

**Extração verde de compostos bioativos de subprodutos do pequizeiro (*Caryocar brasiliense*) por extração assistida por micro-ondas**

**Mariele D. da Silva (PG)¹\*, Eliza A. Martins (G)2, Marcela O. B. Cortez (PG)2, Renata P. L. Moreira (PQ)3, Alisson C. Borges (PQ)1**

¹ Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Viçosa, MG, Brasil, 36570-900

2 Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Química, Viçosa, MG, Brasil, 36570-900

3 Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Química, Viçosa, MG, Brasil, 36570-900

**RESUMO**

O pequizeiro *(Caryocar brasiliense*) gera resíduos agroindustriais ricos em compostos bioativos, como casca (PTB), endocarpo espinhoso (PTE) e mistura com amêndoa (PTEA). Este estudo avaliou, de forma preliminar, a extração de taninos totais (TT) e compostos fenólicos totais (CFT) por extração assistida por micro-ondas (EAM), com planejamento fatorial fracionário 2⁴⁻¹. PTB apresentou os maiores teores de TT (147,37 mgTAE g⁻¹ de ácido tânico) e de CFT (122,16 mgGAE g⁻¹ de ácido gálico), com influência significativa dos parâmetros razão solvente/massa de biomassa e da temperatura. Por LC-MS foram identificados fenólicos com potencial bioativo, como ácido p-cumárico, ácido protocatecuico e catequina. Espectros de FTIR revelaram maior intensidade de bandas associadas a grupos funcionais fenólicos em PTB. Foram identificadas modificações morfológicas por MEV após a EAM, sugerindo maior exposição superficial. Os resultados indicam o potencial desses subprodutos para aplicações sustentáveis.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

*Palavras-chave: Pequi, compostos fenólicos, taninos, valorização de resíduos agroindustriais, LC-MS; FTIR.*

**Introdução**



O pequizeiro (*Caryocar brasiliense),* nativo do Cerrado brasileiro, produz frutos cuja casca e endocarpo espinhoso correspondem à maior parte da massa e são frequentemente descartados como resíduos agroindustriais [1]. Embora ricos em taninos e compostos fenólicos com propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e potencial tecnológico, esses subprodutos são pouco aproveitados, contribuindo para impactos ambientais [2]. Métodos convencionais de extração desses compostos, como *Soxhlet* e maceração, demandam longos tempos, alto consumo energético e grandes volumes de solventes. A extração assistida por micro-ondas (EAM) é uma alternativa verde baseada no aquecimento dielétrico, em que moléculas polares absorvem energia e geram calor dentro da amostra. Isso acelera a ruptura celular e a difusão dos compostos, aumentando o rendimento e a sustentabilidade [3]. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar, de forma preliminar, os efeitos de variáveis operacionais sobre a EAM de taninos totais (TT) e compostos fenólicos totais (CFT) a partir de subprodutos do pequizeiro. A proposta visa identificar os fatores mais influentes no processo, como etapa preparatória para futura otimização.

**Experimental**

*Extração por micro-ondas e quanticação de TT e CFT*

Foram utilizados três subprodutos do pequizeiro (*Caryocar brasiliense*): casca da árvore do pequizeiro (PTB), endocarpo espinhoso (PTE) e mistura de endocarpo com amêndoa (PTEA). A extração foi realizada por micro-ondas (sistema CEM Discover SP-D), utilizando um planejamento fatorial fracionário 24-1 para avaliação preliminar dos seguintes fatores: tempo de extração (2–6 min), proporção de etanol (20–80%), razão solvente/massa (10–30 mL g⁻¹) e temperatura (70–90 °C). Os dados foram avaliados por

ANOVA e diagramas de Pareto. Os teores de TT e CFT foram  
determinados por espectrofotometria, utilizando o método de Folin–Ciocalteu. Os resultados foram expressos em miligrama equivalente de ácido tânico por grama de material seco (mgTAE g⁻¹) e miligrama equivalente de ácido gálico por grama de material seco (mgGAE g⁻¹), respectivamente.

*Caracterização dos materiais*

As amostras selecionadas foram caracterizadas por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Cromatografia Líquida Acoplada à Espectrometria de Massas (LC-MS).

**Resultados e Discussão**

Entre os materiais avaliados, PTB apresentou os maiores teores de TT (147,37 mg TAE g⁻¹) e CFT (122,16 mgGAE g⁻¹), sob as condições de 6 min, 90 °C, 20% de etanol e razão solvente/massa de 30 mL g⁻¹. Os valores máximos para PTE foram 74,73 mgTAE g⁻¹ e 53,14 mgGAE g⁻¹, enquanto o PTEA apresentou 62,66 mgTAE g⁻¹ e 59,97 mgGAE g⁻¹. Os diagramas de Pareto (Fig. 1) indicaram que a razão solvente/massa foi o fator mais influente (p < 0,01), seguida pela temperatura (p < 0,05). A maior concentração favoreceu a difusão e a solubilização dos compostos-alvo, enquanto o aumento da temperatura facilitou a ruptura celular. Além disso, a menor proporção de etanol, quando combinada a temperaturas elevadas, pode ter intensificado a polaridade do meio, promovendo maior eficiência de extração. Os compostos identificados por LC-MS, como ácido p-cumárico, ácido protocatecuico e catequina, destacaram-se no extrato de PTB e são reconhecidos por sua bioatividade e ampla aplicabilidade em processos antioxidantes, purificação de águas, e formulações farmacêuticas e cosméticas [4]. Desenho de um círculo

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.



**Diagrama

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.**

**Diagrama

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.**

**Figura 1.** Diagramas de Pareto dos efeitos dos fatores na extração de TT e CFT dos subprodutos do pequizeiro por EAM: (a,b) PTE, (c,d) PTEA e (e,f) PTB. A: Tempo (minutos); B: Proporção de etanol (%); C: Razão solvente/massa (mL g-1) e D: Temperatura (ºC).

Os espectros de FTIR (Fig. 2) apresentaram bandas características de fenólicos, com destaque para ~3300 cm⁻¹ (νO–H), ~1700 cm⁻¹ (νC=O), ~1610 cm⁻¹ (νC=C aromático) e 1100–950 cm⁻¹ (νC–O), mais intensas em PTB, sugerindo maior conteúdo de grupos hidroxilados e aromáticos. A redução nas bandas O–H após a extração indica a remoção eficiente dos compostos ou possíveis modificações estruturais na matriz vegetal [5]. A análise por MEV (Fig. 3) mostraram modificações morfológicas nas amostras após a EAM, especialmente para PTB, com aumento da irregularidade da superfície e desorganização estrutural. Essas alterações refletem o efeito do aquecimento volumétrico da técnica e indicam potencial para futuras aplicações tecnológicas, como a produção de bioadsorventes ou suportes catalíticos.



**Figura 2.** Espectros de FTIR dos materiais PTE, PTEA e PTB in natura e de seus extratos obtidos por EAM.

Foto em preto e branco

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

**Figura 3.** Imagens de MEV dos materiais PTE, PTEA e PTB antes e após a EAM.

**Conclusões**

A extração assistida por micro-ondas foi eficaz na recuperação de taninos e compostos fenólicos dos subprodutos do pequizeiro, especialmente PTB, que apresentou os maiores teores. A razão solvente/massa e a temperatura foram as variáveis mais relevantes. A caracterização por LC-MS confirmou a presença de compostos bioativos, como ácido p-cumárico, ácido protocatecuico e catequina, evidenciando o potencial funcional desses extratos. As análises por FTIR e MEV complementaram os dados, indicando maior conteúdo funcional e alterações estruturais favoráveis em PTB. O estudo reforça o aproveitamento de resíduos agroindustriais em contextos tecnológicos sustentáveis, alinhados à economia circular.

**Agradecimentos**

Os autores agradecem ao CNPq (Processo:409460/2023-0), à FAPEMIG, à CAPES e Universidade Federal de Viçosa (UFV).

**Referências**

1. G. F. Ghesti, E. A. Silveira, M. G. Guimarães, R. B. W. Evaristo, M. Costa, Waste Manage. **2022**, 143, 144–156.
2. L. Brito Cangussu, P. Leão, L. S. Oliveira, A. S. Franca, Food Chem. **2021**, 350, 129234.
3. Y. Gupta, B. Barrett, D. G. Vlachos, Chem. Eng. Process. Process Intensif. **2024**, 203, 109870.
4. I. T. Tomasi, C. A. Machado, R. A. R. Boaventura, C. M. S. Botelho, S. C. R. Santos, Sci. Total Environ. **2022,** 822, 153454.
5. P. R. More, S. S. Arya, Chem. Eng. Process. Process Intensif. **2024**, 202, 109839.