



## EFEITO COMBINADO DO PRÉ-TRATAMENTO COM ULTRASSOM E PLASMA FRIO NA EXTRAÇÃO DE ANTOCIANINAS DA CASCA DE UVA

**Hiasmyne Silva de Medeiros<sup>1,2</sup>, Jeferson da Silva Cunha<sup>1</sup>, Flaviana Coelho Pacheco<sup>1,2</sup>, Paulo Henrique Costa Paiva<sup>2</sup>, Bruno Ricardo de Castro Leite Júnior<sup>1</sup>, Ana Flávia Coelho Pacheco<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, Viçosa, MG 36570-900, Brasil*

<sup>2</sup>*Instituto de Laticínios Cândido Tostes, EPAMIG, Juiz de Fora, Brasil (tatiane.tavares@epamig.br)*

**Resumo:** O plasma frio promoveu aumento na extração de compostos bioativos, com incremento de até 35% no teor de antocianinas e até 101% nos compostos fenólicos totais, favorecendo a liberação de compostos. A aplicação combinada com ultrassom potencializou o efeito, resultando em aumento de 53% em antocianinas e 79% em fenólicos, evidenciando um efeito sinérgico entre as tecnologias. Conclui-se que a combinação de ultrassom e plasma frio é promissora para intensificar a extração de compostos bioativos.

**Palavras-chave:** Compostos bioativos; resíduos agroindustriais; tecnologias emergentes; extração sustentável.

### INTRODUÇÃO

O aproveitamento de subprodutos agroindustriais tem sido amplamente investigado como estratégia para a recuperação de compostos bioativos de alto valor agregado, alinhado com os princípios de sustentabilidade e economia circular. Nesse contexto, a casca de uva constitui uma matriz rica em antocianinas, pigmentos fenólicos responsáveis pela coloração característica e associados a elevada atividade antioxidante, além de aplicações como corantes naturais na indústria de alimentos (Sharam et al., 2025).

Entretanto, a extração eficiente dessas moléculas ainda representa um desafio tecnológico, uma vez que métodos convencionais apresentam limitações relacionadas ao baixo rendimento, elevado consumo de solventes e possível degradação de compostos termossensíveis. Nesse sentido, as tecnologias emergentes não térmicas têm sido exploradas visando intensificar os processos extrativos e preservar a integridade dos compostos bioativos (Heydari et al., 2023).

A extração assistida por ultrassom destaca-se por promover cavitação acústica, resultando na ruptura das paredes celulares e no aumento da transferência de massa, o que contribui significativamente para o aumento do rendimento de antocianinas a partir de matrizes vegetais (Sharam et al., 2025). Em paralelo, o plasma frio tem sido investigado como uma tecnologia inovadora capaz de induzir modificações

estruturais na matriz vegetal por meio da ação de espécies reativas, facilitando a liberação de compostos intracelulares e aumentando a eficiência do processo extrativo (Ramezan et al., 2024 e Xi et al., 2024).

Estudos recentes indicam que a aplicação combinada de plasma frio e ultrassom pode promover efeitos sinérgicos, resultando em aumentos significativos na recuperação de compostos fenólicos em comparação ao uso isolado das técnicas, devido à intensificação da desestruturação celular e à maior acessibilidade dos solventes aos sítios de ligação dos compostos bioativos (HASHEMPOUR et al., 2024 e Heydari et al., 2023).

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito do pré-tratamento com ultrassom e plasma frio e suas combinações, na extração de antocianinas da casca de uva.

### MATERIAL E MÉTODOS

A extração de antocianinas foi realizada a partir das amostras previamente submetidas aos diferentes tratamentos (controle, ultrassom, plasma frio e combinações).

Inicialmente, 100 g da amostra foi homogeneizada com solução extratora composta por etanol acidificado (etanol: água, 70:30 v/v, acidificado com ácido clorídrico a 0,1%), na proporção sólido: solvente adequada (1:40, m/v).

Para os tratamentos com ultrassom, as amostras foram submetidas a banho ultrassônico (Unique, modelo USC 2800 A, Indaiatuba, Brasil) por 40 minutos, atuando numa frequência de 25 kHz com potência volumétrica de 38 W/L em temperatura ambiente ( $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ).

Os tratamentos com plasma atmosférico frio (CP) foram realizados utilizando um sistema de descarga de barreira dielétrica (DBD) direta, composto por um eletrodo de alumínio revestido com material dielétrico e um contraeletrodo aterrado. As amostras foram posicionadas a uma distância de 1 a 3 mm do reator, garantindo exposição uniforme ao plasma. Para cada ensaio, 5 g do material em pó foram distribuídos em camada fina e submetidos ao plasma gerado em condições atmosféricas, com tensão de aproximadamente 12–15 kV e frequência de 130 kHz. Os tratamentos foram conduzidos a  $25^\circ\text{C}$  por diferentes tempos (5, 10 e 15 min), com controle da potência por ajuste do ciclo de trabalho. Uma amostra não tratada foi utilizada como controle.

Para os tratamentos combinados, aplicou-se inicialmente o plasma frio, seguido do ultrassom nas respectivas rotações.

Após a extração, as amostras foram centrifugadas a  $10.000 \times g$  por 10 minutos, e o sobrenadante coletado para análise.

O teor total de antocianinas foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Rocha et al. (2023). As alíquotas foram diluídas da solução estoque com solução de etanol e HCl  $1,5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  (85:15, v/v) e transferidas para tubos Falcon de 15 mL. As amostras foram então centrifugadas a  $2800 \times g$  por 10 min. Em seguida o sobrenadante foi coletado e foram feitas leituras em um espectrofotômetro UV/VIS-1601 PC (Shimadzu) a 535 nm.

A análise de cor foi medida utilizando um colorímetro Minolta CM3600d (Konica Minolta, Tóquio, Japão), para determinar as coordenadas de cor, onde  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ . A diferença total de cor ( $\Delta E$ ) foi determinada entre o controle (referência) e as amostras pré-tratadas com plasma frio e por ultrassom.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta o efeito dos diferentes tratamentos físicos sobre o teor de antocianinas totais.

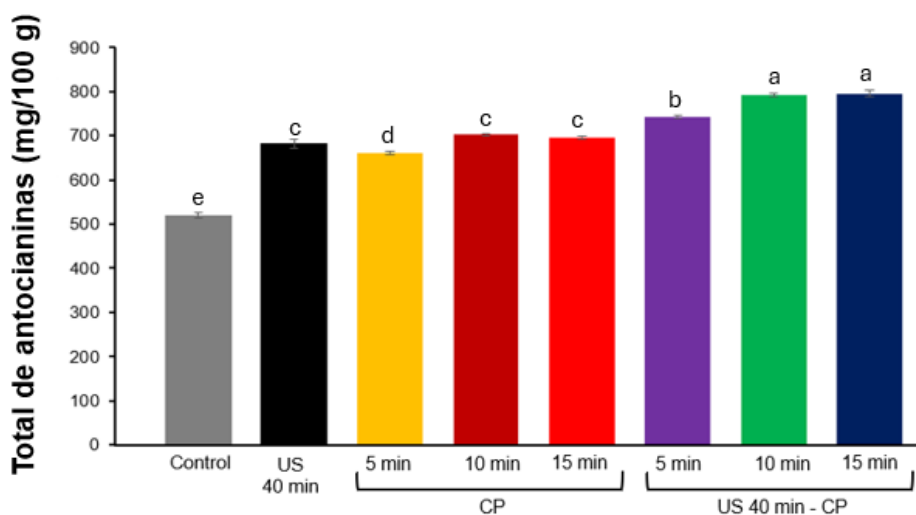


Figura 1. Teor de antocianinas totais (mg/100 g) em amostras submetidas a ultrassom (US), Plasma Frio (CP) e tratamentos combinados (US+CP). Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

Os teores de antocianinas aumentaram atingindo até 35% (CP-10 min) em relação ao controle, enquanto os compostos fenólicos totais apresentaram aumentos de até 101% (CP-15 min). Esse resultado sugere que o plasma promove modificações na matriz que favorecem a liberação de compostos fenólicos não necessariamente associados às antocianinas.

Nos tratamentos combinados US-CP, observou-se aumento adicional tanto em antocianinas quanto em

fenólicos, com incrementos de até 53% e 79%, respectivamente, indicando que o ultrassom pode potencializar a extração após modificação prévia da matriz pelo plasma.

Em relação a atividade antioxidante os tratamentos com plasma resultaram em aumentos expressivos no

Os parâmetros de cor dos extratos estão apresentados na Tabela 1, permitindo avaliar como as alterações na extração e estrutura dos compostos influenciam as

propriedades ópticas, especialmente a intensidade da coloração associada às antocianinas.

Tabela 1. Parâmetros de cor de amostra de antocianinas extraídas da casca da uva submetida ao ultrassom (US, 40 min), plasma frio (CP; 5, 10 e 15 min) e suas combinações (US+CP).

| Amostra      | $L^*$                 | $a^*$             | $b^*$              | $\Delta E$           |
|--------------|-----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|
| Controle     | $4.37 \pm 0.14^{AB}$  | $1.60 \pm 0.05^B$ | $-1.14 \pm 0.12^A$ | —                    |
| US           | $4.88 \pm 0.27^A$     | $2.63 \pm 0.28^A$ | $-1.69 \pm 0.13^B$ | $1.29 \pm 0.22^{AB}$ |
| CP-5 min     | $4.04 \pm 0.16^{BC}$  | $0.55 \pm 0.29^C$ | $-1.29 \pm 0.13^A$ | $1.14 \pm 0.33^{AB}$ |
| CP-10 min    | $3.48 \pm 0.08^{CD}$  | $0.29 \pm 0.12^C$ | $-1.25 \pm 0.03^A$ | $1.59 \pm 0.16^A$    |
| CP-15 min    | $3.34 \pm 0.12^D$     | $0.21 \pm 0.12^C$ | $-1.30 \pm 0.10^A$ | $1.75 \pm 0.16^B$    |
| US-CP-5 min  | $4.30 \pm 0.29^{AB}$  | $0.59 \pm 0.12^C$ | $-1.72 \pm 0.12^B$ | $1.19 \pm 0.08^B$    |
| US-CP-10 min | $4.18 \pm 0.41^B$     | $0.61 \pm 0.18^C$ | $-1.62 \pm 0.11^B$ | $1.19 \pm 0.19^B$    |
| US-CP-15 min | $3.93 \pm 0.36^{BCD}$ | $0.58 \pm 0.10^C$ | $-1.61 \pm 0.11^B$ | $1.26 \pm 0.24^B$    |

Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos envolvendo ultrassom e plasma frio, de acordo com o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Observou-se redução significativa nos valores de  $a^*$ , com diminuição de até 87% (CP-15 min) em relação ao controle, evidenciando degradação das antocianinas. Mesmos nos tratamentos combinados US-CP, os valores de  $a^*$  permanece reduzido (< 60%), indicando que o efeito oxidativo do plasma prevalece sobre o efeito extrativo do ultrassom.

Apesar da redução na intensidade da cor, os valores de  $\Delta E$  foram relativamente baixo nos tratamentos com plasma (< que 1,7), indicando que a mudança visual global pode ser menos perceptível, mesmo com alterações estruturais relevantes nas antocianinas.

### CONCLUSÃO

Os resultados nos mostraram de forma geral, que o plasma frio é uma tecnologia eficaz na intensificação da extração de compostos bioativos, promovendo aumento significativo nos teores de antocianinas e, de forma ainda mais expressiva, de compostos fenólicos totais, indicando sua capacidade de modificar a matriz vegetal e facilitar a liberação desses compostos. A aplicação combinada com ultrassom potencializou esse efeito, demonstrando sinergia entre as tecnologias e maior eficiência do processo de extração. Embora tenha sido observada redução na intensidade da

coloração associada às antocianinas, possivelmente relacionada à ação oxidativa do plasma, as alterações globais de cor foram discretas, não comprometendo de forma significativa na aparência dos extratos. Assim, o uso combinado de ultrassom e plasma frio se destaca como uma estratégia promissora para maximizar a recuperação de compostos bioativos, com potencial aplicação em processos industriais.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG, Brasil) pelo apoio; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG, Brasil) pelo financiamento dos projetos APQ-05926-24.

### REFERÊNCIAS

- Da Rocha, J. D. C. G., Rigolon, T. C. B., Borges, L. L. R., Nascimento, A. L. A., Neves, N. A., Perrone, I. T., ... & Stringheta, P. C. Anthocyanin stability in a mix of phenolic extracts microencapsulated by maltodextrine, whey protein and gum arabic. *Journal of Food and Nutrition Research*, 11(1), 1-12, 2023.
- Hashempour, H; Mohammadnejad, M; Moharrami, S. Development of cold plasma pretreatment ultrasound-assisted extraction for enhancing



phenolic acids extractability from *Salvia sclarea*.  
*Microchemical Journal*, 1, (207), 112052, 2024.

Heydari, M; Carbone, K; Gervasi, F; Parandi, E;  
Rouhi, M; Rostami, O; Abedi-firoozjah, R;  
Kolahdouz-nasiri, A; Garavand, F; Mohammadi,  
R. Cold plasma-assisted extraction of  
phytochemicals: a review. *Foods, Basel*, 12, 17,  
3181, 2023.

Ramezan, Y; Kamkari, A; Lashkari, A; Moradi, D;  
Najafi tabrizi, A. A review on mechanisms and  
impacts of cold plasma treatment as a non-  
thermal technology on food pigments. *Food  
Science & Nutrition*, 1,(12), 3,3897–3913, 2024.

Sharma, P.; Hamid, H. Ultrasound-assisted extraction  
of anthocyanins from fruit and vegetable by-  
products. *Food and Humanity*, 1, 5,100713, 2025.

Xi, J.; Wang, Y.; Zhou, X.; Wei, S.; Zhang, D. Cold  
plasma pretreatment technology for enhancing the  
extraction of bioactive ingredients from plant  
materials: a review. *Industrial Crops and  
Products*, 1, 209,117963, 2024.