



PBPC
ISSN 2674-9432



Qualis A3
CAPES 2021-2024



DOI - Crossref

Latindex



Indexado no
Acadêmico

EXTRAÇÃO DE CAFEÍNA EM DIFERENTES FRAÇÕES DO GUARANÁ (*PAULLINIA CUPANA*): ANÁLISE COMPARATIVA E IMPLICAÇÕES TECNOLÓGICAS NA AMAZÔNIA.

Adria Raquel Nascimento Teixeira, Schubert Pinto, Samara Rodrigues



<https://doi.org/10.36557/2674-9432.2026v5n4p1550-1564>

Artigo recebido em 1 de Abril e publicado em 11 de Junho de 2026

ARTIGO ORIGINAL

Resumo

O guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) constitui uma das principais matérias-primas bioativas da Amazônia, destacando-se pelo elevado teor de cafeína e ampla aplicabilidade industrial. Este estudo teve como objetivo analisar comparativamente a eficiência de extração de cafeína a partir de diferentes frações da planta (**casquilho e guaraná em rama**) com base em experimentações conduzidas em ambiente industrial. A metodologia consistiu na aplicação de processos de maceração, percolação, extração hidroalcoólica com diferentes concentrações de etanol (50%, 70% e 96%), filtração, concentração e estabilização dos extratos, seguidos de análise quantitativa por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). Os resultados evidenciaram superioridade do guaraná em rama submetido à extração com etanol 96% (2,24% de cafeína), enquanto o casquilho apresentou melhor desempenho com etanol 50% (1,81% de cafeína). A discussão dos achados, fundamentada nos dados técnicos e na literatura científica, destaca implicações tecnológicas, produtivas e bioeconômicas para a região amazônica, com ênfase no aproveitamento de **subprodutos e na redução de custos**. Conclui-se que a otimização dos métodos de extração e a diversificação das matérias-primas podem contribuir para o desenvolvimento sustentável e inovação industrial na Amazônia.

Palavras-chave: guaraná; cafeína; extração; bioeconomia; Amazônia.



CAFFEINE EXTRACTION FROM DIFFERENT FRACTIONS OF GUARANA (*PAULLINIA CUPANA*): COMPARATIVE ANALYSIS AND TECHNOLOGICAL IMPLICATIONS IN THE AMAZON.

Abstract

Guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*) is one of the main bioactive raw materials from the Amazon region, known for its high caffeine content and industrial applicability. This study aimed to comparatively analyze caffeine extraction efficiency from different plant fractions (husk and branch guaraná) based on experiments conducted in an industrial environment. The methodology involved maceration, percolation, hydroalcoholic extraction with different ethanol concentrations (50%, 70%, and 96%), filtration, concentration, and extract stabilization, followed by quantitative analysis using high-performance liquid chromatography (HPLC). The results demonstrated the superiority of branch guaraná extracted with 96% ethanol (2.24% caffeine), while the husk showed better performance with 50% ethanol (1.81% caffeine). The discussion of the findings, based on technical data and scientific literature, highlights technological, productive, and bioeconomic implications for the Amazon region, with emphasis on by-product utilization and cost reduction. It is concluded that optimizing extraction methods and diversifying raw materials can contribute to sustainable industrial innovation in the Amazon.

Keywords: guaraná; caffeine; extraction; bioeconomy; Amazon.

Instituição afiliada – Essencial Fabricação de Alimento Amazônicos

Autor correspondente: Adria Raquel Nascimento Teixeira

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



1. INTRODUÇÃO

O guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*), espécie pertencente à família Sapindaceae, constitui um dos principais recursos fitogenéticos da Amazônia brasileira, apresentando elevada relevância histórica, cultural, econômica e científica. Tradicionalmente empregado como bebida estimulante e medicinal, o guaraná era preparado a partir da torrefação e trituração de suas sementes, com registros históricos de seu uso na região amazônica (Schimpl *et al.*, 2013). Ao longo do processo de colonização e expansão das cadeias produtivas, essa utilização tradicional foi progressivamente incorporada pela indústria, consolidando o guaraná como um produto de destaque nos mercados nacional e internacional.

Na perspectiva fitoquímica, o guaraná caracteriza-se pela elevada concentração de compostos bioativos, com destaque para as metilxantinas, especialmente a cafeína, além de teobromina, teofilina e compostos fenólicos. A cafeína, principal alcaloide presente na espécie, é amplamente reconhecida por seus efeitos estimulantes sobre o sistema nervoso central, atuando como antagonista dos receptores de adenosina e promovendo aumento do estado de alerta, redução da fadiga e melhora do desempenho cognitivo e físico (Heckman; Weil; Gonzalez de Mejia, 2010).

Em termos comparativos, o guaraná apresenta concentrações de cafeína superiores às encontradas em outras fontes vegetais amplamente utilizadas, como café e chá, o que reforça sua importância como matéria-prima estratégica. Entretanto, a composição química do guaraná não é homogênea ao longo da planta, variando conforme fatores genéticos, ambientais e estruturais.

Estudos corroboram que a distribuição de compostos bioativos, incluindo a cafeína, está concentrada predominantemente nas sementes, mas também pode ser encontrada, em menor proporção, em outras frações vegetais, como casquilho e ramas (Santos *et al.*, 2019). Essa variabilidade abre espaço para investigações voltadas à utilização integral da planta, especialmente no contexto de aproveitamento de subprodutos e resíduos do processamento agroindustrial.

No cenário contemporâneo, a discussão sobre o uso de recursos naturais amazônicos está fortemente associada ao conceito de bioeconomia, entendido como um modelo de desenvolvimento que busca conciliar exploração econômica, inovação tecnológica e sustentabilidade ambiental. Nesse contexto, o aproveitamento de diferentes frações do



guaraná representa uma estratégia relevante para agregação de valor à cadeia produtiva, redução de desperdícios e diversificação de produtos (Costa *et al.*, 2021).

Paralelamente, o avanço das tecnologias de extração de compostos bioativos tem permitido maior eficiência na obtenção de substâncias de interesse industrial. Métodos como maceração, percolação, extração hidroalcoólica e técnicas assistidas são amplamente utilizados na extração de alcaloides, sendo constantemente adaptados para atender às demandas de escala produtiva (Santos *et al.*, 2019). No entanto, a transposição desses métodos do ambiente laboratorial para o contexto industrial envolve desafios relacionados à padronização, controle de qualidade, estabilidade dos extratos e viabilidade econômica.

Adicionalmente, observa-se que grande parte dos estudos disponíveis se concentram na análise das sementes do guaraná, havendo lacunas no que se refere à comparação sistemática entre diferentes frações da planta, sobretudo em condições reais de produção. Essa limitação evidencia a necessidade de investigações aplicadas que integrem conhecimento científico, prática industrial e contexto regional.

Nesse sentido, o presente estudo insere-se na interface entre ciência, tecnologia e produção, ao analisar comparativamente a extração de cafeína a partir de diferentes frações do guaraná (casquilho e guaraná em rama) com base em experimentações realizadas em ambiente industrial na Amazônia, em parceria com a Essencial Amazônia e a Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Busca-se, assim, contribuir para o avanço do conhecimento técnico-científico e para o fortalecimento de estratégias de inovação e sustentabilidade na cadeia produtiva do guaraná.

2. METODOLOGIA

O estudo caracteriza-se como uma pesquisa experimental de natureza aplicada, com abordagem quantitativa e comparativa, desenvolvida a partir de procedimentos laboratoriais em contexto industrial. A investigação foi conduzida com o objetivo de avaliar a eficiência da extração de cafeína em diferentes frações do guaraná (*Paullinia cupana*), considerando aspectos físico-químicos, operacionais, econômicos e aplicabilidade tecnológica.

As amostras utilizadas foram obtidas a partir de duas frações distintas da planta, provenientes de diferentes localidades do estado do Amazonas: Casquilho do guaraná (subproduto que reveste a semente, geralmente descartado); Guaraná em rama (sementes com casquilho torrados), proveniente do Município de Nova Olinda do Norte.



**EXTRAÇÃO DE CAFEÍNA EM DIFERENTES FRAÇÕES DO GUARANÁ (PAULLINIA CUPANA):
ANÁLISE COMPARATIVA E IMPLICAÇÕES TECNOLÓGICAS NA AMAZÔNIA.**

Teixeira *et. al.*

Inicialmente, o material vegetal foi submetido a processos de pré-tratamento, incluindo secagem em condições controladas, com o intuito de reduzir a umidade e evitar degradação dos compostos bioativos, seguida de trituração para aumento da área superficial de contato, etapa fundamental para otimização do processo extrativo (Simões *et al.*, 2017).

A caracterização físico-química da matéria-prima incluiu a determinação do resíduo seco (teor de sólidos totais) por método gravimétrico. As amostras foram submetidas a aquecimento em estufa até peso constante, e o teor de sólidos foi calculado a partir da diferença entre o peso final e o peso inicial da amostra. Esse parâmetro é fundamental para o controle de qualidade e padronização dos extratos obtidos.

A extração dos compostos bioativos foi realizada por meio de maceração e percolação, métodos amplamente empregados na obtenção de alcaloides a partir de matrizes vegetais, conforme protocolos estabelecidos pela ANVISA (2021). Foram preparadas seis amostras de 100g cada, acondicionadas em ampolas de decantação, e submetidas à maceração com diferentes concentrações de etanol (ET-OH) como líquido extrator:

Tabela 1: Organização de amostras

Amostra	Matéria-prima	Solvente (ET-OH)	Tempo de maceração
A	Casquilho	70%	8 a 15 dias
B	Casquilho	50%	8 a 15 dias
C	Guaraná em rama	70%	8 a 15 dias
D	Guaraná em rama	50%	8 a 15 dias
E	Guaraná em rama	96%	8 a 15 dias
F	Casquilho	96%	8 a 15 dias

Fonte: Dados da pesquisa com base em relatório técnico (Essencial Amazônia, 2024).

A escolha do solvente hidroalcoólico fundamenta-se na sua eficiência na extração de compostos de polaridade intermediária, como as metilxantinas, além de apresentar vantagens relacionadas à segurança e viabilidade de aplicação em processos industriais (Simões *et al.*, 2017). Adicionalmente, foi adicionada glicerina vegetal bidestilada como agente surfactante para diminuir o ângulo de contato sólido/líquido, com consequente aumento da molhabilidade dos pós.

Após o período de maceração, as amostras foram submetidas à percolação, utilizando-se inicialmente 200mL de cada solvente. Conforme observada a necessidade de exaustão completa da matriz vegetal, foi adicionado mais 200mL de líquido extrator em cada

percolação. Os extratos resultantes foram então concentrados em banho-maria até a redução a um volume final de 100mL.

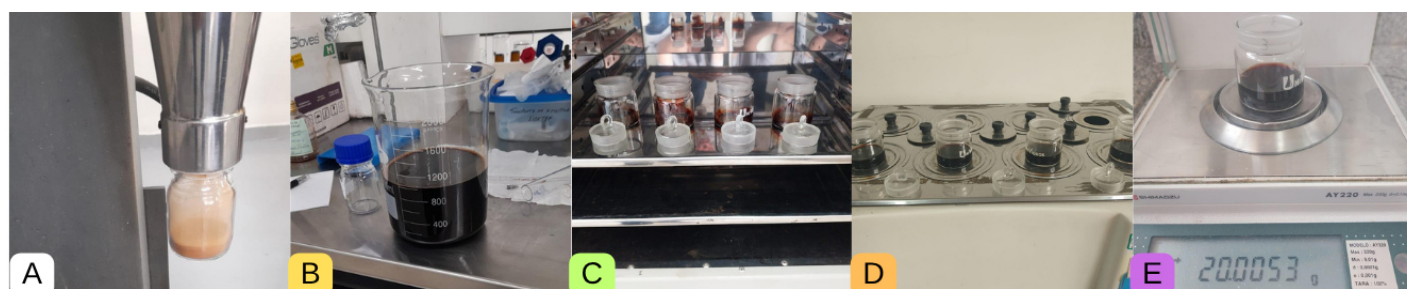
Figura 1: Etapas do processo experimental de extração de cafeína em diferentes frações do guaraná. (A) preparo das amostras; (B) montagem do sistema experimental; (C) maceração hidroalcoólica; (D) processamento das amostras; (E) separação dos extratos.



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

As amostras concentradas foram acondicionadas em frascos de 30mL, devidamente identificadas, e encaminhadas para análise na Faculdade de Farmácia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). O doseamento da cafeína foi realizado pela empresa Júnior Pharmazon utilizando a técnica de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), metodologia de referência para quantificação de alcaloides em matrizes vegetais.

Figura 2: Procedimentos laboratoriais empregados na análise físico-química das amostras. (A) manipulação das amostras; (B) preparo laboratorial; (C) acondicionamento experimental; (D) análise instrumental; (E) determinação quantitativa.



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Foram levantados os preços médios das matérias-primas no mercado regional, conforme dados fornecidos pelos parceiros industriais, para subsidiar a análise bioeconômica do aproveitamento das diferentes frações do guaraná.

3. RESULTADOS



**EXTRAÇÃO DE CAFEÍNA EM DIFERENTES FRAÇÕES DO GUARANÁ (PAULLINIA CUPANA):
ANÁLISE COMPARATIVA E IMPLICAÇÕES TECNOLÓGICAS NA AMAZÔNIA.**

Teixeira et. al.

Os resultados obtidos evidenciam diferenças expressivas entre as frações do guaraná analisadas (casquilho e guaraná em rama), bem como entre os diferentes solventes extratores, indicando influência direta da composição da matéria-prima e das condições operacionais sobre a eficiência do processo extrativo.

A análise gravimétrica do resíduo seco das amostras revelou os seguintes resultados:

Tabela 2: Caracterização da matéria-prima - teor de sólidos totais

Parâmetro	Valor obtido
Resíduo seco médio (%)	6,7250
Desvio padrão	±0,19

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

O teor de sólidos totais de 6,72% indica a concentração de matéria seca nas amostras analisadas, parâmetro essencial para o controle de qualidade e reprodutibilidade do processo extrativo em escala industrial.

As análises por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) revelaram variações significativas nos teores de cafeína obtidos a partir das diferentes combinações de matéria-prima e solvente extrator, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Teor de cafeína (%) nas diferentes frações do guaraná conforme matéria-prima e solvente extrator

Amostra	Matéria-prima	Solvente (ET-OH)	Teor de Cafeína (%)
A	Casquilho	70%	1,34
B	Casquilho	50%	1,81
C	Guaraná em rama	70%	1,59
D	Guaraná em rama	50%	1,78
E	Guaraná em rama	96%	2,24
F	Casquilho	96%	1,60

Fonte: Dados da pesquisa com base em análise HPLC (Essencial Amazônia/UFAM, 2024).

Observa-se que a amostra E (guaraná em rama com ET-OH 96%) apresentou o maior teor de cafeína (2,24%), enquanto a amostra B (casquilho com ET-OH 50%) obteve o melhor resultado entre as extrações do subproduto (1,81%). Os menores rendimentos foram observados nas amostras A (casquilho com 70%, 1,34%) e C (guaraná em rama com 70%, 1,59%).

A análise dos dados demonstra que a concentração do etanol exerce papel determinante na eficiência da extração, com comportamentos distintos para cada matéria-



**EXTRAÇÃO DE CAFEÍNA EM DIFERENTES FRAÇÕES DO GUARANÁ (PAULLINIA CUPANA):
ANÁLISE COMPARATIVA E IMPLICAÇÕES TECNOLÓGICAS NA AMAZÔNIA.**

Teixeira et. al.

prima. Para o guaraná em rama, o aumento da concentração alcoólica (50% → 70% → 96%) resultou em incremento proporcional do teor de cafeína extraído, com máximo de 2,24% em 96%, e referente ao casquilho, a melhor eficiência foi observada na concentração intermediária (50% → 1,81%), com desempenho inferior em 70% (1,34%) e 96% (1,60%), sugerindo comportamento diferenciado dessa matriz vegetal.

A análise de viabilidade econômica revelou diferenças expressivas nos custos das matérias-primas no mercado regional:

Tabela 4: Comparativo de preços das diferentes frações do guaraná

Matéria-prima	Preço médio (R\$/kg)	Fonte
Guaraná em pó	R\$ 100,00	Mercado regional
Guaraná em rama (torrado)	R\$ 30,00	Nova Olinda do Norte
Casquilho do guaraná	R\$ 2,00	Terra Indígena

Fonte: Dados da pesquisa com base em relatório técnico (Essencial Amazônia, 2024).

Considerando o teor de cafeína obtido e o custo da matéria-prima, o casquilho apresenta a melhor relação custo-benefício (R2,00/kg para 1,81% de cafeína com ET-OH 96%). O guaraná em pó, embora tradicionalmente utilizado, apresenta custo significativamente superior (R\$ 100,00/kg), o que o torna economicamente desvantajoso para aplicações industriais em larga escala.

A análise dos relatórios técnicos permitiu identificar a influência dos parâmetros operacionais na eficiência da extração, conforme sintetizado na Tabela 5.

Tabela 5: Influência dos parâmetros operacionais na eficiência da extração

Parâmetro analisado	Condição observada	Impacto na extração
Tempo de maceração	8 a 15 dias	Extração completa dos compostos
Proporção do solvente	200mL + 200mL (percolação)	Exaustão da matriz vegetal
Concentração alcoólica	50%, 70%, 96%	Influência direta no teor de cafeína
Temperatura de concentração	Banho-maria (40-60°C)	Preservação dos compostos termolábeis
Glicerina vegetal	Agente surfactante	Aumento da molhabilidade dos pós

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos no estudo evidenciam diferenças significativas na eficiência de extração de cafeína entre as frações do guaraná analisadas, confirmando a centralidade da composição estrutural da matéria-prima no desempenho do processo extrativo. A superioridade do guaraná em rama submetido à extração com etanol 96%, que alcançou teor de cafeína de 2,24%, corrobora achados consolidados na literatura que apontam as sementes como principal reservatório de metilxantinas em *Paullinia cupana* (Schimpl et al., 2013; Yuyama; Valente, 2011).

Entretanto, a análise dos dados permite avançar para além dessa constatação estabelecida, na medida em que evidencia que a eficiência extrativa não deve ser interpretada de forma linear ou exclusivamente dependente da concentração do composto ativo. Sustentou-se neste estudo a tese de que a eficiência da extração de cafeína constitui um fenômeno multifatorial, resultante da interação entre características físicoquímicas da matriz vegetal e variáveis operacionais do processo, incluindo natureza e concentração do solvente, tempo de contato e condições térmicas.

Essa perspectiva encontra respaldo em estudos da área de farmacognosia e tecnologia de produtos naturais, mas é reforçada a partir de evidências em contexto aplicado e industrial deste estudo, no qual as análises foram realizadas por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) em parceria com a Universidade Federal do Amazonas (Simões et al., 2017; Santos et al., 2019).

Nesse sentido, argumenta-se que a centralidade tradicionalmente atribuída à matéria-prima, especialmente à fração com maior concentração de cafeína, deve ser relativizada quando considerada sob a ótica da produção industrial e da sustentabilidade. Embora o guaraná em rama com etanol 96% tenha apresentado o maior teor de cafeína (2,24%), os resultados demonstram que o casquilho, quando submetido às condições operacionais adequadas (etanol 50%), alcançou rendimento expressivo de 1,81% de cafeína, apresentando características tecnológicas aceitáveis e, mais importante, um custo de matéria-prima significativamente inferior (R\$2,00/kg contra R\$30,00/kg da rama e R\$100,00/kg do pó tradicional).

Essa constatação sustenta uma crítica à lógica produtiva centrada exclusivamente na maximização do teor do princípio ativo, defendendo-se, em contraposição, uma abordagem orientada pela otimização global do sistema produtivo, que considere não apenas o

rendimento, mas também a viabilidade econômica e o impacto ambiental. Sob essa perspectiva, o aproveitamento do casquilho deve ser compreendido não como substituição da fração principal, mas como estratégia complementar de valorização de subprodutos, alinhada às diretrizes da bioeconomia amazônica.

Conforme discutido por Costa et al. (2021) e Homma (2014), o desenvolvimento sustentável na região depende da capacidade de agregar valor à biodiversidade, reduzindo desperdícios e promovendo o uso integral dos recursos naturais. Assim, a incorporação de frações secundárias no processo produtivo representa não apenas uma alternativa técnica, mas uma estratégia econômica e ambientalmente relevante.

No caso específico do casquilho, atualmente descartado como resíduo no processo de beneficiamento do guaraná, sua utilização como matéria-prima para extração de cafeína permite transformar um passivo ambiental em insumo industrial, gerando renda adicional para as comunidades produtoras, especialmente as comunidades indígenas, de onde foi proveniente o casquilho analisado neste estudo.

A influência da concentração do solvente extrator revelou-se um achado particularmente relevante do ponto de vista tecnológico. Enquanto o guaraná em rama apresentou incremento proporcional do teor de cafeína com o aumento da concentração alcoólica (1,78% em 50%, 1,59% em 70% e 2,24% em 96%), o casquilho demonstrou comportamento inverso, com melhor desempenho em etanol 50% (1,81%), seguido por 96% (1,60%) e 70% (1,34%).

Essa diferença pode ser explicada pela composição química distinta das matrizes vegetais: o guaraná em rama, por conter as sementes ricas em lipídios e alcaloides de polaridade intermediária, favorece a extração com solventes mais apolares (etanol concentrado); referente ao casquilho, composto predominantemente por material fibroso e polissacarídeos, apresenta maior afinidade por solventes com maior teor de água, que extraem compostos de maior polaridade. Esse comportamento diferenciado reforça a tese de que a otimização do processo extrativo deve ser ajustada caso a caso, não havendo uma “fórmula única” aplicável a todas as frações da mesma planta.

A baixa eficiência observada em algumas condições experimentais, como o casquilho com etanol 70% (1,34%) e o guaraná em rama com etanol 70% (1,59%), reforça a distribuição heterogênea dos metabólitos secundários na planta e a importância da escolha adequada do



solvente, conforme descrito por Simões et al. (2017). Sob uma leitura estritamente produtivista, essas combinações menos eficientes poderiam ser descartadas como irrelevantes.

Divergindo dessa perspectiva, o presente estudo sustenta que mesmo combinações de baixa eficiência extrativa devem ser analisadas dentro de uma lógica sistêmica, na qual o valor não é determinado apenas pelo rendimento direto, mas pela possibilidade de integração em cadeias produtivas mais amplas, especialmente quando se considera o baixo custo das matérias-primas envolvidas.

Outro aspecto relevante refere-se à relação entre teor de cafeína e rendimento de extração, que embora diretamente proporcional nos resultados apresentados não deve ser interpretada como determinística. Os dados indicam que a otimização dos parâmetros operacionais exerce papel decisivo na eficiência extrativa, podendo inclusive compensar limitações inerentes à matéria-prima.

Neste estudo, por exemplo, o aumento do tempo de maceração (8 a 15 dias), o ajuste da polaridade do solvente por meio de diferentes concentrações de etanol (50%, 70% e 96%), o controle da temperatura durante a concentração em banho-maria (40-60°C) e o uso de glicerina vegetal como agente surfactante mostraram-se fatores críticos para maximização do rendimento, corroborando estudos na área de extração de compostos bioativos (Santos et al., 2019).

Adicionalmente, a caracterização da matéria-prima por meio da análise de resíduo seco (teor de sólidos totais de $6,72\% \pm 0,19$) demonstra consistência metodológica e reforça a viabilidade de padronização dos processos, aspecto particularmente relevante para a indústria, na medida em que a reprodutibilidade constitui requisito fundamental para controle de qualidade e escalabilidade produtiva.

A partir dessa análise, sustenta-se que o domínio tecnológico do processo extrativo possui peso equivalente, ou até superior, à escolha da matéria-prima, especialmente em contextos industriais. Tal posicionamento representa um deslocamento analítico importante, ao enfatizar a necessidade de integração entre conhecimento científico e prática produtiva como elemento central para inovação.

No contexto amazônico, essa discussão assume relevância ampliada, uma vez que a exploração de recursos naturais historicamente esteve associada a modelos extrativistas de

baixa agregação de valor. Conforme argumenta Homma (2014), a sustentabilidade dessas cadeias depende da incorporação de tecnologia e inovação, permitindo transformar recursos naturais em produtos de maior valor agregado.

Os resultados deste estudo reforçam a necessidade de transição de modelos produtivos baseados na exploração primária para modelos orientados pela bioindustrialização, nos quais subprodutos como o casquilho, atualmente descartados, sejam incorporados às cadeias produtivas, gerando eficiência sistêmica e reduzindo impactos ambientais.

Por fim, embora os dados aqui apresentados sejam provenientes de um número limitado de amostras e procedências, a utilização de análises instrumentais por HPLC confere robustez aos achados, permitindo identificar padrões e relações que podem orientar investigações futuras. Recomenda-se, portanto, a ampliação da casuística com amostras de diferentes procedências, bem como a aplicação de técnicas de extração mais avançadas, como ultrassom, micro-ondas ou fluidos supercríticos, visando aumento da eficiência e redução do tempo de processo.

Dessa forma, esta discussão avança para além da simples interpretação dos resultados, ao propor uma leitura crítica e integrada da eficiência extrativa, compreendida como resultado de múltiplas dimensões, químicas (composição da matriz, polaridade dos compostos), tecnológicas (escolha do solvente, tempo, temperatura) e produtivas (custo, escalabilidade, sustentabilidade), com implicações diretas para o desenvolvimento sustentável e inovador da cadeia do guaraná na Amazônia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo analisar comparativamente a eficiência da extração de cafeína em diferentes frações do guaraná (*Paullinia cupana*), considerando aspectos físico-químicos, operacionais, econômicos e de aplicabilidade industrial. Os resultados obtidos, a partir de análises realizadas por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) em parceria com a Universidade Federal do Amazonas, evidenciaram que o guaraná em rama submetido à extração com etanol 96% apresentou o maior teor de cafeína (2,24%), confirmando a posição das sementes como principal fonte de compostos bioativos da espécie.

Entretanto, a análise desenvolvida ao longo do trabalho permitiu avançar para além dessa constatação, ao demonstrar que a eficiência do processo extrativo não se limita à concentração do princípio ativo, sendo resultado de uma interação complexa entre características da matéria-prima e condições operacionais, com destaque para a concentração do solvente extrator que se mostrou determinante para o desempenho de cada fração vegetal.

Nesse sentido, destaca-se que o casquilho, tradicionalmente descartado como subproduto, apresentou desempenho expressivo quando submetido à extração com etanol 50%, alcançando teor de cafeína de 1,81% (a um custo de matéria-prima de apenas R\$ 2,00/kg) e aproximadamente 6,7% do valor do guaraná em rama (R\$ 30,00/kg), demonstrou o maior teor de cafeína quando extraído com etanol 96% (2,24%), posicionando-se como opção viável para aplicações que demandam maior concentração do princípio ativo, com relação custo-benefício favorável quando comparado ao pó tradicional.

A partir desses achados, sustenta-se que a análise da eficiência extrativa deve ser realizada sob uma perspectiva ampliada que considere não apenas o rendimento imediato, mas também aspectos relacionados à sustentabilidade, viabilidade econômica e integração produtiva. A caracterização da matéria-prima por meio da análise de resíduo seco (teor de sólidos totais de $6,72\% \pm 0,19$) demonstrou consistência metodológica e reforçou a viabilidade de padronização dos processos, aspecto fundamental para a indústria.

Tal posicionamento é particularmente relevante no contexto amazônico, onde a valorização dos recursos naturais demanda abordagens inovadoras e alinhadas aos princípios da bioeconomia, transformando resíduos em insumos e gerando renda para comunidades extrativistas, como a Terra Indígena Andirá-Marau (povo Saterê-Mawé) de onde foi proveniente o casquilho analisado neste estudo.

Do ponto de vista tecnológico, o estudo evidencia a importância da otimização dos parâmetros operacionais, especialmente da concentração do solvente extrator (50%, 70% e 96%), do tempo de maceração (8 a 15 dias), da temperatura de concentração em banho-maria (40-60°C) e do uso de glicerina vegetal como agente surfactante, na maximização do rendimento de extração de cada fração vegetal.

Dessa forma, reforça-se que o domínio do processo extrativo constitui elemento central para o desenvolvimento de produtos de maior valor agregado, com eficiência, reprodutibilidade e escalabilidade industrial. Ademais, a possibilidade de recuperação do



álcool utilizado nas extrações (com perda estimada de 5 a 10%) permite sua reutilização em novos ciclos produtivos, reduzindo custos operacionais e impacto ambiental.

No que se refere às limitações do estudo, destaca-se que as análises foram realizadas com número limitado de amostras e procedências (Terra Indígena Andirá-Marau e Nova Olinda do Norte), o que restringe a generalização dos achados para outras regiões produtoras. Além disso, não foram exploradas variações mais amplas nas condições experimentais, como diferentes temperaturas de extração, tempos prolongados de maceração ou aplicação de técnicas avançadas (ultrassom, micro-ondas, fluidos supercríticos), o que poderia ampliar a compreensão do comportamento extrativo e possivelmente aumentar os rendimentos.

Outra limitação refere-se à abordagem focada exclusivamente na cafeína, não tendo sido investigado o perfil completo de outros compostos bioativos presentes nas frações analisadas, como compostos fenólicos, teobromina e teofilina. Diante dessas limitações, sugerem-se como possibilidades para estudos futuros a ampliação da casuística com amostras de diferentes procedências da região amazônica, a aplicação de métodos de extração mais avançados, como extração assistida por ultrassom, micro-ondas ou fluidos supercríticos, visando aumento da eficiência e redução do tempo e a investigação do perfil completo de compostos bioativos presentes nas diferentes frações do guaraná, incluindo compostos fenólicos, teobromina e teofilina.

Adicionalmente, recomenda-se o desenvolvimento de pesquisas que explorem de forma mais aprofundada o potencial de integração das diferentes frações do guaraná em cadeias produtivas sustentáveis, especialmente no contexto da bioeconomia amazônica, considerando aspectos sociais (geração de renda para comunidades extrativistas), ambientais (redução de resíduos e aproveitamento de subprodutos) e econômicos (redução de custos e agregação de valor). Por fim, sugere-se a realização de estudos de estabilidade dos extratos obtidos ao longo do tempo e em diferentes condições de armazenamento, bem como a avaliação da atividade biológica dos extratos ricos em cafeína provenientes das diferentes frações.

Portanto, conclui-se que a extração de cafeína no guaraná deve ser compreendida como um processo multifatorial, cuja otimização depende da integração entre conhecimento científico, prática industrial e contexto regional. Esta articulação se mostra fundamental para o avanço tecnológico e para a consolidação de modelos produtivos mais sustentáveis, capazes



de valorizar a biodiversidade amazônica e promover inovação na cadeia do guaraná, com especial atenção ao aproveitamento de subprodutos atualmente descartados, como o casquilho, que demonstraram excelente relação custo-benefício e potencial para aplicações industriais.

REFERÊNCIAS

COSTA, Gabriel Martins; SILVA, Rafael Souza; OLIVEIRA, Ana Paula. **Bioeconomia na Amazônia: perspectivas e desafios para o desenvolvimento sustentável**. Revista de Estudos Amazônicos, v. 15, n. 2, p. 45-62, 2021.

HECKMAN, Melanie Ann; WEIL, Jennifer; GONZALEZ DE MEJIA, Elvira. **Caffeine (1,3,7-trimethylxanthine) in foods: a comprehensive review on consumption, functionality, safety, and regulatory matters**. Journal of Food Science, v. 75, n. 3, p. R77-R87, 2010.

HOMMA, Alfredo Kingo Oyama. **Extrativismo vegetal na Amazônia: limites e oportunidades**. Brasília: Embrapa, 2014.

ESSENCIAL AMAZÔNIA. **Relatório técnico: extração de cafeína do guaraná para incorporação em gummy de açaí**. Manaus, 2024.

ESSENCIAL AMAZÔNIA. **Relatório técnico: extração de cafeína do guaraná para incorporação em gummy de açaí**. Manaus, 2025.

SANTOS, Marcos Antônio; SOUZA, Lucas Ferreira; ALMEIDA, Ricardo Costa. **Métodos de extração de compostos bioativos em plantas tropicais: uma revisão**. Revista Brasileira de Farmacognosia, v. 29, n. 5, p. 623-635, 2019.

SCHIMPL, Fernanda Cristina; DA SILVA, João Felipe; GONÇALVES, José Francisco de Carvalho; MAZZAFERA, Paulo. **Guaraná: revisiting a highly caffeinated plant from the Amazon**. Journal of Ethnopharmacology, v. 150, n. 1, p. 14-31, 2013.

SIMÕES, Claudia Maria Oliveira; SCHENKEL, Eloir Paulo; GOSMANN, Gustavo; MELLO, João Carlos Palazzo de; MENTZ, Lilian Auler; PETROVICK, Pedro Ros. **Farmacognosia: do produto natural ao medicamento**. Porto Alegre: Artmed, 2017.

YUYAMA, Lucia Kiyomi O.; VALENTE, José Paulo. **Avaliação nutricional do guaraná (*Paullinia cupana*) na Amazônia**. Acta Amazonica, v. 41, n. 3, p. 357-364, 2011.