



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

Jeferson da Silva Cunha¹, Hiasmyne Silva de Medeiros², Flaviana Coelho Pacheco^{1,2}, Paulo Henrique Costa Paiva², Bruno Ricardo de Castro Leite Júnior¹, Ana Flávia Coelho Pacheco²

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

²Instituto de Laticínios Cândido Tostes, EPAMIG, Juiz de Fora, Brasil (tatiane.tavares@epamig.br)

Resumo: Os tratamentos físicos promoveram aumentos expressivos no teor de antocianinas em relação ao controle. O ultrassom isolado resultou em ganho de aproximadamente 31,4%, enquanto o UltraTurrax de até 69,3%. Os maiores ganhos foram observados nos tratamentos combinados (US + UT), com aumentos de até 89,4%, evidenciando efeito sinérgico entre as tecnologias. No entanto, em condições mais intensas, observou-se redução nos ganhos percentuais, indicando possível degradação dos compostos.

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

INTRODUÇÃO

O aumento da geração de resíduos orgânicos ricos em compostos bioativos (CBs), como antocianinas (ANT) provenientes de subprodutos da uva em Minas Gerais, demanda soluções sustentáveis para seu reaproveitamento (Rocha et al., 2023). A incorporação de ANT em alimentos enfrenta desafios relacionados à cor e estabilidade, devido a fatores extrínsecos como temperatura, oxigênio, além do impacto das operações durante o processamento (López et al., 2018).

A extração de antocianinas de resíduos orgânicos podem ser obtidos por meio de extração sólido-líquido, um processo que frequentemente consome um período de tempo prolongado e alto gasto de energia (Khadhraoui et al., 2018). Além disso, esse processo envolve o uso de grandes quantidades de água ou solventes derivados de petróleo, prejudiciais ao meio ambiente (Chemat et al., 2017).

Nas últimas décadas, numerosos estudos científicos buscam alternativas para esses desafios, substituindo seus processos tradicionais por técnicas de extração mais ecológicas e competitivas (Khadhraoui et al., 2018). Neste contexto, processos físicos, como ultrassom (US) e dispersão de alta tensão de cisalhamento (UltraTurrax) ganham destaques entre métodos ecológicos. O ultrassom é uma tecnologia não térmica, capaz de promover modificações estruturais na matriz dos alimentos por meio de um mecanismo conhecidos como cavitação acústica (Pacheco et al., 2025). Por outro lado, o UltraTurrax envolve o processo de homogeneização, podendo

induzir modificações estruturais favorecendo o processo de extração (Ajayi et al., 2024).

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de tecnologias físicas, especificamente o ultrassom e o UltraTurrax, aplicados de forma isolada e combinada, na eficiência de extração de antocianinas provenientes de resíduos de uva.

MATERIAL E MÉTODOS

A extração de antocianinas foi realizada a partir das amostras previamente submetidas aos diferentes tratamentos (controle, ultrassom, UltraTurrax 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 ± 1°C).

Nos tratamentos com UltraTurrax (T50 Basic, Ika, Alemanha), a homogeneização foi realizada em diferentes rotações (10.000, 15.000 e 20.000 rpm) por 5 minutos, mantendo a temperatura controlada (25 ± 1°C).

Para os tratamentos combinados, aplicou-se inicialmente o ultrassom, seguido da homogeneização com UltraTurrax nas respectivas rotações.

Para fins de comparação, um experimento controle foi conduzido. Para isso, as amostras foram armazenadas por 24 h a $4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

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.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta o efeito dos diferentes tratamentos físicos sobre o teor de antocianinas totais. Os valores absolutos variaram de 519,34 a 983,56 mg/100 g. Observa-se que os tratamentos aplicados promoveram aumento significativo no teor desses compostos em comparação ao controle, evidenciando a eficiência dessas tecnologias na liberação de compostos fenólicos da matriz.

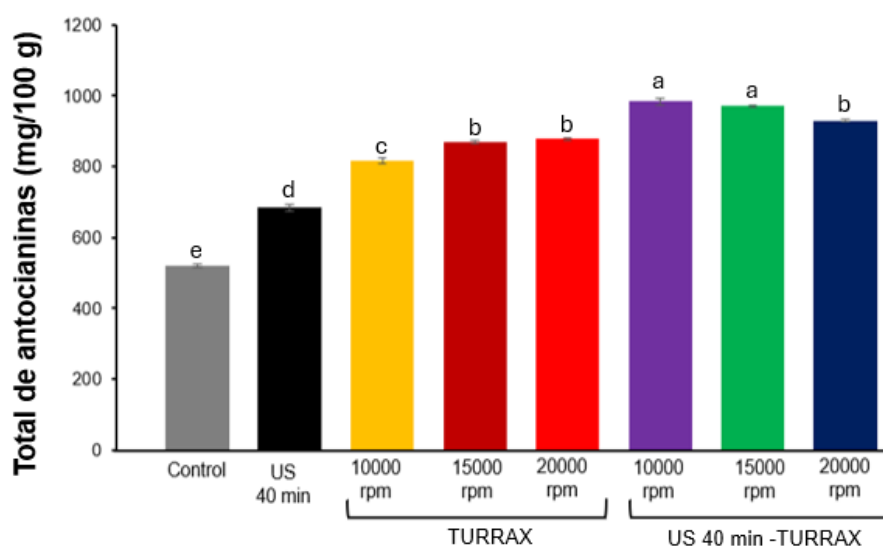


Figura 1. Teor de antocianinas totais (mg/100 g) em amostras submetidas a ultrassom (US), Ultra-Turrax (UT) e tratamentos combinados (US+UT). Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).

O tratamento com ultrassom resultou em incremento de aproximadamente 31,4%, o que pode ser atribuído ao fenômeno de cavitação acústica, responsável pela ruptura das paredes celulares e aumento da transferência de massa.

Para os tratamentos com UltraTurrax, foram observados aumentos de aproximadamente 57,2%, 67,6% e 69,3% para 10, 15 e 20 minutos, respectivamente, indicando que o cisalhamento mecânico favorece a extração. No entanto, a ausência de diferença expressiva entre os tempos mais elevados sugere a existência de um limite do processo.

A combinação de ultrassom com UltraTurrax apresentou os maiores incrementos, com ganhos de aproximadamente 89,4%, 86,8% e 79,1% para 10, 15

e 20 minutos, respectivamente, evidenciando um efeito sinérgico entre as tecnologias. Entretanto, a redução nos percentuais em condições mais intensas reforça que o excesso de energia pode favorecer a degradação ou oxidação das antocianinas.

De forma geral, os resultados demonstram que os tratamentos combinados são mais eficientes do que os isolados, destacando a importância da otimização das condições de processamento para maximizar a extração sem comprometer a estabilidade dos compostos bioativos.

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), dispersão de alta cisalhamento (HSD; 10.000–20.000 rpm) e suas combinações (US+HSD).

Amostra	L^*	a^*	b^*	ΔE
Controle	4.37 ± 0.14^f	1.60 ± 0.05^e	-1.14 ± 0.12^a	—
US	4.88 ± 0.27^f	2.63 ± 0.28^d	-1.69 ± 0.13^b	1.29 ± 0.22^d
HSD-10000 rpm	9.70 ± 0.28^a	2.98 ± 0.33^d	-1.57 ± 0.27^b	5.54 ± 0.23^a
HSD-15000 rpm	8.95 ± 0.16^b	3.27 ± 0.10^{cd}	-1.48 ± 0.08^{ab}	4.89 ± 0.26^b
HSD-20000 rpm	7.71 ± 0.27^e	3.98 ± 0.44^{bc}	-1.58 ± 0.10^b	4.14 ± 0.24^c
US-HSD-10000 rpm	8.37 ± 0.28^{bc}	4.99 ± 0.61^a	-1.51 ± 0.27^{ab}	5.29 ± 0.35^{ab}
US-HSD-15000 rpm	8.13 ± 0.14^{cd}	4.72 ± 0.35^{ab}	-1.44 ± 0.18^{ab}	4.91 ± 0.06^b
US-HSD-20000 rpm	7.36 ± 0.43^{de}	4.15 ± 0.07^b	-1.55 ± 0.05^b	3.96 ± 0.30^c

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

No grupo envolvendo ultrassom e alto cisalhamento, observa-se aumento significativo dos valores de a^* , para o tratamento US-HSD-10, representando um incremento superior a 200% na intensidade do vermelho em relação a amostra controle. Esse resultado está diretamente relacionado ao aumento no teor de antocianinas observado na Figura 1, confirmando que a coloração vermelha é um indicador direto da concentração desses compostos.

Os valores de luminosidade (L^*) também foram significativamente afetados pelos tratamentos mecânicos, com aumentos de até 120% (HSD-10000 rpm). Esse comportamento está associado à maior dispersão das partículas no meio, decorrente da redução do tamanho de partícula promovida pelo alto cisalhamento. Apesar disso, o aumento de L^* não indica perda de compostos, mas sim alteração na forma como a luz interage com o sistema, especialmente em dispersões mais finas.

Em relação aos valores de b^* , embora haja alterações na intensidade da cor, o equilíbrio entre tons azulados e amarelados das antocianinas foi relativamente preservado nos tratamentos mecânicos.

Os tratamentos com HSD e US-HSD apresentaram maiores valores de ΔE (até 5,54), refletindo mudanças visuais mais intensas associadas ao aumento da extração e modificação física da matriz.

CONCLUSÃO

De forma geral, os resultados demonstram que a aplicação de tecnologias físicas, especialmente de forma combinada, é uma estratégia eficiente para aumentar a extração de antocianinas. Contudo, os dados evidenciam que o aumento da intensidade do processamento não resulta necessariamente em maiores ganhos, sendo fundamental a otimização das condições operacionais para maximizar a eficiência de extração e preservar a estabilidade dos compostos bioativos.

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

- Ajayi, F. F., Mudgil, P., & Maqsood, S. Molecular structural modification of jack bean protein using thermo-shearing/ultrasound/microwave treatments for improved extractability, functional and gelling properties: The underlying impacts of matrix pre-treatment versus alkaline-assisted extraction. *Food Hydrocolloids*, 154, 110066, 2024.
- 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.
- Khadhraoui, B., Turk, M., Fabiano-Tixier, A. S., Petitcolas, E., Robinet, P., Imbert, R., ... & Chemat, F. Histo-cytochemistry and scanning electron microscopy for studying spatial and temporal extraction of metabolites induced by ultrasound. Towards chain detexturation mechanism. *Ultrasonics Sonochemistry*, 42, 482-492, 2018.
- Lopez, C. J., Caleja, C., Prieto, M. A., Barreiro, M. F., Barros, L., & Ferreira, I. C. Optimization and comparison of heat and ultrasound assisted extraction techniques to obtain anthocyanin compounds from *Arbutus unedo* L. Fruits. *Food Chemistry*, 264, 81-91, 2018.
- Pacheco, A. F. C., Pacheco, F. C., Cunha, J. S., Nalon, G. A., Gusmão, J. V. F., Santos, F. R. D., ... & Leite Junior, B. R. D. C. Physicochemical properties and in vitro antioxidant activity characterization of protein hydrolysates obtained from pumpkin seeds using conventional and ultrasound-assisted enzymatic hydrolysis. *Foods*, 14(5), 782, 2025.
- Pingret, D., Fabiano-Tixier, A. S., Le Bourvellec, C., Renard, C. M., & Chemat, F. Lab and pilot-scale ultrasound-assisted water extraction of polyphenols from apple pomace. *Journal of Food Engineering*, 111(1), 73-81, 2012.