração de compostos fenólicos em comparação com o método tradicional.

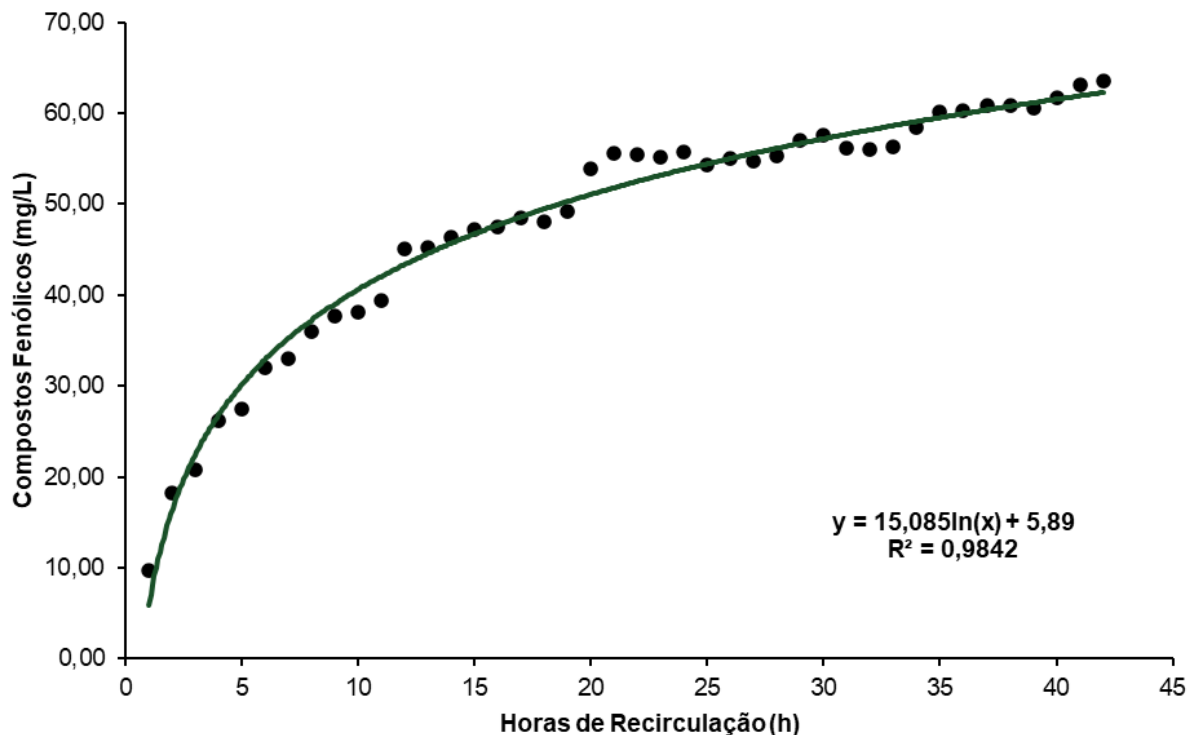
Já análise das coordenadas cromáticas das cachaças revelou que, embora o processo de recirculação tenha resultado em uma cor mais clara e menos intensa em comparação à cachaça maturada por 70 dias, ele ainda gerou uma tonalidade amarelada, com uma leve diferença nas coordenadas a e b. A cachaça maturada apresentou uma maior intensidade de cor amarela ($b = 11,3$) e uma luminosidade mais baixa ($L = 19,1$), indicando uma cor mais intensa e escura. Por outro lado, a cachaça recirculada, apesar de exibir um aumento no brilho ($L = 21,77$), apresentou um tom mais amarelado-esverdeado ($a = -1,38$) e uma cor amarela menos intensa ($b = 7,03$).

Estudos de Nie *et al.* (2023) e Duan *et al.* (2024) destacam a influência da madeira no desenvolvimento da cor nos destilados, observando que a utilização de madeira contribui para uma coloração amarelada saturada, o que reflete no aumento dos valores de b^* e L^* . Dessa forma, os valores elevados de b e L na amostra de 70 dias sugerem a influência significativa do uso de chips de carvalho e do tempo de maturação prolongado no desenvolvimento da cor amarelada ambarada, em comparação com cachaça recirculada, com menor tempo de exposição aos chips, sugere que apesar da elevada concentração de compostos fenólicos ainda é necessário um maior período de maturação para alcançar a mesma cor da cachaça (m).

3.2 Curvas de composição fenólica total e intensidade da cor

A evolução das concentrações de compostos fenólicos ao longo das 43 h recirculações revelou uma curva de extração com dois comportamentos distintos. Os resultados obtidos para o acompanhamento da composição fenólica total da cachaça recirculada com chips de carvalho estão apresentados na Figura 3.

Figura 5 - Evolução da composição fenólica total a cada recirculação da cachaça.



Fonte: autores (2025)

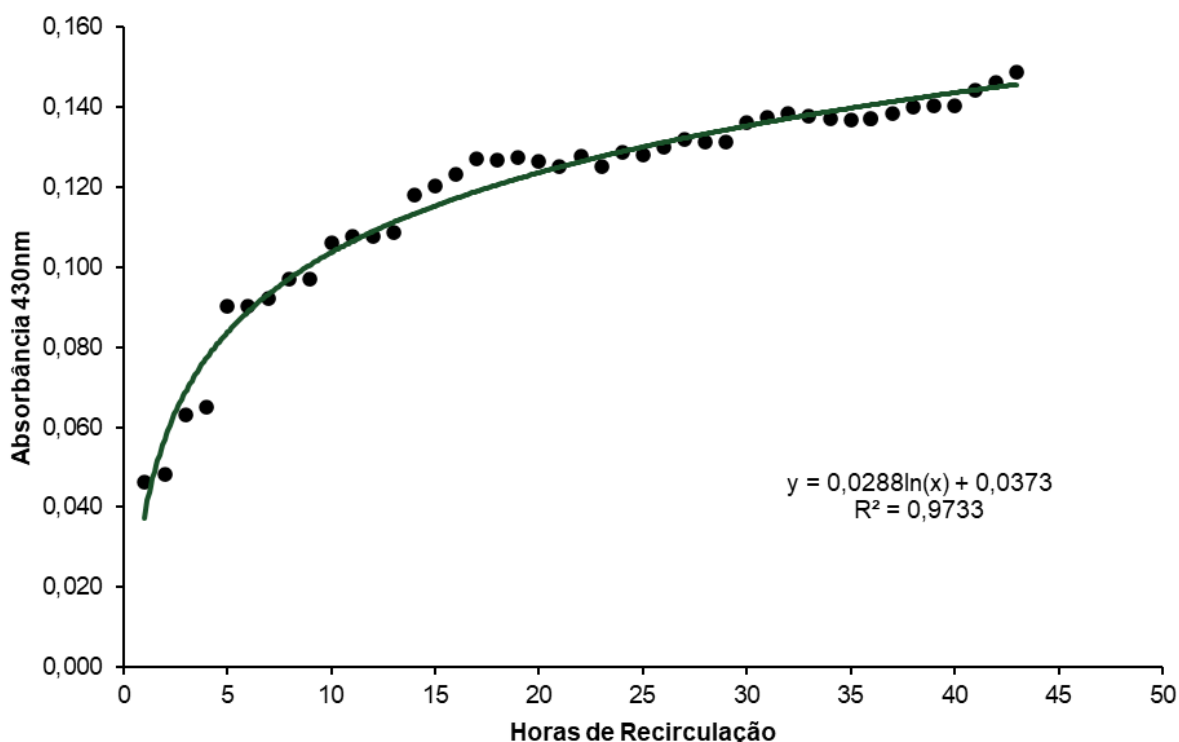
Nas primeiras etapas, até aproximadamente 50 mg/L, observou-se um aumento consistente a cada recirculação, o que indica um gradiente elevado de concentração entre a madeira e a bebida, favorecendo a difusão dos compostos para o meio líquido. Contudo, a partir desse ponto, a taxa de extração desacelerou significativamente. Esse comportamento é típico de sistemas que se aproximam do equilíbrio de extração, nos quais a diferença de concentração entre os sólidos (chips) e o líquido (cachaça) diminui, tornando o processo menos eficiente (SINGLETON, 1995).

Durante o envelhecimento da cachaça, o aumento do extrato fenólico ocorre devido à degradação da lignina em compostos aromáticos como vainillina, siringaldeído, coniferaldeído e sinapaldeído Piggott & Conner (2003). Com o objetivo de prever o tempo necessário para que a cachaça recirculada alcance a composição fenólica da cachaça padrão, foi adicionada uma linha de tendência ao gráfico de dispersão. A partir da equação gerada, estimou-se que seriam necessárias aproximadamente 134 horas de recirculação (equivalente a cinco dias e meio) para atingir o mesmo valor de composição fenólica. Considerando o período de maturação tradicional de 70 dias, esse resultado é significativo, embora ainda existam diferenças sensoriais visíveis, como a coloração menos ambarada da cachaça recirculada em comparação à maturada por 70 dias.

Além disso, a extração fenólica elevada está relacionada à intensificação da cor da cachaça. Conforme observado nas análises espectrofotométricas realizadas, quanto maior a concentração de compostos fenólicos, maior foi a intensidade de cor apresentada pela amostra. Essa relação está de acordo com a literatura, que aponta

os taninos e seus produtos de oxidação como os principais responsáveis pelo escurecimento progressivo e a coloração amarelo-alaranjada em bebidas armazenadas em contato com madeira (MIRANDA *et al.*, 2008). Os resultados quanto à intensidade de cor estão representados na Figura 4.

Figura 6 - Evolução da intensidade da cor em função do tempo de recirculação



Fonte: autor (2025)

A equação da reta para o valor de 0,221 de absorbância da cachaça (m) indicou que seriam necessárias aproximadamente 589 horas de recirculação (equivalente a 24 dias e meio) para atingir a mesma intensidade de cor. Como mencionado anteriormente, a oxidação dos compostos fenólicos, especialmente os taninos, é um dos principais fatores responsáveis pela intensificação da cor da bebida, estando muito relacionada à quantidade de compostos fenólicos oxidados e seus produtos. É possível explicar o aumento da composição fenólica, sem um aumento proporcional na intensidade da cor, visto que, nem todos os compostos fenólicos são igualmente eficientes em contribuir para a coloração, sugerindo que eles demandam mais tempo de contato com os chips para serem extraídos. Além disso, o contato com o oxigênio atmosférico, que entra pelos poros da madeira, favorece reações de oxidação nos componentes da cachaça, conferindo à bebida características sensoriais únicas, como a coloração amarelada (Cardello e Faria, 1998; AQUINO *et al.*, 2006). Ademais, o processo apresentou algumas limitações, como perdas de compostos fenólicos para o sistema, especialmente devido à umidade residual nos chips e à absorção nos canos, véu e tubulações, fatores que podem ter comprometido a eficiência de extração, especialmente da cor.

Ainda, segundo Santiago (2014), foi observada uma correlação linear positiva consistente entre a composição fenólica total e a intensidade da cor, de forma que o

aumento de um parâmetro está associado ao crescimento do outro ao longo do processo de envelhecimento da bebida. Para investigar essa relação entre os parâmetros, mesmo que o aumento não seja proporcional, foi realizado um teste de correlação linear (P) entre a intensidade da cor e a composição fenólica de cada recirculação.

Segundo Callegari-Jacques (2003), o coeficiente de correlação pode ser interpretado qualitativamente da seguinte forma: valores entre 0 e 0,3 indicam correlação fraca; entre 0,3 e 0,6, correlação moderada; entre 0,6 e 0,9, correlação forte; e entre 0,9 e 1,0, considera-se uma correlação muito forte.

O coeficiente calculado para os dados foi de $p = 0,983$, foi observada uma correlação linear positiva muito forte entre a composição fenólica total e a intensidade da cor. Esse resultado indica que o aumento de um parâmetro está diretamente associado ao aumento do outro ao longo das recirculações. Outros estudos, como o de Santiago *et al.* (2014), também observaram altos coeficientes de correlação entre a intensidade da cor e a composição fenólica. No entanto, embora a correlação seja alta, o tempo de interação à madeira ainda é necessário para a oxidação dos compostos e a formação da cor, estudos como o de PiGGOTT e CONNER, J. M. (2003) sugerem que a extração de compostos fenólicos relacionados à cor podem ter um processo mais lento do que a extração de compostos fenólicos que afetam o sabor e aroma, devido a fatores como, tempo de exposição ao oxigênio e temperatura.

3.3 Análise sensorial

A análise sensorial (Tabela 3), realizada para comparar as qualidades visuais e aromáticas das duas cachaças pelo teste triangular, revelou que ainda existem diferenças significativas ($p \geq 0,05$) visuais e aromáticas notáveis entre a cachaça recirculada por 43h e a cachaça maturada por 70 dias. A cachaça recirculada apresentou uma coloração menos dourada do que a maturada, evidenciando claramente as diferenças entre os dois processos. Isso pode ser explicado pela extração de compostos fenólicos e taninos durante o envelhecimento em madeira, os quais são responsáveis pelo progressivo escurecimento e intensificação da cor, principalmente devido às reações de oxidação desses compostos, conforme destacado por Singleton (1995). Além disso, a cachaça recirculada exibiu um aroma ligeiramente mais leve, sugerindo que, embora o processo de recirculação seja eficaz na aceleração da maturação, ainda há diferenças sensoriais que precisam ser ajustadas para alcançar um perfil mais próximo ao da cachaça maturada por 70 dias, produzida pelo método tradicional.

Tabela 3 - Análise sensorial comparativa entre as duas cachaças (existe diferença estatística de 5% de significância entre as amostras).

	Aroma	Cor
Respostas Corretas	26	28
Respostas Incorretas	4	2

Fonte: autores (2025)

4 CONCLUSÕES

O desenvolvimento do sistema contínuo de maturação por recirculação com chips de carvalho mostrou potencial para acelerar o envelhecimento da cachaça, mantendo características químicas e visuais próximas às do processo tradicional. A análise da composição fenólica e da intensidade de cor ao longo das recirculações revelou que, o sistema pode ser eficiente para extração de compostos fenólicos, mas apresentou dificuldade em chegar no mesmo padrão de cor da cachaça (m), devido a maior demanda de tempo para extração e oxidação dos compostos relacionados a cor. Apesar disso, o sistema apresentou uma correlação linear positiva muito forte entre esses parâmetros, indicando que o aumento na concentração de compostos fenólicos está relacionado à intensificação, mesmo que breve, da cor da bebida., sugerindo que ajustes no sistema podem aumentar ainda mais sua eficiência.

A aplicabilidade real e o potencial para utilização em maior escala exigem estudos adicionais. A análise mais detalhada dos marcadores de envelhecimento, assim como outras análises físico-químicas, será crucial para garantir que a cachaça recirculada atenda aos padrões exigidos pela legislação vigente, especialmente em relação à composição fenólica e à qualidade do produto final. Assim, o processo ainda necessita de aperfeiçoamentos técnicos e validações regulatórias.

De forma geral, os dados obtidos confirmam, em certo grau, a hipótese central do projeto, que busca desenvolver e implementar um sistema de recirculação da cachaça para uma maturação acelerada, utilizando chips de carvalho no envelhecimento da bebida.

REFERÊNCIAS

AQUINO, F. W. B. et al. Determinação de marcadores de envelhecimento em cachaças. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, p. 147-148, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/CwS8bJQ7rSgpwRJTns7tGDB/?format=pdf>. Acesso em: 10 nov. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria n.º 539, de 2022. Estabelece os Padrões de Identidade e Qualidade da aguardente de cana e cachaça. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 2022. Item 5, alínea 4.3.

ANJOS, J. P. et al. Evolution of the concentration of phenolic compounds in cachaça during aging in an oak (*Quercus* sp.) barrel. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 22, p. 1307–1314, 2011. ISSN 1678-4790.

ARAPITSAS, P. et al. Artificial aging of wines using oak chips. **Food Chemistry**, v. 86, n. 4, p. 563–570, 1 ago. 2004.

BOSCOLO, M.; TONON, R. V.; BENEVIDES, S. D. Influência do envelhecimento em tonéis de carvalho na qualidade da cachaça. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 2, p. 205-210, 2000.

BRASIL. Decreto n.º 6.871, de 14 de abril de 2009. **Define categorias, características e padrões de identidade e qualidade da cachaça.** Brasília, DF: Presidência da República, 2009. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Decreto/D6871.htm. Acesso em: 9 nov. 2024.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: Princípios e aplicações.** Porto Alegre: Artemed, 2003. 255 p. ISBN 8536300922.

CARDOLLO, H. M. A. B.; FARIA, J. B. Análise tempo-intensidade de características sensoriais de cachaça de cana durante o envelhecimento em tonel de carvalho (*Quercus* sp.). **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 33, n. 1, p. 27-34, 1999.

CARDOLLO, H. M. A. B.; FARIA, J. B. Perfil sensorial e características físico-químicas de aguardentes comerciais brasileiras envelhecidas e sem envelhecer. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 3, p. 31–40, 2000.

CHATONNET, P.; BOIDRON, J. N. Incidence du traitement thermique du bois de chêne sur sa composition chimique. 1ère Partie: Définition des paramètres thermiques de la chauffe des fûts en tonnellerie. **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, Bordeaux**, v. 23, n. 2, p. 77-78, 1989.

DUAN, B. et al. Characterization of volatile compounds and sensory properties of spine grape (*Vitis davidii* Foex) brandies aged with different toasted wood chips. **Food Chemistry: X**, v. 23, p. 101777, 2024.

FARIA, J. B. et al. Cachaça, Pisco and Tequila. In: LEA, A. G. H.; PIGGOTT, J. R.

(Ed.). **Fermented Beverage Production**. 2. ed. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, p. 330-346, 2003.

IBRAC. Instituto Brasileiro da Cachaça. Cachaça: **Denominação típica e exclusiva da aguardente de cana produzida no Brasil**. 2024. Disponível em: <https://www.ibrac.net>. Acesso em: 3 nov. 2024.

MIRANDA, A. G. et al. O aroma de aguardentes vínicas envelhecidas em madeira: importância da tecnologia de taninos e seus produtos de oxidação para o escurecimento progressivo e a coloração amarelo-alaranjada em bebidas armazenadas em contato com madeira. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/dpyLrRDcdph9N3pYMdcDYxt/?format=pdf>. Acesso em: 17 jul. 2025.

MIRANDA, M. B.; HORII, J.; ALCARDE, A. R. Estudo do efeito da irradiação gama (Cobalto 60) na qualidade da cachaça e no tonel de envelhecimento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 4, p. 772-778, 2006.

PALERMO, Jane Rizzo. **Análise sensorial: fundamentos e métodos**. Rio de Janeiro: Editora Atheneu, 2015. p. 158. ISBN 978-85-388-0662-2.

PIGGOTT, J. R.; CONNER, J. M. Whiskies. In: LEA, A. G. H.; PIGGOTT, J. R. (Eds.) **Fermented Beverage Production 2 ed**. New York: Klumer Academic/Plenum Publishers, 2003. Cap. 11, p. 239-262.

PUECH, J.-L. Extraction and evolution of lignin products in armagnac matured in oak. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 32, p. 111-114, 1981.

RODRIGUES, L. M. A. Cachaças envelhecidas em diferentes tipos de madeira: quantificação de compostos fenólicos, atividade antibacteriana e antifúngica. 2013. 131 f. **Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)** – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SANTIAGO, W. D. et al. Correlação entre extrato seco total, composição fenólica total e intensidade de cor de cachaças envelhecidas em tonéis de carvalho (*Quercus* sp) e amburana (*Amburana cearensis*) em um período de 12 meses. **e-xacta**, Belo Horizonte, v. 7, n. 2, p. 9–15, 2014. Disponível em: <https://openaccesslegada.emnuvens.com.br/dcet/article/view/1259/719>. Acesso em: 1 jun. 2025.

SANTIAGO, W. D.; CARDOSO, M. G.; NELSON, D. L. Cachaça stored in casks newly constructed of oak (*Quercus* sp.), amburana (*Amburana cearensis*), jatobá (*Hymenaea courbaril*), balsam (*Myroxylon peruiferum*), and peroba (*Paratecoma peroba*): Alcohol content, phenol composition, colour intensity and dry extract. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 123, n. 2, p. 232–241, 2017a.

SERAFIM, F. A. T. et al. Uso de chips de carvalho no envelhecimento acelerado da cachaça. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 18, n. 2, p. 151-160, 2016.

SINGLETON, V. L. Maturation of wines and spirits: comparison, facts and hypotheses. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 46, n. 1, p. 98-115, 1995.

SGANZERLA, William Gustavo; VEECK, Ana Paula de Lima (Org.). **Metodologias Experimentais Aplicadas à Qualidade de Alimentos com Enfoque Agroindustrial**. Florianópolis, SC: Publicações do IFSC, 2022. 144 p. ISBN 978-65-996422-6-5

NIE, X. et al. Effects of oak chips on quality and flavor of persimmon brandy: A comprehensive analysis of volatile and non-volatile compounds. **LWT**, v. 183, p. 114915, 2023.