

Extração assistida por ultrassom de compostos do subproduto do Palmito Pupunha (Bainha mediana)

Ultrasound-assisted extraction of compounds from the peach palm heart BY-product (Median sheath)

Isabella Carolina Zampar¹, Gabriella Giovana Zampar¹, Natália Stevanato², Beatriz Cervejeira Bolanho Barros³, Camila da Silva⁴

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da extração assistida por ultrassom (EAU) na obtenção de açúcares solúveis (AS), a partir do subproduto de palmito pupunha e caracterizar o extrato obtido quanto à composição de fenóis e potencial antioxidante. Avaliou-se o efeito da razão amostra/solvente na extração dos AS, em seguida aplicou-se um planejamento experimental Box-Behnken para avaliar o efeito das variáveis independentes (pH, temperatura e tempo). A extração convencional em agitador orbital (EAO) foi conduzida para efeito comparativo. Os extratos aquosos também foram caracterizados quanto ao teor e composição de fenólicos e atividade antioxidante. A solubilidade dos açúcares na água foi maior na razão amostra/água de 2,5 mg mL⁻¹. A partir das respostas do planejamento experimental adotado verificou-se maior obtenção de AS em pH = 4,0, temperatura de 35 °C e tempo de extração de 5 minutos, os quais resultaram na remoção de 16,44 g 100 g⁻¹ de AS. Além disso, o método EAU apresentou maior eficácia na remoção dos AS (15,23 g 100 g⁻¹) e de compostos fenólicos totais (308,51 mg 100 g⁻¹) em comparação ao método de extração por agitação orbital (EAO). No entanto, em relação à atividade antioxidante, os métodos ABTS⁺ e FRAP não apresentaram diferença significativa entre EAU e EAO. Foi possível detectar cinco ácidos fenólicos presentes na bainha mediana do palmito pupunha cujos teores foram similares nas extrações realizadas por EAU e EAO.

Palavras-chave: Açúcares solúveis. Atividade antioxidante. Cavitação. Compostos fenólicos.

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the effect of ultrasound-assisted extraction (UAE) in obtaining soluble sugars (SS) from the peach palm by-product and to characterize the extract obtained in terms of phenol composition and antioxidant potential. The effect of the sample/solvent ratio on the extraction of AS was evaluated, then a Box-Behnken experimental design was applied to evaluate the effect of the independent variables (pH, temperature and time). Conventional extraction in an orbital shaker (EOS) was conducted for comparative purposes. The aqueous extracts were also characterized in terms of phenolic content and composition and antioxidant activity. The solubility of sugars in water was higher in the sample/water ratio of 2.5 mg mL⁻¹. Based on the responses of the experimental design adopted, it was found that SA was obtained at pH = 4.0, temperature of 35 °C and extraction time of 5 minutes, which resulted in the removal of 16.44 g 100 g⁻¹ of AT. Furthermore, the UAE method was more effective in removing SS (15.23 g 100 g⁻¹) and total phenolic compounds (308.51 mg 100 g⁻¹) compared to the orbital agitation extraction method (EOS). However, in relation to antioxidant activity, the ABTS⁺ FRAP methods did not show a significant difference between UAE and EOS. It was possible to detect five phenolic acids presents in the middle sheath of the peach palm heart, whose contents were similar in the extractions performed by UAE and EOS.

Keywords: Antioxidant activity. Cavitation. Phenolic compounds. Soluble sugars.

Autor correspondente: Camila da Silva
E-mail: camiladasilva.eq@gmail.com

Recebido em: 06/03/2022
Aceito em: 09/11/2022

¹ Mestrado em Ciências Agrárias pela Universidade Estadual de Maringá (UEM), Departamento de Ciências Agrônomicas, câmpus regional de Umuarama (PR), Brasil.

² Mestrado em Bioenergia pela Universidade Estadual de Maringá (UEM), departamento de engenharia química, Maringá (PR), Brasil.

³ Doutorado em Ciência e Tecnologia em Alimentos pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Professor Adjunto da Universidade Estadual de Maringá, câmpus regional de Umuarama (PR), Brasil.

⁴ Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Professor Adjunto da Universidade Estadual de Maringá, câmpus regional de Umuarama (PR), Brasil.

INTRODUÇÃO

A pupunheira é uma palmeira que vem destacando-se por ser cultivada em plantios ordenados e aponta grande vantagem a sua possibilidade de cortes consecutivos e o não escurecimento acelerado após o corte, circunstância que simplifica a produção e o processamento. Além dessas características, tanto no comércio externo quanto interno, os consumidores estão se conscientizando progressivamente sobre a necessidade de consumir produtos agroalimentares de ótima qualidade, de origem renomada e explorada dentro das concepções da sustentabilidade. Essas circunstâncias proporcionam um excelente mercado para o palmito da pupunha (PENTEADO JUNIOR; SANTOS; NEVES, 2014).

Os subprodutos agroindustriais referem-se a resíduos provenientes do processamento industrial de produtos agrícolas. Há um interesse de utilização desses resíduos, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, em razão da grande disponibilidade e pela sua composição ser repleta de compostos que podem ser utilizados em diversos outros processos. O aproveitamento dos resíduos baseia-se no fato de que, primeiro, pode-se usar como matéria-prima de baixo custo para a produção de outros produtos de valor agregado, a fim de tornar o processo econômico e controlar a poluição ambiental (PANESAR; KAUR; PANESAR, 2015).

Inúmeras agroindústrias procederam ao aproveitamento de resíduos na produção de subprodutos, considerando os valores agregados aos produtos (COSTA FILHO *et al.*, 2017). No caso da pupunheira, o acúmulo de resíduos gerados após a extração do palmito representa 80 a 90% do seu peso bruto, que se dá a partir do corte total da palmeira, em que somente a bainha interna é utilizada para comercialização. As folhas, o caule e as bainhas externas são descartados logo após a colheita e as bainhas medianas são descartadas no processo de industrialização do palmito (GRAEFE *et al.*, 2013). As bainhas externas e medianas apresentam características desfavoráveis para a industrialização e comercialização, por serem fibrosas, de cor escura e de difícil digestão (OLIVEIRA *et al.*, 2010; SCHMIDT *et al.*, 2010). A utilização das bainhas residuais de pupunha pode ser uma alternativa para a minimização de resíduos para a indústria de alimentos.

Em estudos realizados com o subproduto do palmito pupunha a fim de gerar uma alternativa de valor para a indústria de conservas, transformou-se esse subproduto em farinha, obtendo um alimento funcional de relevância. Bolanho, Danesi e Beléia (2014) detectaram na farinha produzida com a bainha mediana do palmito pupunha cerca de 12 g 100 g⁻¹ de açúcares totais. Assim, seria interessante realizar sua remoção tendo em vista as recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS), quanto à diminuição (recomenda-se reduzir a ingestão de açúcares livres a menos de 10% da ingestão calórica total) e restrição de açúcares agregados aos alimentos (OMS, 2015). Ao mesmo tempo, a extração de açúcares pode ser interessante

para fins comerciais, como a glicose, que pode ser utilizada como matéria-prima em reações de fermentação para produção de etanol (AMOAHA *et al.*, 2019).

Em relação ao efeito dos alimentos sobre a saúde humana, é importante destacar aqueles que apresentam açúcares em sua composição, distinguindo-se dois tipos de açúcares: aqueles encontrados naturalmente nos alimentos (frutose, sacarose, lactose) e aqueles extraídos de alimentos para futuramente serem utilizados na fabricação de alimentos processados. Levy *et al.* (2012) atribuíram ao termo “açúcares” um grupo de compostos constituídos por átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio, no qual se subdividem em monossacarídeos (glicose, frutose e galactose) e dissacarídeos (sacarose, maltose e lactose).

As técnicas clássicas de extração geralmente apresentam algumas desvantagens como baixo rendimento, alto consumo de solvente e longo tempo de processo. Devido a esses fatores, tecnologias alternativas de extração estão sendo investigadas para superar ou minimizar esses inconvenientes (ALBERO; TADEO; PÉREZ, 2019). Entretanto, o uso dessas técnicas requer a investigação de diferentes condições, visando à máxima obtenção dos compostos de interesse.

Atualmente, a implementação de tecnologias modernas de extração ambientalmente corretas vem oferecendo economia de energia, ocasionando destaque na indústria de alimentos (YAO; PAN; LIU, 2020). Um meio de extração que alcançou grande destaque é a extração assistida por ultrassom (EAU), pois refere-se a uma metodologia de otimização de processo (SHIRSATH; SONAWANE; GOGATE, 2012) capaz de obter notáveis taxas de extração em tempos reduzidos (KHAN *et al.*, 2010). Os efeitos que as ondas ultrassônicas de alta potência possuem sobre características físicas, bioquímicas e nas propriedades dos alimentos têm se destacado no campo da pesquisa. Essa nova tecnologia “verde” é também destacada em aplicações de sustentabilidade ambiental (CHEMAT; ZILL-E-HUMA; KHAN, 2011). O mecanismo de ação da EAU se deve ao efeito da cavitação acústica, o qual está associado à formação, crescimento, colapso e implosão das bolhas de cavitação. Como consequência, ocorre a indução ou combinação de fenômenos como transferência de massa, fragmentação, força de cisalhamento e aumento da porosidade da matriz vegetal. Dessa forma, elevados rendimentos podem ser obtidos em curtos períodos de extração (KUMAR; SRIVASTAV; SHARANAGAT, 2021).

Diante do contexto apresentado, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da extração assistida por ultrassom (EAU) para a obtenção dos açúcares solúveis (AS) a partir do subproduto de palmito pupunha (bainha mediana). Para tal fim, avaliou-se o efeito da razão amostra/solvente, tempo, pH e temperatura no teor de sacarose, glicose e frutose. A extração convencional em agitador orbital (EAO) foi conduzida para efeito comparativo e realizou-se a caracterização do extrato aquoso quanto ao teor de compostos fenólicos totais, a composição dos mesmos e a atividade antioxidante entre EAU e EAO.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

Para a realização dos experimentos, utilizou-se palmito pupunha doado pela empresa Agro Industrial Vila Planalto Ltda., localizada na cidade de Cruzeiro do Oeste (PR), água destilada (pH 6,68), ácido cítrico (Nuclear) e fosfato dissódico (Neon). Para caracterização do extrato aquoso, utilizou-se: acetonitrila (Honeywell, Riedel-de Haen), água ultrapura (Simplicity® Water Purification System, 18,2 MΩ•cm), tampão acetato, TPTZ (2,4,6-tri (2-piridil) -1,3,5-triazina), persulfato de potássio, álcool etílico, ABTS⁺, reativo Folin - Ciocalteu, ácido fórmico, metanol, padrões cromatográficos dos ácidos gálico, cumárico, vanílico, ferúlico, cafeico, siríngico, trans-cinâmico, hidroxibenzóico e clorogênico adquiridos da Sigma-Aldrich (99,9%) e padrões de sacarose, frutose, glicose (Sigma Aldrich, 99,9%).

2.2 OBTENÇÃO E PREPARO DA MATÉRIA-PRIMA

Para o preparo da amostra, realizou-se o procedimento conforme descrito por Bolanho, Danesi e Beléia (2014). As hastes do palmito pupunha foram cortadas em pequenos filetes, aproximadamente entre 1,5 e 2 cm e colocadas em bandejas desidratando-as em estufa de circulação de ar forçado (Marconi, MA 035) a 60 °C por aproximadamente 30 horas, apresentando ao final da secagem umidade de 8,99% ± 0,05.

O material seco foi triturado em moinho de facas tipo Willye (Solab, SL-031), passando em seguida pela análise granulométrica, que consiste na agitação por conjunto de peneiras do tipo Tyler (Bertel ASTM), sujeito a vibração por 10 min para a obtenção de partículas com diâmetro médio de 400 µm (diâmetro selecionado após testes preliminares).

2.3 EXTRAÇÃO DE AÇÚCARES SOLÚVEIS (AS)

A extração assistida por ultrassom (EAU) foi realizada em banho ultrassônico com contato indireto (Q 5.9/25A, Ultronique), utilizando potência máxima de 99 W e temperatura de 50 °C. Nos experimentos, pesou-se 125, 250, 500 e 750 mg de amostra, estabelecidos previamente através de testes preliminares de granulometria, tempo e temperatura de extração, onde adicionou-se 50 mL de água destilada (razão amostra/solvente de 2,5, 5, 10 e 15 mg mL⁻¹, respectivamente) em cada Erlenmeyer (250 mL). Os experimentos foram realizados de forma destrutiva nos tempos de 0,5, 1, 2, 5, 10, 15 e 20 minutos.

Para a avaliação do efeito das variáveis de processo (pH, temperatura e tempo) e determinação das condições de máxima extração dos AS foi empregado um planejamento experimental fatorial Box-Behnken, com três níveis e três variáveis, gerado pelo *software* Statistica 8.0 (STATSOFT™, Inc.), conforme apresentado na Tabela 1. Três repetições no ponto central do planejamento foram utilizadas para estimar o erro experimental.

Tabela 1. Variáveis e níveis utilizados no planejamento experimental Box-Behnken para determinação das condições de máxima extração dos açúcares solúveis

Variáveis	Nível		
	Baixo (-1)	Central (0)	Alto (1)
pH	4	6	8
Temperatura (°C)	35	50	65
Tempo (min)	5	10	15

A análise de variância (ANOVA) foi realizada para a avaliação dos efeitos das variáveis independentes (com intervalo de confiança de 95%) nos resultados e a análise de regressão para o ajuste dos dados experimentais a um modelo polinomial empírico de segunda ordem, incluindo os termos de interação linear (Equação 1).

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{ij} X_i X_j \quad (1)$$

Onde: β_0 , β_i , β_{ii} e β_{ij} são os coeficientes de regressão (β_0 = termo constante; β_i = efeito linear; β_{ii} = efeito quadrático; β_{ij} = termo de interação linear) e Y é a variável de resposta observada nos experimentos. X_i e X_j são as variáveis independentes.

As alterações de pH foram estabelecidas conforme Kuila *et al.* (2011), em que empregaram variação de pH de 4 a 8 na extração de AS e apontaram maiores taxas de extração conforme a redução dos valores do pH. Para as variações da faixa de temperatura, fundamentou-se no estudo realizado por Rayo-Mendez, Gómez e Tadini (2019), em que fizeram uso das temperaturas de 25 °C e 65 °C, evidenciando que a maior temperatura favoreceu o processo de extração dos açúcares solúveis. Outro estudo no qual fundamentou-se a faixa de temperaturas a serem utilizadas foi aquele realizado por Donadone *et al.* (2020), em que empregou-se temperaturas de 30, 45 e 60 °C.

O teor máximo de AS no material foi determinado através do método convencional de extração reportado por Iwassa *et al.* (2019), que realizaram utilizando incubadora de agitação orbital (Marconi, MA 830/A), na rotação de 140 rpm e temperatura de 35 °C. Nestes testes, foi

adotada a razão amostra/solvente de 2,5 mg mL⁻¹ (estabelecido por meio de testes preliminares) e tempo de 5 minutos.

Após o tempo de extração, as suspensões foram filtradas e os filtrados foram coletados em tubos Falcon e armazenados sob congelamento até a realização das análises.

2.4 CARACTERIZAÇÃO DO EXTRATO AQUOSO

Para a quantificação do teor de açúcares solúveis (frutose, glicose e sacarose) as amostras foram filtradas (Filtrilo, membrana hidrofóbica PVDF, diâmetro de 25 mm e de poro 0,25 µm) e analisadas por cromatografia líquida de alta eficiência (UFLC, LC 20AD, Prominence, Shimadzu) utilizando detector de índice de refração diferencial (RID-20A, Shimadzu).

Fez-se uso de coluna analítica Shim-pack GIST NH₂ (250 x 4,6 mm x 5µm, Shimadzu), a qual foi mantida a 40 °C em forno de coluna (CTO-20A, Shimadzu) e o volume de injeção foi de 10 µL (amostrador automático SIL-10A, Shimadzu). A fase móvel foi uma mistura (80:20, vv⁻¹) de acetonitrila (Honeywell, Riedel-de Haen) e água ultrapura (milli-Q), na vazão de 1 mL min⁻¹ em modo isocrático, por 15 minutos. A análise dos cromatogramas foi realizada usando o *software* Lab Solution Single Lite. As curvas padrão foram obtidas com concentrações de 0,62 a 16,7 mg mL⁻¹ de glicose, frutose e sacarose, apresentando coeficiente de regressão (R²) de 0,99.

Nas condições de máxima extração de AS, foram avaliados os compostos fenólicos totais, o potencial antioxidante e avaliação dos ácidos fenólicos.

O método do poder antioxidante de redução do ferro (FRAP), de acordo com Benzie e Strain (1996), foi realizado com algumas adaptações. A solução do reagente FRAP foi obtida a partir da mistura de 25 mL da solução tampão acetato 0,30 mM pH 3,6, 2,50 mL de uma solução TPTZ (2,4,6-tri (2-piridil)-1,3,5-triazina) 10 mM em HCl 40mM e 2,50 mL de cloreto férrico 20 mM. Em um tubo de ensaio foram adicionados 90 µL de cada extrato devidamente diluído, 0,27 mL de água destilada e 2,70 mL do reagente FRAP. Após a homogeneização, as amostras foram incubadas a 37 °C por 30 min e a leitura realizada a 595 nm. A curva de calibração foi preparada com solução de Trolox com concentrações entre 0,20 a 0,75 mM e os resultados foram expressos em µmol de Trolox por g de amostra (base seca).

A determinação antioxidante pelo método do radical livre ABTS⁺, descrita por Thaipong *et al.* (2006), foi realizada com modificações. O radical ABTS⁺ foi preparado a partir da reação de 10 mL da solução estoque de ABTS⁺ 7 mM com 0,18 mL da solução de persulfato de potássio 140 mM. A mistura foi armazenada em frasco âmbar em temperatura ambiente por 16 horas. Foi preparada uma solução etanólica de ABTS⁺, a partir da mistura de 1 mL da solução

reserva com 100 mL de álcool etílico, até se obter absorvância de $0,70 \pm 0,50$ nm a 734 nm. A partir desta, em um tubo de ensaio foram adicionados 30 μ L de cada extrato devidamente diluído para 3 mL da solução ABTS⁺. Após 6 min de reação, foi realizada a leitura a 734 nm utilizando álcool etílico como branco. A curva de calibração da atividade foi preparada com solução de Trolox com concentrações entre 0,10 a 2 mM e os resultados foram expressos em μ mol de equivalente de Trolox por g de amostra (base seca).

A quantificação de compostos fenólicos totais (CFT) foi determinada pelo ensaio Folin-Ciocalteu, conforme descrito por Shahidi e Zhong (2015), em duplicata. Primeiramente, uma alíquota de 0,5 mL dos extratos foi adicionada a tubos de ensaio contendo 2,5 mL de solução aquosa do reativo Folin-Ciocalteu a 10% e 2,0 mL de carbonato de sódio a 7,5%. A mistura foi mantida por 5 min em banho-maria (Kacil BM02) a 50 °C; em seguida, a absorvância foi medida a 760 nm no espectrofotômetro (Femto 700plus). A concentração total de fenóis de cada extrato foi quantificada por meio de uma curva padrão preparada com ácido gálico utilizando concentrações entre 0,1 a 0,7 mM, apresentando coeficiente de regressão (R^2) de 0,99. Os resultados foram expressos em mg de equivalente de ácido gálico (EAG) por 100 g de amostra (base seca).

O perfil dos ácidos fenólicos foi determinado por HPLC 20A (Prominence, Shimadzu), composto por detector de UV (SPD-20A, Shimadzu), utilizando comprimento de onda de 280 e 320 nm. Um forno de coluna (CTO-20A, Shimadzu) mantém a coluna C-18 (Shim-pack CLC-ODS (H)TM, 25 cm x 4,6 mm x 5 mm, Shimadzu) a 25 °C. Com o auxílio de um injetor manual (SIL-10A, Shimadzu) foram adicionados 20 μ L de cada extrato por vez, e uma bomba quaternária (LC-20AT, Shimadzu) foi operada a uma vazão de 0,8 mL min⁻¹. Para as fases móveis foi adicionado ácido fórmico à água ultrapura (0,05%, v/v) e ao metanol (0,1%, v/v), sendo denominadas de A e B, respectivamente, que foram usadas da seguinte forma: 0,01 min a 5,00 min - 20% B, 5,00 min a 25,00 min - 50% B, 25,00 min a 30,00 min - 80% B, 35,01 min a 40,00 min - 100% B. Para a quantificação, foram preparadas soluções dos ácidos gálico, cumárico, vanílico, ferúlico, cafeico, siríngico, trans-cinâmico, hidroxibenzóico e clorogênico (1 mg mL⁻¹ a 10 mg mL⁻¹) para estabelecer as curvas de calibração, sendo os resultados expressos em mg por 100 g de amostra (base seca).

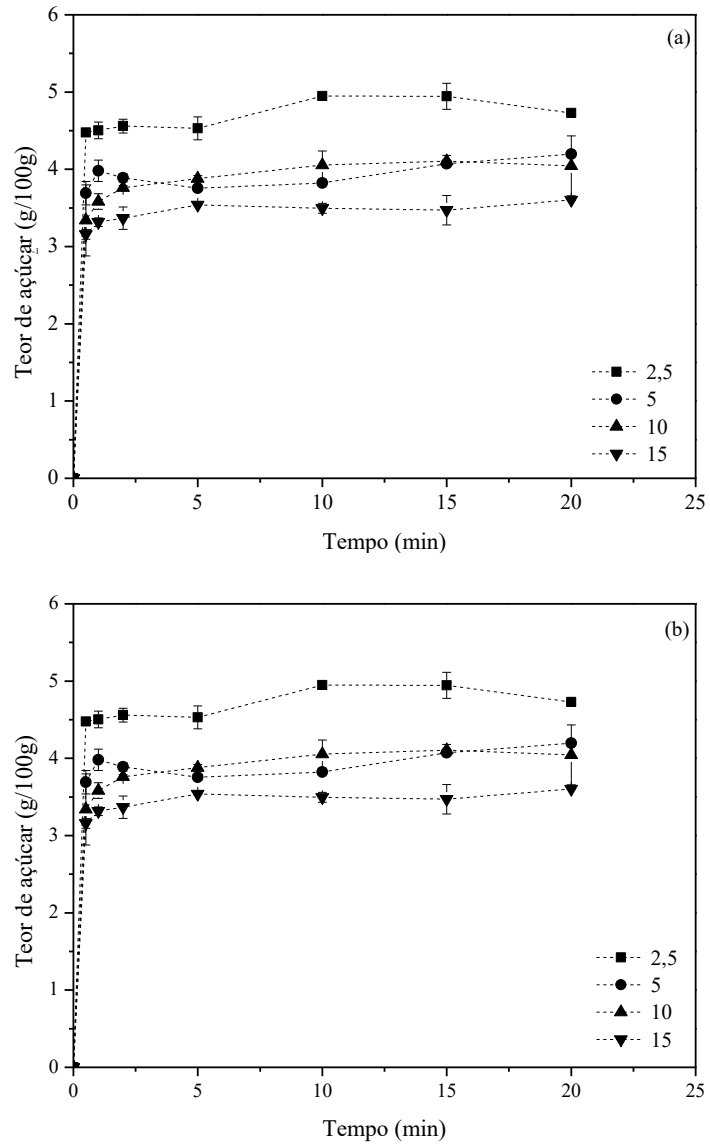
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 EXTRAÇÃO ASSISTIDA POR ULTRASSOM: EFEITO DA RAZÃO AMOSTRA/SOLVENTE

O efeito da razão amostra/solvente, 2,5 a 15 mg mL⁻¹, na remoção da frutose, glicose,



sacarose e açúcares totais do subproduto foi avaliado nos tempos de 0,5 a 20 min a 50 °C, como mostra a Figura 1.



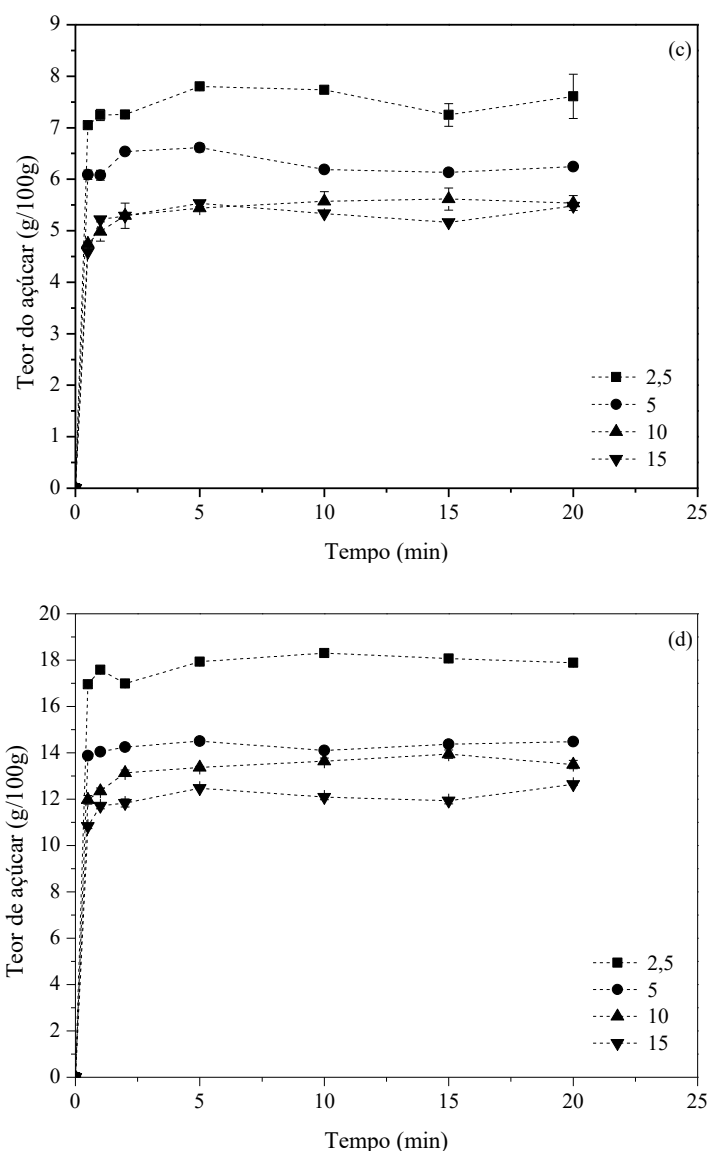


Figura 1. Cinética da extração assistida por ultrassom da frutose (a), glicose (b), sacarose (c) e de açúcares totais (d) em diferentes razões amostra/solvente ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) na temperatura de $50 \text{ }^\circ\text{C}$ do subproduto (bainha mediana) do palmito pupunha.

A partir da análise dos dados apresentados na Figura 1 constatou-se maior remoção de frutose (26%), glicose (32%), sacarose (42%), respectivamente, na menor razão amostra/solvente (cerca de $5 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ para frutose e glicose e aproximadamente $8 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ para sacarose extraídos). Com o aumento de razão massa/solvente (2,5 para 5 mg mL^{-1}), a extração dos açúcares das amostras diminuiu aproximadamente 23% (Figura 1d), assim verificou-se maior taxa de extração de açúcares na menor razão, justificado por apresentar maior facilidade de transferência de massa e de calor promovendo a penetração do solvente nas amostras, tornando o meio de extração mais eficaz.

De forma semelhante, Park *et al.* (2019) avaliaram as condições ideais para extração de açúcares da uva japonesa (*Hovenia dulcis*), e observaram que o rendimento de extração de

açúcares redutores diminuiu com o aumento do substrato do *H. dulcis*. O mesmo fato é evidenciado no presente estudo com o palmito pupunha, cujo rendimento da extração dos açúcares diminuiu com o aumento da razão amostra/solvente.

No presente estudo, foi possível obter um teor máximo de açúcares totais extraídos: 18,30 g 100 g⁻¹ para a menor razão estudada (2,5 mg mL⁻¹). Valores inferiores de açúcares totais foram reportados por Giombelli *et al.* (2020), 14,65 g 100 g⁻¹ por extração em água subcrítica, e Donadone *et al.* (2020), 16,68 g 100 g⁻¹ por extração em ultrassom, ambos utilizando outro subproduto de palmito pupunha (porção caulinar).

Wang *et al.* (2020) avaliaram a influência do tratamento com ultrassom nas propriedades do suco de kiwi em distintos tempos (0, 4, 8, 12 e 16 minutos). Os resultados demonstraram que com o aumento de tempo no processamento, aumentou-se também o rendimento de frutose e glicose das amostras. No entanto, no presente estudo, o decorrer de tempo no processo não alterou o rendimento da extração (0,5-20 minutos). É de interesse obter rendimentos e resultados de extrações em curtos períodos. É possível observar que não houve influência ao transcorrer o tempo de extração como reportado na Figura 1, a qual evidencia que o uso do ultrassom é eficiente já no início da remoção dos AS (5 minutos), um bom indicativo, já que o ultrassom refere-se a uma técnica de extração promissora e sustentável para obtenção de resultados em reduzidos tempos.

A proporção entre os açúcares no extrato aquoso não foi influenciada pela razão amostra/solvente e tempo de extração, obtendo a amostra com aproximadamente 26%, 32% e 42% de frutose, glicose, sacarose, respectivamente. Donadone *et al.* (2020) e Giombelli *et al.* (2020) obtiveram para os extratos aquosos do caule da pupunheira 27-29% de frutose, 34-35% de glicose e 35-38% de sacarose, sendo que as ligeiras diferenças encontradas podem ser relacionadas ao uso das bainhas medianas no presente estudo, considerada mais fibrosa que a porção caulinar utilizada por Donadone *et al.* (2020) e Giombelli *et al.* (2020).

3.2 EXTRAÇÃO ASSISTIDA POR ULTRASSOM: EFEITO DO PH, TEMPERATURA E TEMPO DE EXTRAÇÃO

A Tabela 2 apresenta a matriz do planejamento experimental com os valores para as variáveis independentes conforme a Tabela 1 e os resultados obtidos para os compostos analisados. O teor de açúcares solúveis (AS) variou de 15,13 a 16,94 g 100 g⁻¹. Donadone *et al.* (2020) e Giombelli *et al.* (2020) obtiveram o extrato aquoso do caule da pupunheira e reportaram o teor máximo de 16,68 g 100 g⁻¹ e 14,65 g 100 g⁻¹ de açúcares utilizando a extração assistida por ultrassom e extração subcrítica, respectivamente. O resultado obtido dos AS no presente trabalho foi próximo ao encontrado por Donadone *et al.* (2020), possivelmente

justificado por ser o método de extração utilizado em ambas as pesquisas, mesmo tratando-se de porções distintas do palmito pupunha nos estudos. Os pontos centrais (ensaios 13 a 17) apresentaram pouca variação, indicando boa repetibilidade experimental.

Tabela 2. Condições experimentais avaliadas para extração de açúcares solúveis (AS) a partir de subproduto de palmito pupunha

Experimento	Variáveis ¹			Teor (g 100 g ⁻¹)			
	pH	T	t	Frutose	Glicose	Sacarose	Total
1	-1	-1	0	4,38	4,56	7,97	16,91
2	1	-1	0	3,94	4,94	6,84	15,72
3	-1	1	0	4,81	4,54	7,08	16,43
4	1	1	0	3,98	4,78	6,72	15,48
5	-1	0	-1	4,65	5,34	6,95	16,94
6	1	0	-1	4,70	3,96	6,67	15,33
7	-1	0	1	4,61	4,96	6,84	16,41
8	1	0	1	4,36	4,43	6,43	15,22
9	0	-1	-1	4,76	4,31	7,06	16,13
10	0	1	-1	3,89	4,59	6,65	15,13
11	0	-1	1	4,86	4,22	7,07	16,16
12	0	1	1	4,62	4,33	7,16	16,12
13	0	0	0	4,49	4,74	7,46	16,69
14	0	0	0	4,51	4,75	7,63	16,89
15	0	0	0	4,25	4,74	7,78	16,77
16	0	0	0	4,48	4,82	7,78	17,08
17	0	0	0	4,30	4,82	7,45	16,57

T: temperatura (°C); t: tempo (min); ¹ conforme Tabela 1.

A variável resposta (teor total de AS) foi expressa em termos das variáveis codificadas e suas interações, ajustando-se à seguinte equação polinomial (considerando apenas os termos significativos):

$$\text{Teor total de AS} = 16,800 - 0,618\text{pH} - 0,220\text{T} - 0,287\text{pH}^2 - 0,377\text{T}^2 - 0,538\text{t}^2 \quad (2)$$

A análise de variância (ANOVA), apresentada na Tabela 3, foi utilizada para validar o modelo polinomial de segunda ordem (Equação 2) ajustado nos dados experimentais, bem como avaliar a influência de cada fator na resposta.

Os resultados apresentados na Tabela 3 indicam que o modelo foi significativo, o que foi evidenciado pelo valor de $F_{\text{calculado}}$ (8,677) maior que o F_{tabelado} (3,680), logo, o modelo foi válido em relação aos dados experimentais. As variáveis pH e temperatura apresentaram efeitos linear e quadrático significativos, enquanto que para o tempo apenas o efeito quadrático foi significativo, conforme indicado pelo valor de F e p-valor. O valor da falta de ajuste (0,412) indica que este termo é insignificante em relação ao erro padrão ($p > 0,05$).

Tabela 3. Análise de variância (ANOVA) para o modelo quadrático correlacionando o teor total de açúcares solúveis com as variáveis experimentais

Fatores	Soma dos quadrados	Grau de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	p-valor ^a
Modelo	6,294	9	0,699	8,677	
pH (L)	3,050	1	3,050	80,064	0,001
pH (Q)	0,348	1	0,348	9,135	0,039
T (L)	0,387	1	0,387	10,163	0,033
T (Q)	0,600	1	0,600	15,749	0,017
t (L)	0,018	1	0,018	0,474	0,529
t (Q)	1,216	1	1,216	31,928	0,005
pH*T	0,014	1	0,014	0,378	0,572
pH*t	0,044	1	0,044	1,157	0,343
T*t	0,230	1	0,230	6,047	0,070
Falta de ajuste	0,412	3	0,137	3,602	0,124
Puro erro	0,152	4	0,038		
Total	6,705	16			

^a significância estatística ($p < 0,05$); L - efeito linear e Q - efeito quadrático.

O aumento da temperatura não influenciou na obtenção dos AS. Segundo Wen *et al.* (2018), baixas temperaturas de processo contribuem para a formação de bolhas de cavitação e o uso de altas temperaturas podem interromper a interação do solvente com a matriz sólida, concluindo, assim, que a temperatura de extração deve ser controlada dentro da faixa adequada para a extração dos compostos de interesse. Ainda de acordo com Plaza e Marina (2019), como desvantagem, o uso de alta temperatura pode favorecer a solubilidade de outros compostos não desejáveis. Quintas, Brandão e Silva (2007) constataram que no caso de extração dos açúcares, quando expostos a altas temperaturas (100-180 °C), sofrem degradação térmica pelas reações de Maillard e caramelização.

Em relação ao tempo de extração, este deve ser otimizado em um intervalo apropriado em relação à obtenção dos compostos de interesse, pois longos períodos podem aumentar os rendimentos da extração, como também podem causar alterações indesejáveis nos compostos extraídos (WEN *et al.*, 2018). Em relação aos resultados obtidos no presente estudo, a extração dos AS não alterou significativamente com o transcorrer de tempo de extração, sendo capaz de atingir notáveis taxas de extração de AS em reduzidos períodos de tempo. De acordo com Wen *et al.* (2018), a maior eficiência em curto período de extração ocorre devido à eficiência da extração assistida por ultrassom, a qual está relacionada com a formação de bolhas de cavitação, favorecendo seu contato com o solvente, reduzindo, assim, o tempo de processo e otimizando o rendimento.

Como observado no presente estudo, os maiores teores de AS extraídos foram obtidos no menor pH (4,0). Efeito similar foi verificado por Kuila *et al.* (2011), em que o aumento do

pH (4-8) reduziu o rendimento do teor de açúcar do subproduto do caju (56,89 g 100 g⁻¹). Charoensiddhi *et al.* (2016) também constataram que o pH (4,5-8) afetou significativamente o rendimento total de açúcares extraídos da alga marrom *Ecklonia radiata*, evidenciando o fato do uso de diferentes concentrações de sais tampão.

A escolha apropriada dos parâmetros é um fator importante para a otimização da extração. A partir da equação preditiva, Equação 2, foram obtidos os níveis que maximizam a extração dos AS, que foram: pH de 4, temperatura de 35 °C e tempo de extração de 5 min, os quais resultaram na remoção teórica de AS de 16,44 g 100 g⁻¹. Nessas condições, foram conduzidos experimentos de verificação, em triplicata, os quais forneceram 15,29 ± 0,21 g 100 g⁻¹.

Foi realizada a análise comparativa entre a extração assistida por ultrassom (EAU) e extração por agitação orbital (EAO), utilizando os níveis já estabelecidos e confirmados que maximizam a extração dos AS; os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Análise comparativa de rendimento de açúcares solúveis (AS) entre extração assistida por ultrassom (EAU) e extração por agitação orbital (EAO) do subproduto (bainha mediana) do palmito pupunha

AS (g 100 g ⁻¹)	Método	
	EAU	EAO
Frutose	4,19±0,08 ^a	3,62±0,15 ^b
Glicose	4,49±0,34 ^a	4,14±0,22 ^a
Sacarose	6,54±0,25 ^a	5,14±0,05 ^b
Total	15,23±0,18 ^a	12,90±0,20 ^b

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A EAU apresentou efeito na obtenção de frutose e sacarose, enquanto o teor de glicose foi similar entre os métodos de extração. Os resultados para o teor total de açúcares obtidos evidenciam a maior eficiência na obtenção dos AS utilizando o método de extração EAU em relação ao método EAO.

Giombelli *et al.* (2020) extraíram cerca de 11,80 g 100 g⁻¹ de AS da porção caulinar do palmito pupunha utilizando o método de EAO, valor próximo ao extraído da bainha mediana do presente estudo. Efeito semelhante ao obtido nesse trabalho foi reportado por Polachini *et al.* (2019) para resíduos da alcachofra que constataram que a aplicação do ultrassom além de reduzir o tempo em 50%, melhorou a cinética de liberação de açúcares solúveis quando comparada à extração por agitação convencional. Isso se deve ao fato do ultrassom promover melhor transferência de massa do material, sendo que no material sólido as zonas de compressão e descompressão contribuem para um efeito esponja, promovendo a liberação dos compostos aprisionados na amostra; em relação à fase líquida, o colapso das bolhas de cavitação ocasiona a formação de pequenos jatos e turbulências na interface sólido-líquido levando à

redução da camada limite de difusão (NOWACKA; WEDZIK, 2016; MACHADO *et al.*, 2015). Segundo Zhu *et al.* (2017), o ultrassom pode facilitar a dissolução dos açúcares, aumentando o contato entre o líquido e o sólido, devido à penetração do solvente em áreas em que a agitação convencional não é eficiente.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DO EXTRATO AQUOSO

A Tabela 5 apresenta os resultados da caracterização do extrato aquoso obtido pelo método de extração assistida por ultrassom (EAU) e extração por agitação orbital (EAO). A partir dos dados apresentados nesta tabela, observa-se que os resultados da extração de CFT do subproduto do palmito foram maiores quando se utilizou a EAU em comparação com EAO ($p < 0,05$), com teores de 308,51 e 248,79 mg 100 g⁻¹, respectivamente. O mesmo resultado foi evidenciado por Rezende, Nogueira e Narain (2017), que utilizaram o método convencional de agitação concluindo que a eficiência da extração assistida por ultrassom foi maior para a extração de compostos fenólicos totais em resíduos de acerola. Donadone *et al.* (2020), utilizando como solvente a água e condições de extração de 30 °C, 15 minutos e potência máxima do ultrassom (100W), evidenciaram ~253,36 mg 100 g⁻¹ de CFT obtidos do subproduto do palmito pupunha (porção caulinar), resultados próximos aos obtidos no presente estudo. Dessa forma, verifica-se que a extração assistida por ultrassom é vantajosa para a obtenção de compostos fenólicos em bainhas medianas do palmito pupunha.

Em relação à atividade antioxidante, o método ABTS⁺ e o método de FRAP não apresentaram diferença significativa entre EAU e EAO ($p > 0,05$). Por outro lado, o emprego do ultrassom no estudo realizado por Zhao *et al.* (2021), no *Dolichos lablab* L., proporcionou a obtenção de extrato com maior potencial antioxidante, quando comparado ao extrato obtido por método convencional de extração. Wen *et al.* (2019) explicam que este efeito é evidenciado devido às forças de cisalhamento e fechos de cavitação do ultrassom, que faz com que a estrutura da proteína seja aberta. Porém, o efeito observado utilizando os métodos de extrações EAU e EAO foram similares para avaliação da atividade antioxidante, em que os dois métodos mostraram-se eficazes para obtenção de antioxidantes da bainha mediana do palmito pupunha.

Tabela 5. Caracterização do extrato aquoso do subproduto (bainha mediana) do palmito pupunha, quanto à quantidade de compostos fenólicos totais e sua atividade antioxidante entre extração assistida por ultrassom (EAU) e extração por agitação orbital (EAO)

Propriedades	Método		
	EAU	EAO	
Compostos fenólicos totais (mg 100 g ⁻¹)	308,51±0,21 ^a	248,79±9,53 ^b	
ABTS ⁺ (μMg ⁻¹)	0,05±0,00 ^a	0,04±0,00 ^a	
FRAP (μMg ⁻¹)	1193,50±16,23 ^a	1033,37±26,35 ^a	
Ácido fenólicos	Gálico	138,13±3,66 ^a	123,70±12,00 ^a
	Hidroxi-benzóico	nd	nd
	Vanílico	nd	nd
	Siringico	nd	nd
	Trans-cinâmico	40,88±1,12 ^a	39,54±2,55 ^a
	Clorogênico	nd	nd
	Cafeico	55,45±3,53 ^b	66,77±0,70 ^a
	Cumárico	22,54±0,50 ^a	22,88±1,19 ^a
	Ferúlico	36,78±0,82 ^a	36,30±1,62 ^a

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. nd: não detectado.

A fim de caracterizar os compostos fenólicos presentes na bainha mediana do palmito pupunha, foi realizada a quantificação de nove compostos fenólicos, dos quais foi possível detectar cinco ácidos fenólicos: gálico, trans-cinâmico, cafeico, cumárico e ferúlico. Os métodos de extração utilizados para detecção dos compostos fenólicos obtiveram valores similares, diferindo apenas na extração do ácido cafeico. Para os dois métodos, o ácido gálico foi o predominante seguido pelo ácido cafeico.

No presente estudo, a obtenção dos compostos fenólicos foi maior do que os índices evidenciados nos estudos de Donadone *et al.* (2020) e Giombelli *et al.* (2020). Donadone *et al.* (2020), utilizando o método EAU, detectaram para o subproduto do palmito pupunha cerca de 105,83 mg 100 g⁻¹ do composto gálico; 10,23 e 8,40 mg 100 g⁻¹ para os compostos ferúlico e cumárico, respectivamente. Já Giombelli *et al.* (2020), utilizando o método EAO, observaram cerca de 5,94 mg 100 g⁻¹ do composto gálico; 20,98 mg 100 g⁻¹ do composto cafeico e 4,52 mg 100 g⁻¹ do composto cumárico.

4 CONCLUSÃO

Com as diferenças no comportamento das curvas cinéticas, pode-se concluir que, com o aumento de massa, a extração dos AS foram decrescentes nas razões avaliadas, sendo nitidamente maior o rendimento da extração quando diminui a razão; os teores de açúcares das amostras demonstraram pouca alteração com o transcorrer do tempo de extração, o que mostra ser de maior interesse obter rendimentos e resultados de extrações em curtos períodos, já que



refere-se a uma técnica de extração promissora e sustentável para obtenção de resultados em reduzidos tempos. O teor de AS variou de 15,13 a 16,94 g 100 g⁻¹, detectados pelo planejamento experimental utilizado e o aumento da temperatura não influenciou na obtenção dos AS. Os maiores teores de AS extraídos foram obtidos no menor pH (4,0). Os resultados da caracterização do extrato aquoso quanto à quantidade de compostos fenólicos totais (CFT) foram maiores quando se utilizou o EAU. No entanto, em relação à atividade antioxidante, o método ABTS⁺ e o método de FRAP não apresentaram diferença significativa entre os métodos de extrações EAU e EAO. Apenas cinco compostos fenólicos presentes na bainha mediana do palmito pupunha foram possíveis de detecção (ácido gálico, trans-cinâmico, cafeico, cumárico e ferúlico), certificando-se que, para obtenção dos compostos fenólicos, os métodos de extração examinados apresentaram efeitos similares. Por fim, a extração assistida por ultrassom é uma alternativa eficaz para a extração de açúcares em que pode-se obter notáveis níveis de AS extraídos em reduzidos tempos, além de ser uma técnica sustentável e inovadora, a qual pode prever novos avanços em aplicações para a área de alimentos a partir do subproduto de palmito pupunha, possibilitando a agregação de valor ao resíduo.

5 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (Capes) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ALBERO, B.; TADEO, J. L.; PÉREZ, R. A. Ultrasound-assisted extraction of organic contaminants. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 118, n. 12, p. 739-750, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.07.007>.

AMOAHA, J.; OGURA, K.; SCHMETZ, Q.; KONDO, A.; OGINO, C. Co-fermentation of xylose and glucose from ionic liquid pretreated sugar cane bagasse for bioethanol production using engineered xylose assimilating yeast. **Biomass and Bioenergy**, v. 128, n. 105283, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105283>.

BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The Ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, n. 1, p. 70-79, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.

BOLANHO, B. C.; DANESI, E. D. G.; BELÉIA, A. P. Characterization of flours made from peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) by-products as a new food ingredient. **Journal of Food and Nutrition Research**, v. 53, n. 1, p. 51-59, 2014.

CHAROENSIDDHI, S.; LORBEER, A. J.; LAHNSTEIN, J.; BULONE, V.; FRANCO, C. M. M.; ZHANG, W. Enzyme-assisted extraction of carbohydrates from the brown alga *Ecklonia radiata*: Effect of enzyme type, pH and buffer on sugar yield and molecular weight profiles. **Process Biochemistry**, v. 5, n. 10, p. 1503-1510, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2016.07.014>.

CHEMAT, F.; ZILL-E-HUMA.; KHAN, M. K. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 18, n. 4, p. 813-835, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023>.

COSTA FILHO, D. V.; SILVA, A. J.; SILVA, P. A. P.; SOUSA, F. C. Aproveitamento de resíduos agroindustriais na elaboração de subprodutos. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2., 2017, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: Instituto Internacional Despertando Vocações, 2017.

DONADONE, D. B. S.; GIOMBELLI, C.; SILVA, D. L. G.; STEVANATO, N.; SILVA, C.; BARROS, B. C. B. Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds and soluble sugars from the stem portion of peach palm. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 5, p. 1-11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.14636>.

GIOMBELLI, C.; IWASSA, I. J.; SILVA, C.; BARROS, B. C. B. Valorization of peach palm by-product through subcritical water extraction of soluble sugars and phenolic compounds. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 165, 104985, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.104985>.

GRAEFE, S.; DUFOUR, D.; ZONNEVELD, M.; RODRIGUEZ, F.; GONZALEZ, A. Peach palm (*Bactris gasipaes*) in tropical Latin America: implications for biodiversity conservation, natural resource management and human nutrition. **Biodiversity and Conservation**, v. 22, n. 1, p. 269-300, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0402-3>.

IWASSA, I. W.; RIBEIRO, M. A. S.; MEURER, E. C.; CARDOZO-FILHO, L.; BOLANHO, B. C.; SILVA, C. Effect of subcritical water processing on the extraction of compounds, composition, and functional properties of asparagus by-product. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 1, e13060, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13060>.

KHAN, M. K.; ABERT-VIAN, M.; FABIANO-TIXER, A. S.; DANGLES, O.; CHEMAT, F. Ultrasound-assisted extraction of polyphenols (flavanone glycosides) from orange (*Citrus sinensis* L.) peel. **Food Chemistry**, v. 119, n. 2, p. 851-858, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.046>.

KUILA, A.; SINGH, A.; MUKHOPADHYAY, M.; BANERJEE, R. Process optimization for aqueous extraction of reducing sugar from cashew apple bagasse: A potential, lowcost substrate. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 1, p. 62-66, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.06.005>.

KUMAR, K.; SRIVASTAV, S.; SHARANAGAT, V. S. Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 10, 105325, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105325>.



LEVY, R. B.; CLARO, R. M.; BANDONI, D. H.; MONDINI, L.; MONTEIRO, C. A. Disponibilidade de “açúcares de adição” no Brasil: distribuição, fontes alimentares e tendência temporal. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 15, n. 1, p. 3-12, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-790X2012000100001>.

MACHADO, M. T. C.; EÇA, K. S.; VIEIRA, G. S.; MENEGALLI, F. C.; MARTÍNEZ, J.; HUBINGER, M. D. Prebiotic oligosaccharides from artichoke industrial waste: evaluation of different extraction methods. **Industrial Crops and Products**, v. 76, p. 141-148, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.047>.

NOWACKA, M.; WEDZIK, M. Effect of ultrasound treatment on microstructure, colour and carotenoid content in fresh and dried carrot tissue. **Applied Acoustics**, v. 103, p. 163-171, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.06.011>.

OLIVEIRA, L. S.; PEREIRA, L. G. R.; AZEVEDO, J. A. G.; PEDREIRA, M. S.; LOURDES, D. R. S.; BOMFIM, M. A. D.; BARREIROS, D. C.; BRITO, R. L. L. Caracterização nutricional de silagens do coproduto da pupunha. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 11, n. 2, p. 426-439, 2010.

OMS - Organização Mundial da Saúde. **Diretriz**: ingestão de açúcar para adultos e crianças. 2015.

PANESAR, R.; KAUR, S.; PANESAR, P. S. Production of microbial pigment utilizing agro-industrial waste: a review. **Current Opinion in Food Science**, v. 1, n. 5, p. 70-76, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2014.12.002>.

PARK, J. W.; PARK, K. G.; LEE, N. Y.; LEE, J. H.; LEE, J. W. Enhanced extraction of reducing sugars from fruit of *Hovenia dulcis* with treatment of cellulase and sequential production of ethanol and acetic acid containing ampelopsin from extracted reducing sugars. **Industrial Crops and Products**, v. 139, 111522, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111522>.

PENTEADO JUNIOR, J. F.; SANTOS, A. F.; NEVES, E. J. M. **Aspectos do agronegócio do palmito de pupunha no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. (Documentos, 275).

PLAZA, M.; MARINA, M. L. Pressurized hot water extraction of bioactives. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 116, p. 236-247, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.03.024>.

POLACHINI, T. C.; MULET, A.; TELIS-ROMERO, J.; CÁRCEL, J. A. Influence of high-intensity ultrasound application on the kinetics of sugar release from acid suspensions of artichoke (*Cynaras colymus*) biomass. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v. 45, 107681, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2019.107681>.

QUINTAS, M.; BRANDÃO, T. R. S.; SILVA, C. L. M. Modelling autocatalytic behavior of a food model system - Sucrose thermal degradation at high concentrations. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 2, p. 537-545, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.10.031>.



RAYO-MENDEZ, L. M.; GÓMEZ, A. V.; TADINI, C. C. T. Extraction of soluble sugars from banana puree to obtain a matrix rich in non-starch polysaccharides. **Food Chemistry**, v. 249, p. 539-546, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.079>.

REZENDE, Y. R.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Comparison and optimization of conventional and ultrasound-assisted extraction for bioactive compounds and antioxidant activity from agro-industrial acerola (*Malpighiae marginata* DC) residue. **LWT - Food Science and Technology**, v. 85, p. 158-169, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.07.020>.

SCHMIDT, P.; ROSSI JUNIOR, P.; TOLEDO, L. M.; NUSSIO, L. G.; ALBUQUERQUE, D. S.; MEDURI, B. Perdas fermentativas e composição bromatológica da entre casca do palmito pupunha ensilada com aditivos químicos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 2, p. 262-267, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010000200005>.

SHAHIDI, F.; ZHONG, Y. Measurement of antioxidant activity. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 757-781, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.01.047>.

SHIRSATH, S. R.; SONAWANE, S. H.; GOGATE, P. R. Intensification of extraction of natural products using ultrasonic irradiations - a review of current status. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 53, p. 10-23, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2012.01.003>.

THAIPONG, K.; BOONPRAKOB, U.; CROSBY, K.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; BYRNE, D. H. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, p. 669-675, 2006. DOI: [10.1016/j.jfca.2006.01.003](https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003).

WANG, J.; WANG, J.; VANGA, S. K.; RAGHAVAN, V. High-intensity ultrasound processing of kiwifruit juice: Effects on the microstructure, pectin, carbohydrates and rheological properties. **Food Chemistry**, v. 313, 126121, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126121>.

WEN, C.; ZHANG, J.; ZHANG, H.; DUAN, Y.; MA, H. Effects of divergent ultrasound pretreatment on the structure of watermelon seed protein and the antioxidant activity of its hydrolysates. **Food Chemistry**, v. 99, 125165, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125165>.

WEN, C.; ZHANG, J.; ZHANG, H.; DZAH, C. S.; ZANDILE, M.; DUAN, Y.; MA, H.; LUO, X. Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from cash crops - A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 48, p. 538-549, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.07.018>.

YAO, Y.; PAN, Y.; LIU, S. Power ultrasound and its applications: A state-of-the-art review. **Sonochemistry Ultrasonics**, v. 62, 104722, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104722>.

ZHAO, Y.; WEN, C.; FENG, Y.; ZHANG, J.; HE, Y.; DUAN, Y.; ZHANG, H.; MA, H. Effects of ultrasound-assisted extraction on the structural, functional and antioxidant properties of *Dolichos lablab* L. Protein. **Process Biochemistry**, v. 101, p. 274-284, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.11.027>.

ZHU, Z.; GUAN, Q.; KOUBAA, M.; BARBA, F. J.; ROOHINEJAD, S.; CRAVOTTO, G.; YANG, X.; LI, S.; HE, J. HPLC-DAD-ESI-MS² analytical profile of extracts obtained from purple sweet potato after green ultrasound assisted extraction. **Food Chemistry**, v. 21, p. 391-400, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.157>.