



Extração assistida por banho ultrassônico de óleo de sementes de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) utilizando mistura de solventes

Ultrasonic-assisted extraction of cupuaçu seed oil (*Theobroma grandiflorum*) using a solvent mixture

Maria Eliana Penteado¹, Lucas Vinícius Kugler², Érica Roberta Lovo da Rocha Watanabe³

RESUMO

O cultivo do cupuaçu na região amazônica é uma atividade agrícola crucial. Embora a polpa seja altamente valorizada pela indústria alimentícia, as sementes e cascas são subutilizadas. As sementes de cupuaçu estão ganhando importância devido à sua capacidade de produzir produtos semelhantes aos derivados do cacau e na fabricação de produtos cosméticos. Este estudo propôs a extração de óleo das sementes de cupuaçu usando uma mistura de etanol e acetato de etila como solvente. O processo de extração ultrassônica foi escolhido devido à sua eficiência na transferência de massa. Um planejamento experimental foi empregado, com foco na análise de misturas, utilizando proporções específicas de solventes. Os resultados mostraram que o acetato de etila teve um potencial de extração superior ao etanol, refletido nos coeficientes do modelo linear. Além disso, a adição de acetato de etila à mistura aumentou o rendimento do óleo extraído. A análise de variância confirmou a significância estatística do modelo, com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9465, indicando um bom ajuste do modelo.

PALAVRAS-CHAVE: cupuaçu; extração de óleo; planejamento experimental.

ABSTRACT

Cupuaçu cultivation in the Amazon region is a crucial agricultural activity. While the pulp is highly valued by the food industry, the seeds and husks are underutilized. Cupuaçu seeds are gaining importance due to their ability to produce products similar to cocoa derivatives and in the manufacturing of cosmetic products. This study proposed the extraction of cupuaçu seed oil using a mixture of ethanol and ethyl acetate as a solvent. The ultrasonic extraction process was chosen for its efficiency in mass transfer. An experimental design was employed, focusing on mixture analysis, using specific solvent proportions. The results showed that ethyl acetate had a higher extraction potential than ethanol, reflected in the coefficients of the linear model. Furthermore, the addition of ethyl acetate to the mixture increased the yield of the extracted oil. Analysis of variance confirmed the statistical significance of the model, with a coefficient of determination (R^2) of 0.9465, indicating a good model fit.

KEYWORDS: cupuaçu; oil extraction; experimental design.

INTRODUÇÃO

O cultivo do cupuaçu, uma fruta nativa da Amazônia, é uma das atividades agrícolas mais importantes da região, devido à grande demanda pela polpa da fruta, tanto *in natura* quanto processada. A polpa é o principal subproduto da espécie em termos comerciais e desfruta de uma ótima recepção no mercado, sendo amplamente utilizada pela indústria de alimentos. Porém, a semente e a casca são subutilizadas pelos cultivadores de cupuaçu (SAID, 2011).

¹ Bolsista da UTFPR. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: mpenteado@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 4313603843725827.

² Aluno do curso de Bacharelado em Engenharia Química. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: lucaskugler@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 9280815602014365.

³ Docente no Departamento Acadêmico de Engenharia Química. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: ericawatanabe@utfpr.edu.br. ID Lattes: 6236461593058482.



As sementes do cupuaçu são encontradas em quantidades que variam de 35 a 50 por fruto (SAID, 2011). Normalmente, estas são descartadas ou utilizadas para o plantio de novos cupuaçuzeiros. Estas sementes estão despertando interesse devido à sua capacidade de produzir produtos similares aos derivados do cacau, como a manteiga de cupuaçu, e também pela possibilidade de serem empregadas na fabricação de produtos cosméticos (DA SILVA MOTA *et al.*, 2020).

Uma das maneiras de se extrair o óleo das sementes de cupuaçu é por ondas ultrassônicas. Quando ondas de ultrassom de alta potência são utilizadas em um sistema sólido-líquido, elas induzem uma compressão e expansão repetida das moléculas, o que resulta no deslocamento do solvente líquido através de micro canais presentes nas partículas sólidas (MENEZES, 2016). Atualmente, visando processos mais sustentáveis e menos tóxicos, os solventes verdes como os álcoois são uma ótima alternativa de pesquisa. Este trabalho tem por objetivo analisar o rendimento de óleo extraído das sementes de cupuaçu utilizando uma mistura de etanol e acetato de etila como solvente.

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

As sementes de cupuaçu, utilizadas como amostra, vieram da cidade de Pimenta Bueno no Estado de Rondônia. Estas foram secas ao sol antes de serem enviadas à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa.

Os solventes utilizados na extração foram o Etanol 99,9% e Acetato de Etila 99,5%. Para a pesagem das amostras, utilizou-se de balança analítica. A fonte de ondas ultrassônicas empregada foi um banho ultrassônico modelo HXBuc, operando a uma frequência de 40 kHz à uma temperatura de 35°C. Para realizar a separação da mistura óleo/solvente, empregou-se um evaporador rotativo vertical da marca Matoli, que estava conectado a uma bomba de vácuo da marca Airmedbrasil. Um banho ultratermostático da marca Solab, foi empregado para resfriar o condensador.

MÉTODOS

Para este trabalho, adotou-se um planejamento experimental linear e quadrático para o estudo de misturas. A soma das quantidades de todos os diferentes componentes em uma mistura é sempre igual a 100%. Para um modelo linear, temos a Equação 1, na qual b_1^* e b_2^* são os coeficientes e pode-se analisar que quando (x_1, x_2) é igual a $(1, 0)$, significa que a mistura contém apenas o componente A, a Equação 1 se simplifica para a igualdade $\hat{y} = b_1^* = y_1$, onde y_1 representa a resposta observada para o componente A puro. De maneira semelhante, quando (x_1, x_2) é igual a $(0, 1)$, temos a igualdade $\hat{y} = b_2^* = y_2$, ou seja, os dois coeficientes do modelo aditivo correspondem diretamente às respostas dos respectivos componentes puros. Se o modelo for válido, pode-se prever as propriedades de qualquer mistura sem a necessidade de criar a própria mistura (NETO *et al.*, 2010).

$$\hat{y} = b_1^*x_1 + b_2^*x_2 \quad (1)$$

Para o modelo quadrático tem-se a Equação 2 na qual b_1^* , b_2^* e b_{12}^* são os coeficientes e tem-se um terceiro termo. Para criar um planejamento experimental



eficiente com o mínimo de ensaios, é necessário adicionar uma terceira medida obtida de uma mistura binária qualquer, além dos dois valores usados para construir o modelo linear. Geralmente, a escolha mais apropriada é uma mistura que contenha partes iguais dos dois componentes 1:1 (NETO et.al., 2010). Para este trabalho, utilizou-se o planejamento apresentado na Tabela 1, na qual o solvente A é o etanol e o B é o acetato de etila.

$$\hat{y} = b_1^*x_1 + b_2^*x_2 + b_{12}^*x_1x_2 \quad (2)$$

Tabela 1 – Planejamento experimental

Ensaio	Solvente A (g)	Solvente B (g)	Amostra (g)
1	25,00	0,00	5,00
2	0,00	25,00	5,00
3	12,50	12,50	5,00

Fonte: Autores (2023).

Depois de receber as amostras, estas foram submetidas a um processo de secagem à temperatura ambiente, sendo expostas à luz solar por um período de aproximadamente 48 horas antes de serem moídas. As sementes, juntamente com suas cascas, foram posteriormente encaminhadas para o processo de moagem, utilizando um moinho de facas. As amostras foram então passadas por uma peneira em um agitador eletromagnético da marca Bertel, da série 10.90, em quatro intervalos de tamanho de malha, sendo eles mesh 12, 14, 16 e 20 (KUGLER et al., 2022).

No experimento, foram coletadas apenas as partículas que ficaram retidas na peneira de mesh 20, com um tamanho de 0,841 mm. Foi feita a pesagem de alíquotas de 5 g em frascos do tipo Erlenmeyer, com capacidade de 250 ml, para cada amostra. Em seguida, realizou-se a pesagem de 25 g de solvente necessário, conforme o planejamento experimental, seguindo a proporção 1:5 amostra/solvente, pois uma maior proporção de solvente em relação à semente aumenta o coeficiente de transferência de massa, resultando em uma extração mais eficiente de óleos (MENEZES, 2016). Por fim, cada Erlenmeyer foi devidamente selado com filme plástico de parafina (parafilme). Após o posicionamento dos frascos no banho ultrassônico, foi configurado o tempo de funcionamento de 60 min no equipamento e então acionado.

Após a etapa de extração, as partículas de cupuaçu foram separadas da mistura óleo/solvente por meio de um sistema de filtração simples, utilizando um funil e papel filtro analítico. O líquido filtrado foi coletado em um balão de fundo redondo e, em seguida, procedeu-se à separação da mistura por meio do processo de rotaevaporação. Durante este processo, a temperatura de aquecimento da mistura foi mantida a 45°C e o vácuo foi ajustado. Após a completa evaporação do etanol, o rendimento de óleo foi calculado utilizando a Equação 3 e o óleo foi armazenado em micro tubos de centrifugação.



$$\% \text{ óleo extraído} = \frac{\text{Massa do balão com óleo} - \text{Massa do balão vazio}}{\text{Massada amostra inserida no Erlenmeyer}} \cdot 100 \quad (3)$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após concluir as extrações em triplicata, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 2. Posteriormente, os dados foram importados ao programa Statistica Release 10.0 (2011) para análise dos modelos linear e quadrático.

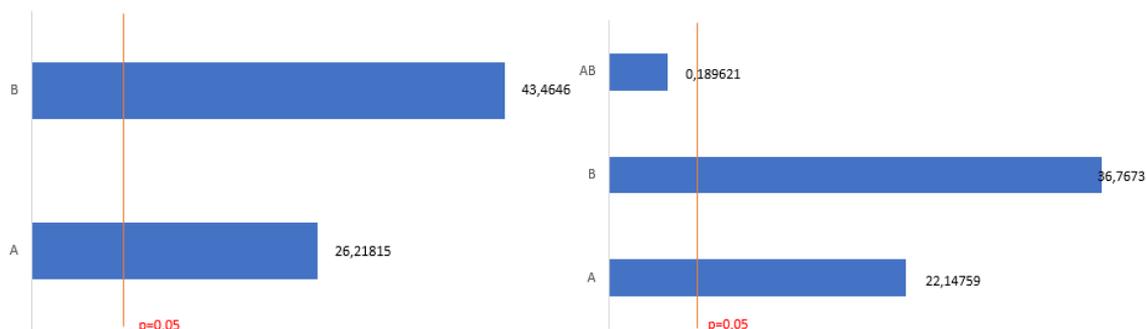
Tabela 2 – Dados do planejamento experimental

Ensaio	Rendimento médio (%)	Desvio padrão	Coef. de Variação (%)
1	16,3342	1,0952	6,70
2	27,1165	1,0810	3,99
3	21,8960	1,5898	7,26

Fonte: Autores (2023).

Para os modelos linear e quadrático, obteve-se os gráficos de Pareto (Figura 1). No primeiro modelo é notável que a variável linear do componente B (acetato de etila) é a mais influente no processo, ou seja, tem um maior potencial de extração que o etanol (A). No segundo modelo, pode-se notar que o termo quadrático não é significativo. Por obter este resultado, optou-se por realizar apenas a ANOVA para o modelo linear.

Figura 1 – Gráficos de Pareto modelo linear e quadrático, respectivamente



Fonte: Autores (2023).

A Tabela 3 apresenta a análise de variância do modelo com base nas variáveis independentes, destacando as contribuições da regressão e dos resíduos nos experimentos. No estudo, tanto o valor calculado de F para os resíduos quanto para a falta de ajuste confirmam a significância estatística do modelo com uma confiança de 95%. Além disso, a tabela fornece dados para calcular o coeficiente de determinação (R^2), que é igual a 0,9465, indicando um modelo bem ajustado considerando que o processo tem vários parâmetros interferentes como temperatura, pressão, tamanho de partícula, frequência, tempo de extração, pureza dos solventes, entre outros.



Tabela 3 – Análise de variância (ANOVA) para o planejamento experimental

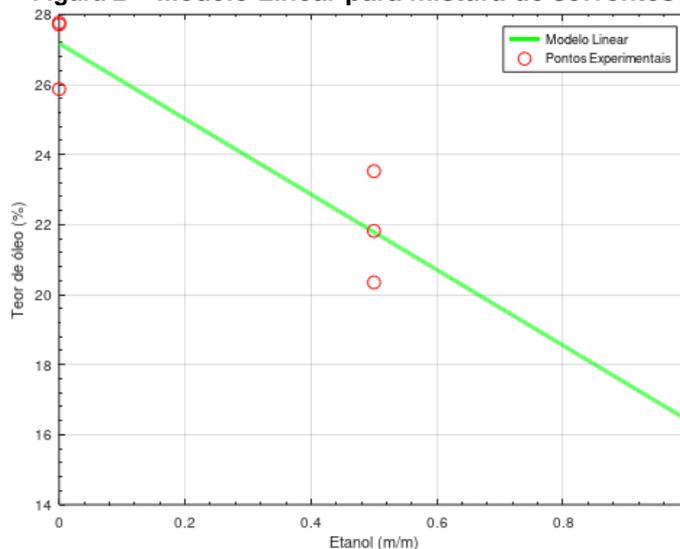
Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	174,387	1	174,387	123,9324	5,59
Resíduo	9,8498	7	1,4071		
Falta de Ajuste	0,0587	1	0,0587	0,035971	5,99
Erro Puro	9,7911	6	1,63185		
Total	184,2368	8			

Fonte: Autores (2023).

Desta forma, a Equação 4 descreve o modelo experimental desenvolvido com base nas frações mássicas de solvente. Nessa equação, y representa o percentual do teor de óleo obtido, x_A a fração de etanol e x_B a de acetato de etila. Na Figura 2 pode-se visualizar os dados experimentais e a reta do modelo proposto, em que é possível verificar que quanto maior a quantidade de etanol, logo menor a de acetato, há a redução na quantidade de óleo extraído.

$$y = 16.39132 \cdot x_A + 27.17362 \cdot x_B \quad (4)$$

Figura 2 – Modelo Linear para mistura de solventes



Fonte: Autores (2023).

CONCLUSÃO

Por meio do planejamento experimental concluiu-se que o teor de óleo aumentou quando na mistura houve a maior proporção de acetato de etila, indicando este solvente com maior potencial de extração em relação ao etanol. Ainda por meio deste, notou-se que o modelo quadrático não foi relevante. Já o modelo linear apresentou um bom ajuste



aos dados e todos os seus coeficientes foram significativos em um intervalo de 95% de confiança.

Agradecimentos

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pela estrutura fornecida para realização da pesquisa e pelo auxílio financeiro.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

KUGLER, Lucas Vinícius et al.. **Extração assistida por banho ultrassônico de óleo de sementes de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) utilizando etanol como solvente.**

In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Anais. Santa Helena (PR) UTFPR Santa Helena, 2022.

MENEZES, Evandro Galvão Tavares. **Obtenção de óleos de sementes de frutos do cerrado utilizando diferentes processos de extração.** 2016.

NETO, Benício B.; SCARMINIO, Ieda S.; BRUNS, Roy E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria.** 4. ed. São Paulo: Bookman, 2010, p. 315-323.

SAID, M. M. **Aspectos culturais e potencial de uso do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Wild. Ex Spreng. Schum.) no estado do Amazonas.** 2011. 136 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade da Amazônia)- Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade da Amazônia. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2011.