

VALORIZAÇÃO SUSTENTÁVEL DE SEMENTES DE ABACATE POR EXTRAÇÃO OTIMIZADA DE COMPOSTOS BIOATIVOS

David Callirgos Romero¹; Renires dos Santos Teixeira²; Shadai Mendes Silva³;
Cesar Valmor Rombaldi⁴

¹Universidad Federal de Pelotas – david.romero@ufpel.edu.br.

²Universidad Federal de Pelotas – reniresantos@gmail.com.

³Universidad Federal de Pelotas – shadaimendes_ro@hotmail.com.

⁴Universidad Federal de Pelotas – cesarvrf@ufpel.edu.br.

1. INTRODUÇÃO

O abacate (*Persea americana* Mill.) é uma fruta originária do México e da América Central, pertencente à família *Lauraceae*. A expansão do processamento industrial do abacate gera um volume expressivo de resíduos. Entre os subprodutos gerados, a semente de abacate tem atraído crescente atenção. Diversos estudos relatam atividades antidiabéticas, anti-inflamatórias, neuroprotetoras e efeito potencial contra a doença de Alzheimer (OJO et al., 2025; SAINI et al., 2025).

A extração eficiente desses compostos é essencial para seu aproveitamento. García-Vallejo et al. (2023) investigaram a eficácia de solventes como etanol, água e ácido acético — bem como suas combinações — na extração de compostos bioativos. Nesse estudo, a adição de 3% v/v de ácido acético aumentou significativamente o rendimento, possivelmente devido à sua capacidade de modificar a matriz lignocelulósica da amostra. No entanto, tal concentração parece ter sido selecionada de forma empírica, sem o respaldo de um processo sistemático de otimização.

Anteriormente a esta pesquisa, foi realizado um ensaio fatorial preliminar em que se avaliou o efeito do ácido acético em concentrações de 1% a 5%, combinado exclusivamente com etanol. Os resultados mostraram que o ácido acético, nessas condições, não contribuiu significativamente para a extração de compostos fenólicos e, em alguns casos, inibiu sua liberação. Com base nisso, formulou-se a hipótese de que o tempo de extração poderia influenciar essa dinâmica. Assim, adotou-se uma faixa mais restrita (1,5 a 2,5%) de ácido acético, testada em conjunto com a concentração de etanol e o tempo como variáveis independentes.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo otimizar as condições de maceração assistida por agitação (MAE) visando maximizar a extração de compostos fenólicos com atividade antioxidante a partir de sementes de abacate. Foram avaliados os efeitos da concentração de etanol (40–60 %), da proporção de ácido acético (1,5–2,5 %) e do tempo de extração (30–60 minutos) sobre o conteúdo fenólico total (CFT), o conteúdo total de flavonoides (CTF) e a capacidade antioxidante dos extratos. Também foram avaliadas correlações entre as variáveis de resposta, visando compreender o comportamento dos extratos frente aos radicais antioxidantes.

2. METODOLOGIA

A extração foi realizada em frascos âmbar, utilizando 1,25 g de pó de semente de abacate e 25 mL de solvente nas concentrações especificadas pelo delineamento experimental (Tabela 1). As amostras foram mantidas em banho termostaticado com agitador magnético (300 rpm) a 60 °C, durante os tempos determinados experimentalmente (Tabela 1). Após a extração, os extratos foram

resfriados (5 °C), centrifugados (4.000 rpm, 10 min, 4 °C) e os sobrenadantes foram armazenados em freezer (-20 °C), em tubos Falcon revestidos com papel alumínio, até a análise.

A quantificação de fenóis totais, flavonoides totais e da capacidade antioxidante (DPPH e ABTS) foi realizada utilizando um espectrofotômetro, nos comprimentos de onda correspondentes, e os valores foram calculados por meio de equações padrão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de compostos fenólicos nos extratos obtidos neste estudo variou entre $36,38 \pm 1,12$ e $76,21 \pm 2,64$ mg EAG/g de semente seca, sendo este último alcançado sob as condições de 80 % de etanol, 2 % de ácido acético e 45 minutos de maceração com agitação. Esse resultado demonstra a eficiência do sistema extrativo utilizado, superando o TPC reportado por Gómez et al. (2014) ($46,95 \pm 0,09$ mg EAG/g com 60 % etanol a 93,64 °C por 25 min), por Araújo et al. (2020) (68,93 mg EAG/g com micro-ondas a 70 °C por 15 min) e mesmo por Del-Castillo-Llamosas et al. (2023), cujo processo de autohidrólise assistida por micro-ondas gerou 59,60 mg EAG/g, porém com alto custo energético (24,03 MJ/kg).

Tabela 1. Delineamento composto central (DCC) e respostas experimentais obtidas na extração por maceração de sementes de abacate.

Variáveis independentes			Compostos fenólicos		Atividade Antioxidante	
X ₁ (%)	X ₂ (%)	X ₃ (min)	TPC (mg GAE/g)	TFC (mg QE/g)	DPPH (mg TE/g)	ABTS (mg TE/g)
0	-1,68	0	$42,55 \pm 2,94$	$1,64 \pm 0,02$	$27,35 \pm 4,24$	$37,86 \pm 1,60$
-1	1	-1	$44,86 \pm 2,51$	$1,04 \pm 0,03$	$24,77 \pm 0,42$	$31,29 \pm 2,82$
0	0	-1,68	$40,28 \pm 2,66$	$1,83 \pm 0,03$	$21,32 \pm 1,70$	$34,58 \pm 4,60$
-1	1	1	$45,79 \pm 0,33$	$1,18 \pm 0,07$	$22,65 \pm 4,38$	$37,93 \pm 1,41$
1	-1	1	$62,58 \pm 2,84$	$2,33 \pm 0,07$	$15,35 \pm 0,90$	$28,72 \pm 2,10$
1	1	-1	$48,78 \pm 2,51$	$2,43 \pm 0,05$	$14,36 \pm 1,41$	$24,67 \pm 4,24$
0	0	1,68	$66,52 \pm 1,93$	$1,84 \pm 0,02$	$20,93 \pm 3,68$	$36,43 \pm 4,34$
0	0	0	$59,35 \pm 2,48$	$1,73 \pm 0,04$	$22,46 \pm 4,81$	$42,19 \pm 1,13$
0	0	0	$44,64 \pm 0,93$	$1,65 \pm 0,05$	$23,43 \pm 40,81$	$39,85 \pm 1,41$
0	1,68	0	$36,38 \pm 1,12$	$1,83 \pm 0,04$	$22,93 \pm 1,44$	$34,60 \pm 1,70$
0	0	0	$39,44 \pm 1,53$	$1,61 \pm 0,05$	$20,81 \pm 1,27$	$40,94 \pm 1,44$
-1	-1	1	$51,51 \pm 2,86$	$1,30 \pm 0,05$	$24,97 \pm 2,84$	$32,53 \pm 2,83$
0	0	0	$37,68 \pm 3,05$	$1,68 \pm 0,01$	$20,31 \pm 1,55$	$43,20 \pm 0,85$
1	-1	-1	$51,30 \pm 2,07$	$2,25 \pm 0,08$	$16,15 \pm 1,22$	$27,16 \pm 2,04$
1,68	0	0	$76,21 \pm 2,64$	$2,68 \pm 0,04$	$14,32 \pm 0,10$	$27,54 \pm 1,04$
1	1	1	$64,82 \pm 1,87$	$2,60 \pm 0,07$	$18,41 \pm 0,71$	$35,50 \pm 5,66$
-1,68	0	0	$44,12 \pm 2,56$	$0,42 \pm 0,02$	$18,71 \pm 0,56$	$37,06 \pm 4,24$
-1	-1	-1	$46,50 \pm 2,51$	$0,79 \pm 0,01$	$20,53 \pm 3,11$	$38,63 \pm 1,81$

X₁ = concentração de etanol; X₂ = concentração de ácido acético; X₃ = tempo de extração; TPC = teor de fenólicos totais; TFC = teor total de flavonoides; DPPH = capacidade de eliminação do radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazila; ABTS = capacidade de eliminação do ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico).

Os valores de conteúdo total de flavonoides (TFT) nos extratos obtidos variaram entre $0,42 \pm 0,02$ e $2,68 \pm 0,04$ mg EQ/g de amostra seca, com valor máximo registrado sob as condições de 80 % de etanol, 2 % de ácido acético e 45 minutos de maceração com agitação.

Estudos prévios relataram valores semelhantes. Munthe et al. (2023), por exemplo, obtiveram 1,73 mg EQ/g utilizando etanol a 70%. Outros autores reportaram intervalos entre 0,66 e 21,45 mg EQ/g, dependendo da matriz, técnica e condições empregadas, como observado por Weremfo et al. (2020). Além disso, os mesmos autores verificaram, em extração assistida por micro-ondas, que a concentração de etanol não foi significativa, sendo superada pela potência e tempo de irradiação.

Além disso, estudos como o de Na et al. (2016) sugerem que a adição de ácidos pode romper membranas celulares, facilitando a liberação de flavonoides. Guo et al. (2022) observaram aumento na extração de quercetina com o acréscimo de ácido acético até 15 %, enquanto Zhong et al. (2019) demonstraram que uma mistura de 70 % de etanol com 2 % de ácido acético foi eficaz para a extração por ultrassom de *D. indicum* var. *aromaticum*.

A maior atividade antioxidante determinada pelo método DPPH foi de 27,35 mg ET/g de semente seca (Tabela 1), obtida sob as condições de 55% de etanol, 1% de ácido acético e 45 minutos de extração — combinação esta localizada na região de maior elevação das superfícies tridimensionais. Por sua vez, a maior atividade antioxidante pelo método ABTS foi de $43,20 \pm 0,85$ mg ET/g, alcançada sob 55% de etanol, 2% de ácido acético e 45 minutos de extração, condições coincidentemente semelhantes às que resultaram em elevado rendimento de DPPH (Tabela 1).

Os resultados superam os reportados por Del-Castillo-Llamosas et al. (2023), que utilizaram solventes eutéticos profundos (NADES) em sementes da variedade Hass, alcançando no máximo 21,92 mg ET/g por ABTS. Mesmo com o uso de tecnologias inovadoras, o desempenho da maceração com etanol e ácido acético mostra-se competitivo e mais aplicável em escala industrial.

As condições ótimas estimadas foram: 70 % de etanol, 2,5 % de ácido acético e 60 minutos de extração, resultando em desejabilidade combinada de 0,803. Os valores preditos para essas condições foram: 63,90 mg EAG/g (TPC), 2,52 mg EQ/g (TFC), 17,37 mg ET/g (DPPH) e 33,67 mg ET/g (ABTS).

Foi observada uma correlação positiva e significativa entre os teores de fenólicos totais (TPC) e flavonoides totais (TFC) ($r = 0,543$; $p = 0,020$), sugerindo que compostos flavonoídicos contribuíram para a fração fenólica geral. Em contrapartida, observou-se uma correlação negativa entre TPC e DPPH ($r = -0,494$; $p = 0,037$), e entre TFC e ambos os métodos antioxidantes: DPPH ($r = -0,552$; $p = 0,017$) e ABTS ($r = -0,488$; $p = 0,040$).

4. CONCLUSÕES

Por meio da aplicação da Metodologia de Superfície de Resposta (RSM) e de um Delineamento Composto Central (CCD), foi possível otimizar o processo de extração e determinar a influência relativa dos fatores operacionais. A concentração de etanol foi a única variável que afetou significativamente todos os parâmetros de resposta (TPC, TFC, DPPH e ABTS), enquanto o tempo de extração apresentou efeito significativo apenas sobre TPC e TFC. O ácido acético exerceu uma influência seletiva, favorecendo exclusivamente a recuperação de flavonoides.

A análise de correlação revelou uma associação positiva entre TPC e TFC, e correlações negativas entre essas variáveis e a atividade antioxidante, sugerindo que uma maior abundância de compostos fenólicos não se traduz necessariamente em maior capacidade sequestradora de radicais.

Em conjunto, o método de extração baseado em maceração assistida por agitação utilizando solventes GRAS (etanol e ácido acético) demonstrou ser uma alternativa técnica viável, reprodutível e escalável. Seu desempenho, comparável ao de tecnologias avançadas, reforça sua aplicabilidade para a produção de ingredientes funcionais em escala industrial.

Recomenda-se que estudos futuros avaliem a estabilidade e a funcionalidade dos extratos em matrizes alimentícias ou farmacêuticas, bem como a influência dos sistemas solventes na reatividade frente a radicais e a confiabilidade dos ensaios antioxidantes comumente empregados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

OJO, O. A. et al. Experimental and computational analyses of the anti-alzheimer and antidiabetic effects of flavonoid-rich extract of avocado seeds (*Persea americana* Mill.). *Nutrire*, v. 50, n. 1, 2025.

SAINI, T. et al. Role of bioactive phytochemicals in plant seeds and leaves for diabetes control and prevention: a comprehensive review. *Phytochemistry reviews: proceedings of the Phytochemical Society of Europe*, 2025.

GARCIA-VALLEJO, M. C. et al. Exploring the production of antioxidants and biogas from avocado (*Persea Americana* var. *Americana*) residues as an alternative for developing rural bioeconomies. *Sustainable chemistry and pharmacy*, v. 33, n. 101089, p. 101089, 2023.

GÓMEZ, F. S. et al. Avocado seeds: Extraction optimization and possible use as antioxidant in food. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, v. 3, n. 2, p. 439–454, 2014.

ARAÚJO, R. G. et al. Process optimization of microwave-assisted extraction of bioactive molecules from avocado seeds. *Industrial crops and products*, v. 154, n. 112623, p. 112623, 2020.

DEL-CASTILLO-LLAMOSAS, A. et al. Microwave-assisted autohydrolysis of avocado seed for the recovery of antioxidant phenolics and glucose. *Bioresource technology*, v. 385, n. 129432, p. 129432, 2023.

MUNTHER, S. W. N. et al. Antioxidant, total phenolic, and total flavonoid of 70% ethanol extract of avocado seeds (*Persea americana* mill.). *Pharmacognosy journal*, v. 15, n. 4, p. 599–605, 2023.

WEREMFO, A.; ADULLEY, F.; ADARKWAH-YIADOM, M. Simultaneous optimization of microwave-assisted extraction of phenolic compounds and antioxidant activity of avocado (*Persea americana* mill.) seeds using response surface methodology. *Journal of analytical methods in chemistry*, v. 2020, p. 7541927, 2020.

NA, B.-I. et al. Characterization of cell wall structure in dilute acid-pretreated biomass by confocal Raman microscopy and enzymatic hydrolysis. *Biomass & bioenergy*, v. 93, p. 33–37, 2016.

ZHONG, L. et al. Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Total Flavonoids from *Dendranthema indicum* var. *aromaticum* by Response Surface Methodology. *Journal of analytical methods in chemistry*, v. 2019, p. 1648782, 2019.