

MODELAGEM MATEMÁTICA E PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DA SECAGEM CONVECTIVA DA POLPA DE TUCUMÃ (*Astrocaryum aculeatum*)

C. B. PEREIRA¹, J. B. de SOUZA², D. da C. SANTOS³, D. D. de F. LEITE⁴, J. P. de L. FERREIRA⁵, E. N. A. de OLIVEIRA⁶
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre^{1,2}, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande de Norte^{3,6}, Instituto Nacional do Semiárido^{4,5}
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4045-5224>³
dyego.csantos@gmail.com³

Submetido 23/02/2022 - Aceito 18/03/2022

DOI: 10.15628/holos.2022.13738

RESUMO

A polpa de tucumã possui potencial para utilização industrial. Entretanto, o elevado conteúdo de umidade limita o seu uso. Assim, objetivou-se secar convectivamente a polpa de tucumã, a qual foi desidratada na espessura de 4 mm, nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C, com monitoramento da perda de umidade até equilíbrio higroscópico. Verificou-se que o aumento de temperatura reduziu os teores de umidade de equilíbrio. As taxas de secagem foram maiores em

maiores temperaturas e teores de umidade. Os modelos de Dois termos (30 a 50 °C) e Midilli (60 °C) foram os mais adequados para descrever a secagem da amostra. Os coeficientes de difusão efetivos de umidade ficaram compreendidos entre $0,98 \times 10^{-10}$ e $4,20 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ e sua dependência com a temperatura foi descrita pela equação de Arrhenius, com energia de ativação de 42,15 kJ mol⁻¹. As propriedades termodinâmicas evidenciaram um processo endergônica.

PALAVRAS-CHAVE: Fruta amazônica, desidratação, difusividade

MATHEMATICAL MODELING AND THERMODYNAMIC PROPERTIES OF CONVECTIVE DRYING OF TUCUMAN PULP (*Astrocaryum aculeatum*)**ABSTRACT**

A polpa de tucumã possui potencial para utilização industrial. Entretanto, o seu elevado conteúdo de umidade limita o seu uso. Assim, objetivou-se secar convectivamente a polpa de tucumã, a qual foi desidratada na espessura de 4 mm, nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C, com monitoramento da perda de umidade até equilíbrio higroscópico. Verificou-se que o aumento de temperatura reduziu os teores de umidade de equilíbrio. As taxas de secagem foram maiores em

maiores temperaturas e teores de umidade. Os modelos de Dois termos (30 a 50 °C) e Midilli (60 °C) foram os mais adequados para descrever a secagem da amostra. Os coeficientes de difusão efetivos de umidade ficaram compreendidos entre $0,98 \times 10^{-10}$ e $4,20 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ e sua dependência com a temperatura foi descrita pela equação de Arrhenius, com energia de ativação de 42,15 kJ mol⁻¹. As propriedades termodinâmicas evidenciaram um processo endergônica.

KEYWORDS: Amazon fruit, dehydration, diffusivity



1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui grande biodiversidade, principalmente no bioma amazônico, que se caracteriza por uma densa floresta tropical com clima quente e úmido e chuvas intensas que ocorrem durante todo o ano (Guex et al., 2022). Esse bioma hospeda várias espécies frutíferas cujas frutas são amplamente consumidas pela população local, facilmente encontradas nos mercados locais, mas principalmente desconhecidas para a população em geral e para a comunidade científica (Matos et al., 2019). Entre as frutíferas da Amazônia, têm-se o tucumazeiro (*Astrocaryum aculeatum* G. Mey.), uma palmeira pertencente à família *Arecaceae* com potencial economicamente viável de sua exploração, apesar dos plantios comerciais ainda serem raros (Silva et al., 2018a; CRUZ et al., 2020). A espécie é encontrada nos estados do Norte do Brasil, incluindo Amazonas, Acre, Rondônia, Roraima e Pará, onde é utilizada por populações indígenas para obter matéria-prima para alimentação, moradia, vestuário, caça e pesca (CRUZ et al., 2020).

O fruto é a parte mais consumida da *A. aculeatum*, o qual é caracterizado como uma drupa globular de formato ovóide, com casca verde-amarelada e mesocarpo fibroso amarelo-alaranjado com altos teores proteínas, pró-vitamina A e β -caroteno, baixo teores de ácidos e açúcares, e alto valor energético devido à sua composição lipídica que representa cerca de 55% da massa da polpa (Silva et al., 2018a; Cruz et al., 2020; Aguiar et al., 2021; Guex et al., 2022). A polpa do tucumã ainda possui elevados teores de vitamina C, flavonóides amarelos, carotenoides totais, polifenóis totais e elevada capacidade antioxidante (Santos et al., 2015a). No estudo de Cabral et al. (2020) foi evidenciado que o fruto de *A. aculeatum* possui capacidade anti-inflamatória, enquanto Santos et al. (2015b) relataram que, além da função alimentar, o óleo do tucumã possui potencial para ser implementado no controle de pragas de produtos armazenados.

O tucumã é consumido *in natura* ou utilizado em produtos alimentícios como cremes, sanduíches e pizza, sendo bastante apreciada pela população, que o consome em grande quantidade (Cruz et al., 2020). Apesar de bastante apreciado pela população dos locais onde ocorre, o fruto da *A. aculeatum* é desconhecido na maior parte do Brasil, o que se deve provavelmente à sua baixa vida útil pós-colheita, o que limita a sua comercialização em feiras livres locais. No sentido de aumentar a vida-de-prateleira de frutas como o tucumã, disponibilizando-os à mercados mais distantes, a secagem convectiva é frequentemente utilizada, em virtude aumentar as estabilidades biológica, química e bioquímica. Santos et al. (2019a) destacaram que dentre os métodos que podem ser utilizados na desidratação desses produtos, a secagem convectiva apresenta boas perspectivas de uso, uma vez que é de baixo custo, acessível a pequenos agricultores e eficiente para remover o excedente de umidade de produtos agrícolas, aumentando a sua estabilidade em condições de estocagem prolongada.

Foram encontradas na literatura consultada estudos de secagem convectiva de frutos de palmeiras de ocorrência na Amazônia brasileira (Cardoso et al., 2017; Morais et al., 2019; Santos et al., 2019a; Santos et al., 2019b), inclusive da polpa do tucumã (Silva et al., 2018b). Entretanto, a investigação conduzida realizou investigação superficial do processo de transferência de calor e massa, com ênfase na caracterização de propriedades físico-químicas e funcionais em diferentes condições térmicas. Assim, evidencia-se a relevância de continuidade das investigações da secagem da polpa do *A. aculeatum* para melhor compreensão do aspecto físico da secagem convectiva desse fruto.



Ante o exposto, objetivou-se secar convectivamente a polpa de tucumã (espessura de 4 mm) nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C, ajustar diferentes modelos matemáticos às curvas de cinética de secagem e calcular as taxas de secagem, os coeficientes de difusão efetivos de umidade, a energia de ativação e as propriedades termodinâmicas.

2 METODOLOGIA

O estudo foi realizado no Laboratório de Agroindústria do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre (IFAC), *Campus* Xapuri. Foram utilizados tucumãs, safra 2020, provenientes do Seringal 'Vai Quem Quer', distante 72 km da sede do município de Xapuri, AC. Os frutos, em estádios de maturação maduros e com coloração da casca verde-amarelada, foram transportados em embalagens de polietileno de baixa densidade (PEBD) ao laboratório, onde foram selecionados para descarte de frutos inadequados para o processamento (aqueles fora do estágio de maturação desejado e com injúrias), lavados em água corrente para remoção de sujidades, sanitizados em solução de hipoclorito de sódio a 100 ppm durante 15 min e enxaguados em água corrente para a eliminação do excesso do agente sanitizante. Na sequência, os frutos foram submetidos a remoção manual das cascas com uso de faca de aço inoxidável, obtendo-se então os corações os quais eram revestidos da polpa. Esta foi extraída manualmente com uso de descascador de legumes (Figura 1A), posteriormente desintegrada em liquidificador industrial para obtenção de uma polpa homogênea (Figura 1B), acondicionada em embalagens de PEBD e mantida em freezer a -18 °C até realização dos experimentos.



Figura 1: Polpa do tucumã integral (A) e homogeneizada (B)

Os experimentos de cinética de secagem foram realizados em triplicata, em bandejas de alumínio com diâmetro de 15 cm. Inicialmente, a polpa de tucumã foi descongelada sob refrigeração (4 °C) e mantida em bancada de laboratório para equilíbrio térmico da temperatura com o ambiente. Aproximadamente 70 g de amostra foram espalhadas nas bandejas, de modo que fosse obtida espessura de cerca de 4 mm, e secadas em desidratador de alimentos Practic Dryer nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C e velocidade do ar de secagem de 1,8 m s⁻¹, monitorando-se a perda de água por meio de pesagens em intervalos regulares de tempo (5, 10, 15, 30 e 60 min), até que as amostras atingissem o equilíbrio higroscópico com o ambiente. No início e ao término das secagens, foi determinado o teor de umidade das amostras a 105 °C (IAL, 2008) e, por meio da Equação 1, as razões de umidade foram calculadas utilizando-se os teores de umidade inicial, final e em cada tempo de secagem.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

Em que: RX - razão de umidade (adimensional); X - teor de umidade, b.s.; Xi - teor de umidade inicial, b.s.; Xe - teor de umidade de equilíbrio, b.s.

Os modelos matemáticos descritos na Tabela 1 foram ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem convectiva da polpa de tucumã na faixa de temperatura de 30 a 60 °C, através de regressão não linear pelo método Quasi-Newton, usando-se o software Statistica® versão 7.0 (StatSoft® Inc. United States).

Tabela 1: Modelos matemáticos ajustados às curvas de cinética da polpa de tucumã

Designação	Modelo matemático	
Dois termos	$RX = a \exp(-k t) + b \exp(-q t)$	(2)
Henderson e Pabis	$RX = a \exp(-k t)$	(3)
Logarítmico	$RX = a \exp(-k t) + c$	(4)
Midilli	$RX = a \exp(-k t^n) + b t$	(5)
Page	$RX = \exp(-k t^n)$	(6)

RX - razão de umidade da amostra, adimensional; k - constante de secagem; a, b, c, n - coeficientes dos modelos; t - tempo de secagem (min).

Utilizaram-se como critérios de ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais da cinética de secagem convectiva da polpa de tucumã, as magnitudes do coeficiente de determinação (R²), do qui-quadrado (χ²) e do desvio quadrático médio (DQM), calculados respectivamente de acordo com as Equações 7, 8 e 9.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^n (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2} \quad (7)$$

$$\chi^2 = \frac{1}{n-N} \sum_{i=1}^n (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2 \quad (8)$$

$$DQM = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

Em que: R^2 - coeficiente de determinação; χ^2 - qui-quadrado; DQM - desvio quadrático médio; $RX_{pred,i}$ - razão de umidade predita pelo modelo; $RX_{exp,i}$ - razão de umidade experimental; n - número de observações; N - número de constantes do modelo.

As taxas de secagem da polpa de tucumã nas temperaturas de 30-60 °C foram calculadas segundo a Equação 10, a partir dos teores de umidade (b.s.) em cada intervalo de desidratação.

$$TX = \frac{X_t - X_{t+\Delta t}}{\Delta t} \quad (10)$$

Em que: TX - taxa de secagem, kg kg.min⁻¹; $X_{t+\Delta t}$ - teor de umidade em $t + \Delta t$, (kg de água/kg de matéria seca); X_t - teor de umidade em um tempo específico, b.s.; Δt - intervalo de tempo entre duas medições consecutivas; t - tempo, min.

A solução analítica da equação de difusão com aproximação de seis termos (Eq. 11), considerando-se a forma geométrica da polpa de tucumã similar à de uma placa plana e condição de contorno de equilíbrio, foi ajustada às curvas da cinética de secagem das amostras nas temperaturas de 30-60 °C. No cálculo da difusividade efetiva de umidade, adotou-se a distribuição da umidade inicial uniforme, material homogêneo e ausência e resistência térmica.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[-(2n+1)^2 \pi^2 Deff \frac{t}{4L^2} \right] \quad (11)$$

Em que: $Deff$ - Difusividade efetiva de água, m² s⁻¹; N - número de termos da equação; L - dimensão característica (meia espessura da amostra), m; T - tempo, s.

A equação de Arrhenius (Eq. 12) foi utilizada para descrever a relação entre a difusividade efetiva de umidade e as temperaturas da polpa de tucumã.

$$Deff = Deff_0 \exp \left(-\frac{E_a}{R(T+273,15)} \right) \quad (12)$$

Em que: $Deff_0$ - fator pré-exponencial, m² s⁻¹; E_a - energia de ativação, kJ mol⁻¹; R - constante universal dos gases, 0,008314 kJ mol⁻¹ K⁻¹; T - temperatura, °C.

Linearizou-se a Equação 12 com aplicação de logaritmo para a obtenção dos parâmetros da equação de Arrhenius (Eq. 13).

$$\ln Deff = \ln Deff_0 - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T+273,15} \quad (13)$$

Em que: $\ln Deff_0$ - logarítmico do fator pré-exponencial, m² s⁻¹; E_a - energia de ativação, kJ mol⁻¹; R - constante universal dos gases, 0,008314 kJ mol⁻¹ K⁻¹; T - temperatura, °C.

As propriedades termodinâmicas de entalpia (Eq. 14), entropia (Eq. 15) e energia livre de Gibbs (Eq. 16) do processo de secagem da polpa de tucumã nas temperaturas de 30- 60 °C foram calculadas por meio do método descrito por Jideani & Mpotokwana (2009).

$$\Delta H = E_a - R(T + 273,15) \quad (14)$$

$$\Delta S = R \left[\ln(Deff_0) - \ln \left(\frac{k_B}{h_p} \right) - \ln(T + 273,15) \right] \quad (15)$$

$$\Delta G = \Delta H - (T + 273,15)\Delta S \quad (16)$$

Em que: ΔH - entalpia específica, J mol^{-1} ; ΔS - entropia específica, $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$; ΔG - energia livre de Gibbs, J mol^{-1} ; K_B - constante de Boltzmann, $1,38 \times 10^{-23} \text{J K}^{-1}$; h_p - constante de Planck, $6,626 \times 10^{-34} \text{J s}^{-1}$; T - temperatura, $^{\circ}\text{C}$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta a variação da umidade (% b.s.) durante as secagens da polpa de tucumã nas temperaturas de 30 a 60 $^{\circ}\text{C}$. O teor de umidade inicial da polpa de tucumã (56,37%) foi rapidamente reduzido na etapa inicial da secagem, devido à grande disponibilidade de água superficial livre na polpa, que permitiu uma alta difusividade neste primeiro momento (Qi et al., 2021). Posteriormente, a perda de umidade foi gradativamente desacelerada até o equilíbrio higroscópico, pois a água encontrava-se mais fortemente ligada aos constituintes químicos da amostra e localizada em regiões mais internas do material vegetal (Santos et al., 2019a). De modo geral, as curvas de secagem apresentaram comportamento exponencial (Jha et al., 2021; Mondaca et al., 2021), onde os teores de umidade finais foram de 3,69%, 1,34%, 0,98% e 0,76% ao término das secagens nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 $^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Observou-se que o aumento da temperatura de secagem reduziu os teores de umidade de equilíbrio, comportamento convergente com diversos estudos de secagem de alimentos (Santos et al., 2019a; Cardozo et al., 2021; Felizardo et al., 2021; Moura et al., 2021). Isso deveu-se à maior transferência de calor para a amostra em temperaturas mais altas (Niño et al., 2021), que por sua vez aumentou a taxa de remoção de umidade do produto e ocasionou uma maior evaporação da fase líquida (Tan et al., 2021; Leite et al., 2022), em virtude do maior gradiente de umidade entre a amostra e o ar de secagem (Santos et al., 2017; Morais et al., 2019; Taskin et al., 2021).

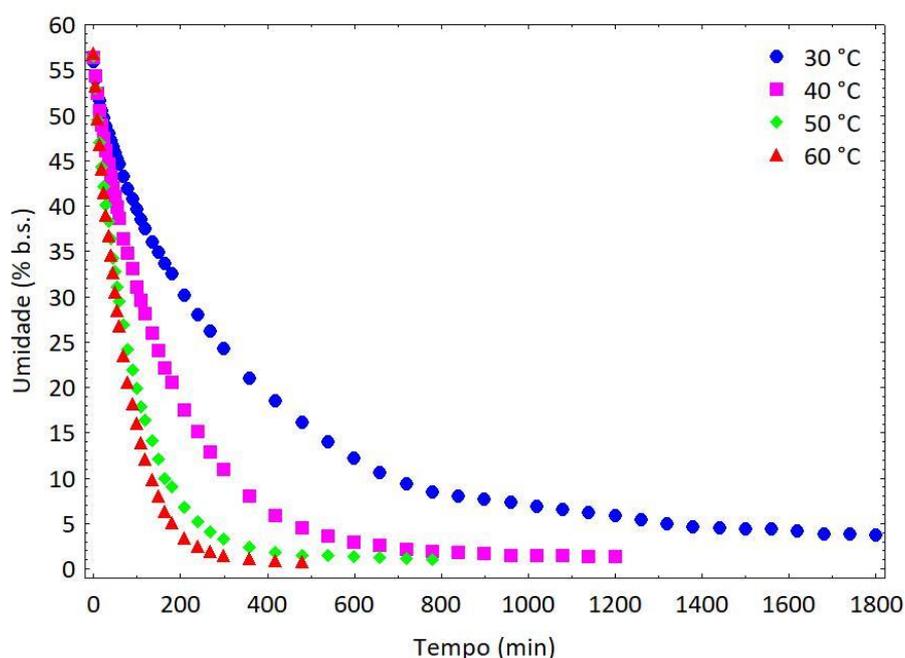


Figura 2: Variação da umidade (% b.s.) durante a secagem da polpa de tucumã nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 $^{\circ}\text{C}$

Os tempos totais de processo foram de 1800, 1200, 780 e 480 min para as temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C, respectivamente. Foi evidente que o aumento da temperatura reduziu o intervalo de duração da secagem, com decréscimo de tempo correspondendo a 73,33%, considerando-se os extremos de temperatura, fenômeno frequentemente relatado na secagem de produtos agrícolas e gêneros alimentícios (Santos et al., 2013; Resende et al., 2018; Santos et al., 2019b; Zheng et al., 2021; Cavalcanti-Mata et al., 2020; Zhao et al., 2021; Taskin et al., 2021; Tarafdar et al., 2021; Qi et al., 2021; Mishra et al., 2021; Ferreira Junior et al., 2021). Sabe-se que incremento de temperatura ocasiona aumento do potencial de transferência de calor e massa, que resulta em elevação da taxa de secagem; assim, é de se esperar que o tempo de processo reduza (Felizardo et al., 2021; Mondaca et al., 2021; Tarafdar et al., 2021; Leite et al., 2022). Apesar disso, tanto uma condição térmica elevada quanto a exposição excessiva ao calor podem degradar compostos termossensíveis (Santos et al., 2019a), como vitaminas e compostos aromáticos (Cardozo et al., 2021), sendo importante a realização de novos estudos para avaliar a retenção desses compostos na polpa de tucumã em função da temperatura de secagem.

Os valores médios das taxas de secagem da polpa e tucumã na faixa de temperatura de 30 a 60 °C estão dispostos na Figura 3. Em qualquer condição térmica, não foi constatado secagem em velocidade constante, sendo que todo o processo ocorreu em taxa de queda de velocidade, indicando que a difusão interna da umidade foi o principal fator que influenciou o processo de secagem a polpa de tucumã (Mbegbu et al., 2021; Mishra et al., 2021; Mondaca et al., 2021; Moura et al., 2021; Qi et al., 2021; Tarafdar et al., 2021; Taskin et al., 2021). De acordo com Santos et al. (2019a), a ausência de um período de secagem em taxa constante pode ser devida à fina camada de amostra, que não forneceu uma fonte constante de água durante o período de tempo de secagem, sendo característico de estruturas porosas ou de materiais de estruturas celulares, como frutas e hortaliças. Somados a isso, deve-se considerar que o alto conteúdo de lipídios do material vegetal (Cruz et al., 2020) poderia ser constituir em fator de resistência à perda de umidade, o que contribuiria para as secagens em velocidade decrescente. Assim, a segunda lei da equação de difusão de Fick pode ser usada para descrever este processo (Tan et al., 2021). Secagens em taxa de queda também foram relatados em polpa de patauí (Santos et al., 2019b), frutos de amoras (Li et al., 2021), folhas de estévia (Mondaca et al., 2021), folhas de Moringa oleífera (Tarafdar et al., 2021), fatias de banana (Taskin et al., 2021) e fatias de *Boletus aereus* (Zheng et al., 2021).



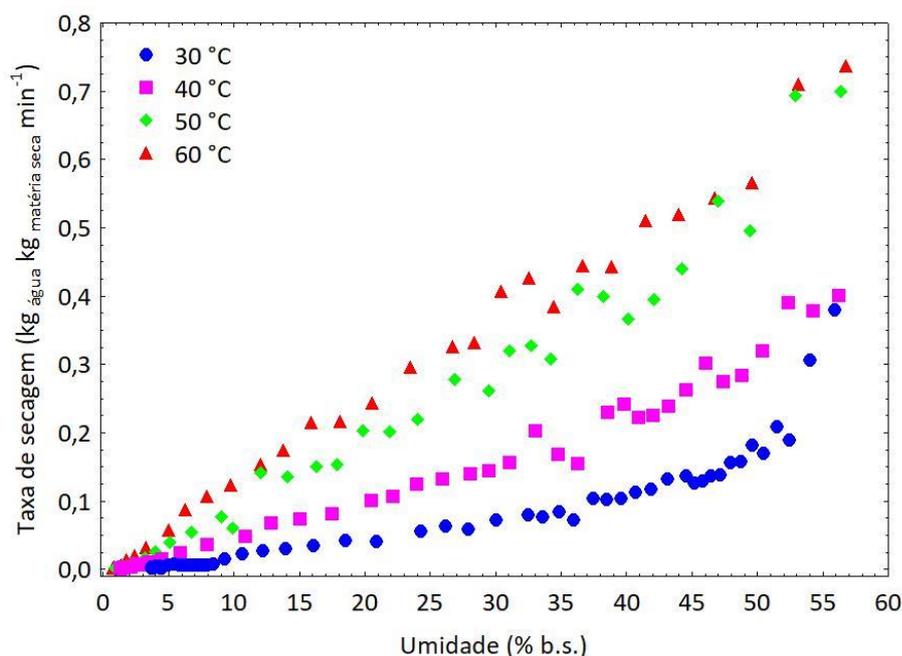


Figura 3: Taxas de secagem médias da polpa de tucumã nas temperaturas 30, 40, 50 e 60 °C

Quanto mais alta era a temperatura, maiores foram os valores de taxas de secagem (Figura 3), registrando-se no início do processo magnitudes máximas de 0,380, 0,401, 0,700 e 0,737 kg água kg matéria seca.min⁻¹ para as respectivas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C, alinhando-se à outros autores que reportaram mesmo comportamento (Morais et al., 2019; Cavalcanti-Mata et al., 2020; Jha et al., 2021; Mishra et al., 2021). As taxas de secagem inicialmente elevadas devem-se à presença de água com grande mobilidade (água livre), que foi facilmente transferida para a superfície e evaporada (Moura et al., 2021; Tarafdar et al., 2021). Posteriormente, houve desaceleração do processo, pois a água remanescente encontrava-se em regiões mais intrínsecas da amostra, necessitando de maior energia para a sua evaporação (Morais et al., 2019; Santos et al., 2019a; Qi et al., 2021; Tarafdar et al., 2021). Adicionalmente, o progressivo encolhimento da amostra ao longo da secagem poderia ter aumentado a resistência ao movimento da água (Nayak et al., 2021), uma vez que reduziria a porosidade e aumentaria a resistência ao movimento da água (Jha et al., 2021).

Cinco modelos matemáticos apresentados na Tabela 1 foram ajustados às curvas de secagem da polpa de tucumã nas temperaturas de 30 a 60 °C, através de análise de regressão não linear, e os parâmetros, coeficientes de determinação (R^2), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrados (χ^2) desses ajustes estão dispostos na Tabela 2. Observou-se que todos os modelos utilizados detiveram valores de R^2 superiores a 0,99, o que segundo Madamba et al. (1996) indicaria ajuste adequado aos dados experimentais de secagem; assim, todos os modelos poderiam ser utilizados para a predição do fenômeno. Entretanto, vários autores afirmaram que o R^2 não deve ser o único utilizado para selecionar modelos de regressão, pois, isoladamente, não é um bom índice para selecionar modelos não lineares, uma vez que utiliza média de valores negativos e positivos, o que pode tornar os valores dos ajustes mais discrepantes (Ferreira Junior et al., 2021; Santos et al., 2019; Morais et al., 2019; Resende et al., 2018). Nesse sentido, também foram considerados o DQM e o χ^2 . Zheng et al. (2021) relataram que, na seleção de modelos

matemáticos, os valores de R^2 altos, associados a baixos valores de χ^2 e de DQM são indicativos de alta qualidade de ajuste.

Tabela 2: Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrados (χ^2) dos modelos matemáticos ajustados às curvas de secagem da polpa de tucumã nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C

Modelo	Temp. (°C)	Parâmetros do modelo	R^2	DQM	$\chi^2 (\times 10^{-4})$
Dois termos	30	a: 0,9125; k: 0,0028; b: 0,0807; q: 0,0399	0,9998	0,0050	0,2735
	40	a: 0,9535; k: 0,0056; b: 0,0484; q: 0,0641	0,9999	0,0028	0,0847
	50	a: 0,9665; k: 0,0105; b: 0,0346; q: 0,1563	0,9999	0,0028	0,0912
	60	a: 0,5034; k: 0,0132; b: 0,5030; q: 0,0132	0,9993	0,0083	0,7904
Henderson e Pabis	30	a: 0,9470; k: 0,0030	0,9987	0,0126	1,6610
	40	a: 0,9754; k: 0,0058	0,9996	0,0070	0,5090
	50	a: 0,9798; k: 0,0107	0,9997	0,0054	0,3113
	60	a: 1,0064; k: 0,0132	0,9993	0,0083	0,7339
Logarítmico	30	a: 0,9407; k: 0,0031; c: 0,0094	0,9988	0,0119	1,5004
	40	a: 0,9750; k: 0,0058; c: 0,0006	0,9996	0,0070	0,5211
	50	a: 0,9775; k: 0,0108; c: 0,0035	0,9997	0,0051	0,2881
	60	a: 1,0148; k: 0,0128; c: -0,0126	0,9996	0,0064	0,4507
Midilli	30	a: 0,9796; k: 0,0058; n: 0,8896; b: $-5,2348 \times 10^{-6}$	0,9996	0,0069	0,5180
	40	a: 0,9922; k: 0,0078; n: 0,9447; b: $-4,5928 \times 10^{-6}$	0,9998	0,0046	0,2315
	50	a: 0,9910; k: 0,0126; n: 0,9674; b: $1,7540 \times 10^{-6}$	0,9998	0,0041	0,1904
	60	a: 0,9877; k: 0,0101; n: 1,0558; b: $-1,0155 \times 10^{-6}$	0,9998	0,0048	0,2689
Page	30	k: 0,0069; n: 0,8663	0,9992	0,0098	0,9948
	40	k: 0,0083; n: 0,9359	0,9997	0,0055	0,3169
	50	k: 0,0136; n: 0,9522	0,9998	0,0046	0,2222
	60	k: 0,0111; n: 1,0386	0,9996	0,0060	0,3882

Os valores de DQM ficaram compreendidos entre 0,0028 e 0,0126, enquanto os dados de χ^2 oscilaram entre $0,0847 \times 10^{-4}$ e $1,6610 \times 10^{-4}$, sendo que, para as temperaturas de 30 a 50 °C o modelo de Dois Termos apresentou os menores valores absolutos, e para a temperatura de 60 °C o modelo de Midilli deteve os menores resultados para esses parâmetros estatísticos. Desse modo, para as respectivas faixas de temperatura, os modelos de Dois Termos e de Midilli foram selecionados para a predição do fenômeno de secagem da polpa de tucumã, revelando os maiores valores de R^2 e os mais baixos dados de DQM e de χ^2 . Para validar esses dois modelos, realizou-se uma comparação entre os valores de razão de umidade experimentais e os valores de razão de umidade preditos (Figura 4), a qual ratificou a adequação dos modelos para a descrição da secagem das amostras, uma vez que os dados experimentais e preditos situaram-se próximos à linha diagonal que passa pela origem, apresentando a igualdade entre esses valores (Santos et al., 2019a). O modelo de Dois termos também se ajustou satisfatoriamente aos dados experimentais da secagem de frutos de baru (Resende et al., 2018), sementes de tamanrindo (Ferreira Junior et al., 2021), frutos de amora (Li et al., 2021), folhas de manjeriço e alfavaca (Mbegbu et al., 2021) e

sementes de melancia africana (Leite et al., 2022). Por outro lado, o modelo de Midilli também se ajustou bem às curvas de secagem de grãos residuais de urucum (Santos et al., 2013), polpa de patauá (Santos et al., 2019b), polpa de bacaba (Morais et al., 2019), sementes e cascas de trapiá (Moura et al., 2021) e fatias de banana (Taskin et al., 2021).

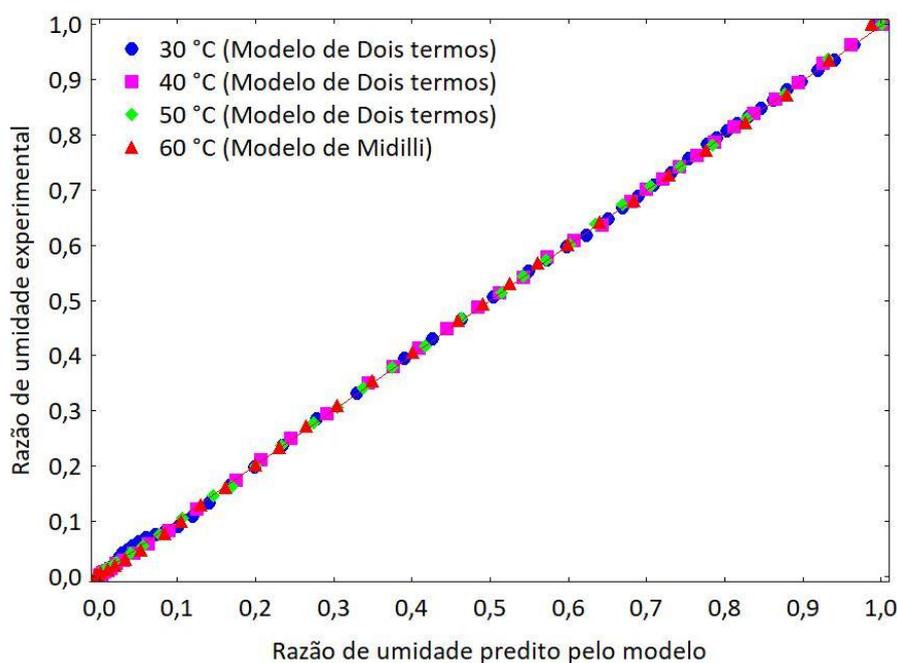


Figura 4: Relação entre os valores de razões de umidade experimentais e razões de umidade preditos pelos modelos de Dois termos e de Midilli na secagem da polpa de tucumã em diferentes temperaturas

Os coeficientes de difusão efetivos ($Deff$) da polpa de tucumã em diferentes temperaturas, obtidos a partir da Equação 11, estão apresentados na Tabela 3. Esses valores situaram-se dentro da faixa de 10^{-12} a 10^{-8} $m^2 s^{-1}$ frequentemente relatada em alimentos (Zogzas et al., 1996), aproximando-se dos resultados reportados por Resende et al. (2018) em frutos de baru ($1,20 \times 10^{-10}$ a $11,93 \times 10^{-10}$ $m^2 s^{-1}$), Santos et al. (2019a) em fatias de acuri ($3,28 \times 10^{-10}$ a $5,53 \times 10^{-10}$ $m^2 s^{-1}$), Felizardo et al. (2021) em sementes de jacarandá ($4,26 \times 10^{-10}$ e $6,46 \times 10^{-10}$ $m^2 s^{-1}$), Moura et al. (2021) em resíduos de trapiá ($5,28 \times 10^{-10}$ a $16,09 \times 10^{-10}$ $m^2 s^{-1}$), Tarafdar et al. (2021) em folhas de *Moringa oleífera* ($0,71 \times 10^{-10}$ e $1,91 \times 10^{-10}$ $m^2 s^{-1}$) e Leite et al. (2022) em sementes de melancia africana ($4,21 \times 10^{-10}$ e $7,97 \times 10^{-10}$ $m^2 s^{-1}$). Observou-se que o aumento da temperatura de 30 °C para 60 °C elevou a difusividade efetiva de umidade em aproximadamente 328,57%, indicando que a maior vibração das moléculas de água, em virtude do aumento da energia térmica quanto maior é a temperatura, favorecem a difusividade efetiva do vapor de água (Cavalcanti-Mata et al., 2020; Ayetigbo et al. 2021; Li et al., 2021; Mishra et al., 2021; Tarafdar et al., 2021) e aumentam velocidade de secagem da polpa (Tan et al., 2021). Além disso, deve-se considerar que a redução da viscosidade da água em maiores temperaturas reduz a resistência do fluido ao escoamento, aumentando a difusividade efetiva (Ferreira Junior et al., 2021), o que pode ser potencializada por danos na parede celular vegetal (Taskin et al., 2021). Esses resultados corroboram com diversos autores que constaram observações semelhantes na secagem de gêneros alimentícios (Morais et

al., 2019; Santos et al., 2019b; Cavalcanti-Mata et al., 2020; Almeida et al., 2021; Mbegbu et al., 2021; Mondaca et al., 2021; Tan et al., 2021).

Tabela 3: Valores médios dos coeficientes de difusão efetivos obtidos na secagem a polpa de tucumã nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C

Temp. (°C)	Deff (m ² s ⁻¹)	R ²
30	0,98 × 10 ⁻¹⁰	0,9911
40	1,83 × 10 ⁻¹⁰	0,9845
50	3,45 × 10 ⁻¹⁰	0,9837
60	4,20 × 10 ⁻¹⁰	0,9708

Na investigação da cinética de secagem de alimentos, uma equação do tipo Arrhenius é geralmente utilizada para modelar o efeito da temperatura nos coeficientes de difusão efetivos de umidade (Tarafdard et al., 2021). Assim, a Figura 5 dispõe os valores dos coeficientes de difusão efetivos de umidade (Deff) representados na forma de 'ln Deff' em função do recíproco da temperatura absoluta (1/T K) da secagem convectiva da polpa de tucumã na faixa de temperatura de 30 a 60 °C. Verificou-se que a dependência desse parâmetro com a temperatura de secagem da amostra foi satisfatoriamente descrita pela equação do tipo Arrhenius, onde os valores dos coeficientes de difusão apresentaram comportamento linear e R² superior a 0,96.

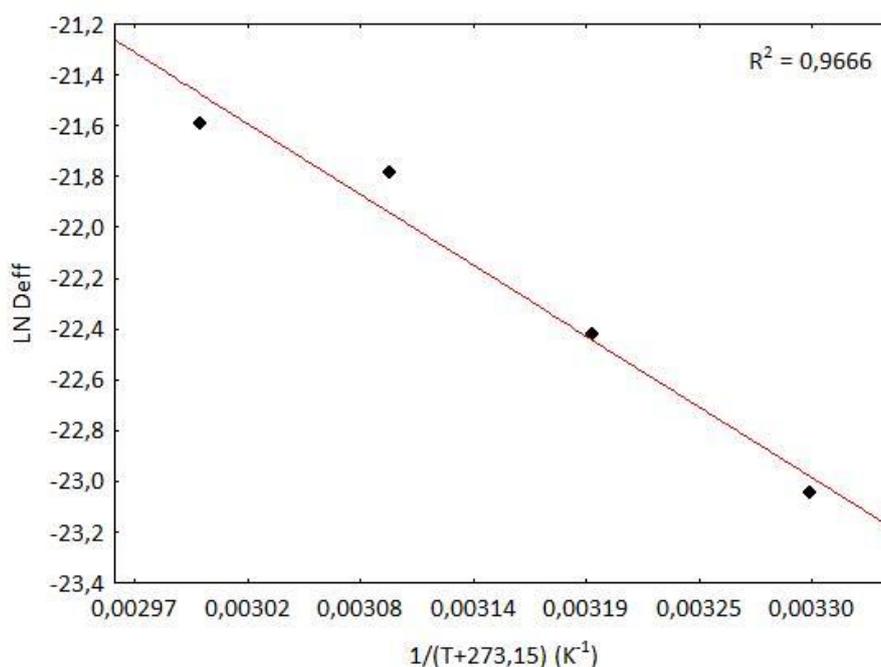


Figura 5: Representação de Arrhenius para os coeficientes de difusão efetivos de umidade obtidos na secagem da polpa de tucumã nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C

Através da inclinação da reta de representação de Arrhenius (Figura 5), calculou-se a energia de ativação (E_a). A partir dos valores de 'ln Deff' em função o inverso da temperatura absoluta [$1/(T+273,15)$], obteve-se a relação ($-E_a/R$), enquanto o 'ln Deffo' foi gerado por sua interseção com o eixo das ordenadas. O coeficiente da equação de Arrhenius ajustada para os coeficientes de difusão efetiva da secagem convectiva da polpa de tucumã está apresentada na Equação 17, determinada segundo a Equação 12.

$$Deff = 1,9202 \times 10^{-3} \exp\left(-\frac{5070,3324}{T+273,15}\right) \quad (17)$$

O nível de energia de uma molécula para iniciar uma reação química é geralmente expresso como E_a (Tarafdar et al., 2021). No caso de secagem, reflete a quantidade de energia para remover a umidade das amostras (Zheng et al., 2021), sendo definida como a energia mínima necessária para iniciar o processo de remoção de umidade da amostra (Mishra et al., 2021). Assim, na secagem da polpa de tucumã nas temperaturas de 30 a 60 °C, a ativação da difusão de umidade deu-se com E_a de 42,15 kJ mol⁻¹, inclusa dentro da faixa de 12,7 a 110 kJ mol⁻¹ frequentemente reportada para alimentos (Zogzas et al., 1996). Esse resultado é similar aos valores encontrados por Mondaca et al. (2021) na secagem de folhas de estévia (44,22 kJ mol⁻¹), Tarafdar et al. (2021) na secagem de folhas de *M. oleífera* (42,84 kJ mol⁻¹) e Zheng et al. (2021) na secagem de fatias de *B. aereus* (45,37 kJ mol⁻¹). Por outro lado, a E_a de produtos como frutos de baru (Resende et al., 2018), polpa de bacaba (Morais et al., 2019), fatias de acuri (Santos et al., 2019a), polpa de patauá (Santos et al., 2019b), folhas de alfavaca e de manjerição limão (Mbegbu et al., 2021) e sementes de melancia africana (Leite et al., 2022) mostraram-se inferiores ao determinado na polpa de tucumã, provavelmente em virtude da característica mais compactada da polpa de tucumã (Zheng et al., 2021) e da presença de grande quantidade de lipídios (Cruz et al., 2020), que exigiu mais energia térmica para transformação física da água líquida (Cardozo et al., 2021), haja vista que quanto menor for a energia de ativação nos processos de secagem, maior será a difusividade da água no produto (Almeida et al., 2021). De acordo com Zheng et al. (2021), divergências na E_a pode ser atribuída à diferenças em função da extrutura, textura, composição e área superficial da amostra, somados pré-tratamentos e métodos de secagem (Atiemoh et al., 2020). Para se ter uma ideia, Ayetigbo et al. (2021) encontraram E_a variando de 31 a 44 kJ mol⁻¹ em mandioca em função da variedade e espessura de camada.

Têm-se na Tabela 4 os valores médios das propriedades termodinâmicas da secagem da polpa de tucumã em diferentes temperaturas. A entalpia (ΔH) ficou compreendida entre 39,3849 e 39,6344 kJ mol⁻¹, sendo observado aumento desta variável com a elevação da temperatura de secagem, comportamento também evidenciado na secagem de polpa de patauá (Santos et al., 2019b), grãos de bico (Cavalcanti-Mata et al., 2020) e cascas de *Garcinia humilis* (Almeida et al., 2021). Segundo Nayak et al. (2021), a ΔH é um parâmetro geralmente investigado no estudo das mudanças de estado associadas à energia de um sistema em vários processos físicos, químicos e biológicos e, em processos de secagem, está relacionada à energia necessária para remover a água ligada à matéria seca (Ferreira Junior et al., 2021). Assim, os valores decrescentes em função do aumento da temperatura indicaram que, em menores temperaturas, a polpa de tucumã demandou de menor energia para que a desidratação ocorresse (Morais et al., 2019; Almeida et al., 2021; Leite et al., 2022), pois há incrementos na difusividade de umidade do interior para a superfície do material, o que levou a uma perda de massa do produto por dessorção (Resende et



al., 2018; Moura et al., 2021). Os sinais positivos evidenciam que o processo de perda de umidade retratou uma reação endotérmica (Atiemoh et al., 2020; Nayak et al., 2021).

Tabela 4: Valores médios das propriedades termodinâmicas do processo de secagem da polpa de tucumã nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C

Temp. (°C)	ΔH (kJ mol ⁻¹)	ΔS (kJ mol ⁻¹ K ⁻¹)	ΔG (kJ mol ⁻¹)
30	39,6344	-0,2971	129,6855
40	39,5512	-0,2973	132,6574
50	39,4681	-0,2976	135,6319
60	39,3849	-0,2978	138,6090

ΔH - entalpia; ΔS - entropia; ΔG - energia livre de Gibbs.

A entropia (ΔS), definida como um nível de desordem das moléculas do sistema (Nayak et al., 2021), oscilou de -0,2978 a -0,2971 kJ mol⁻¹ K⁻¹, sendo detectado comportamento decrescente em função do aumento da temperatura de secagem, pois em condições térmicas mais extremas ocorre uma maior excitação das moléculas de água do produto quando comparadas com temperaturas mais baixas, diminuindo a ordem do sistema água-produto (Ferreira Junior et al., 2021) e elevando a difusividade de umidade (Cavalcanti-Mata et al., 2020). Resultados similares foram evidenciados por Resende et al. (2018), Morais et al. (2019) e Santos et al. (2019a) nas secagens de frutos de baru, polpa de bacaba e fatias de acuri, respectivamente. Comparando-se com os valores de ΔS da polpa de tucuma com os encontrados por Leite et al. (2022) na secagem de sementes de melancia africana (-0,3653 a -0,3645 kJ mol⁻¹ K⁻¹) e por Moura et al. (2021) em cascas de trapirá (-0,3676 a -0,3668 kJ mol⁻¹ K⁻¹), evidenciou que a amostra deste trabalho estava mais distante de seu equilíbrio termodinâmico (Nayak et al., 2021).

A energia livre de Gibbs (ΔG), que está relacionada ao trabalho necessário para disponibilizar os sítios de sorção durante a secagem (Resende et al., 2018), aumentou com a elevação da temperatura de desidratação, obtendo-se valores compreendidos entre 129,6855 e 138,6090 kJ mol⁻¹, corroborando os resultados de encontrados na secagem de polpa de patauá (Santos et al., 2019b), cascas de *G. humilis* (Almeida et al., 2021) e sementes de tamarindo (Ferreira Junior et al., 2021). Isso evidencia o aumento do trabalho realizado para disponibilizar sítios de sorção de modo a aumentar a transferência de moléculas de água do produto para o ar de secagem (Leite et al., 2022). Mesmo que não ocorra nenhuma reação durante a secagem, os valores positivos indicaram ocorrência de uma reação endergônica, em que a secagem não ocorreu espontaneamente, necessitando de energia da atmosfera ao redor da amostra para disponibilizar os sítios de sorção (Morais et al., 2019; Santos et al., 2019b).

4 CONCLUSÃO

As curvas da cinética de secagem convectiva da polpa de tucumã apresentam comportamento exponencial, com os tempos de secagem e os teores de umidade de equilíbrio detendo relação inversamente relacionada com a condição térmica.

As taxas de secagem são elevadas no início do processo e decrescem com a redução dos teores de umidade e, durante todo o monitoramento do fenômeno, as maiores temperaturas possuem as maiores magnitudes de taxa de remoção de umidade.

Os modelos matemáticos de Dois termos (na faixa de temperatura de 30 a 50 °C) e de Midilli (na temperatura de 60 °C) são os mais adequados para representar o processo de secagem da polpa de tucumã, com altos valores de R^2 , baixos valores de DQM e de χ^2 e boa concordância entre os valores de razões de umidade experimentais e preditos.

Os coeficientes de difusão efetivos de umidade, na ordem de $10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, aumentam com a elevação da temperatura de secagem, sendo a dependência deste parâmetro com a temperatura descrita por uma equação do tipo Arrhenius, que possui R^2 superior a 0,96 e energia de ativação de 42,15 kJ mol^{-1} .

As propriedades termodinâmicas indicam ocorrência de reação endergônica, em que a ΔH e a ΔS reduzem com o aumento da temperatura e a ΔG aumentou com o decréscimo da faixa de temperatura.

5 REFERÊNCIAS

- Aguiar, L.M., Bicas, J.L., Fuentes, E., Alarcón, M., Gonzalez, I.P., Pastore, G.M., Maróstica Junior, M.R. & Cazarin, C.B.B. (2021). Non nutrients and nutrients from Latin American fruits for the prevention of cardiovascular diseases. *Food Research International*, 139(1), 1-11.
- Almeida, R.L.J., Santos, N.C., Alves, I.L. & André, A.M.M.C.N. (2021). Evaluation of thermodynamic properties and antioxidant activities of Achachairu (*Garcinia humilis*) peels under drying process. *Flavour and Fragrance Journal*, 36(2), 213-222.
- Atiemoh, R.A., Zhou, C., Wahia, H., Mustapha, A.T., Rashid, M.T., Sampson, G., Owusu, A.A., Ma, H. & Zhou, R. (2020). Acoustically-aided osmo-dehydration pretreatments under pulsed vacuum dryer for apple slices: Drying kinetics, thermodynamics, and quality attributes. *Journal of Food Science*, 85(11), 3909-3919.
- Ayetigbo, O., Latif, S., Abass, A. & Müller, J. (2021). Drying kinetics and effect of drying conditions on selected physicochemical properties of foam from yellow-fleshed and white-fleshed cassava (*Manihot esculenta*) varieties. *Food and Bioprocess Technology*, 127(1), 454-464.
- Cabral, F.L., Bernardes, V.M., Passos, D.F., Oliveira, J.S., Doleski, P.H., Silveira, K.L., Hovart, M.C., Bremm, J.M., Barbisan, F., Azzolin, V.F., Teixeira, C.F., Andrade, C.M., Cruz, I.B.M., Ribeiro, E.E. & Leal, D.B.R. (2020). *Astrocaryum aculeatum* fruit improves inflammation and redox balance in phytohemagglutinin-stimulated macrophages. *Journal of Ethnopharmacology*, 247(1), 1-12.
- Cardozo, C.J.M., Gutiérrez, B.L.C., Velázquez, H.J.C. & Molina, D.A.R. (2021). Effect of pretreatment and temperature on the drying kinetics and physicochemical and techno-functional characteristics of pumpkin (*Cucurbita maxima*). *Heliyon*, 7(4), 1-8.



- Cardoso, I.R.M., Zuniga, A.D.G., Fronza, P., Maciel, A.G. & Ferreira, J.S. (2017). Análise da cinética e modelagem matemática da secagem da polpa de buriti (*Mauritia flexuosa* L). *Engevista*, 19(5), 1188-1197.
- Cruz, I.B.M., Barbisan, F. & Ribeiro, E.E. (2020). *Bioactive compounds of tucuma (Astrocaryum aculeatum* G. Mey.). In: Murthy, H. & Bapat, V. (eds). *Bioactive compounds in underutilized fruits and nuts*. Reference Series in Phytochemistry. Zurich, Springer, 1-14.
- Cavalcanti-Mata, M.E.R.M., Duarte, M.E.M., Lira, V.V., Oliveira, R.F., Costa, N.L. & Oliveira, H.M.L. (2020). A new approach to the traditional drying models for the thin-layer drying kinetics of chickpeas. *Journal of Food Process Engineering*, 43(12), 1-11.
- Felizardo, M.P., Merlo, G.R.F. & Maia, G.D. (2021). Modeling drying kinetics of Jacaranda mimosifolia seeds with variable effective diffusivity via diffusion model. *Biosystems Engineering*, 205(1), 234-245.
- Ferreira Junior, W.N., Resende, O., Pinheiro, G.K.I., Silva, L.C.M., Souza, D.G. & Sousa, K.A. (2021). Modeling and thermodynamic properties of the drying of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seeds. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 25(1), 37-43.
- Guex, C.G., Cassanego, G.B., Dornelles, R.C., Casoti, R., Engelmann, A.M., Somacal, S., Maciel, R.M., Duarte, T., Borges, W.S., Andrade, C.M., Emanuelli, T., Danesi, C.C., Ribeiro, E.E. & Bauermann, L.F. (2022). Tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) extract: phytochemical characterization, acute and subacute oral toxicity studies in Wistar rats. *Drug and Chemical Toxicology*, 22(2), 810-821.
- Jha, P., Meghwal, M., Prabhakar, P.K. & Singh, A. (2021). Exploring effects of different pretreatments on drying kinetics, moisture diffusion, physico-functional, and flow properties of banana flower powder. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(4), 1-15.
- Jideani, V.A. & Mpotokwana, S.M. (2009). Modeling of water absorption of botswana bambara varieties using Peleg's equation. *Journal of Food Engineering*, 92(2), 182-188.
- Leite, D.D.F., Queiroz, A.J.M., Figueiredo, R.M.F., Santos, F.S., Silva, S.N. & Santos, D.C. (2022). Mathematical modeling and thermodynamic properties in the drying of citron watermelon seeds. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 26(1), 67-74.
- Madamba, P.S., Driscoll, R.H. & Buckle, K.A. (1996). The thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, 29(1), 75-97.
- Matos, K.A.N., Lima, D.P., Barbosa, A.P.P., Mercadante, A.Z. & Chisté, R.C. (2019). Peels of tucumã (*Astrocaryum vulgare*) and peach palm (*Bactris gasipaes*) are by-products classified as very high carotenoid sources. *Food Chemistry*, 272(1), 216-221.
- Mbegbu, N.N., Nwajinka, C.O. & Amaefule, D.O. (2021). Thin layer drying models and characteristics of scent leaves (*Ocimum gratissimum*) and lemon basil leaves (*Ocimum africanum*). *Heliyon*, 7(1), 1-9.
- Mishra, S., Sahu, J.K., Sanwal, N. & Sharma, N. (2021). Hot air convective drying of small cardamom (*Elettaria cardamomum* Maton): Evaluation of drying, color, and aroma kinetics. *Journal of Food Process Engineering*, 44(4), 1-11.



- Mondaca, R.L., Bravo, L.Z., Ah-Hen, K. & Scalac, K. D. (2021). Effect of drying methods on drying kinetics, energy features, thermophysical and microstructural properties of *Stevia rebaudiana* leaves. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(15), 6484-6495.
- Morais, M.F., Santos, J.R.O., Santos, M.P., Santos, D.C., Costa, T.N. & Lima, J.B. (2019). Modeling and thermodynamic properties of 'bacaba' pulp drying. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(9), 702-708.
- Moura, H.V., Figueirêdo, R.M.F., Queiroz, A.J.M., Silva, E.T.V., Esmero, J.A.D. & Lisbôa, J.F. (2021). Mathematical modeling and thermodynamic properties of the drying kinetics of trapiá residues. *Journal of Food Process Engineering*, 44(8), 1-11.
- Nayak, P.K.; Chandrasekar, C.M.; Haque, A. & Kesavan, R.K. (2021). Influence of pre-treatments on the degradation kinetics of chlorophylls in morisa xak (*Amaranthus caudatus*) leaves after microwave drying. *Journal of Food Process Engineering*, 44(9), 1-13.
- Niño, A.D., Sandoval, O.S., Vidaña, E.C.L., Munguía, A.L.C., Figueroa, I.P. & Valladares, O.G. (2021). Influence of process variables on the drying kinetics and color properties of pear slices (*Pyrus communis*). *Color Research and Application*, 46(5), 1128-1141.
- Qi, Y., Yu, F., Wang, X., Wan, N., Yang, M., Wu, Z. & Li, Y. (2021). Drying of wolfberry fruit juice using low-intensity pulsed ultrasound. *LWT - Food Science and Technology*, 141(1), 1-8.
- Resende, O., Oliveira, D.E.C., Costa, L.M. & Ferreira Júnior, W.N. (2018). Drying kinetics of baru fruits (*Dipteryx alata* Vogel). *Engenharia Agrícola*, 38(1), 103-109.
- Santos, D.C., Queiroz, A.J.M., Figueirêdo, R.M.F. & Oliveira, E.N.A. (2013). Cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(2), 223-231.
- Santos, M.F.G., Mamede, R.V.S., Rufino, M.S.M., Brito, E.S. & Alves, R.E. (2015a). Amazonian native palm fruits as sources of antioxidant bioactive compounds. *Antioxidants*, 4(3), 591-602.
- Santos, A.C.V., Fernandes, C.C., Lopes, L.M. & Sousa, A.H. (2015b). Use of plant oils from the southwestern Amazon for the control of maize weevil. *Journal of Stored Products Research*, 63(1), 67-70.
- Santos, F.S., Figueirêdo, R.M.F., Queiroz, A.J.M. & Santos, D.C. (2017). Drying kinetics and physical and chemical characterization of white-fleshed 'pitaya' peels. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(12), 872-877.
- Santos, D.C., Leite, D.D.F., Lisbôa, J.F., Ferreira, J.P.L., Santos, F.S., Lima, T.L.B., Figueiredo, R.M.F. & Costa, T.N. (2019a). Modelagem e propriedades termodinâmicas da secagem de fatias de acuri. *Brazilian Journal of Food Technology*, 22(1), 1-12.
- Santos, D.C., Costa, T.N., Franco, F.B., Castro, R.C., Ferreira, J.P.L., Souza, M.A.S. & Santos, J.C.P. (2019b). Drying kinetics and thermodynamic properties of patawa pulp (*Oenocarpus bataua* Mart.). *Brazilian Journal of Food Technology*, 22(1), 1-11.
- Silva, R.S., Santos, C.L., Mar, J.M., Kluczkovski, A.M., Figueiredo, J.A.; Borges, S.V.; Bakry, A.M., Sanches, E.A. & Campelo, P.H. (2018a). Physicochemical properties of tucumã (*Astrocaryum*



- aculeatum*) powders with different carbohydrate biopolymers. *LWT - Food Science and Technology*, 94(1), 79-86.
- Silva, M.B., Perez, V.H., Pereira, N.R., Silveira, T.C., Silva, N.R.F., Andrade, C.M. & Sampaio, R.M. (2018b). Drying kinetic of tucum fruits (*Astrocaryum aculeatum* Meyer): physicochemical and functional properties characterization. *Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 1656-1666.
- Tan, S., Miao, Y., Xiang, H., Tan, W. & Li, W. (2021). Effects of air-impingement jet drying on drying kinetics and quality retention of tomato slices. *Food Science and Biotechnology*, v.30, n.1, p.691-699.
- Tarafdar, A., Jothi, N. & Kaur, B.P. (2021). Mathematical and artificial neural network modeling for vacuum drying kinetics of Moringa oleifera leaves followed by determination of energy consumption and mass transfer parameters. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 24(1), 1-8.
- Taskin, O., Polat, A., Etemoglu, A.B. & Izli, N. (2021). Energy and exergy analysis, drying kinetics, modeling, microstructure and thermal properties of convective-dried banana slices. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147(1), 2343-2351.
- Zheng, Q., Li, X., Liu, T., Zhang, Y., Liu, J., Zhang, H., Li, W. & Gao, X. (2021). Effects of air-impingement jet drying on drying kinetics, color, polyphenol compounds, and antioxidant activities of Boletus aereus slices. *Journal of Food Science*, 86(5), 2131-2144.
- Zogzas, N.P., Mauroulis, Z.B. & Marinos-Kouris, D. (1996). Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. *Drying Technology*, 14(10), 2225-2253.

COMO CITAR ESTE ARTIGO:

Batista Pereira, C., Bezerra de Souza, J., da Costa Santos, D., Dantas de Farias Leite, D., de Lima Ferreira, J. P., & Neto Alves de Oliveira, E. (2022). MODELAGEM MATEMÁTICA E PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DA SECAGEM CONVECTIVA DA POLPA DE TUCUMÃ (*Astrocaryum aculeatum*). *HOLOS*, 1, 1-18. Recuperado de <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/13738>

SOBRE OS AUTORES

C. B. PEREIRA

Graduanda em Tecnologia em Agroindústria pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre/IFAC (Brasil); E-mail: claudiannebatista@gmail.com
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2491-5742>

J. B. de SOUZA

Graduanda em Tecnologia em Agroindústria pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre/IFAC (Brasil); E-mail: josileidekita@gmail.com
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4979-699X>

D. da C. SANTOS

Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande/UFCG (Brasil). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte/IFRN (Brasil); E-mail:



dyego.csantos@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4045-5224>

D. D. de F. LEITE

Doutora em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande/UFCG (Brasil). Pesquisadora do Instituto Nacional do Seminário/INSA (Brasil); E-mail: danieladantasfl@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3053-6167>

J. P. de L. FERREIRA

Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande/UFCG (Brasil). Pesquisador do Instituto Nacional do Seminário/INSA (Brasil); E-mail: joaop_l@hotmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1172-7259>

E. N. A. de OLIVEIRA

Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande/UFCG (Brasil). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte/IFRN (Brasil); E-mail: emanuel.oliveira16@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7000-8126>

Editor(a) Responsável: Francinaide de Lima Silva Nascimento

Pareceristas Ad Hoc: Elisabete Piancó de Sousa e Francinalva Cordeiro de Souza



Recebido: 23 de fevereiro de 2022

Aceito: 18 de março de 2022

Publicado: 10 de junho de 2022

