

# Otimização da extração de compostos fenólicos do resíduo agroindustrial de Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Wild. ex. spreng) K. Schum) da Amazônia

Optimization of the extraction of phenolic compounds from agroindustrial residue of Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Wild. ex. spreng) K. Schum) from the Amazon

<https://doi.org/10.32712/2446-4775.2023.1383>

Silva, Haroldo Araújo Lourenço da<sup>1</sup>

 <https://orcid.org/0000-0002-9805-7739>

Moreira, Debora Kono Taketa<sup>2\*</sup>

 <https://orcid.org/0000-0002-1405-227X>

Santos, Alessandra da Silva<sup>3</sup>

 <https://orcid.org/0000-0003-2698-4135>

Viana, Alciene Ferreira da Silva<sup>3</sup>

 <https://orcid.org/0000-0001-7893-205X>

Oliveira, Kelliane Silva de<sup>3</sup>

 <https://orcid.org/0000-0002-2808-8951>

Cândido, Bruno Alves<sup>2</sup>

 <https://orcid.org/0009-0005-3787-9906>

Silva, Bruno Alexandre da<sup>3</sup>

 <https://orcid.org/0000-0001-8801-0761>

Barata, Lauro Euclides Soares<sup>3</sup>

 <https://orcid.org/0000-0003-0909-769X>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Departamento de Direito de Estado, Rua Moncorvo Filho, 8, Centro, CEP 20211-340, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup>Instituto Federal de Brasília (IFB), Campus Gama. Rodovia DF - 480 SMA Lote 1, Gama, CEP 72429-005, Brasília, DF, Brasil.

<sup>3</sup>Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA). Rua Vera Paz, Salé, CEP 68040-255, Santarém, PA, Brasil.

\*Correspondência: [deboraktmoreira@gmail.com](mailto:deboraktmoreira@gmail.com).

## Resumo

A Amazônia possui uma grande diversidade de frutas comestíveis, que dá origem a diversos produtos alimentícios. Essa exploração comercial gera uma quantidade significativa de resíduos, que possuem um potencial com atividade biológica, devido conter compostos fenólicos em suas matrizes. Assim, este estudo teve como objetivo empregar a metodologia de superfície de resposta para otimizar as concentrações de etanol (X1 = 25 a 75%) e a proporção solvente:soluto (X2: 30 a 90%) na recuperação de compostos fenólicos (CFT) a partir de resíduos agroindustriais de cupuaçu. O tempo do processo foi fixo em 1 h de extração a 37°C usando o banho por ultrassom assistido. Os resultados sugeriram que as condições ótimas foram concentração de etanol 50% e proporção de soluto: solvente foi de 1:100. Nas condições ótimas, o CFT experimental foi de 18,08 ± 2,37 µg GAE/ mg de casca de cupuaçu seca (CCS), que foi muito próximo ao valor predito. O modelo polinomial de segunda ordem ajustou satisfatoriamente aos dados experimentais

com  $R^2$  ajustado de 89,70, implicando em uma boa concordância entre os valores preditos e experimentais, o que indica aceitabilidade na otimização das condições de extração de CFT da casca de cupuaçu.

**Palavras-chave:** Resíduos. Oeste do Pará. Compostos bioativos. DCCR.

## Abstract

The Amazon has a great diversity of edible fruits, which originate several food products. This commercial exploitation generates a necessary amount of waste, which has a potential for biological activity, as it contains phenolic compounds in matrices. Thus, this study aimed to employ the response surface methodology to optimize the treatment of ethanol (X1 = 25 to 75%) and the solvent: solute ratio (X2: 30 to 90%) in the recovery of phenolic compounds (CFT) to from agribusiness residues from cupuaçu. Process time was fixed at 1 h of extraction at 37°C using the assisted ultrasound bath. The results suggested that the optimal conditions were 50% ethanol concentration and the solute:solvent ratio was 1:100. Under the optimal conditions, the experimental CFT was  $18.08 \pm 2.37 \mu\text{g GAE} / \text{mg}$  of dry cupuaçu peel, which was very close to the predicted value. The second order polynomial model fits the experimental data satisfactorily with an adapted  $R^2$  of 89.70, implying a good agreement between the predicted and experimental values, which indicates acceptability in the optimization of the conditions for the extraction of CFT from the cupuaçu peel.

**Keywords:** Waste. Western Pará. Bioactive compounds. DCCR.

---

## Introdução

A Amazônia é mundialmente conhecida pela biodiversidade de sua flora. Foram descritas cerca de 250 espécies de frutos comestíveis na região, entre eles o *Theobroma grandiflorum* (Wild. ex.spreng) K.Schum (cupuaçu)<sup>[1]</sup>, o qual pertence à família Malvaceae e tem ganhado destaque no cenário nacional e internacional, devido possuírem alto teor em gordura, valor nutricional e baixo custo, movimentando a economia da região com a produção de polpas, sucos, sorvetes e doces<sup>[2,3]</sup>. Outra vertente da exploração desse fruto, que está em ascensão, é a fabricação de cosméticos e fitofármacos, que tem voltado os olhares atentos de pesquisadores para geração de novos produtos e tecnologias a partir dessa matéria-prima<sup>[4]</sup>.

A exploração comercial desses frutos gera expressivas quantidades de resíduos. Apenas a polpa e as amêndoas tem uso industrial o que provoca aumento da produção de lixo orgânico oriundo do processamento desses frutos, causando impactos ambientais em decorrência do descarte incorreto desses materiais<sup>[5-7]</sup>. A conduta mais geral adotada por algumas empresas é empregá-los como adubo orgânico, porém, estudos promissores mostram que esse resíduo possui significativos teores nutricionais, destacando-se o potássio, ferro, selênio e antioxidantes, este último possuindo a capacidade de retardar o processo de degeneração celular<sup>[8-10]</sup>.

São escassos os estudos com foco nos resíduos gerados a partir da exploração comercial de recursos naturais, dentro desse contexto, os resíduos de *T. grandiflorum*, poderiam ser utilizados tanto na indústria alimentícia, na composição de rações e alimentos funcionais, quanto na indústria farmacêutica, por possuírem compostos bioativos como os fenólicos, que são associados ao tratamento clínico de certas patologias<sup>[11-13]</sup>, possibilitando um emprego econômico-sócio-ambiental mais eficiente para esse subproduto.

Levando em consideração o potencial biológico e conseqüentemente a presença de compostos fenólicos nesses resíduos, há uma necessidade de explorar a extração destes para uma possível aplicação. Para isso, torna-se necessário estudar o efeito, seja positivo ou negativo, de cada parâmetro que se deseja avaliar, o qual é específico para cada material, devido às diferenças nas propriedades físico-químicas e morfológicas dos vegetais. Sendo assim, um protocolo universal de extração não é aceitável e um processo de extração deve ser desenvolvido e otimizado para cada fonte de compostos fenólicos<sup>[14]</sup>. Com base nesses conhecimentos, o objetivo deste trabalho foi estudar o efeito dos parâmetros de extração na obtenção de extrato rico em compostos fenólicos a partir da casca de cupuaçu.

## Material e Métodos

### Obtenção e preparo da matéria-prima

Os resíduos agroindustriais de cupuaçu (RAC), provindos da extração de polpas de fruta, foram doados pela Cooperativa dos Produtores Rurais de Santarém (COOPRUSAN), localizada no município de Santarém, Pará - Brasil. Os resíduos foram secos em estufa com circulação de ar a 40°C por 48 horas e transformados em farinha, através da trituração do resíduo seco em moinho de faca e homogeneizados em peneira com abertura de 28 mesh (0,6 mm). A farinha obtida foi acondicionada e identificada em embalagens de polietileno e armazenada em freezer a -40°C até o momento das extrações.

### Processo de extração dos compostos fenólicos

A extração dos compostos fenólicos presentes no RAC foi realizada por meio do método de extração assistida por ultrassom, no qual foram utilizadas soluções hidroetanólicas. A extração foi realizada em erlenmeyer, misturando a farinha de resíduo seco de cupuaçu (FRC) a diferentes concentrações de etanol (30 a 90% v/v, etanol: água) e diferentes razões soluto: solvente (1:25 a 1:75 m/v) conforme o planejamento experimental (**TABELA 1**) em um banho ultrassônico (Solidsteel, modelo SSBu - 10 L; potência fixa de 160 Watts e frequência fixa de 40 KHz) a 35°C por 60 minutos. Após a extração, as amostras foram filtradas em papel de filtro qualitativo Whatman n° 1 com auxílio de bomba a vácuo, e armazenadas em freezer a -40°C até o momento da análise.

### Otimização dos parâmetros de extração

A extração dos compostos fenólicos totais (CFT) foi otimizada estudando o efeito da aplicação de diferentes concentrações de etanol e água (% v/v, variável independente X1) e da razão soluto: solvente (m/v, variável independente X2) por meio de um planejamento composto central rotacional (DCCR) 2<sup>2</sup>, contendo 4 pontos fatoriais, 4 pontos axiais e 3 repetições no ponto central, totalizando 11 ensaios, como apresentados na **TABELA 1**. As faixas de variação entre o limite inferior e o superior de cada variável independente foram estabelecidas de acordo com testes realizados antes dos ensaios.

Os experimentos foram conduzidos de forma aleatória e os dados foram analisados por meio de múltiplas regressões usando o método dos quadrados mínimos. A função resposta (CFT) foi dividida em componentes linear, quadrático e a interação, e os dados foram ajustados a um modelo polinomial de segunda ordem, através da equação:  $Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^2 \beta_i x_i + \sum_{i=1}^2 \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i \neq j=1}^2 \beta_{ij} x_i x_j$ , onde Y é a resposta predita (CFT);  $\beta_0$  é o intercepto;  $\beta_i$ ,  $\beta_{ii}$  e  $\beta_{ij}$  são os coeficientes do modelo (linear, quadrático e

interação); e xi e xj são os níveis codificados das variáveis independentes. A partir do modelo ajustado, foram gerados gráficos de superfície resposta tridimensionais e gráficos de contorno para visualizar a relação entre a resposta e os níveis de cada fator e deduzir as condições ótimas.

### **Determinação de fenólicos totais**

Para a quantificação dos fenólicos totais foi utilizado o método de Folin-Ciocalteu<sup>[15]</sup>. O ensaio foi realizado adicionando 0,5 ml da amostra e 2,5 ml do reagente folin-ciocalteu 5% em tubo de ensaio. Após 5 minutos foram adicionados 2,0 ml de carbonato de sódio 4% e as amostras foram homogeneizadas em agitador de tubo e mantidas em ausência de luz durante 2 horas. Após este período foram realizadas as leituras a 740 nm em espectrofotômetro LGI SCIENTIFIC. Foi realizado um branco, utilizando água destilada no lugar da amostra e os ensaios foram realizados em triplicata. Os resultados foram calculados a partir de uma curva padrão de ácido gálico e expresso em microgramas equivalentes de ácido gálico (EAG) por miligrama de amostra ( $\mu\text{g}$  EAG/mg de amostra).

### **Determinação de flavonoides totais**

A determinação dos flavonoides totais foi realizada de acordo com Zhishen<sup>[16]</sup> com modificações. O ensaio constituiu da adição de 0,6 mL de amostra e 2,4 mL de solução cloreto de alumínio 0,1% em tubo de ensaio e mantido por 30 min a temperatura ambiente e na ausência de luz. Após este período, a leitura foi realizada em espectrofotômetro a 420 nm. O resultado foi calculado a partir de uma curva padrão de rutina e expresso em micrograma de equivalente de rutina (ER) por miligrama de amostra.

### **Determinação de taninos condensados**

Os taninos condensados foram determinados de acordo com Salgado et al.<sup>[17]</sup>. Para a reação foram adicionados em um tubo de ensaio 0,25 mL de amostra, 1,5 mL de vanilina 4% em metanol, e 0,75 mL de ácido clorídrico concentrado. A mistura reacional permaneceu em repouso por 15 minutos a temperatura ambiente e na ausência de luz. Após este período, a leitura foi realizada em espectrofotômetro a 500 nm. O resultado foi calculado a partir de uma curva padrão de catequina e expresso em micrograma de equivalente de catequina por miligrama de amostra.

### **Determinação da atividade antioxidante pelo método de sequestro do radical DPPH**

A análise pelo método de sequestro do radical DPPH (2,2-Diphenyl-1-picryl- hidrazil) foi realizada de acordo com Brand-Williams et al.<sup>[18]</sup>, com algumas modificações. A mistura reacional foi composta pela adição de 2,4 ml de solução etanólica de DPPH (29  $\mu\text{g}/\text{ml}$ ) e 0,6 ml de extrato. A mistura reacional foi homogeneizada e as leituras realizadas em espectrofotômetro a 516 nm até a absorbância se manter constante. Os resultados foram calculados a partir de uma curva analítica de Trolox ( $\pm$ ) -6-Hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-ácido carboxílico) e expresso em  $\mu\text{mol ET} \cdot \text{mg}^{-1}$  de amostra seca.

### **Determinação da atividade antioxidante pelo método de sequestro do radical ABTS**

A capacidade antioxidante pelo método de captura do radical ABTS (2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)) foi determinada conforme metodologia descrita por Rufino et al.<sup>[19]</sup>. A solução estoque do radical ABTS foi composta por 7 mM de ABTS com 140 mM de persulfato de potássio diluído em água e a mistura foi

mantida na ausência de luz e em temperatura ambiente por 16 h. A solução estoque foi diluída em álcool etílico até se obter uma absorbância de  $0,80 \pm 0,05$  a 734 nm. Para o ensaio, a reação foi composta por 15 µL de amostra e 1500 µL da solução de ABTS e a leitura realizada em espectrofotômetro a 734 nm após 6 min de reação. Os resultados foram calculados a partir de uma curva analítica de Trolox ((±) -6-Hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-ácido carboxílico) e expresso em µmol ET.mg<sup>-1</sup> de amostra seca.

## Resultados e Discussão

A extração dos compostos fenólicos em matriz vegetal por ultrassom assistida ocorre por ruptura na parede celular e liberação destes compostos. Assim, para avaliar a melhor condição da extração dos compostos fenólicos da farinha do resíduo de cupuaçu, foi aplicada a técnica estatística baseada no emprego de planejamentos fatoriais denominada de planejamento experimental do tipo de planejamento rotacional central (DCCR), a fim de avaliar o efeito das variáveis estudadas. Os resultados demonstraram que a extração foi influenciada tanto pela concentração do solvente como pela proporção soluto: solvente no processo por ultrassom assistida, utilizando a temperatura de 37°C por 1 hora. Os valores experimentais obtidos estão na **TABELA 1**.

**TABELA 1:** Variáveis codificadas, reais e respostas utilizadas no DCCR para extração dos Compostos Fenólicos.

Ensaio	Dados codificados		Dados reais		Resposta
	X1	X2	X1	X2	Fenólicos Totais (µg EAG/mg)
1	-1,00	-1,00	25:75	1:30	6,90 ± 0,07
2	-1,00	1,00	25:75	1:90	16,20 ± 0,11
3	1,00	-1,00	75:25	1:30	9,54 ± 0,04
4	1,00	1,00	75:25	1:90	16,57 ± 0,12
5	-1,41	0,00	15:85	1:60	7,64 ± 0,02
6	1,41	0,00	85:15	1:60	6,76 ± 0,06
7	0,00	-1,41	50:50	1:18	6,26 ± 0,12
8	0,00	1,41	50:50	1:102	19,00 ± 0,13
9	0,00	0,00	50:50	1:60	11,24 ± 0,05
10	0,00	0,00	50:50	1:60	13,66 ± 0,05
11	0,00	0,00	50:50	1:60	13,27 ± 0,22

\* X1 = concentração de etanol (%) e X2 = relação soluto: solvente (m/v)

Os resultados mostraram que o teor dos CFT variou de 6,26 a 19,0 µg GAE/mg de farinha de casca de cupuaçu, sendo o valor mínimo obtido no ensaio 7 (50% de etanol v/v; 1 de soluto para 18 de solvente m/v) e o maior valor obtido no experimento 8 (etanol 50% v/v; 1 de soluto para 102 de solvente m/v). Os dados experimentais foram ajustados a uma modelo polinomial de segunda ordem e os coeficientes de regressão foram calculados (**TABELA 2**).

**TABELA 2:** Efeitos e interações calculadas para gerar o modelo de extração dos compostos fenólicos.

Fatores	Efeito	Erro puro	t (5)	p-valor
Média	12,72	1,08	11,82	0,00
Etanol (Linear)	0,22	0,66	0,34	0,75
Etanol (Quadrática)	-2,16	0,78	-2,76	0,04
Soluto: Solvente (Linear)	4,29	0,66	6,52	0,00
Soluto: Solvente (Quadrática)	0,55	0,78	0,70	0,51
Etanol (L) x Solvente (L)	-0,57	0,93	-0,61	0,57

A tabela dos efeitos, juntamente com a ANOVA (**TABELA 3**), indica que o efeito quadrático de segunda ordem foi significativo ( $p \leq 0,05$ ) apenas para a concentração de etanol (X1) e o efeito linear de primeira ordem foi significativo ( $p \leq 0,05$ ) para a proporção soluto: solvente (X2), enquanto o efeito de interação das variáveis (X1\*X2) não foi significativo.

A equação da regressão em nível codificado retirando os efeitos insignificantes foi gerada (modelo reparametrizado), obtendo a seguinte equação:

$$Z = 13,24 - 2,33X1^2 + 4,29X2$$

**TABELA 3:** Análise de variância do modelo da extração dos compostos fenólicos.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	Fcal	p-valor (95%)
Regressão	180,90	2	90,45	34,84	0,0000
Resíduos	20,77	8	2,60		
Falta de ajuste	17,41	6	2,90	1,72	
Erro puro	3,36	2	1,68		
Total	201,67	10			

\*  $F_{2;8;0,05} = 4,46$ ;  $F_{6;2;0,05} = 19,33$ ;  $R^2 = 89,70\%$

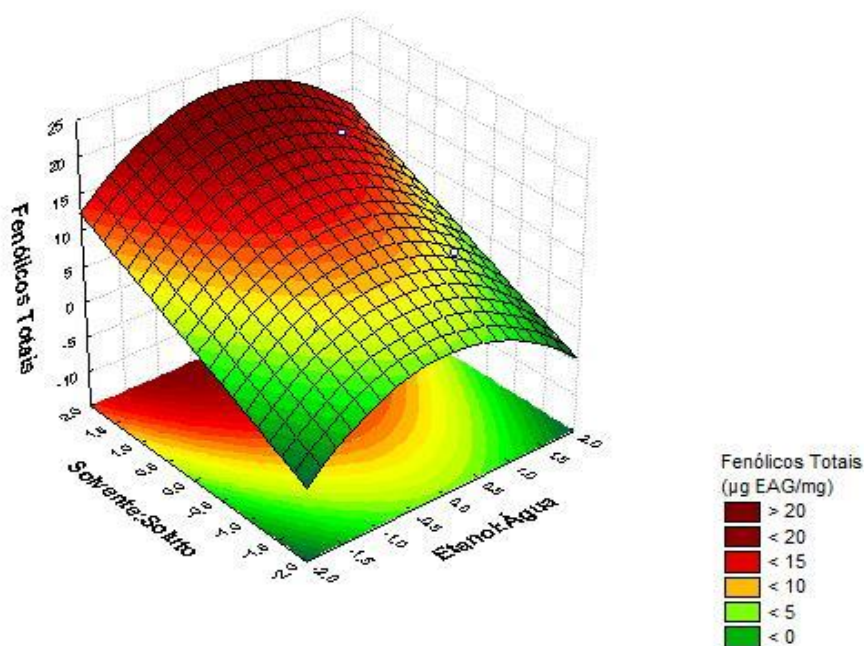
O resultado do ajuste do modelo polinomial de segunda ordem reduzido é apresentado na **TABELA 3**. A ANOVA mostrou que o modelo foi altamente significativo ( $p < 0,0000$ ), obtendo um bom ajuste e aceitável para prever com precisão as variações, devido a não significância da falta de ajuste. Além disso, com base no valor de  $R^2$  observa-se que o modelo pode explicar uma variação de 89,7%. Assim, os resultados indicam que o modelo obtido foi adequadamente ajustado aos dados experimentais, podendo ser utilizado para prever o CFT em diferentes condições de extração estudadas.

Para investigar os efeitos de interação entre as variáveis na extração de CFT, foi gerado um gráfico de superfície de resposta (**FIGURA 1**). A análise indicou que existe uma faixa ideal de concentração de etanol para a máxima recuperação de CFT, devido ao efeito quadrático negativo e significativo apresentado por essa

variável. Um aumento no teor de CFT foi observado com a elevação na concentração de etanol na faixa de 37,5 a 62,5%, sendo que a partir dessa concentração verificou-se um decréscimo no CFT (62,5 a 85% v/v).

A proporção soluto: solvente apresentou apenas efeito linear positivo e significativo, indicando que um aumento na proporção de solvente em relação ao soluto promove aumento proporcional na extração dos CFT da casca de cupuaçu, conforme observado na **FIGURA 1**.

**FIGURA 1:** Avaliação da extração dos compostos fenólicos por superfície de resposta codificada.

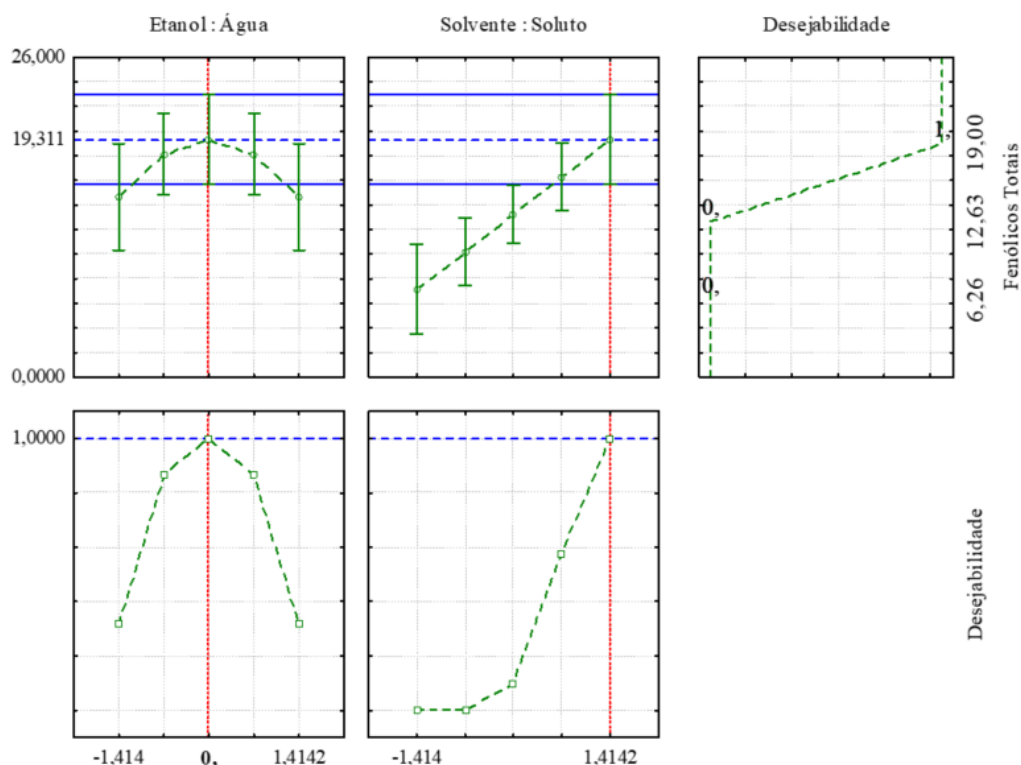


A análise dos valores ótimos para os parâmetros investigados foi realizada pela metodologia de otimização simultânea, empregando-se a função de desejabilidade conforme a **FIGURA 2**.

A concentração de etanol foi igual a 50% (valor codificado = 0) e a proporção da amostra em relação ao solvente foi 1:102 (m/v), como valores apontados pela função de desejabilidade como os que fornecem melhor razão sinal/ruído (nesse caso, igual a 19,311) e a desejabilidade global igual a 1,00. A partir dessa avaliação foi realizada a validação experimental do modelo matemático obtido por meio de ensaios em triplicata com o meio otimizado pelo planejamento experimental, onde as condições críticas da concentração de etanol foram de 50% (v/v) e a proporção soluto: solvente foi de 1:102 m/v a 37°C por 1 h em banho de ultrassom assistida. A média dos valores reais dos CFT da validação experimental foi de 18,08 ± 2,37, muito próxima ao valor predito pelo modelo matemático nas condições otimizadas que foi de 19,31 ± 3,64 µg de EAG/mg de farinha de casca de cupuaçu, confirmando que o modelo obtido foi capaz de prever satisfatoriamente o conteúdo de CFT extraídos.



FIGURA 2: Parâmetros de desejabilidade assumidos na otimização de compostos fenólicos totais.



Concentrações de etanol são determinantes para a extração dos compostos fenólicos devido à polaridade dos solventes, alterando-a, se promove uma maior extração dos compostos fenólicos presentes na matriz das plantas<sup>[20]</sup>. Concentrações inferiores a 25% são relatadas em outros trabalhos de frutas tropicais<sup>[21,22]</sup>, enquanto neste os valores variaram entre 6,90 e 16,20 µg GAE/mg a depender da razão entre soluto e solvente. Outros trabalhos relatam altas concentrações do solvente para as extrações do cupuaçu<sup>[23,24]</sup>, e neste trabalho as concentrações variaram de 6,76 a 16,57 µg GAE/mg, indicando que para a extração de compostos fenólicos da casca da fruta de cupuaçu, o aumento da apolaridade representa um leve aumento, de 0,37 µg GAE/mg, do teor desses compostos no extrato. Extrações utilizando o etanol 50% são frequentes no preparo de extratos vegetais com o interesse em prospectar compostos fenólicos<sup>[25,26]</sup>, no presente trabalho, essa porcentagem de etanol levou uma variação de CFT de 6,26 a 19,00 µg GAE/mg, sendo a proporção que se encontrou a melhor extração dos CFT da casca do cupuaçu. Nesse processo, essa matriz vegetal apresenta um perfil polar mais favorável para se obter uma extração otimizada dos compostos fenólicos.

No quesito razão entre soluto e solvente, valores com menores proporções apresentaram os maiores teores desses compostos bioativos, indicando que a maior quantidade de solvente favorece a solubilização evitando que haja uma saturação do meio<sup>[27]</sup>. O crescimento dessa bioatividade ao decorrer do aumento da razão, também é relatado por outros trabalhos analisando outras frutas<sup>[20,28]</sup>.

O delineamento experimental utilizado neste trabalho para calcular a proporção e razão para a extração de compostos fenólicos, não apenas mostrou ser eficiente, como em comparação com os resultados de outro trabalho para a casca do cupuaçu <sup>[25]</sup> que usou a razão 1:8 (soluto: solvente) com dois diferentes solventes, o metanol-acidificado (50%) e a acetona (70%), o valor otimizado nesta pesquisa mostrou-se 87% mais eficiente do que o encontrado em literatura. Já outro trabalho<sup>[21]</sup>, utilizando a casca e sementes, com a



proporção de 1:10 (soluto: solvente) em etanol 12% demonstrou ser significativamente mais eficiente para essa matéria-prima. Um estudo<sup>[22]</sup> utilizando a razão 1:5 (soluto: solvente) e etanol 20% relatam um teor de 7,4 µg GAE/mg, demonstrando menos eficiente, o que reforça o fato de que uma alta razão desfavorece a solubilização desses compostos, como previamente relatado.

**TABELA 4:** Análise de flavonoides totais, taninos condensados e capacidade antioxidante da casca de cupuaçu.

Amostra	Flavonoides (RE/mg)	Taninos condensados (CE/mg)	DPPH (µmol ET/mg)	ABTS (µmol ET/mg)
Casca de cupuaçu	11,29 ± 0,13	48,59 ± 1,36	519,86 ± 8,33	3149,95 ± 192,15

O resíduo demonstrou ser uma fonte rica de compostos com grande importância biológica como os flavonoides e taninos, além de uma alta atividade antioxidante (**TABELA 4**). Em relação aos flavonoides, os valores expressos são maiores para o resíduo do que relatado por trabalhos com a polpa ou licores do cupuaçu<sup>[22,25]</sup>, bem como sua atividade antioxidante<sup>[23-30]</sup>. Quando comparado a outros trabalhos com frutas tropicais, os valores de CFT e potencial antioxidante são próximos, como é o caso do caju, caimito, goiaba, mamão papaia, e outros<sup>[26,31]</sup>.

Comparando os valores otimizados de extração com trabalhos que envolvem a quantificação de compostos bioativos na polpa do cupuaçu<sup>[32,33]</sup> é possível observar que uma parte considerável da atividade antioxidante desse fruto está na casca, justificando seu uso comercial nas indústrias de alimentos, cosméticos, chocolate e bebidas<sup>[9]</sup>. Além disso, foi possível também verificar uma correlação direta entre compostos fenólicos e atividade antioxidante presente no resíduo.

## Conclusão

Foi possível extrair os compostos fenólicos da casca de cupuaçu por ultrassom assistida, utilizando o método DCCR, o qual foi eficiente na avaliação e na otimização da extração dos compostos fenólicos, sendo influenciado tanto pela concentração de etanol, como pela proporção de amostra e solvente na extração.

## Fontes de Financiamento

Nenhuma.

## Conflito de Interesses

Não há conflito de interesses.

## Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA).

## Colaboradores

Concepção do estudo: HAS; LESB; DKTM  
Curadoria dos dados: HAS; DKTM  
Coleta de dados: HAS; ASS; AFSV; KSO  
Análise dos dados: BAS; DKTM  
Redação do manuscrito original: HAS  
Redação da revisão e edição: DKTM; BAC; LESB.

## Referências

1. Giacometti DJ. **Recursos genéticos de fruteiras nativas do Brasil**. 1992; 1: 13-27. [<http://andorinha.epagri.sc.gov.br/consultawebsite/busca?b=ad&id=108450&biblioteca=vazio&busca=autor%22GIACOMETTI,%20D.%20C.%22&qFacets=autoria:%22GIACOMETTI,%20D.%20C.%22&sort=&paginaAtual=1>].
2. de Oliveira TB, Genovese MI. Chemical composition of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) and cocoa (*Theobroma cacao*) liquors and their effects on streptozotocin-induced diabetic rats. **Food Res Int**. 2013; 51 (2): 929-35. [<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.02.019>].
3. Souza A, Souza M, Pamplona A, Wolff ASJEO-CT. **Boas práticas na colheita e pós-colheita do cupuaçu**. 2011. [<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/917130/1/CircTec36.pdf>].
4. Lima MCF. **Caracterização de substâncias fenólicas e alcaloides dos resíduos do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (willd. Ex spreng.) Schum)**. Manaus. 2013. 132f. Dissertação de Mestrado [Programa de Pós-Graduação em Química] – Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, 2013. [<http://tede.ufam.edu.br/handle/tede/4405>].
5. Carvalho AV, García NHP, Amaya-Farfán J. Physico-Chemical properties of the flour, protein concentrate, and protein isolate of the Cupuassu (*Theobroma grandiflorum* Schum) Seed. **J Food Sci**. 2006; 71(8): S573-S8. [<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00156.x>].
6. Freitas EdC, Barreto ES, de Barros HEA, Silva ACM, da Silva MVJ. **Campina Grande. Processamento e caracterização físico-química de farinhas de resíduos de polpas de frutas congeladas da *Theobroma grandiflorum* e *Fragaria vesca***. 2015; 17(4): 425-32. [<http://www.deaq.ufcg.edu.br/rbpa/rev174/Art17410.pdf>].
7. Rodrigues BS. **Resíduos da agroindústria como fonte de fibras para elaboração de pães integrais**. São Paulo. 2010. Dissertação Mestrado [Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz] - Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP, 2010. [<https://doi.org/10.11606/d.11.2010.tde-20102010-104809>].
8. Anwar J. **Os efeitos do ácido cafeico e do éster fenetil do ácido cafeico sobre as atividades da acetilcolinesterase e das ecto-nucleotidases em ratos**. Santa Maria. 2013. 159p. Tese de doutorado [Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas: Bioquímica Toxicológica] - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS. 2013. [<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/4459>].
9. Avila-Sosa R, Montero-Rodríguez AF, Aguilar-Alonso P, Vera-López O, Lazcano-Hernández M, Morales-Medina JC et al. Antioxidant properties of amazonian fruits: a mini review of *in vivo* and *in vitro* studies. **Oxid Med Cell Longev**. 2019; 2019: 8204129. [<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30911350/>].
10. Silva CEDLD, Valota R, Gebara KS, Silva RCDLD, Simionatto E. Avaliação da atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos em extrato metanólico obtido de folhas da *Commiphora Myrrha*. **Semina: Ciênc Exatas Tecnol**. 2013; 34(1): 117-24. [<https://biblat.unam.mx/pt/revista/semina-ciencias-exatas-e>].

[tecnologicas/articulo/avaliacao-da-atividade-antioxidante-e-teor-de-compostos-fenolicos-em-extrato-metanolico-obtido-de-folhas-da-commiphora-myrrha](#)].

11. Katz DL, Doughty K, Ali A. Cocoa and chocolate in human health and disease. **Antioxid Redox Signaling**. 2011; 15(10): 2779-811. [<https://doi.org/10.1089/ars.2010.3697>] [<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21470061/>].
12. Wang JF, Schramm DD, Holt RR, Ensunsa JL, Fraga CG, Schmitz HH et al. A dose-response effect from chocolate consumption on plasma epicatechin and oxidative damage. **J Nutr**. 2000; 130(8S-Suppl): 2115s-9s. [<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10917932/>].
13. Weisburger JH. Chemopreventive effects of cocoa polyphenols on chronic diseases. **Exp Biol Med (Maywood)**. 2001; 226(10): 891-7. [<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11682694/>].
14. Galanakis CM, Tornberg E, Gekas V. Recovery and preservation of phenols from olive waste in ethanolic extracts. **Biotechnol Prog**. 2010; 85(8): 1148-55. [<https://doi.org/10.1002/ctb.2413>].
15. Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventós RM. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. **Meth Enzymol**. 299: Academic Press; 1999. p. 152-78. [[https://doi.org/10.1016/s0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/s0076-6879(99)99017-1)].
16. Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. **Food Chem**. 1999; 64(4): 555-559. [[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)].
17. Salgado JM, Rodrigues BS, Donado-Pestana CM, Morzelle MC. Cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) peel as potential source of dietary fiber and phytochemicals in Whole-Bread preparations. **PI Foods Hum Nutr**. 2011; 66(4): 384-390. [<https://doi.org/10.1007/s11130-011-0254-0>].
18. Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Sci Technol**. 1995; 28(1): 25-30. [[http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)].
19. Rufino MSM, Alves RE, Brito ES, Morais SM, Sampaio CG, Pérez-Jiménez J et al. **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS\***. Embrapa Agroindústria Tropical, Ed. 1, 2007; p. 1-4, ISSN 1679-6535. [[https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAT/10225/1/Cot\\_128.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAT/10225/1/Cot_128.pdf)].
20. Chen S, Zeng Z, Hu N, Bai B, Wang H, Suo Y. Simultaneous optimization of the ultrasound-assisted extraction for phenolic compounds content and antioxidant activity of *Lycium ruthenicum* Murr. Fruit Using Response Surface Methodology. **Food Chem**. 2018; 242: 1-8. [<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.105>] [<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29037664/>].
21. Barros RGC, Pereira UC, Andrade JKS, de Oliveira CS, Vasconcelos SV, Narain N. *In vitro* gastrointestinal digestion and probiotics fermentation impact on bioaccessibility of phenolics compounds and antioxidant capacity of some native and exotic fruit residues with potential antidiabetic effects. **Food Res Int**. 2020; 136: 109614. [<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109614>] [<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32846632/>].
22. Sousa, MSB, Vieira LM, Lima AD. Fenólicos totais e capacidade antioxidante *in vitro* de resíduos de polpas de frutas tropicais. **Braz J Food Technol**. 2011; 14 (03): 202-10. [<https://doi.org/10.4260/BJFT2011140300024>].
23. Carmona-Hernandez J, Le M, Idárraga-Mejía A, Gonzalez-Correa C. Flavonoid/Polyphenol Ratio in *Mauritia flexuosa* and *Theobroma grandiflorum* as an indicator of effective antioxidant action. **Molecules**. 2021; 26: 6431. [<https://doi.org/10.3390/molecules26216431>] [<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34770839/>].

24. Tauchen J, Bortl L, Huml L, Miksatkova P, Duskocil I, Marsik P et al. Phenolic composition, antioxidant and anti-proliferative activities of edible and medicinal plants from the Peruvian Amazon. **Rev Bras Farmacogn.** 2016; 26(6): 728-37. [<https://doi.org/10.1016/j.bjp.2016.03.016>].
25. Contreras J, Calderón-Jaimes L, Guerra-Hernández E, Garcia-Villanova B. Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. **Food Res Int.** 2011; 44: 2047-53. [<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.003>].
26. Moo-Huchin VM, Moo-Huchin MI, Estrada-León RJ, Cuevas-Glory L, Estrada-Mota IA, Ortiz-Vázquez E et al. Antioxidant compounds, antioxidant activity and phenolic content in peel from three tropical fruits from Yucatan, Mexico. **Food Chem.** 2015; 166: 17-22. [<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.127>] [<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25053022/>].
27. He B, Zhang LL, Yue XY, Liang J, Jiang J, Gao XL et al. Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of phenolic compounds and anthocyanins from blueberry (*Vaccinium ashei*) wine pomace. **Food Chem.** 2016; 204: 70-6. [<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.094>] [<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26988477/>].
28. Belwal T, Dhyani P, Bhatt ID, Rawal RS, Pande V. Optimization extraction conditions for improving phenolic content and antioxidant activity in *Berberis asiatica* fruits using response surface methodology (RSM). **Food Chem.** 2016; 207: 115-24. [<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.081>] [<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27080887/>].
29. Dantas AM, Mafaldo IM, Oliveira PML, Lima MS, Magnani M, Borges GSC. Bioaccessibility of phenolic compounds in native and exotic frozen pulps explored in Brazil using a digestion model coupled with a simulated intestinal barrier. **Food Chem.** 2019; 274: 202-14. [<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.099>] [<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30372928/>].
30. Pugliese AG, Tomas-Barberan FA, Truchado P, Genovese MI. Flavonoids, Proanthocyanidins, Vitamin C, and Antioxidant Activity of *Theobroma grandiflorum* (Cupuassu) Pulp and Seeds. **J Agricult Food Chem.** 2013; 61(11): 2720-8. [<https://doi.org/10.1021/jf304349u>] [<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23431956/>].
31. Silva LMR, Figueiredo EAT, Ricardo NMPS, Vieira IGP, Figueiredo RW, Brasil IM et al. Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. **Food Chem.** 2014; 143: 398-404. [<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.001>] [<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24054258/>].
32. Santos GM, Maia GA, Sousa PHM, Figueiredo RW, Costa JMC, Fonseca AVV. Atividade antioxidante e correlações com componentes bioativos de produtos comerciais de cupuaçu. **Ciência Rural.** 2010; 40(7): 1636-42. [<https://doi.org/10.1590/s0103-84782010005000103>].
33. Kuskoski EM, Asuero AG, Troncoso AM, Mancini-Filho J, Fett R. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. **Ciênc Tecnol Alim.** 2005; 25(4): 726-32. [<https://doi.org/10.1590/s0101-20612005000400016>].

---

Histórico do artigo | Submissão: 30/11/2021 | Aceite: 21/12/2022 | Publicação: 30/09/2023

Como citar este artigo: Silva HAL, Moreira DKT, Santos AS, Viana AFS et al. Otimização da extração de compostos fenólicos do resíduo agroindustrial de Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Wild. ex. spreng) K. Schum) da amazônia. **Rev Fitos.** Rio de Janeiro. 2023; 17(3): 376-387. e-ISSN 2446.4775. Disponível em: <<http://revistafitos.far.fiocruz.br/index.php/revista-fitos/article/view/1383>>. Acesso em: dd/mm/aaaa.

Licença CC BY 4.0: Você está livre para copiar e redistribuir o material em qualquer meio; adaptar, transformar e construir sobre este material para qualquer finalidade, mesmo comercialmente, desde que respeitado o seguinte termo: dar crédito apropriado e indicar se alterações foram feitas. Você não pode atribuir termos legais ou medidas tecnológicas que restrinjam outros autores de realizar aquilo que esta licença permite.

