v7.n8.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

A TOSTA DA *Amburana acreana* E O PERFIL DE FENÓLICOS TRANSFERIDOS PARA A CACHAÇA

TOASTING OF Amburana acreana WOOD AND THE PHENOLIC PROFILE TRANSFERRED TO BRAZILIAN CACHAÇA

EL TOSTADO DE LA MADERA Amburana acreana Y EL PERFIL FENÓLICO TRANSFERIDO A LA CACHAÇA BRASILEÑA

Amazile Biagioni Maia[1], Lorena Simão Marinho[2], Frederico M. B. Carneiro[3]

e788810
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i8.8810

PUBLICADO: 08/2026

RESUMO

O armazenamento em tonéis de madeira vem sendo cada vez mais destacado como estratégia para enriquecimento sensorial da cachaça de alambique, bebida de grande relevância econômica, cultural e social no Brasil. Contudo, a contribuição das madeiras nativas nem sempre é claramente identificável ou reproduzível. Entre os fatores que dificultam a associação do perfil sensorial a cada espécie botânica, destaca-se a carência de protocolos padronizados para o tratamento térmico da madeira. A *Amburana acreana*, espécie nativa da região amazônica, destaca-se entre as madeiras mais empregadas na tanoaria brasileira. Neste trabalho, foram avaliados os efeitos de variações no tempo e na temperatura de aquecimento de blocos de *A. acreana* sobre a composição química (fenólicos e furânicos) e aparência visual da cachaça. Os resultados indicaram que o aquecimento na faixa de 200°C (entre 30 e 60 minutos) a 250°C (até cerca de 30 minutos) apresenta potencial para modular a expressão sensorial e a identidade química dessa madeira.

PALAVRAS-CHAVE: Cachaça. Armazenamento em madeira. Amburana. *Amburana acreana*. Tratamento térmico.

ABSTRACT

Storage in wooden casks is increasingly highlighted as a strategy for the sensory enrichment of "cachaça de alambique" (pot-still cachaça), a beverage of great economic, cultural, and social importance in Brazil. However, the contribution of native woods is not always clearly identifiable or reproducible. A lack of standardized protocols for wood heat treatment is a key factor hindering the association of sensory profiles with specific botanical species. Amburana acreana, a species native to the Amazon region, stands out as one of the woods most widely used in Brazilian cooperage. This study evaluated the effects of varying the heating time and temperature of A. acreana wood blocks on the chemical composition (phenolic and furanic compounds) and visual appearance of the cachaça. The results indicated that heating within the range of 200°C (for 30 to 60 minutes) to 250°C (for up to approximately 30 minutes) shows potential for modulating the sensory expression and chemical identity imparted by this wood.

[1] Doutora em Bioquímica pela UFMG e Diretora do LABM.
[2] Mestre em Alimentos pela UFMG e Gerente do LABM.
[3] Engenheiro químico pelo Uni-BH.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

KEYWORDS: *Brazilian cachaça. Wood storage. Amburana. Amburana acreana. Heat treatment.*

RESUMEN
El almacenamiento en barricas de madera se ha destacado cada vez más como una estrategia para enriquecer las características sensoriales de la cachaça de alambique, una bebida de gran importancia económica, cultural y social en Brasil. Sin embargo, la contribución de las maderas nativas no siempre es claramente identificable ni reproducible. Entre los factores que dificultan la asociación del perfil sensorial con cada especie botánica, sobresale la falta de protocolos estandarizados para el tratamiento térmico de la madera. Amburana acreana, una especie nativa de la región amazónica, es una de las maderas más utilizadas en la tonelería brasileña. En este trabajo, se evaluaron los efectos de las variaciones en el tiempo y la temperatura de calentamiento de bloques de A. acreana sobre la composición química (fenoles y furanos) y la apariencia visual de la cachaça. Los resultados indicaron que el calentamiento en el rango de 200°C (entre 30 y 60 minutos) a 250°C (hasta aproximadamente 30 minutos) tiene el potencial de modular la expresión sensorial y la identidad química de esta madera.

PALABRAS CLAVE: *Cachaça brasileña. Almacenamiento en madera. Amburana. Amburana acreana. Tratamiento térmico.*

1. INTRODUÇÃO

A cachaça brasileira, especialmente a referida como “cachaça de alambique” representa um produto de grande relevância econômica, cultural e social no Brasil, sendo produzida em praticamente todo o território nacional. O armazenamento em contato com (barris e tonéis de) madeira, embora opcional, tem sido cada vez mais adotado como forma de enriquecer o perfil sensorial e valorizar a bebida no mercado. Para esse fim, os produtores empregam tanto barris importados de carvalho (*Quercus* sp.) quanto, com frequência crescente, tonéis e barris de grande variedade de madeiras nativas. À diferença do carvalho, no entanto, a contribuição sensorial de cada espécie nativa nem sempre é claramente identificável ou reproduzível (Brasil Spirits, 2026).

Sabe-se que a variabilidade nos processos de produção - desde o abate até o manuseio na tanoaria - dificulta a caracterização da assinatura de cada madeira, gerando diferenças sensoriais na cachaça, mesmo quando se utiliza a mesma espécie botânica (Cutzach *et al.*, 1997). Dentre os fatores envolvidos, destaca-se o tratamento térmico aplicado no preparo da madeira. Esse procedimento, além de influenciar significativamente o perfil sensorial da bebida, constitui uma etapa potencialmente controlável para a obtenção de maior reprodutibilidade (Mosedale & Puech, 1998). Contudo, trata-se de uma prática frequentemente negligenciada, ainda carente de protocolos padronizados e aplicação consistente na tanoaria brasileira (Batista, 2019).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Por ser uma das espécies nativas mais valorizadas comercialmente na maturação/ envelhecimento da cachaça, a amburana foi selecionada para esse estudo, cujo objetivo foi avaliar o impacto de diferentes binômios tempo-temperatura aplicados a amostras virgens de *Amburana acreana* sobre o perfil de compostos fenólicos extraídos pelo destilado.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Tratamento térmico da madeira

Após o recebimento das aduelas e antes de iniciar a confecção dos tonéis, as tanoarias aplicam certos tratamentos à madeira, indispensáveis para garantias de durabilidade e qualidade sensorial. O primeiro é a secagem, geralmente ao ar livre, que se destina a reduzir o teor de umidade e estabilizar a madeira para o trabalho mecânico. Na sequência, a madeira permanece ao ar livre por vários meses, para os fins da maturação (ou cura), quando ocorrem transformações oxidativas e enzimáticas, assim como a lixiviação de compostos solúveis. O cuidado final consiste no tratamento térmico, quando, pela exposição controlada ao calor, acontece a degradação térmica dos constituintes da madeira, favorecendo a formação de compostos aromáticos que serão posteriormente transferidos à bebida (Cadahía *et al.*, 2003; Maia *et al.*, 2025).

O tratamento térmico se dá por meio de tosta e/ou chama direta. A tosta consiste no aquecimento dentro de fornos, a temperaturas na faixa de 200◦C a 300◦C, por períodos típicos entre 30 min e 90 min (Courregelongue & Pons, 2024). A chama direta é aplicada diretamente à face interna das aduelas dos barris e tonéis já montados (Chatonnet *et al.*, 1999). Em ambos os casos ocorrem importantes efeitos físicos, químicos e sensoriais na madeira (Hill, 2006; Esteves & Pereira, 2009). No âmbito físico, o aquecimento pode resultar em plastificação da lignina e amolecimento da parede celular, viabilizando tanto o abaulamento das aduelas sem ocorrência de fissuras como a prevenção de vazamentos, pelo ajuste mecânico entre as aduelas (Stamm, 1964; (Kelley *et al.*, 1987).

Os efeitos químicos e suas consequências sensoriais foram desvendados a partir da década de 1980 (Tabela 1), especialmente através de trabalhos com a madeira carvalho (*Quercus* sp). Para a seleção e modulação consistente dos efeitos citados na Tabela 1, é necessário investigar uma ampla faixa de possibilidades térmicas, conforme ilustrado na Tabela 2, uma vez que as respostas químicas e sensoriais ao aquecimento variam significativamente conforme a espécie vegetal utilizada (Sroka & Tarko, 2026; Huang *et al.*, 2026).

Em especial, não obstante a farta literatura, os dados referentes à tanoaria do carvalho não podem ser transpostos diretamente para as madeiras tropicais, devido a profundas

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

diferenças anatômicas, químicas e físicas existentes entre essas espécies (Barcik *et al.*, 2015; Candelier *et al.*, 2016).

Tabela 1. Possíveis efeitos químicos e consequências sensoriais associados ao tratamento térmico da madeira

Efeito químico	Consequência sensorial	Referências
Indução de reatividade química, Formação de intermediários reativos	Melhor integração e evolução do sabor no decorrer do armazenamento	Puech, 1987
Degradação parcial da lignina e hemicelulose	Formação de fenólicos de baixo peso molecular, notas de baunilha, especiarias, tostado	Chatonnet *et al.*, 1999
Ruptura da parede celular	Intensificação da contribuição da madeira	Mosedale & Puech, 1998
Degradação térmica e volatilização de compostos agressivos	Perfil mais limpo e equilibrado	Mosedale & Puech, 1998
Quebra de taninos hidrolisáveis	Redução da adstringência, maior maciez	Cadahía *et al.*, 2003

Tabela 2. Faixas típicas do tratamento térmico da madeira dos tonéis

Tipo de tratamento	Intensidade	Faixa de temperatura (ºC)	Faixa de tempo (min.)	Referências
Tosta em forno	Leve	180-220	15 – 45	Esteves & Pereira (2009) Candelier *et al.* (2016)
	Média	220-250	20 – 60	
	Pesada	250-300	10 – 45	Hill (2006)
Chama direta (*)	Leve	120-180	5 – 10	Sarni *et al.* (1990)
	Média	180-220	10 – 20	Philip *et al.* (2008)
	Pesada	220-300	20 – 45	Chatonnet *et al.* (1999)
	Carbonização	> 300-400	0,3 - 1,0	Floch *et al.* (2015)

(*) Temperaturas superficiais altamente variáveis e heterogêneas, condicionadas à intensidade da chama, geometria do barril e posição da madeira.

O carvalho é uma madeira temperada, típica de regiões com quatro estações bem definidas (Europa, América do Norte etc.). Já as madeiras tropicais crescem em climas quentes e úmidos o ano todo. Essa diferença climática explica, por exemplo: (a) a densidade moderada e relativamente estável do carvalho (0,65 – 0,75 g/cm^3), frente à grande variabilidade das

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

madeiras tropicais (0,45 a acima de 1,10 g/cm^3), e (b) o teor moderado de extrativos no carvalho (principalmente taninos), contra o alto teor e grande diversidade de extrativos (óleos, resinas e sílica) nas tropicais (Panshin & Zeeuw, 1980).

Por isso, a transposição direta dos parâmetros de tratamento térmico otimizados para o carvalho frequentemente gera a impressão de que as madeiras tropicais respondem mal ao aquecimento (Esteves & Pereira, 2009). Em consequência, a tanoaria brasileira tende a considerar dispensável o tratamento térmico dessas espécies.

Contudo, além dos benefícios inerentes à sua composição natural, o aquecimento controlado é importante para reduzir a liberação excessiva de extrativos, gomas e resinas — que podem turvar a bebida durante o envelhecimento (Carpena *et al.*, 2020; Balagot *et al.*, 2026) — e para potencializar a expressão sensorial característica de cada espécie (Kesik *et al.*, 2014; Reitenbach *et al.*, 2026).

2.2. Amburana

A Amburana é um gênero botânico nativo de regiões tropicais das Américas, sem registros de ocorrência natural em outros continentes. Tem ampla distribuição no território brasileiro, onde ocorrem principalmente as espécies *A. cearensis* e *A. acreana* (Seleme *et al.*, 2015).

Muitos estudos - sobre a madeira, cascas, folhas e sementes de Amburana - validam a tradição de seu emprego para fins medicinais, gastronômicos e madeireiros (Leal *et al.*, 2011; Quintans Jr, 2010, Silva *et al.*, 2020, Ferreira, 2024). Há também trabalhos sobre o armazenamento de cachaça brasileira em tonéis de amburana, geralmente voltados para a caracterização dos compostos fenólicos no decorrer do armazenamento, e que dão destaque ao predomínio da cumarina (Aquino *et al.*, 2006; Bortoletto & Alcarde, 2013; Maia *et al.*, 2023). Contudo, nem sempre há indicações precisas sobre a espécie botânica, a origem geográfica e os procedimentos da tanoaria, ainda que esses fatores sejam conhecidos por influenciar significativamente a composição da madeira, conforme já demonstrado para o carvalho (Mosedale & Puech, 1998; Cadahía *et al.*, 2003).

A escolha da *Amburana acreana* como modelo para este estudo exploratório justifica-se por sua relevância socioeconômica na Amazônia Ocidental (Carvalho, 2007) e por sua densidade moderada — próxima à do carvalho europeu — o que minimiza riscos de deformações estruturais e facilita a transposição tecnológica para a escala industrial (Carvalho, 2007). Ademais, trata-se de uma espécie ainda pouco estudada do ponto de vista tecnológico quando comparada à *Amburana cearensis* (Ferreira, 2024).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

3. METODOLOGIA

3.1. Materiais

Madeira: blocos da madeira *Amburana acreana* (certificada pelo SIAM – Sistema Integrado de Informação Ambiental), fornecidos por uma tanoaria mineira, já cortados nas dimensões 3,8 cm x 2,8 cm x 0,9 cm.

Cachaça: 50 litros de cachaça branca, disponibilizados por um produtor mineiro de cachaça de alambique. A análise prévia dessa cachaça evidenciou teor alcoólico de 40,8% v/v, ausência de compostos fenólicos e atendimento aos parâmetros da legislação brasileira (MAPA, 2022).

Forno: mufla Quimis com controle eletrônico de temperatura.

Cromatógrafo: HPLC (cromatógrafo a líquido de alta resolução), Knauer, equipado com uma bomba terciária (modelo 1050), desgaseificador (modelo 5050), detector de arranjo de diodos (DAD, modelo 2600) e forno de coluna Jetstream 2 Plus.

3.2. Métodos

Tratamento térmico da madeira: foram conduzidas duas etapas de teste, cada uma composta por quatro experimentos (Tabela 3).

Tabela 3. Condições do tratamento térmico aplicado às alíquotas de *A. acreana*

Etapa	Exp.	Temperatura (ºC)	Tempo (min.)
1	1	25	-
	2	200	30
	3		60
	4		90
2	5	25	-
	6	200	60
	7	250	
	8	300	

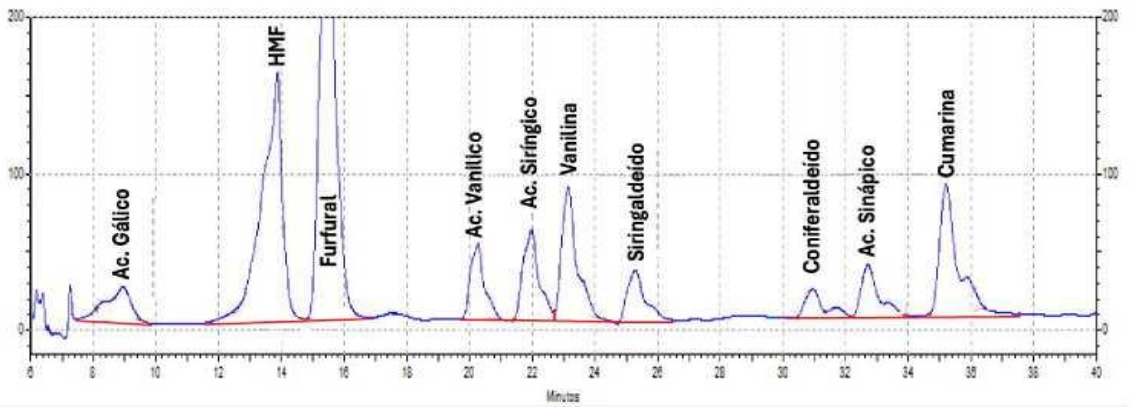
Em cada experimento, uma vez encerrado o tempo programado, os blocos eram recolhidos e, após resfriamento à temperatura ambiente, selecionados de modo a compor amostras com peso similar (21,5 g ± 0,3 g). Em seguida, as amostras eram transferidas para recipientes de vidro previamente identificados, cada um já contendo 1000 mL da cachaça base. Armazenamento à temperatura ambiente.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Análise cromatográfica: A análise das cachaças foi efetuada após 60 dias de armazenamento, utilizando o método de quantificação por HPLC descrito por (Aquino *et al.*, 2005), baseado na aplicação de padrão externo. A separação cromatográfica foi realizada em duas colunas em série, sendo a Supelcosil L-8 150 mm x 6.6 mm 5 µm e Agilent Zorbax Eclipse XDB-C18 250 mm x 4.6 mm x 5 µm, ambas mantidas em forno a 40◦C durante toda a análise. Utilizou-se um sistema de injeção automático de amostras de vials de 3 mL, sendo configurado para injeção full-loop de 100 µL. Os solventes utilizados foram água deionizada, metanol padrão HPLC e uma solução 10 % de ácido acético a fim de manter a fase móvel acidificada em pH próximo a 2; o fluxo de eluição foi mantido em 0.8 mL/min durante toda a análise. A curva de gradiente para a efetiva separação dos analitos está descrita na tabela 4, para um tempo total de corrida de 60 min.

A detecção foi realizada simultaneamente em dois comprimentos de onda, 274 nm e 340 nm em um detector UV do tipo *diode-array*. A quantificação dos analitos foi realizada mediante preparação de curva padrão contendo os fenólicos e furânicos adquiridos da Sigma Aldrich. Inicialmente foram preparadas soluções contendo massa conhecida de cada um dos 10 compostos: ácido gálico, hidroximetilfurfural (HMF), furfural, ácido vanílico, ácido siríngico, vanilina, siringaldeído, ácido sinápico, coniferaldeído e cumarina. Na sequência preparou-se uma solução única contendo 500 mg/L (em metanol 50%) que foi desdobrada nas concentrações de 1,0 mg/L, 2,0 mg/L, 5,0 mg/L, 10,0 mg/L, 15,0 mg/L e 20,0 mg/L. Como ilustração, o cromatograma da solução contendo 5,0 mg/L de cada padrão encontra-se na Figura 1.

Figura 1. Cromatograma da solução-padrão de fenólicos à concentração de 5,0 mg/L



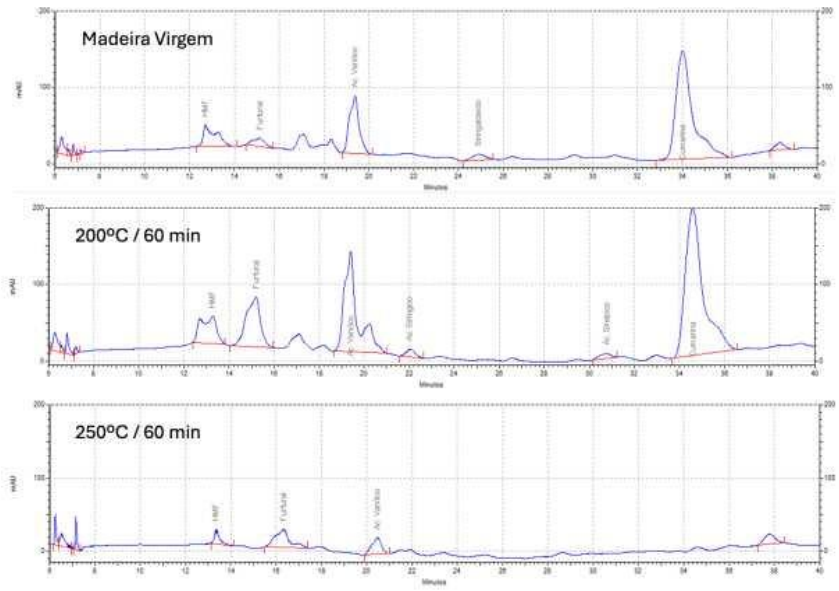
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Os resultados foram expressos sem casas decimais, considerando a variabilidade experimental decorrente de oscilações de até 0,6 g na massa dos blocos de madeira empregados em 1,0 L de cachaça.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2, encontram-se os resultados correspondentes a três amostras de cachaça, uma armazenada com blocos frescos de *A. acreana* e duas com blocos submetidos a tratamentos térmicos.

Figura 2. Perfis cromatográficos das amostras 1 (madeira virgem), 3 (200ºC/60 min.) e 7 (250ºC/60 min.)



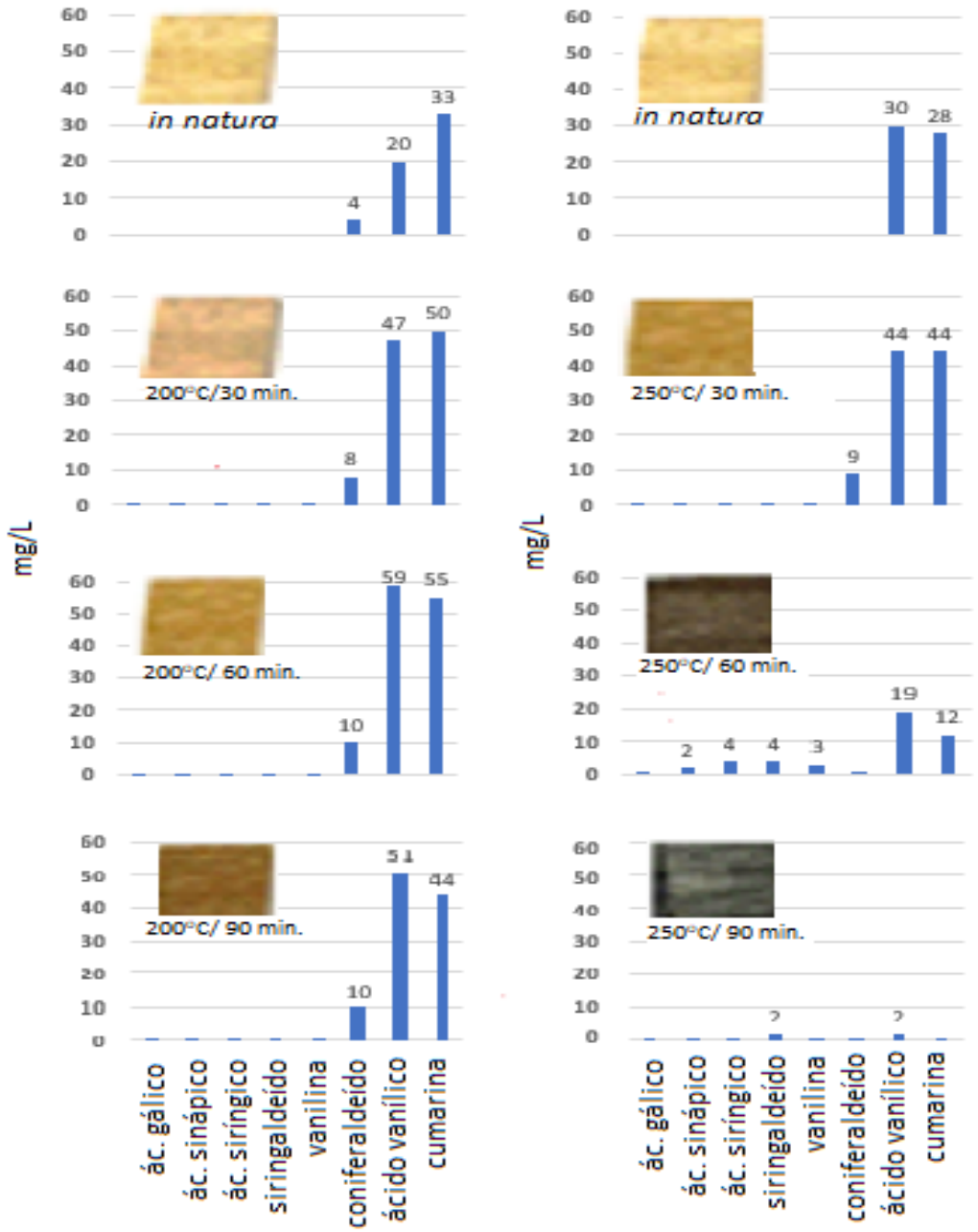
Nota-se a ocorrência de ondulações nas linhas de base, que pode ser atribuída à complexidade da fração extrativa da madeira de Amburana, reconhecidamente rica em outros compostos aromáticos, além da cumarina, incluindo flavonoides, ácidos fenólicos, fenilpropanoides e glicosídeos fenólicos, além de derivados cumarínicos (Sauvain, 1999; Negri *et al.*, 2004; Canuto *et al.*, 2010).

Para facilitar a interpretação global dos resultados, optou-se por representar os teores dos fenólicos correspondentes às oito amostras analisadas em gráficos de barras, inserindo fotos ilustrativas das tonalidades desenvolvidas pelos blocos de madeira (Figura 3). Ademais, a ordem

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

dos fenólicos analisados foi ajustada de modo a evidenciar os compostos majoritários da madeira crua ao final.

Figura 3. Concentração dos compostos fenólicos na cachaça armazenada em *Amburana acreana* submetida a diferentes tratamentos térmicos



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

De modo geral, a cumarina foi o composto majoritário. Isso era esperado, uma vez que, no âmbito das madeiras tropicais usualmente empregadas no armazenamento da cachaça de alambique, o predomínio da cumarina é considerado um marcador da madeira amburana (Negri *et al.*, 2004; Maia et al., 2020; Maia *et al.*, 2023).

Vale destacar que, à diferença dos demais fenólicos analisados, a cumarina é uma lactona que ocorre predominantemente na fração de extrativos livres da madeira (Silveira *et al.*, 2022). Entre os demais fenólicos (gerados pela degradação da lignina), destacou-se nitidamente o ácido vanílico, nas duas alíquotas (1 e 5) constituídas pela madeira *in natura*. Em menor proporção, o coniferaldeído foi também detectado na alíquota crua da primeira etapa. Sendo ambos derivados do álcool coniferílico, sua detecção na madeira não submetida ao aquecimento sugere que parte da lignina já apresentava modificações oxidativas ou clivagens parciais, antes mesmo do processamento térmico da madeira (Araújo *et al.*, 2010).

Na sequência, observa-se que o tratamento das amostras a 200ºC permitiu aumentar a extração da cumarina, do ácido vanílico e do coniferaldeído ao fim dos primeiros 30 minutos, com resultados praticamente estáveis até os 60 minutos. Mesmo aos 90 minutos, a aparente redução nos teores de ácido vanílico e cumarina não chega a comprometer a percepção de que há um bom potencial de reprodutibilidade nos procedimentos de tosta que venham a ser estabelecidos em torno dessa temperatura (200ºC).

Na segunda etapa, as amostras 5 e 6 foram submetidas às mesmas condições das amostras 1 e 3 (primeira etapa), permitindo avaliar a reprodutibilidade inerente ao manuseio e à análise de produtos naturais. Foram notadas variações na aparência de peças do mesmo lote de *Amburana acreana*, refletindo a heterogeneidade intrínseca da madeira; contudo, tais variações não comprometeram a interpretação dos resultados.

No tratamento da madeira a 250ºC (amostra 7) houve perdas acentuadas nos teores de cumarina, ácido vanílico e coniferaldeído. No entanto, essa temperatura fez surgirem os ácidos sinápico e siríngico, o siringaldeído e a vanilina. Os níveis de siringaldeído e ácido siríngico foram mais baixos, sinalizando menor degradação da fração siringílica da lignina, o que pode estar relacionado a maior coesão estrutural das unidades que a compõem (Silva, 2024). A 300ºC (amostra 8) todos os fenólicos foram degradados, evidenciando um nível de degradação térmica incompatível com a preservação da identidade química e do potencial aromático da madeira, fortemente associados à contribuição sensorial característica da cumarina.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

4.1. Aparência e tonalidade das amostras

Após 60 dias de contato com amostras de *A. acreana*, a cachaça desenvolveu as tonalidades mostradas na Figura 4.

Figura 4. Tonalidades desenvolvidas pela cachaça após 60 dias de contato com *A. acreana in natura* e tratada termicamente



Observa-se que, de modo geral, não houve diferenças visuais marcantes entre as tonalidades das amostras, à exceção da amostra de número 8, cuja madeira foi submetida ao tratamento térmico mais severo (300ºC/60 min.), e que permaneceu nitidamente mais clara. Esse comportamento pode ser atribuído à carbonização superficial da madeira decorrente do aquecimento mais intenso: já foi demonstrado que a camada carbonizada atua como adsorvente, semelhante ao carvão ativado, retendo parte dos compostos extraíveis da madeira para a bebida (Nishimura & Matsuyama, 1989; Russell & Stewart, 2014).

As cachaças mantidas em contato com a madeira *in natura* (amostras 1 e 5) desenvolveram turvação progressiva, à diferença das demais, submetidas a tratamento térmico, que permaneceram límpidas e transparentes. Esse efeito pode ser associado à liberação de fragmentos coloidais provenientes da parede celular, incluindo polissacarídeos, taninos condensados, ceras e outros componentes macromoleculares da madeira não aquecida. O tratamento térmico promove alterações na estrutura da parede celular e degradação parcial

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

desses constituintes, reduzindo significativamente sua liberação para a bebida (Gollihue *et al.*, 2018).

É importante destacar que a tonalidade desenvolvida pela bebida durante o contato com a madeira não depende exclusivamente dos compostos fenólicos livres detectados analiticamente. O efeito envolve também outras contribuições, como: (a) participação de elagitaninos, de compostos di- e trifenólicos, e de fragmentos oligoméricos que advêm da degradação da lignina (Viriot *et al.*, 1993; Castro *et al.*, 2020); (b) formação de cromóforos por reações de oxirredução dos fenólicos e de suas associações com o etanol e outros componentes alifáticos da cachaça (Miranda *et al.*, 2008; Bortoletto *et al.*, 2016) e (c) efeito do pH e do teor alcoólico da bebida sobre a extração e estabilidade desses compostos (Santiago *et al.*, 2017; Canas *et al.*, 2007).

4.2. Furfural e HMF

A análise cromatográfica dos fenólicos permitiu também quantificar os teores de furfural e HMF nas amostras (Tabela 4). Nesse caso, os resultados acham-se expressos em mg/100 mL etanol, para facilitar a comparação com o limite estabelecido na legislação brasileira (MAPA, 2022) que é de 5 mg/100 mL etanol para a soma dos dois furânicos.

O furfural e o HMF são formados principalmente pela degradação térmica parcial da hemicelulose e, em temperaturas mais elevadas, da celulose (Bridgwater, 2012; Farrell *et al.*, 2015). Em pequena escala, podem também ocorrer na madeira *in natura* por meio de processos enzimáticos ou microbiológicos lentos (Belitz *et al.*, 2009). No presente estudo, a tosta mais leve (200°C/30 min.) promoveu o maior teor total de furânicos (3,6 mg/100 mL etanol). Contudo, tanto o aumento do tempo de exposição (como 200ºC/90 min.) como da temperatura (como 250°C/60 min.) resultaram em redução acentuada desses compostos.

Tabela 4. Teores de furfural e HMF nas amostras de cachaça

Exp.	Tratamento térmico		mg/100 mL etOH		
	Tempo (min.)	Temp. (ºC)	Furfural	HMF	Total
1	-	25	0,8	2,0	2,8
2	30	200	1,1	2,5	3,6
3	60		1,2	1,4	2,6
4	90		n.d	1,1	1,4
5	-	25	1,1	1,8	1,4
6	60	200	0,7	0,8	1,4
7		250	n.d	0,5	0,5
8		300	0,8	2,2	3,0

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Embora careça de exames mais detalhados, esse efeito provavelmente decorre da volatilização parcial dos furânicos durante a tosta e/ou de sua degradação térmica subsequente (Farrell *et al.*, 2015; Collins *et al.*, 2015). Já na condição térmica mais severa (300ºC/60 min), o novo aumento no teor de furânicos pode ser explicado pelo início da degradação térmica da celulose, que gera uma segunda onda de formação de HMF e furfural. É importante destacar que, embora esses efeitos já se encontrem amplamente abordados na literatura (Farrell *et al.*, 2015), o teor de furânicos das amostras manteve-se abaixo do limite máximo estabelecido na legislação brasileira (5 mg/100 mL etanol) em todos os tratamentos térmicos testados.

4.3. Observações complementares

Merecem destaque as seguintes considerações:

- Diferentemente do esperado para diversas madeiras folhosas, a *Amburana acreana* mostrou, neste trabalho, predomínio acentuado de ácido vanílico, derivado da fração guaiacílica da lignina, sem detecção significativa de compostos siringílicos. Embora essa observação exija investigações complementares, os resultados podem refletir diferenças na composição e na susceptibilidade térmica das frações lignínicas dessa madeira (Lima *et al.*, 2018).
- Não obstante componham o conjunto de fatores determinantes para a escolha e padronização de determinado tratamento térmico da madeira, os efeitos sensoriais conferidos à bebida somente podem ser adequadamente avaliados após alguns meses de armazenamento, período necessário para ocorrência das reações típicas da maturação e envelhecimento da cachaça, como oxidação, acetalação e esterificação, entre outras (Castro, 2023; Oliveira *et al.*, 2024).
- Os fenólicos liberados pela madeira podem atuar como marcadores químicos de sua identidade botânica e de seu potencial aromático. Entretanto, são principalmente os derivados que se formam durante o armazenamento da bebida – frequentemente em concentrações muito baixas, da ordem de microgramas por litro, ou até menos – que tendem a exercer maior influência sobre o equilíbrio e a complexidade sensorial da bebida (Czerny *et al.*, 2011; Mendes *et al.*, 2025).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dos testes efetuados permitiram estabelecer os seguintes referenciais para a tosta da *Amburana acreana*:

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

- A temperatura em torno de 200ºC é apropriada e permite ajustes no tempo de exposição com vistas à otimização sensorial, sem perdas expressivas dos principais marcadores químicos associados à madeira.
- A eventual elevação até cerca de 250ºC deve ser restrita a curtos intervalos de tempo, a fim de evitar perdas acentuadas nos teores de cumarina e ácido vanílico.
- A temperatura de 300ºC, embora eventualmente aplicável em procedimentos ultrarrápidos de chama direta (não avaliados neste estudo), apresenta risco elevado de degradação dos marcadores da *Amburana acreana*.

Desejamos que este trabalho contribua como estímulo a novas investigações e avanços multidisciplinares no beneficiamento da *Amburana acreana*, bem como das demais madeiras nativas atualmente empregadas para os fins de maturação e envelhecimento da cachaça de alambique.

REFERÊNCIAS

AQUINO, F. W. B., RODRIGUES, S., NASCIMENTO, R. F. & CASIMIRO, A. R. S. (2005) Phenolic compounds in Imburana (*Amburana cearensis*) powder extracts. Eur. *Food Res. Tech*., 221: 739-745. http://dx.doi.org/10.1007/s00217-005-0065-3

AQUINO, F.W.B., RODRIGUES, S., NASCIMENTO, R.F. & CASIMIRO, A.R.S. (2006). Determinação de marcadores de envelhecimento em cachaças. *Food Sci. Tech*., 26: 145-149. https://doi.org/ 10.1590/S0101-20612006000100024

ARAÚJO, J.D.P.; GRANDE, C.A.; RODRIGUES, E. Vanillin production from lignin oxidation in a batch reactor. *Chem. Eng. Res. Design*, 88(8): 1024-1032. 2010. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2010.01.021

BALAGOT, K.W., MARTINEZ, C.M. & BALAGOT, K.D. (2026). Influence of toasting levels on the chemical components of Eucalyptus camaldulensis. wood. *J. Kor. Wood Sci. Tech*., 54:1-18. Doi:10.5658/WOOD.2026.54.1.1.

BARCÍK, Š., GAŠPARÍK, M. & RAZUMOV, E. Y. (2015). Effect of thermal modification on the colour changes of oak wood. *Wood Res*., 60: 385-396.

BATISTA, D. C. (2019). Retificação térmica, termorretificação, tratamento térmico, tratamento com calor ou modificação térmica? *Cien. Flor*., 29: 463–480. https://doi.org/10.5902/ 1980509822577

BELITZ, H.D., GROSCH, W. & SCHIEBERLE, P. (2009). Food chemistry. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009.

BORTOLETTO, A.M. & ALCARDE, A.R. (2013). Congeners in sugar cane spirits aged in casks of different woods. *Food Chem*., 139: 695–701. Doi: 10.1016/j.foodchem. 2012.12.053

BORTOLETTO, A. M., CORREA, A.C. & ALCARDE, A.R. (2016). Aging practices influence chemical and sensory quality of cachaça. *Food Res. Int*., 86: 46-53.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

BRASIL SPIRITS (2016). 15ª Edição do Concurso NEW SPIRITS - anual e nacional das cachaças de alambique e outros destilados produzidos no Brasil. Respons. técnica: LABM, Belo Horizonte. Arquivo interno.

BRIDGWATER, A.V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biom. Bioen.*, 38: 68-94. Doi: 10.1016/j.biombioe.2011.01.048

CADAHÍA, E., SIMÓN, B.F. & JALOCHA, J. (2003). Volatile compounds in Spanish, French, and American oak woods after natural seasoning and toasting. *J. Agric. Food Chem.*, 51: 5923-5932. Doi: 10.1021/jf0302456

CANAS, S., BELCHIOR, A.P., GONÇALVES, J.A., SPRANGER, M. & SOUSA, R. (2007). Effect of heat treatment on the thermal and chemical modifications of oak and chestnut wood used in brandy ageing. *Cien. Tecn. Vitivinic.*, 22 (1).

CANDELIER, K., THEVENON, M.F., PETRISSANS, A., DUMARCAY, S., GERARDIN, P. & PETRISSANS, M. (2016). Control of wood thermal treatment and its effects on decay resistance: a review. *Ann. Forest Sci.*, 73:571–583. https://doi.org/10.1007/ s13595-016-0541-x

CANUTO, K. M., SILVEIRA, E. R. & BEZERRA, A.M.E. (2010). Estudo fitoquímico de espécimens cultivados de cumaru (*Amburana cearensis*). *Química Nova*, 33: 662-666. https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000300034

CARPENA, M., PEREIRA, A.G., PRIETO, M.A. & GANDARA, J.S. (2020). Wine aging technology: fundamental role of wood barrels. *Foods*, 9: 1160. https://doi.org/ 10.3390/foods9091160

CARVALHO, P.E.R. (2007). *Cerejeira-da-Amazônia*: *Amburana acreana*. In: EMBRAPA, Circular Técnica 134. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/ bitstream/ doc/313872/

1/Circular134.pdf

CASTRO, M. C., BORTOLETTO, A.M., SILVELLO, G.C. & ALCARDE, A.R. (2020). Lignin-derived phenolic compounds in cachaça aged in new barrels made of two oak species. *J. Inst. Brew.*, 6: e05586. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05586

CASTRO, M. C. (2023). *Caracterização química e sensorial do grau de maturação de cachaça envelhecida em tonéis de madeiras brasileiras*. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP, Piracicaba. (Tese dout.). Doi: 10.11606/T.11. 2023.tde-04012024-121625.

CHATONNET P., CUTZACH I., PONS M. & DUBOURDIEU, D. (1999). Monitoring toasting intensity of barrels by chromatographic analysis of volatile compounds from toasted oak wood. *J. Agric. Food Chem.*, 47: 4310–4318. Doi: 10.1021/jf981234t

COLLINS, T. S., MILES, J. L., BOULTON, R. B. & EBELER, S. E. (2015). Targeted volatile composition of oak wood samples taken during toasting at a commercial cooperage. *Tetrahedron*, 71: 2971-2982.

COURREGELONGUE, M. & PONS, A. (2024). The aroma of toasted oak wood (*Quercus petraea*): from sensory analysis to molecular characterisation. *OENO One*, 58:1-24. Doi: 10.20870/oeno-one. 2024.58.4.7883.

CUTZACH, I., CHATONNET, P., HENRY, R. & DUBOURDIEU, D. (1997). Identification of volatile compounds with a toasty aroma in heated oak used in barrelmaking. *J. Agric. Food Chem.*, 45: 2217-2224. http://dx.doi.org/10.1021/jf960947d

CZERNY, M., BRUECKNER, R., KIRCHHOFF, E., SCHMITT, R. & BUETTNER, A. (2011). The influence of molecular structure on odor qualities and odor detection thresholds of volatile alkylated phenols. *Chem. Senses*, 36: 539-553. https://doi.org/10.1093/ chemse/bjr009

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

ESTEVES, B. & PEREIRA, H. (2009). Wood modification by heat treatment: a review. *BioResources*, 4: 370–404.

FARRELL, R. R., WELLINGER, M., GLOESS, A. N., NICHOLS, D. S., BREADMORE, M. C., SHELLIE, R. A. & YERETZIAN, C. (2015). Real-time mass spectrometry monitoring of oak wood toasting: elucidating aroma development relevant to oak-aged wine quality. *Sci. Rep*., 5: 17334. Doi:10.1038/srep17334

FERREIRA, A.B. (2024). Estudo fitoquímico e potencial bioativo de *Amburana acreana*. Feira de Santana, UEFS. (Tese dout.)

FLOCH, A., JOURDES, M. & TEISSEDRE, P.L. (2015). Polysaccharides and lignin from oak wood used in cooperage: Composition, interest and colloidal aspects. *Carbohyd. Pol*., 126: 276–281.

GOLLIHUE, J., RICHMOND, M., WHEATLEY, H., POOK, V.G., NAIR, M., KAGAN, I.A. & BOLT, S. (2018). Liberation of recalcitrant cell wall sugars from oak barrels into bourbon whiskey during aging. *Sci. Rep*., 8:15899. https://doi.org/10.1038/s41598-018-34204-1

HILL, C. (2006). *Wood Modification: chemical, thermal and other processes*. Chichester, John Wiley & Sons.

HUANG,Y., GOU, J., CUI, D., LUO, M., QI, M., LI, J., FANG J., GAO K., YU K., DUAN, C., SHI Y. & LAN, Y. (2026). Deconstructing thermal processing of cooperage oak: How oak species, toasting levels and charring levels collectively modulate phenolic profiles. *Food Res. Int*., 235. https://doi.org/10.1016/j.foodres. 2026.119240.

KELLEY, S. S., RIALS, T. G. & GLASSER, W. G. (1987). Relaxation behaviour of the amorphous components of wood. *J. Mat. Sci*., 22: 617–624. https://doi.org/ 10.1007/BF01160778

KESIK, H. I. , KORKUT, S., HIZIROGLU, S. & SEVIK, H. (2014). An evaluation of properties of four heat treated wood species. *Ind. Crops Prod*., 60: 60-65. Doi: 10.1016/ j.indcrop.2014.06.001

LEAL, L. K. A. M , PIERDONÁ, T.M., GOES, J.G.S., FONSECA, K.S., CANUTO, K.M., SILVEIRA, E.R., BEZERRA, A.M.E. & VIANA, G.S.B. (2011). A comparative chemical and pharmacological study of standardized extracts and vanillic acid from wild and cultivated *Amburana cearensis*. *Phytomed*., 18:230-233. Doi: 10.1016/j.phymed. 2010.05.012

LIMA, T. R. A., CARVALHO, E. C. D., MARTINS, F. R., OLIVEIRA, R. S., MIRANDA, R. S., MÜLLER, C. S., PEREIRA, L., BITTENCOURT, P.R.L., SOBCZAK, J.C.M.S.M., GOMES-FILHO, E., COSTA, R.C. & ARAÚJO, F. S. (2018). Lignin composition is related to xylem embolism resistance and leaf life span in trees in a tropical semiarid climate. *New Phytol*., 219: 1252-1262. Doi: 10.1111/nph.15211

MAIA, A.B., MARINHO, L.S. & NELSON, D.L. (2020). Certification of amburana in the aging of cachaça. *Res. Soc. Dev*., 9 (12). Doi: 10.33448/rsd-v9i12.10644

MAIA, A.B., MARINHO, S., TONIDANDEL, L.O., CARNEIRO, F.M.B., CONCEIÇÃO, E.C. & MACHADO, B.D. (2023). Coumarin in Brazilian cachaça stored in barrels of *Amburana cearensis*. In: CHANG, C.C. Current *Perspectives in Agriculture and Food Science*. Cap. 8. BP International. 2023. Doi: 10.9734/bpi/cpafs/v5/6439E

MAIA, A.B., MARINHO, L.S. & CARNEIRO, F.M.B. (2025). A tanoaria e a qualidade da cachaça brasileira. *Res. Soc. Dev*., 14 (9). Doi: 10.33448/rsd-v14i9.49511.

MAPA. Portaria nº 539 de 26 de dezembro de 2022. Estabelece os Padrões de identidade e Qualidade da aguardente de cana e da cachaça. Diário Oficial da União, 27 dez. 2022

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

MENDES, D. C. S., FREITAS, R.C., MIRANDA, B.M., MORGADO, C.M.A., BRICENO, J.C., SILVA, F.A., CALIARI, M. & OLIVEIRA, T.F. (2025). Perfil químico, antioxidante e cromatográfico de cachaça envelhecida em tonéis de carvalho americano, castanha-do-pará, amburana e bálsamo em 12 meses. *Observ. Econ. Latinoam*., 23: e9013. Doi: 10.55905/oelv23n2-080.

MIRANDA, M.B., MARTINS, N.G., BELLUCO, A.E.S., HORII, J. & ALCARDE, A.R. (2008). Chemical profile of aguardente – Brazilian sugar cane alcoholic drink – aged in oak casks. *Food Sci. Tech*., 28. https://doi.org/10.1590/S0101-2061200 8000500014

MOSEDALE, J. R. & PUECH, J.L. (1998). Wood maturation of distilled beverages. *Trends Food Sci.Tech*., 9: 95–101. https://doi.org/10.1016/S0924-2244(98)00024-7

NEGRI, G., OLIVEIRA, A.F.M., SALATINO, M.L.F. & SALATINO, A. (2004). Chemistry of the stem bark of *Amburana cearensis*. *Rev. Bras. Plant. Med*., 6:1-4. https: //doi.org/10.70151/6c00aa92

NISHIMURA, K., MATSUYAMA, R. (1989). Maturation and maturation chemistry. In: Piggott, J. R., Sharp, R., Duncan, R. E. B. (Eds.). *The Science and Technology of Whiskies*. Harlow: Longman Sci. & Technical, 1989. p. 235–263.

OLIVEIRA, P. H. V., CARDOSO, M.G., SANTIAGO, W. D., MACHADO, A.M.R., FERNANDES, A. I. & TEIXEIRA, M. L. (2024). Cachaças armazenadas em amburana: Análise e avaliação quantitativa dos congêneres por um período de 180 dias. *Res. Soc. Dev*.,13 (9) http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v13i9.46754

PANSHIN, A. J. & ZEEUW, C. *Textbook of Wood Technology*. 4ª ed. New York: McGraw-Hill. 1980.

PHILIP, J., SEFTON, M. A. & GAWEL, R. (2008); The contribution of volatile compounds derived during oak barrel maturation to the aroma of wine. *Aust. J. Grape Wine Res*., 10: 227-235. Doi:10.1111/j.1755-0238.2004.tb00026.x

PUECH, J. P. (1987). Extraction of phenolic compounds from oak wood in model solutions and evolution of aromatic aldehydes in wines aged in oak barrels. *Am. J. Enol. Vitic*., 38: 236-238.

QUINTANS JR, L.J. (2010). *Amburana cearensis* – uma revisão química e farmacológica. *Scientia Plena,* 6 (11). https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/106

REITENBACH, A.F., LORENZI, A.S., CATIBE, N.P., TORMENA, R.P.I., SANTOS, D.C.B.D., BROCH, A.C., SILVEIRA, E.A., CARMO, T.S., SUAREZ, P.A.Z. & GHESTI, G.F. (2026). Optimizing the flavor profile of Brazilian spirits: torrefaction modeling of native woods for cachaça maturation. *Molecules*, 31: 633. Doi: 10.3390/ molecules 31040633

RUSSELL, I. & STEWART, G. (2014). *Whisky: technology, production and marketing*. 2. ed. Oxford: Academic Press/Elsevier.

SANTIAGO, W. D., CARDOSO, M.G. & NELSON, D.L. (2017). Cachaça stored in casks newly constructed of different woods: alcohol content, phenol composition, colour intensity and dry extract. *J. Inst. Brew*.,123: 232-241. https://doi.org/ 10.1002/jib.414

SARNI, F., MOUTOUNET, M., PUECH, J. L. & RABIER, P. (1990). Effect of heat treatment of oak wood extractable compounds. *Holzforschung*, 44:461-466. https://doi. org/ 10.1515/hfsg.1990. 44.6.461.

SAUVAIN, M. (1999). Bioactive phenolic glycosides from *Amburana cearensis*. *Phytochemistry*, 50: 71–74. https://doi.org/10.1016/S0031-9422(98)00497-X

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

SELEME, E., LEWIS, G., STIRTON, C., SARTORI, A. & MANSANO, V.F. (2015). A taxonomic review and a new species of the south American woody genus Amburana (Leguminosae, Papilionoideae). *Phytotaxa*, 212: 249. Doi: 10.11646/ phytotaxa. 212.4.1

SILVA, K.C.A. (2024). Chips de resíduos madeireiros termotratados para uso na maturação da cachaça. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP, Piracicaba. (Diss, mest.) Doi: 10.11606/D.11.2024.tde-08102024-150146

SILVA, J. H.C.E., FERREIRA, R.S., PEREIRA, E.P., SOUZA, S.B., ALMEIDA, M.M.A., SANTOS, C.C., BUTT, A.M., CAIAZZO, E., COPASSO, R., SILVA, V.D.A. & COSTA, S.L. (2020). *Amburana cearensis:* pharmacological and neuroprotective effects of its compounds. *Molecules*, 25: 3394. https://doi.org/10.3390/molecules25153394

SILVEIRA, Z. S., MACÊDO, N.S., BEZERRA, S.R., SIYADATPANAH, A., COUTINHO, H.D.M., SEIFI, Z., KIM, B., CUNHA, F.A.B. & BALBINO, V.Q. (2022). Phytochemistry and biological activities of *Amburana cearensis*. *Molecules*, 27: 505. Doi: 10.3390/moléculas27020505

SROKA, P. & TARKO, T. (2026). The influence of wood-derived compounds on the quality of alcoholic beverages. *Molecules*, 31: 1408. https://doi.org/10.3390/molecules31091408

STAMM, A. J. (1964). *Wood and Cellulose Science*. New York: The Ronald Press Company. p. 549.

VIRIOT, C., SCALBERT, A., LAPIERRE, C. & MOUTOUNET, M. (1993). Ellagitannins and lignins in aging of spirits in oak barrels. J. *Agric. Food Chem*., 41: 1872-1879. https://doi.org/10.1021/jf00035a013

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.