



Uso da torta da polpa de macaúba (*Acrocomia aculeata*) como adjunto cervejeiro: caracterização do amido e implicações no processo de mostura

Tales A. Aguiar¹, Alessandra C. Vilaça²

¹ Discente, Engenharia Química, DEQUI, talesalianeaguiar@gmail.com.

² Docente, Engenharia de Bioprocessos, DQBIO, alessandrav@ufsj.edu.br.

Resumo

RESUMO - Este trabalho avaliou a viabilidade tecnológica da utilização da torta da polpa de *Acrocomia aculeata* como adjunto cervejeiro, com ênfase na caracterização do amido e na sua compatibilidade térmica com o processo de mostura. Foram determinados o teor de amido por hidrólise enzimática e reação colorimétrica com o ácido 3,5-dinitrossalicílico (DNS) e a faixa de gelatinização por Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) em amido isolado. Adicionalmente, produziu-se uma cerveja-teste com substituição de 10% (em massa) dos maltes utilizados por torta da polpa da macaúba, comparada à uma cerveja controle produzida sem o adjunto. As análises físico-químicas do produto final incluíram teor alcoólico (Alcohol By Volume, ABV), extrato residual (°Brix), cor (*European Brewery Convention* - EBC) e amargor (International Bitterness Units - IBU) seguindo protocolos da *American Society of Brewing Chemists* (ASBC). Os resultados mostraram teor de amido de 9,4% (base seca) na torta, valor suficiente para justificar substituições parciais, porém inferior aos adjuntos amiláceos convencionais (70%). As medidas por DSC apresentaram baixa reprodutibilidade, impedindo a identificação clara do pico de gelatinização, possivelmente em função da heterogeneidade composicional da torta (alto teor de fibras e presença de hemiceluloses e lignina). A análise físico-química indicou teor alcoólico semelhante entre as formulações (~4,5% ABV); contudo, a cerveja com torta da polpa da macaúba apresentou maior extrato residual (6 °Brix), menor amargor (23 IBU frente a 29 IBU no controle) e aumento de aproximadamente 23% na cor. Tais resultados indicam a contribuição de açúcares não amiláceos e frações não fermentescíveis da torta, resultando em maior corpo, dulçor residual e modulação do amargor e coloração. Conclui-se que a torta da polpa da macaúba é viável como adjunto em substituições parciais, especialmente para estilos artesanais que valorizam identidade regional, mas recomenda-se investigação de pré-tratamentos térmicos e uso de enzimas exógenas para melhorar a disponibilidade do amido e otimizar rendimento alcoólico e estabilidade sensorial.

Palavras-chave : *Acrocomia aculeata*, adjunto cervejeiro, amido, sustentabilidade, inovação.

1.Introdução

A cerveja é uma bebida produzida por meio da fermentação alcoólica do mosto oriundo do malte de cevada, acrescida de lúpulo que confere aroma e sabor à cerveja. As cervejas artesanais vêm crescendo no Brasil, em especial a partir do ano 2000, o que mostra uma crescente na busca por novos sabores e experiências (ANUÁRIO DA CERVEJA, 2024). Neste contexto a busca por adjuntos cervejeiros, que são fontes alternativas de açúcares para a fermentação, e que possam agregar sabores e aromas novos à cerveja sem comprometer o processo fermentativo é crucial para o atender às demandas de um mercado consumidor em constante expansão. Nesse contexto, observa-se um movimento crescente no mercado de cervejas artesanais voltado à incorporação de novos ingredientes à formulação cervejeira, com o objetivo de ampliar a diversidade sensorial e agregar valor às matérias-

primas de origem vegetal (CUNHA *et al.* 2023).

O Brasil, com sua vasta biodiversidade, apresenta um potencial enorme para a exploração de adjuntos não convencionais, especialmente aqueles oriundos do Cerrado. Estudos recentes têm demonstrado a incorporação de frutos como a jabuticaba, o cajá e a mangaba na produção de cervejas, visando conferir perfis aromáticos únicos e identidade regional. (SILVA *et al.* 2021; REIS, SCHMIELE, 2019). Santos *et al* (2024) destacou o potencial das frutas buriti, cagaita e murici do cerrado brasileiro como adjuntos cervejeiros. Essa tendência de valorização de ingredientes locais não apenas atende a um consumidor cada vez mais exigente por novidades, mas também fortalece a bioeconomia regional. Nesse cenário, a macaúba (*Acromia aculeata*) configura-se como matéria-prima alternativa com potencial tecnológico, em razão da disponibilidade e composição química, ainda pouco investigadas

na aplicação cervejeira.

Figura 1: Palmeira da macaúba (*Acrocomia aculeata*).



Fonte: Verediano *et al.* 2012

A macaúba (*Acromia aculeata*) é uma palmeira nativa do cerrado brasileiro com grande ocorrência no norte do estado de Minas Gerais e no estado de Goiás. Apresenta frutos globosos que detém grande potencial de produção de óleos, que é o produto de maior valor agregado da cadeia produtiva. Os óleos da polpa e da semente da macaúba apresentam elevado valor industrial, sendo o primeiro direcionado à produção de biocombustíveis, alimentos e cosméticos, e o segundo às indústrias cosmética e farmacêutica. Além das aplicações dos óleos, a torta proveniente da extração do óleo da polpa, é utilizada como ração animal e até incorporada na alimentação humana como composição de bolos e biscoitos (BARROS *et al.* 2025, FÁVARO *et al.* 2022). Essas aplicações mostram grande potencial econômico da palmeira, pois seu fruto pode ser utilizado inteiramente, evitando custos de tratamento e disposição de resíduos, além do alto valor agregado dos produtos obtidos a partir dos óleos do fruto.

Os frutos da palmeira são ricos em lipídeos, proteínas, fibras e carboidratos como mostram estudos feitos por Rosa *et al.* (2019) e Colombo *et al.* (2025). Os lipídeos estão concentrados nos óleos e após a sua extração a torta resultante possui teores de óleo de até 50%, dependendo da eficiência da extração (FÁVARO *et al.* 2022). Uma extração mais eficiente gera uma torta com altos teores de proteínas, fibras e carboidratos. Diante dessas características, a torta da polpa da macaúba pode ser considerada uma matéria-prima com potencial para a aplicação como adjunto cervejeiro, uma vez que a fração de carboidratos presentes pode ser solubilizada e convertida em açúcares fermentescíveis durante o processo de mostura, enquanto a fração proteica pode influenciar as características físico-químicas da cerveja.

Apesar do seu alto valor nutricional, a torta da polpa da macaúba é destinada majoritariamente à alimentação animal ou até descartada como resíduo agroindustrial. No entanto, pesquisas recentes apontam que esse coproduto é rico em fibras dietéticas insolúveis e proteínas, apresentando grande potencial para a alimentação humana, como na formulação de biscoitos, barras de cereais e pães (CORREIA *et al.* 2022). A aplicação deste coproduto na indústria de alimentos, e especificamente na produção de cervejas, representa uma estratégia de *upcycling* contribuindo para o aumento do valor agregado e para a ampliação de sua inserção na cadeia produtiva.

Nesse contexto essa pesquisa visa avaliar a viabilidade tecnológica da utilização da torta da polpa da macaúba (*Acrocomia aculeata*) como adjunto cervejeiro, com ênfase na caracterização do amido e na compatibilidade térmica do adjunto com o processo de mostura.

Como objetivos específicos visa determinar o teor de amido presente na torta da polpa da macaúba; realizar a determinação da faixa de temperatura de gelatinização do amido por Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC); avaliar o efeito da substituição parcial do malte (10%) pela torta da polpa da macaúba nos parâmetros físico-químicos da cerveja; comparar os resultados obtidos com dados da literatura para avaliar implicações tecnológicas no processo de mostura.

2. Revisão

2.1. A palmeira macaúba (*Acrocomia aculeata*)

Segundo estudos recentes de Lieb *et al.* (2019), a palmeira *Acrocomia aculeata* pode ser encontrada em quase todo território tropical americano, sendo recorrente do norte do México até o sul da Argentina, com grande ocorrência no Cerrado brasileiro. Seu valor econômico tem crescido especialmente dentro da indústria de biocombustíveis, cosméticos, fármacos e alimentício. Na medicina, os frutos da macaúba podem ser utilizados como tratamento para doenças cardiovasculares devido a presença em altas concentrações de carotenoides (pigmentos presentes na casca dos frutos com propriedades antioxidantes) ou como anti-inflamatório (LESCANO *et al.* 2015). Segundo Fávaro *et al.* (2022), o óleo extraído da polpa da macaúba pode ser utilizado na produção de querosene de aviação, através de protocolo certificado pela Associação Americana de Normas e Padrões, a ASTM.

Figura 2: Partes do fruto da macaúba.



Fonte: Vilaça *et al.* 2022

O fruto maduro da macaúba é constituído de aproximadamente 13% de epicarpo (casca), 45% de mesocarpo (polpa), 33% de endocarpo (revestimento da semente) e 9% de semente (amêndoa), sendo que os teores de óleos são maiores na polpa, cerca de 60%, e na semente, 55% (JIMENES *et al.* 2020). Na extração do óleo da polpa, é gerado uma torta com alto valor nutricional, rica em fibras, proteínas, vitaminas, ferro, cálcio entre outros nutrientes (Nascimento *et al.* 2019).

Segundo Rigueira *et al.* (2017), na pecuária de ruminantes, a torta da polpa responde como alternativa energética e proteica em substituição parcial de ingredientes convencionais como a farinha de milho. Em nutrição humana, a torta pode ser transformada em farinha com características funcionais: teor de

proteína de 7,2 %, lipídios de 27 %, carboidratos de 42 % e fibra total de 20 %, com imunidade a contaminação por bolores, leveduras e patógenos (*salmonelas*, *E. coli*, *Bacillus cereus*) dentro dos limites da ANVISA (Verediano *et al.* 2012). Em outras áreas pode-se incluir a pesquisa realizada por Vilaça *et al.* (2022) que utilizou a torta proveniente da polpa da macaúba como adjunto cervejeiro.

2.2. Características físico-químicas da torta da polpa da macaúba

A polpa da macaúba é constituída principalmente de água (41%), lipídeos (18%), carboidratos (32%) e proteínas brutas (6%), números encontrados por Correia *et al.* (2022), em seu estudo da composição do mesocarpo da macaúba colhida no estado do Mato Grosso. Análises feitas após a extração do óleo dos frutos coletados em Jeceaba/MG foram referenciadas por Nascimento *et al.* (2019), a torta resultante tem percentuais de água (8,4%), lipídeos (25,8%), carboidratos (53,3%) e proteínas (8%), o que demonstra a diminuição da gordura presente no fruto. As discrepâncias apresentadas em ambos os estudos é decorrência do tipo de processamento realizado anteriormente a análise e da origem dos frutos coletados, enquanto Correia *et al.* (2022) realizou um estudo sobre a composição da polpa do fruto da macaúba, Nascimento *et al.* (2019) indicou a composição da torta da polpa do fruto, matéria-prima utilizada nesta pesquisa que passou por processos de secagem e extração do óleo.

2.3. Adjunto cervejeiro e matérias primas alternativas

De acordo com a Instrução Normativa nº 65, de 10 de dezembro de 2019, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), considera-se adjunto cervejeiro toda matéria-prima utilizada como fonte de açúcares fermentescíveis no processo de produção de cerveja, com exceção do malte de cevada. A referida normativa estabelece ainda que a formulação da cerveja deve conter, no mínimo, 55% de malte de cevada, permitindo-se a utilização de até 45% de adjuntos cervejeiros, calculados com base no extrato primitivo, assegurando a identidade e a qualidade do produto final conforme a legislação vigente.

Os adjuntos podem ser classificados em três grupos principais: amiláceos, açucarados e não convencionais (D'AVILA *et al.* 2012). Os amiláceos, como arroz, milho e trigo, são ricos em amido e requerem conversão enzimática durante a mostura, que tendem a reduzir o corpo da cerveja, conferir suavidade e influenciar na cor. Os açucarados, como melado e xarope de glicose, são prontamente fermentáveis, acelerando a fermentação e potencialmente elevando o teor alcoólico. Já os não convencionais englobam frutas, ervas, flores e especiarias, que introduzem complexidade aromática e identidade ao produto, mas exigem cuidados adicionais quanto à sanitização, cuidado adicional com contaminação microbiológica proveniente do adjunto, e pré-tratamentos para adequação do adjunto ao processo cervejeiro (BIAZOTTO *et al.* 2024; OLIVEIRA *et al.* 2025).

A utilização de adjuntos não convencionais exige atenção redobrada quanto à composição lipídica e proteica da matriz. Segundo Mizuguchi (2025), a presença excessiva de ácidos graxos insaturados em adjuntos oleaginosos pode impactar negativamente a estabilidade da espuma, devido à redução da tensão superficial, e diminuir a percepção de amargor pela interação hidrofóbica com os iso-alfa-ácidos do lúpulo. Além disso, a fermenta

bilidade do mosto pode ser afetada se o adjunto contiver altas concentrações de açúcares complexos ou fibras não hidrolisáveis pelas enzimas do malte, resultando em cervejas com menor grau alcoólico e maior corpo residual (CORREIA *et al.* 2022).

2.4. Temperatura de gelatinização e conversão enzimática

A caracterização química de adjuntos não convencionais é mandatória para prever o comportamento da matéria-prima durante o processo de brassagem. A quantificação de macromoléculas define o potencial fermentativo e a viabilidade tecnológica da substituição do malte.

O amido constitui a principal fonte de extrato fermentescível em adjuntos sólidos. Sua quantificação é essencial para o cálculo de eficiência da brassagem. Contudo, a simples presença de amido não garante sua conversão; é necessário conhecer a temperatura de gelatinização. Este parâmetro, determinado por Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), indica o ponto em que os grânulos de amido se tornam acessíveis à ação das enzimas amilolíticas do malte (α -amíase e β -amilase). Se a temperatura de gelatinização do adjunto for superior à faixa ótima das enzimas (geralmente entre 60 °C e 70 °C), o amido não será hidrolisado, resultando em turbidez e baixo rendimento alcoólico, neste caso é necessário um pré-tratamento para que os grânulos de amido inchem e possam ser posteriormente divididos em açúcares menores pela ação das enzimas presentes no malte.

Na cerveja, a temperatura de gelatinização indica o ponto em que o amido se torna solúvel e acessível às enzimas, permitindo sua conversão em açúcares fermentáveis e impactando rendimento, claridade e sabor.

2.5. Processo de produção de cerveja

O processo de produção de cerveja começa na seleção de grãos, previamente maltados que compõe a receita preparada. Os grãos selecionados são moídos, comumente em moinhos de cilindros rotativos, até a sua granulometria adequada. Após a moagem, os grãos são inseridos em uma quantidade de água, duas e meia a quatro vezes a carga de malte (AGRÁRIA 2024). Essa água precisa ser previamente aquecida até uma temperatura média próxima de 50°C para ativar as enzimas α -amilase e β -amilase, presentes no malte de cevada, responsáveis pela conversão de amido em açúcares fermentescíveis. Essa etapa, chamada de mostura, ocorre em rampas de temperatura controladas que otimizam a atividade enzimática, geralmente entre 50 °C e 78 °C (HORNINK *et al.* 2024).

Após a mostura, o mosto é separado das cascas e demais produtos insolúveis por meio de filtração e lavado com água quente para a solubilização dos açúcares residuais, processo comumente chamado de clarificação ou *sparge*. Em seguida, o mosto é fervido, momento em que se adicionam lúpulos para conferir amargor e aroma, além de realizar a esterilização térmica e inativar enzimas indesejáveis. Após a fervura segue-se o *whirlpool* (redemoinho-dreno da panela de fervura) e o resfriamento até cerca de 18 °C para cervejas do tipo *Ale* e até cerca de 12 °C para cervejas do tipo *Lager*, temperatura ideal para inoculação da levedura tipo *Saccharomyces Cerevisiae* (levedura mais comumente utilizada), que fermenta os açúcares em etanol e CO₂ (HORNINK *et al.* 2024, COSTA *et al.* 2019).

A fermentação principal dura em média de 5 a 10 dias, dependendo do estilo e da cepa de levedura, seguida de maturação, descanso do mosto fermentado à baixas temperaturas para decantação de sólidos solúveis e melhora da claridade e

carbonatação. As cervejas são então carbonatadas filtradas, acondicionadas em barris, garrafas ou latas, pasteurizadas ou estabilizadas, e finalmente rotuladas para consumo final (COSTA *et al.* 2019).

Este processo está bem enraizado no âmbito industrial, tanto de larga escala quanto de produções artesanais. Em constante busca por uma diferenciação no mercado, há uma crescente inserção de frutas tropicais e especiarias em cervejas vinculadas ao mercado artesanal e sazonal, agregando valor ao produto e promovendo a valorização de ingredientes locais como a macaúba (D'AVILA *et al.*, 2012). Estudos indicam que a escolha e a proporção de adjuntos influenciam diretamente o rendimento do processo, a composição química do mosto e as características organolépticas da cerveja (BIAZOTTO *et al.* 2024).

2.6. Parâmetros físico-químicos analisados da cerveja

A validação do uso do adjunto foi realizada por meio de análises físico-químicas das cervejas produzidas, com o objetivo de caracterizá-las a partir de parâmetros padronizados, seguindo protocolos estabelecidos pela *American Society of Brewing Chemists* (ASBC).

- **Cor:** A coloração da cerveja, determinada por espectrofotometria (leitura a 430 nm), pode ser alterada por pigmentos residuais no adjunto ou por reações de escurecimento (*Maillard*) durante a fervura, impactando a classificação do estilo. Esta verificação é realizada na cerveja descarbonatada após ser atestado baixa turbidez através da leitura espectrofotométrica a 700 nm.
- **Amargor (IBU - *International Bitterness Units*):** A aferição do amargor é feita pela extração por solvente (n-octano) e leitura a 275 nm em espectrofotômetro. É um indicador crucial da percepção sensorial e estabilidade dos compostos amargos.
- **Grau Alcoólico (ABV):** O teor alcoólico reflete diretamente a fermentabilidade do mosto. Sua determinação foi realizada por Cromatografia Gasosa (CG) com padrão interno. Utilizou-se o propanol como padrão interno para a determinação da equação da reta, concentração por razão das áreas dos picos (etanol/propanol). Determinou-se as razões das amostras acrescidas do padrão e comparadas com a equação da reta.

2.7. Sustentabilidade e inovação

A utilização do fruto da palmeira macaúba insere-se de forma direta no conceito de bioeconomia circular, uma vez que se trata de uma espécie nativa do cerrado brasileiro, adaptada às condições edafoclimáticas da região e com menor demanda hídrica quando comparada a outras oleaginosas empregadas na produção de óleo vegetal. Além disso, o fruto apresenta elevado potencial de aproveitamento integral: o epicarpo pode ser destinado à produção de artesanatos, os óleos da polpa e da amêndoa são amplamente aplicados nas indústrias de biocombustíveis e cosméticos, e a torta residual da extração do óleo pode ser empregada na indústria alimentícia. (BENVENUTTI *et al.* 2025). Nesse contexto, a utilização da torta da polpa da macaúba como adjunto não convencional na produção de cervejas artesanais representa uma estratégia de valorização de coprodutos agroindustriais, agregando valor à cadeia produtiva da

macaúba.

Diferente do modelo tradicional, onde coprodutos agroindustriais são descartados ou subutilizados como ração animal de baixo valor agregado, a proposta deste trabalho valoriza o coproduto da extração do óleo, reintegrando-o à cadeia alimentar humana. A substituição parcial do malte de cevada que em sua maioria é importado ou cultivado sob regimes intensivos, pela torta da polpa da macaúba contribui para a redução da pegada de carbono do produto final, diminuindo a demanda por transporte e insumos agrícolas estrangeiros (CORREA-QUEVEDO *et al.* 2025).

No âmbito da inovação, a incorporação deste adjunto oferece uma oportunidade de diferenciação no mercado de cervejas artesanais. O consumidor contemporâneo busca produtos que ofereçam novas experiências sensoriais ("Novos Sabores") alinhadas a propósitos éticos e ambientais. A "Cerveja de Macaúba" não apenas promove a identidade regional mineira e do Cerrado, mas também aumenta o aproveitamento agrícola, transformando um passivo da produção de óleo vegetal em um ativo da indústria cervejeira, o que dialoga diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU), em específico com os objetivos nove (indústria, inovação e infraestrutura) e sete (Consumo e Produção Sustentável) devido ao aproveitamento de coprodutos agroindustriais.

3. Metodologia

3.1. Matérias-Primas e Preparo do Adjunto

A torta da polpa da macaúba (*Acrocomia aculeata*) utilizada neste trabalho foi obtida no âmbito da tese de doutorado de Vilaça (2022). O material teve origem em frutos coletados no município de Jeceaba/MG e foi processado no Laboratório de Processos e Produtos da Macaúba (LPPM), localizado na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). O preparo da torta consistiu em secagem artificial a aproximadamente 60 °C, seguida de moagem, de modo a atingir um teor de umidade entre 12% e 15%, condição adequada para a prensagem mecânica e para a posterior aplicação do coproduto no presente estudo. A torta armazenada foi reprocessada para utilização nesta pesquisa.

Como base amilolítica, utilizou-se Malte Pilsen. O lúpulo para amargor foi do tipo *Columbus* e para conferir aroma utilizou-se lúpulo *Cascade*, a fermentação foi conduzida pela levedura *Saccharomyces cerevisiae*, cepa US-05. As produções e posteriores análises foram realizadas nos laboratórios da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), Campus Alto Paraopeba (CAP).

3.2. Caracterização Físico-Química da Torta da macaúba

As análises foram realizadas em triplicata, utilizando metodologias adaptada para a torta da polpa da macaúba.

- **Teor de Amido:** O amido foi extraído da torta de polpa da macaúba segundo Arêas & Lajolo (1980), com modificações. Amostras foram homogeneizadas em NaOH 0,5 N e centrifugadas a 2.000 g por 15 min a 25°C. O sobrenadante foi neutralizado com ácido acético 0,5 N e completado para 50 mL. Para precipitação do amido, 1 mL da solução foi adicionado a 4 mL de etanol 95% (v/v), seguido de agitação e centrifugação a 20.000 g por 20 min. O sedimento foi lavado duas vezes com etanol 95% (v/v), obtendo-se amido livre de açúcares simples. O amido purificado foi seco a 40°C e utilizado para análise de DSC. A etapa de hidrólise com amiloglicosidase não foi aplicada para as amostras destinadas à DSC, a fim de preservar a

estrutura granular do amido. A etapa de hidrólise foi realizada pela enzima amiloglicosidase, em solução tampão de acetato de sódio à pH 4,8, em uma temperatura de 40 °C por duas horas, para dissolução completa do amido em açúcares redutores. O amido hidrolisado foi sujeito à reação colorimétrica com ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) e quantificado em espectrofotômetro com leitura à 520 nm.

- **Temperatura de Gelatinização:** A faixa de temperatura de gelatinização foi determinada por Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), utilizando um equipamento [Shimadzu/DSC-60 Plus] para avaliar a compatibilidade térmica com o processo de mostura. Utilizou-se 2 mg de amido isolado da torta da polpa da macaúba que após lavagens com água destilada foi seco em estufa à 40°C por 8 horas e então hidratado na proporção de 1:4 mg por µl de água destilada e seladas em panelas de alumínio. A hidratação foi realizada 12 horas antes das análises. Utilizou-se atmosfera de nitrogênio com vazão de 30 ml/min, a faixa de temperatura analisada foi de 30 à 120°C com taxa de aquecimento de 10°C/min.

3.3. Produção da Cerveja (Brassagem)

Foram produzidos dois mostos: uma cerveja controle (Malte Pilsen e Malte Munich) e uma cerveja com adição da torta da polpa da macaúba substituindo 10% do malte. As receitas foram formuladas na plataforma *Beer Smith* com base no estilo *Specialty Beer*.

O estilo *Specialty Beer*, conforme definido pelo *Beer Judge Certification Program* (BJCP, 2021), foi escolhido por permitir a inclusão de ingredientes não convencionais capazes de conferir características sensoriais específicas e intencionais à cerveja, sem a necessidade de aderência aos parâmetros clássicos de estilos tradicionais. A adição da torta da polpa da macaúba, um adjunto de origem frutal, resultou em modificações perceptíveis no perfil sensorial da bebida, incluindo intensificação da coloração, alterações no aroma e aumento da sensação de corpo e dulçor residual, mesmo quando utilizada em baixa proporção (10%). Tais atributos sensoriais não se enquadram integralmente nos descritores estabelecidos para estilos convencionais do guia BJCP, justificando o enquadramento da cerveja desenvolvida como *Specialty Beer*, categoria destinada a produtos experimentais nos quais os ingredientes e processos empregados definem o caráter sensorial final da bebida.

A receita foi preparada para uma produção de 5 litros de ambas as cervejas, a adicionada de torta e a controle. O processo de mostura foi conduzido por infusão simples, utilizando a relação água/grão de 4:1 L/kg (4 litros de água por quilo de malte + adjunto). As rampas de temperatura empregadas foram:

- Repouso Proteico/Beta-glucana: 10 minutos à 50°C.
- Sacarificação Principal: 75 minutos à 66°C (para conversão do amido em açúcares).
- Inativação (*Mash-out*): 10 minutos à 76°C (para inativação das enzimas).

Após a filtração e lavagem dos grãos (*sparging*), o mosto foi fervido por 70 minutos. A adição de lúpulo para amargor e aroma foi realizada aos 10 minutos de fervura e aos 60 minutos de fervura respectivamente, este último com

adição de 0,7 g de flocculante. Após o resfriamento, o mosto foi aerado e inoculado com a levedura. A fermentação ocorreu a 18 °C por 7 dias, seguida de 5 dias de maturação a 2 °C.

Análises da Cerveja Final

As cervejas finalizadas foram descarbonatadas e analisadas seguindo os padrões da ASBC (*American Society of Brewing Chemists*), utilizou-se os protocolos Beer 4, Beer-10 e Beer-23 para determinação do grau alcoólico real, da cor e do amargor respectivamente.

4. Resultados e discussões

4.1. Caracterização Físico-Química da Torta da macaúba

O teor de amido determinado na torta da polpa da macaúba foi de $9,4 \pm 1\%$ (base seca), valor próximo ao reportado por Vilaça (2022), de 10,22%, indicando consistência com dados da literatura. Embora esse teor seja inferior àquele observado em adjuntos amiláceos convencionais empregados em substituições mais elevadas do malte, como o milho, que apresenta entre 60% e 80% de amido (base seca), o resultado é relevante para um coproduto agroindustrial e justifica sua aplicação em substituições parciais, como a adotada neste estudo (10% em massa em substituição aos maltes utilizados). Destaca-se ainda a presença de açúcares não amiláceos na torta, os quais podem contribuir adicionalmente para o processo fermentativo. A seguir verifica-se na Figura 1 o termograma obtido pela análise DSC para determinação da temperatura de gelatinização do amido da torta da polpa da macaúba.

Figura 3: Termoagrama do amido da torta da polpa da macaúba

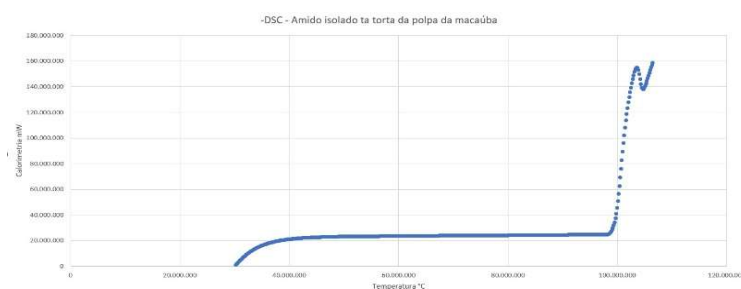
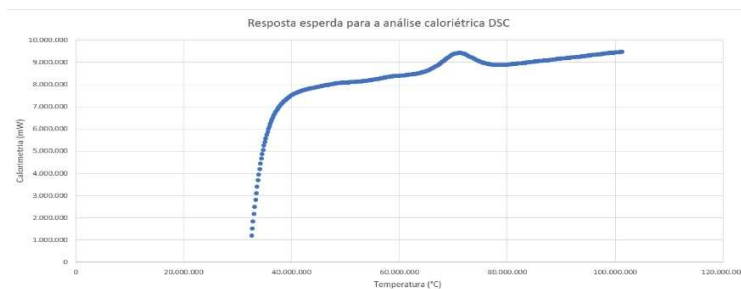


Figura 4: Termoagrama do amido de milho



Segundo a Figura 3, o termoagrama obtido por DSC não apresentou um pico endotérmico característico da gelatinização do amido como o representado na Figura 4 em análise realizada em amido de milho isolado, evidenciando que o material analisado já se encontrava estruturalmente alterado. Esse comportamento é atribuído ao histórico químico e térmico do processo de extração e preparo da amostra, comprometendo a preservação das regiões cristalinas do amido e, consequentemente, a reprodutibilidade da análise, uma vez que a presença de componentes da matriz lignocelulósica, como hemicelulose e lignina, bem como lipídios residuais e outros constituintes não amiláceos, pode interferir na absorção de água, na transferência de calor e na resposta térmica do sistema,

mascarando ou suprimindo o evento endotérmico associado à gelatinização.

O teor alcoólico obtido para ambas as formulações deste estudo foi de aproximadamente 4,5% ABV, inferior ao valor estimado de 5,2% ABV com base na composição do mosto (Tabela 1), sugerindo menor atenuação aparente e, consequentemente, fermentação incompleta. Essa interpretação é corroborada pelos valores de extrato residual, uma vez que a cerveja com torta da macaúba apresentou 6 °Brix ao final da fermentação, em comparação a 5 °Brix na cerveja controle, indicando a permanência de frações não fermentadas no produto final.

Em contraste, Vilaça (2022) reportou teor alcoólico de aproximadamente 5% ABV para cervejas formuladas com 20% de substituição do malte pela torta da polpa da macaúba, associado a valores mais elevados de extrato inicial e a uma maior atenuação aparente, favorecida tanto pela maior proporção de torta quanto pela adoção de uma etapa adicional de fermentação secundária a 21°C. Esses resultados indicam que a torta da polpa da macaúba contribui com açúcares fermentescíveis capazes de elevar o rendimento alcoólico, desde que haja condições adequadas de conversão e fermentação, ao mesmo tempo em que sua fração não fermentescível impacta o extrato residual e o corpo da cerveja.

Observou-se uma diferença expressiva entre o amargor reportado por Vilaça et al. (2022) e o obtido no presente estudo, com valores de 55 IBU e 23 IBU, respectivamente. Essa divergência sugere que variações na composição da torta da polpa da macaúba, bem como nas condições de processamento e formulação, podem influenciar significativamente a retenção e a percepção dos compostos amargos no produto final. A presença de frações fibrosas, lipídicas ou compostos fenólicos na torta pode favorecer interações com os iso-alfa-ácidos do lúpulo, reduzindo sua disponibilidade no mosto. Dessa forma, investigações adicionais da composição química da torta e de suas interações com os compostos do lúpulo são necessárias para elucidar os mecanismos responsáveis pela modulação do amargor na cerveja.

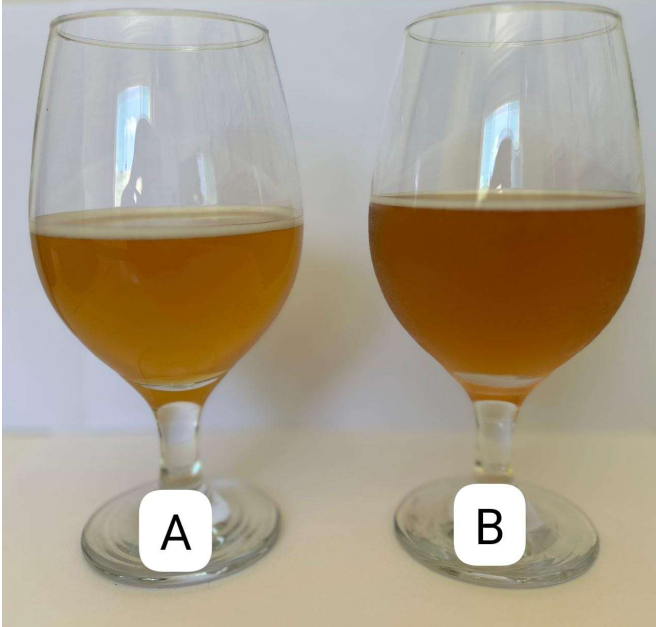
Tabela 1: Análises físico-químicas das cervejas produzidas

Parâmetro	Unidade	Cerveja controle	Cerveja-teste (10%)	Referência (Vilaça, 2022) macaúba
Teor Alcoólico (ABV)	% vol	~4,5	~4,5	~5,0
Extrato Residual	°Brix	5	6	7
Amargor (IBU)	IBU	29	23	55
Cor	EBC	6,5	8	26

A cerveja-teste contendo a torta da polpa da macaúba apresentou coloração mais intensa como evidenciado na Figura 5, com aumento de aproximadamente 23% em relação à cerveja controle. Esse incremento pode ser atribuído à contribuição direta do adjunto, cuja composição

favorece a intensificação da cor do produto final, seja pela presença de pigmentos naturais ou presença de sólidos solúveis que podem favorecer reações de escurecimento durante o processo de mostura e fervura. Resultados semelhantes foram reportados por Vilaça (2022), que observou aumento progressivo do parâmetro cor com a adição da torta da polpa de macaúba, corroborando a influência desse coproduto nas características de coloração da cerveja.

Figura 5: Comparação entre cerveja controle (A) e cerveja teste (B) respectivamente



Para o aprimoramento tecnológico da utilização deste adjunto, sugere-se estudos futuros focados em pré-tratamentos térmicos da torta, visando otimizar a disponibilização do amido para a hidrólise. Recomenda-se, ainda, a aplicação de enzimas exógenas para auxiliar na degradação de fibras e proteínas residuais, o que pode favorecer o rendimento alcoólico e a estabilidade da espuma. Por fim, a investigação detalhada das concentrações e características dos açúcares solúveis e compostos que afetam o amargor na torta permitirá a seleção de cepas de leveduras e processos de lúpulo mais adequados para maximizar a qualidade sensorial do produto final.

5. Conclusão

Embora não tenha sido possível determinar de forma conclusiva a temperatura de gelatinização do amido da torta da polpa da macaúba, os resultados obtidos evidenciam um comportamento térmico diferenciado, associado à complexa matriz lignocelulósica do material e ao seu histórico de processamento. Esses resultados contribuem para a compreensão das limitações analíticas envolvidas e fornecem subsídios para o aprimoramento de metodologias futuras. Adicionalmente, os resultados indicam que a torta da polpa de macaúba exerce influência simultânea sobre o amargor, o extrato residual e a coloração da cerveja, reforçando a necessidade de estudos adicionais voltados à caracterização química do adjunto e à compreensão de suas interações no sistema cervejeiro.

6. Referências bibliográficas

AGRÁRIA. Guia prático de produção de cervejas. Guarapuava: Agrária Malte, 2024. Disponível em: <https://www.agraria.com.br>. Acesso em: 13 dez. 2025.

BARROS, Matheus de Oliveira. Efeito da moagem do

amido de milho na gelatinização e na estabilização cooperativa de emulsões Pickering com quitina. 2025. 78 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2025.

BENVENUTTI, L. *et al.* Macauba Kernel Byproduct as a Source of Plant-Based Ingredients: From Valorization by Integration of High-Pressure Extraction Steps to Product Design. **ACS Food Science & Technology**, v. 5, n. 6, p. 3148–3158, 2025. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsfoodscitech.5c07895>. Acesso em: 13 dez. 2025.

BIAZOTTO, Anaile dos Mares. **Uso de adjuntos não-convencionais na produção de cerveja.** 2024. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Tecnologia Cervejeira) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Araraquara, 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Anuário da cerveja 2024:** ano de referência 2023. Brasília: MAPA/SDA, 2024. 56 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 65, de 10 de dezembro de 2019. Estabelece os padrões de identidade e qualidade para os produtos de cervejaria. **Diário Oficial da União:** seção 1, Brasília, DF, p. 18, 11 dez. 2019.

COLOMBO, C. A. *et al.* Macaúba palm as a promising resource for biodiversity-based bioeconomy and climate solutions in the tropics. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 60, e04129, 2025.

CORREA-QUEVEDO, M. L. *et al.* Potential of Acrocomia aculeata pulp waste for fermentative hydrogen production and the impact of hydrothermal pretreatment. **Applied Sciences**, Basel, v. 15, p. 12523, 2025.

CORREIA, F. S. *et al.* Análise da Composição Proximal, Marcadores Bioativos e Atividade Antioxidante Presentes no Mesocarpo de Acrocomia aculeata Colhidos no Estado de Mato Grosso. **Revista Virtual de Química**, v. 14, n. 2, p. 12, 2022. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20220010>. Acesso em: 13 dez. 2025.

COSTA, Pedro Sgobbi Paranhos da. **Estudo da fermentação de cervejas Ale e Lager.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biotecnologia) – Instituto de Biotecnologia, Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2019.

CUNHA, Admilson Costa da *et al.* Production and characterization of craft beers with different additions of native fruits and agro-industrial residues: a review. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 53, n. 9, e20220194, 2023. Disponível em: <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20220194>. Acesso em: 13 dez. 2025.

D'AVILA, Roseane Farias *et al.* Adjuntos utilizados para produção de cerveja: características e aplicações. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 60–68, jul./dez. 2012.

FÁVARO, Simone Palma; ROCHA, José Dilcio. **A nova cadeia produtiva da macaúba para bioprodutos e descarbonização.** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2022. (Documentos; 46).

HORNINK, G. G. **Princípios da produção**

cervejeira e as enzimas na mosturação. 2. ed. Alfenas: Edição do Autor, 2024. E-book.

JIMÉNEZ, V. M. *et al.* Acrocomia aculeata fruits from three regions in Costa Rica: an assessment of biometric parameters, oil content and oil fatty acid composition to evaluate industrial potential. **Agroforest Systems**, v. 94, n. 6, p. 1913–1927, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00511-8>. Acesso em: 13 dez. 2025.

LESCANO, C. H. *et al.* Nutrients content, characterization and oil extraction from Acrocomia aculeata (Jacq.) Lodd. fruits. **African Journal of Food Science**, v. 9, n. 3, p. 113–119, mar. 2015.

LIEB, V. M. *et al.* Fatty acids and triacylglycerols in the mesocarp and kernel oils of maturing Costa Rican Acrocomia aculeata fruits. **NFS Journal**, v. 14–15, p. 6–13, 2019. Disponível em: <https://www.elsevier.com/locate/nfs>. Acesso em: 13 dez. 2025.

MIZUGUCHI, J. *et al.* Heat-Induced Changes in the Chemical Structure, Hydrophobicity, and Size Distribution of Free/Bound Lipid Transfer Protein 1 and Their Effects on Beer Foam. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 73, p. 24343–24353, 2025.

NASCIMENTO, L. **Produção de cerveja artesanal utilizando torta residual de macaúba (Acrocomia aculeata) e avaliação da qualidade via lógica fuzzy.** 2019. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São João Del-Rei, Ouro Branco, 2019.

OLIVEIRA, Marcos Antonio Abreu de. **Cervejas artesanais com adição de frutas:** uma revisão bibliográfica. 2025. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2025.

REIS, Amanda Figueiredo; SCHMIELE, Marcio. Características e potencialidades dos frutos do Cerrado na indústria de alimentos. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 22, e2017150, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.15017>. Acesso em: 13 dez. 2025.

RIGUEIRA, João Paulo Sampaio *et al.* Composição química e digestibilidade in vitro de tortas da macaúba. **Revista Unimontes Científica**, Montes Claros, v. 19, n. 2, jul./dez. 2017.

ROSA, Ana Claudia Santos da *et al.* Obtaining oil from macauba kernels by ultrasound-assisted extraction using ethyl acetate as the solvent. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 22, e2018195, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.19518>. Acesso em: 13 dez. 2025.

SANT'ANA, C. T. *et al.* Macauba (Acrocomia aculeata) pulp and kernel oils, and co-products: chemical characterization and antioxidant properties. **Ciência Rural**, v. 55, n. 3, 2025.

SANTOS, Wellington Barros dos *et al.* Frutas do Cerrado como adjuntos cervejeiros. In: **ÁRVORES, plantas e frutos do Cerrado:** aplicações e possibilidades. São Paulo: Editora Científica, 2024. v. 1, p. 182–196.

SILVA, Jessiane Donato da. **Estudo da metodologia de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) na produção artesanal de cerveja:** uma revisão. 2021. 108 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química

Tecnológica e Industrial) – Instituto de Química e Biotecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.

VEREDIANO, Fernanda Cristina. **Aproveitamento da torta residual da extração do óleo da Polpa de Macaúba para fins alimentícios**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

VILAÇA, Alessandra Costa. **Obtenção da torta da polpa do coco macaúba (*Acrocomia aculeata*) para uso como adjunto para a produção de cerveja especial e fonte de extração de pectina**. 2022. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

