

**Cinética de secagem do feijão azuki: modelagem matemática e propriedades termodinâmicas**

**Azuki bean drying kinetics: mathematical modeling and thermodynamic properties**

**Cinética de secado de frijol azuki: modelado matemático y propiedades termodinâmicas**

Recebido: 02/12/2019 | Revisado: 10/12/2019 | Aceito: 10/12/2019 | Publicado: 19/12/2019

**Raphael Lucas Jacinto Almeida**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7232-2373>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: [raphaelqindustrial@gmail.com](mailto:raphaelqindustrial@gmail.com)

**Newton Carlos Santos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9603-2503>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: [newtonquimicoindustrial@gmail.com](mailto:newtonquimicoindustrial@gmail.com)

**Tamires dos Santos Pereira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2627-036X>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: [tsantosp16@gmail.com](mailto:tsantosp16@gmail.com)

**Anna Paula Rocha de Queiroga**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5505-061X>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: [annapaula\\_rocha@hotmail.com](mailto:annapaula_rocha@hotmail.com)

**Virgínia Mirtes de Alcântara Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6493-3203>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: [virginia.mirtes2015@gmail.com](mailto:virginia.mirtes2015@gmail.com)

**Victor Herbert de Alcântara Ribeiro**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6286-5403>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: [victor\\_herbert@hotmail.com](mailto:victor_herbert@hotmail.com)

**Rafaela Duarte Almeida Araújo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8867-0524>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: rafaeladual@gmail.com

**Maysa Bernardino Cabral**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0859-4942>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: maysa\_bernardino@hotmail.com

**Lucas Rodolfo Inácio da Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3684-3117>

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

E-mail: rodolfo\_i@hotmail.com

**Elder Miguel Esperidião Silva Borges**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6781-2378>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: eldermiguelborges@hotmail.com

**Resumo**

O presente trabalho tem por objetivo realizar a cinética de secagem do feijão azuki, em diferentes temperaturas de ar de secagem, ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais e determinar as suas propriedades termodinâmicas. A cinética de secagem foi realizada nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C na velocidade de ar de 1,5 m/s. Os modelos matemáticos de Parry, Page e Handerson e Pabis foram ajustados aos dados experimentais; Foram calculadas a difusividade efetiva, energia de ativação e as propriedades termodinâmicas: entalpia, entropia e energia livre de Gibbs. O modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais da cinética de secagem do feijão azuki, pois apresentou elevados valores para o coeficiente de determinação e os menores valores para o desvio quadrático médio; a difusividade aumentou com aumento da temperatura de secagem e o processo apresentou uma energia de ativação de 27,69 kJ/mol; a partir das propriedades termodinâmicas foi possível concluir que, as mesmas foram afetadas pelo aumento da temperatura de secagem, com reduções de entalpia e entropia e aumento da energia livre de Gibbs indicando um processo endergônico não espontâneo.

**Palavras-chave:** Conservação; Energia de ativação; Entalpia; Page.

**Abstract**

The present work aims to perform the drying kinetics of adzuki beans under different drying air temperatures, to adjust mathematical models to experimental data and to determine their

thermodynamic properties. Drying kinetics were performed at 40, 50, 60, 70 and 80 °C at 1.5 m/s air velocity. Parry, Page and Handerson and Pabis mathematical models were adjusted to the experimental data; The effective diffusivity, activation energy and thermodynamic properties were calculated: enthalpy, entropy and Gibbs free energy. The Page model was the best fit to the experimental drying kinetic data of adzuki beans, as it presented high values for the coefficient of determination and the lowest values for the mean square deviation; diffusivity increased with increasing drying temperature and the process presented an activation energy of 27.69 kJ/mol; From the thermodynamic properties it was possible to conclude that they were affected by the increase of the drying temperature, with reductions of enthalpy and entropy and increase of Gibbs free energy indicating a non spontaneous endergonic process.

**Keywords:** Conservation; Activation energy; Enthalpy; Page.

### Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo realizar la cinética de secado de los frijoles adzuki a diferentes temperaturas de aire de secado, ajustar los modelos matemáticos a los datos experimentales y determinar sus propiedades termodinámicas. La cinética de secado se realizó a 40, 50, 60, 70 y 80 °C a una velocidad del aire de 1,5 m/s. Los modelos matemáticos de Parry, Page y Handerson y Pabis se ajustaron a los datos experimentales; Se calculó la difusividad efectiva, la energía de activación y las propiedades termodinámicas: entalpía, la entropía y la energía libre de Gibbs. El modelo de Page se ajustó mejor a los datos cinéticos de secado experimental de los frijoles adzuki, ya que presentó valores altos para el coeficiente de determinación y los valores más bajos para la desviación cuadrática media; la difusividad aumentó con el aumento de la temperatura de secado y el proceso presentó una energía de activación de 27,69 kJ/mol; A partir de las propiedades termodinámicas, fue posible concluir que se vieron afectados por el aumento de la temperatura de secado, con reducciones de entalpía y entropía y aumento de la energía libre de Gibbs que indica un proceso endergónico no espontáneo.

**Palabras clave:** Conservación; Energía de activación; Entalpía; Page.

### 1. Introdução

O feijão azuki (*Vigna angularis*), originário das regiões tropicais da Ásia e uma das culturas mais importantes do Japão, China e Coréia do Sul, é rico em proteínas,

polissacarídeos, fibras, gorduras e outros vários micronutrientes (Wu et al., 2019). Os grãos do feijão azuki tem naturalmente sabor doce, sendo a cultivar de cor vermelha a mais apreciada pelos orientais. A sua coloração vermelha é rica em polifenóis, como procianidinas e quercetina, antioxidantes naturais que exercem ações benéficas no organismo (Orsi et al., 2017).

Segundo Ribeiro et al. (2014), o feijão possui muitas variedades, e por mais que exista uma grande quantidade de estudos realizados sobre a cultura, as novas variedades se apresentam carentes de trabalhos, principalmente na área pós-colheita. Segundo Almeida et al. (2013), na fase pós-colheita do feijão, a secagem é o processo mais utilizado para assegurar sua qualidade e estabilidade, já que a redução do teor de água do produto diminui a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem nos grãos durante o armazenamento (Siqueira et al., 2012).

A utilização do processo de secagem proporciona a redução do teor de água até níveis seguros para o armazenamento, uma vez que envolve transferências de calor e massa, influenciando as atividades biológicas e a estrutura química e física das sementes, dependendo das condições e métodos de secagem adotados (Resende et al., 2010; Barros et al., 2020).

Para a simulação, cujo princípio se fundamenta na secagem dos tecidos, são utilizados modelos matemáticos que representam satisfatoriamente a perda do teor de água do produto durante o período de secagem (Goneli et al., 2014; Santos et al., 2013). E o conhecimento das propriedades termodinâmicas na secagem é importante fonte de informação para projetar equipamentos, calcular a energia requerida no processo, estudar as propriedades da água adsorvida e avaliar a microestrutura dos alimentos, bem como para o estudo dos fenômenos físicos que ocorrem na superfície dos mesmos (Corrêa et al., 2010; Santos et al., 2019).

Portanto, o presente trabalho tem por objetivo realizar a cinética de secagem do feijão azuki, em diferentes temperaturas de ar de secagem, ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais e determinar as suas propriedades termodinâmicas.

## **2. Metodologia**

O feijão azuki (*Vigna angularis*) foi adquirido no comércio local da cidade de Campina Grande–PB. As amostras foram encaminhadas e os experimentos foram realizados no Laboratório de Secagem da Universidade Federal de Campina Grande, PB.

### ***Cinética de secagem***

As amostras foram colocadas em telas de aço inoxidável, e uniformemente espalhadas, formando uma camada fina. Para iniciar o experimento, as bandejas foram colocadas em um secador com circulação de ar com velocidade de ar de 1,5 m/s, para a realização das cinéticas de secagem nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80°C, no início e no final das secagens foram determinadas as massas secas e calculados os teores de água de acordo com BRASIL (2008).

Através dos dados experimentais, foi possível calcular os valores da razão do teor de água (Equação 1).

$$RX = \frac{X_{bs} - X_e}{X_{bs(inicial)} - X_e} \quad (1)$$

onde: RX é a razão de umidade (adimensional);  $X_e$  é o teor de água de equilíbrio em base seca;  $X_{bs}$  é o teor de água em base seca;  $X_{bs(inicial)}$  é o teor de água inicial em base seca.

Com o cálculo da razão de teor de água do feijão branco, traçaram-se as curvas da cinética de secagem, representada pela razão do teor de água em função do tempo de secagem em minutos, aplicando os modelos matemáticos (Tabela 1) de Parry, Page e Henderson e Pabis para ajustar os dados experimentais.

**Tabela 1** - Modelos matemáticos utilizados para descrever o processo de secagem

<b>Modelo</b>	<b>Equação</b>	
Parry	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$	(2)
Page	$RX = \exp(-k \cdot t^n)$	(3)
Henderson & Pabis	$RX = a \cdot \exp(-K \cdot t)$	(4)

Nota: RX: Razão de umidade (adimensional); k: constante de secagem; “a”, “n” e “c”: parâmetros dos modelos; t: tempo de secagem.

Para análise dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados experimentais, foi utilizado o programa computacional STATISTICA, versão 7, utilizando-se a análise de regressão não-linear, pelo método Quasi-Newton. Os modelos foram selecionados tomando-se como parâmetro a magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do desvio quadrático médio (DQM) (Equação 5).

$$DQM = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(RX_{\text{exp}} - RX_{\text{pred}})^2}{N}} \quad (5)$$

Em que:  $RX_{\text{exp}}$  é a razão de teor de água obtida experimentalmente;  $RX_{\text{pre}}$  é a razão de teor de água predita pelo modelo matemático;  $N$  é o número de observações ao longo da cinética de secagem.

### ***Cálculo da difusividade efetiva (Def)***

A difusividade efetiva foi obtida por meio do ajuste do modelo matemático da difusão líquida, descrita pela Equação (6), aos dados experimentais da secagem do feijão azuki, fazendo uso de soluções analíticas e considerando a condição de contorno convectiva, considerando-se a forma geométrica do produto como cilindro infinito, devido a sua geometria, desconsiderando-se a contração volumétrica (Luikov, 1968).

$$\bar{X}(t) = X_{eq} - (X_{eq} - X_0) \sum_{n=1}^{16} B_n \exp\left(-\mu_n^2 \frac{Def}{R^2} t\right) \quad (6)$$

Onde:  $\bar{X}(t)$  é o teor de umidade no instante  $t$ ;  $X_{eq}$  é o teor de umidade para  $t \rightarrow \infty$ ;  $X_0$  é o teor de umidade para  $t=0$ ;  $R$  é o raio;  $Def$  é a difusividade efetiva;  $t$  é o tempo.

### ***Energia de Ativação***

A relação entre a difusividade e as temperaturas de secagem foi descrita por meio da Equação do tipo Arrhenius (Equação 7).

$$Def = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R(T + 273.15)}\right) \quad (7)$$

Onde:  $D_0$  é uma constante chamada de fator pré-exponencial;  $R$  é a constante universal dos gases ideais. Tal ajuste possibilita determinar a energia de ativação ( $E_a$ ).

### ***Propriedades termodinâmicas***

As propriedades termodinâmicas de entalpia (Equação 8), entropia (Equação 9) e energia livre de Gibbs (Equação 10) relacionadas ao processo de secagem das cascas de achachairu foram determinadas pelo método descrito pela constante universal dos gases (Silva et al., 2016).

$$\Delta H = Ea - R(T + 273,15) \quad (8)$$

$$\Delta S = R \left[ \ln D_0 - \ln \left( \frac{k_b}{h_p} \right) - \ln(T + 273,15) \right] \quad (9)$$

$$\Delta G = \Delta H - (T + 273,15)\Delta S \quad (10)$$

Em que:  $\Delta H$  é entalpia específica ( $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$ );  $\Delta S$  é entropia específica ( $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ );  $\Delta G$  é a energia livre de Gibbs ( $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$ );  $k_b$  é a constante de Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23} \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$ );  $h_p$  é a constante de Planck ( $6,626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}^{-1}$ );  $T$  é a temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Através da linearização da Equação de Arrhenius, foi possível obter o coeficiente  $\ln D_0$  da expressão de entropia ( $\Delta S$ ), em que foi utilizada a seguinte expressão (Equação 11):

$$\ln D_{ef} = \ln D_0 - \frac{Ea}{R} \cdot \frac{1}{(T + 273,15)} \quad (11)$$

### **3. Resultados**

Na Tabela 2 se encontra expresso os valores dos parâmetros obtidos para os modelos matemáticos Parry, Page, Henderson e Pabis, ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem do feijão azuki, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvio quadrático médio (DQM), para a temperatura de 40, 50, 60, 70 e 80  $^{\circ}\text{C}$ .

**Tabela 2** - Parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos utilizados na predição da cinética de secagem do feijão azuki nas temperaturas de 40, 50 60, 70 e 80 °C

Modelos		Parâmetro de ajuste			
<b>Parry</b>	<b>a</b>	<b>k</b>	<b>c</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DQM</b>
40 °C	1,223194	0,002344	-0,262004	0,9986	0,01706
50 °C	1,075179	0,003419	-0,124378	0,9974	0,06273
60 °C	0,952614	0,004498	-0,051151	0,9926	0,03611
70 °C	0,824771	0,007415	-0,038709	0,9803	0,04364
80 °C	0,817045	0,013886	-0,077489	0,9779	0,05871
<b>Page</b>	<b>n</b>	<b>k</b>	<b>-</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DQM</b>
40 °C	1,008967	0,003626	-	0,99443	0,00194
50 °C	0,924165	0,007009	-	0,9951	0,00189
60 °C	0,769884	0,019167	-	0,9924	0,00234
70 °C	0,622305	0,058543	-	0,9915	0,00289
80 °C	0,646667	0,061083	-	0,9922	0,00155
<b>Handerson e Pabis</b>	<b>a</b>	<b>k</b>	<b>-</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DQM</b>
40 °C	0,984084	0,003714	-	0,9948	0,03329
50 °C	0,966430	0,004434	-	0,9961	0,02990
60 °C	0,909580	0,005095	-	0,9923	0,03784
70 °C	0,862031	0,006493	-	0,9903	0,05796
80 °C	0,846572	0,010200	-	0,9728	0,06513

Nota: R<sup>2</sup>: coeficientes de determinação; DQM: desvios quadráticos médios; k: constante de secagem; “a”, “c” e “n”: parâmetros dos modelos matemáticos. Fonte: Própria (2019).

Analisando a Tabela 2, verifica-se que para o modelo de Parry, os valores do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) são valores superiores a 0,99, exceto para os grãos submetidos a temperaturas de secagem de 70 e 80 °C no qual os valores obtidos, respectivamente são de 0,9803 e 0,9779, apesar de se ter obtido um coeficiente abaixo de 0,99, o melhor e menor DQM obtido nesse modelo é o da temperatura de 80°C (0,06273).

Para o modelo de Page, aplicado aos dados experimentais nas temperaturas de secagem se obteve ótimos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) onde apresenta valores superiores a 0,99, com melhor coeficiente para temperatura de 50°C, no entanto, quando se avaliando os valores de DQM, o mesmo modelo para todas as temperaturas estudadas,



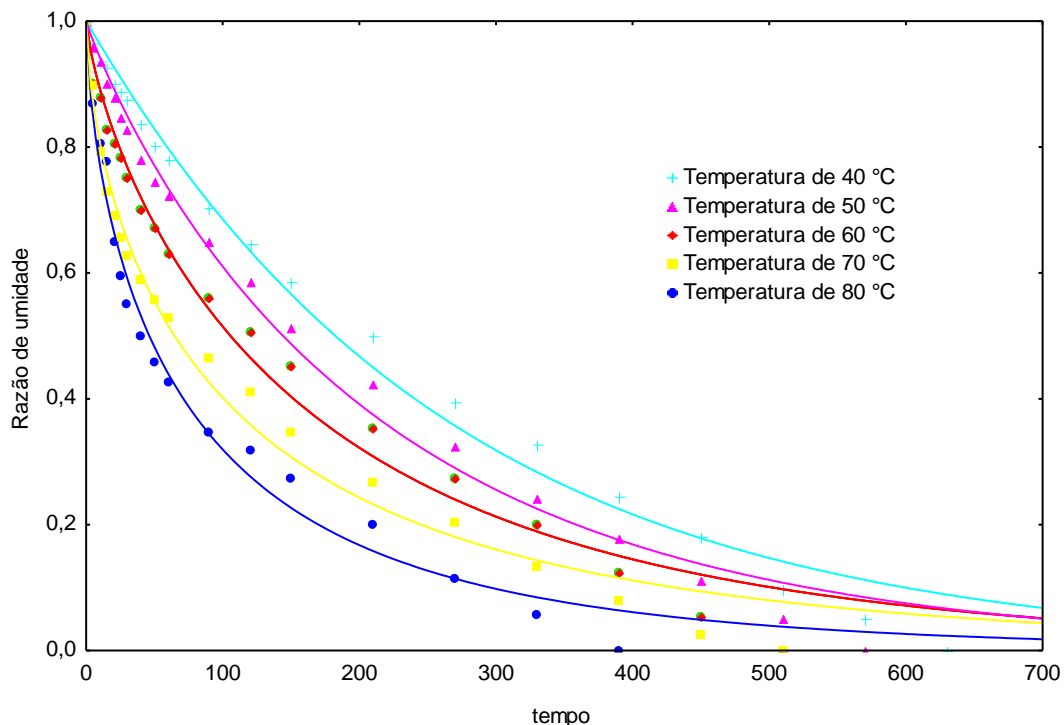
apresenta os menores valores deste parâmetro estatístico, quando se comparado com os modelos de Perry e o de Handerson e Pabis.

O modelo de Handerson e Pabis, assim como os demais, também obteve coeficientes de determinação superiores a 0,99, exceto para temperatura de 80°C que apresenta valor de 0,9728. Os valores de DQM para esse modelo são valores baixos e próximos aos obtidos para o modelo de Parry.

Observa-se ainda que, em todos os modelos analisados os valores do parâmetro “k”, que representa a constante da taxa de secagem nos modelos empregados, aumenta com a elevação da temperatura e segundo Santos et al. (2020) representa o efeito das condições externas de secagem. Os valores do parâmetro de “n” no modelo de Page, não apresenta comportamento específico de acordo com a temperatura variando entre 0,622305 a 1,008967.

Na Figuras 1, observa-se a cinética de secagem do feijão azuki em camada fina a diferentes temperaturas de ar de secagem para o modelo de Page (modelo de melhor ajuste). Percebe-se que, o aumento da temperatura, reduz o tempo de secagem aumentando a taxa de perda de água.

**Figura 1** - Curvas de secagem do feijão azuki pelo modelo matemático de Page.



Fonte: Própria (2019).

Os valores obtidos para difusividade efetiva de massa das cinco temperaturas estudadas são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3-** Difusividade efetiva da secagem do feijão azuki.

T(°C)	Difusividade efetiva (m <sup>2</sup> /s)
40	3,46 x 10 <sup>-11</sup>
50	3,95 x 10 <sup>-11</sup>
60	5,71 x 10 <sup>-11</sup>
70	6,19 x 10 <sup>-11</sup>
80	10,3 x 10 <sup>-11</sup>

Fonte: Própria (2019).

Pode-se observar que, os valores de difusividade variaram de 3,49 a 10,30 x 10<sup>-11</sup> m<sup>2</sup>/s quando se teve um aumento da temperatura de 40 °C para 80 °C. Camicia et al. (2015), em estudos com sementes de feijão-caupi, observaram que, o coeficiente de difusão aumentou com a elevação da temperatura, apresentando valores entre 5,047 a 12,011 x 10<sup>-11</sup> m<sup>2</sup>. s<sup>-1</sup> para a faixa de temperatura de 30 a 50 °C. Na medida em que, se aumenta o gradiente de temperatura, maior é o valor obtido para este parâmetro, pois em temperaturas inferiores, como a de 40 °C, as moléculas de água sofrem maior resistência ao sair do corpo devido a sua composição e estrutura física, fazendo com que, a água seja mais ligada às moléculas que constituem a massa seca.

A dependência com a Equação de Arrhenius (Equação 8) pode ser evidenciada na Equação 12, que mostra o efeito da temperatura na difusividade efetiva com os seguintes coeficientes.

$$Def = 12,06 \times 10^{-8} \exp\left(-\frac{3330,52}{(T + 273,15)}\right) \quad (12)$$

Assim, a energia de ativação (E<sub>a</sub>) encontrada para a secagem do feijão azuki é de 27,69 kJ.mol<sup>-1</sup>. No qual, encontra-se dentro da faixa apresentada por Zogzas et al. (1996), onde afirma que varia para produtos agrícolas entre 12,7-110 kJ.mol<sup>-1</sup>. Silva et al. (2008), obtiveram energia de ativação de 26,90 kJ.mol<sup>-1</sup> ao realizarem a secagem do feijão macassar variedade sempre verde.

Na Tabela 4, pode-se observar os valores obtidos para as propriedades termodinâmicas da cinética de secagem do feijão azuki.

**Tabela 4** – Propriedades termodinâmicas da cinética de secagem do feijão azuki.

T (°C)	$\Delta H$ (kJ.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta S$ (J. mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	$\Delta G$ (kJ. mol <sup>-1</sup> )
40	25,08	-339,47	131,39
50	25,03	-339,73	134,79
60	24,92	-339,99	138,18
70	24,83	-340,23	141,59
80	24,75	-340,47	144,92

Nota:  $\Delta H$  é a entalpia;  $\Delta S$  é a entropia;  $\Delta G$  é a energia livre de Gibbs. Fonte: Própria (2019).

Os valores obtidos para entalpia ( $\Delta H$ ) foram positivos e segundo Santos et al. (2019) valores positivos de entalpia indicam reações endergônicas. Além disso, reduziram com o aumento da temperatura indicando segundo Morais et al. (2019), que as temperaturas mais baixas, requerem mais energia para a ocorrência da desidratação do feijão.

A entropia ( $\Delta S$ ) variou de -340,47 (80 ° C) a -339,47 J. mol<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> (40 ° C), e houve uma redução desse parâmetro termodinâmico à medida que a temperatura aumentou, condição está relacionada à redução na teor de umidade ao longo do processo de secagem, o que dificulta o movimento das moléculas de água.

A energia livre de Gibbs apresentou valores positivos para todas a temperaturas aplicadas e aumentaram com o aumento da temperatura de secagem variando de 131,39 (40 °C) a 144,92 kJ. mol<sup>-1</sup> (80 °C), demonstrando ser um processo não espontâneo. Segundo Oliveira et al. (2013) os valores de energia livre de Gibbs positivos são característicos de uma reação exógena, ou seja, aquela que necessita de um agente externo fornecendo energia ao ambiente.

#### 4. Considerações finais

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que, o modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais da cinética de secagem do feijão azuki, pois apresentou elevados valores para o coeficiente de determinação e os menores valores para o desvio quadrático médio.

A difusividade efetiva, apresentou valores satisfatórios, confirmando que as moléculas de água sofrem maior resistência ao sair do produto em baixas temperaturas e o processo de secagem apresentou uma energia de ativação de 27,69 kJ/mol.

Com relação as propriedades termodinâmicas as mesmas foram afetadas pelo aumento da temperatura de secagem, com reduções de entalpia e entropia e aumento da energia livre de Gibbs indicando um processo endergônico não espontâneo.

Como sugestões de trabalhos futuros, pode-se realizar o processo de secagem em diferentes temperaturas de secagem, obter uma farinha a partir dos feijão desidratado e caracterizar quanto a parâmetros físico-químicos, compostos bioativos e estruturais, além de realizar um estudo de estabilidade durante o armazenamento.

## Referências

Almeida, D. P., Resende, O., Costa, L. M., & Mendes, U. C. (2013). Higroscopicidade das sementes de feijão adzuki. *Científica*, 41(2), 130-137.

Barros, S., Câmara, G., Leite, D., Santos, N., Santos, F., Soares, T., Lima, A., Soares, T., Oliveira, M., Vasconcelos, U., Albuquerque, A., & Queiroz, A. (2020). Modelagem matemática da cinética de secagem de cascas do kino (*Cucumis metuliferus*). *Research, Society and Development*, 9(1), e60911608. Doi:<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i1.1608>

Brasil - Instituto Adolfo Lutz. (2008). *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. 4ª ed. 1ª ed. Dgital, São Paulo, p.1020.

Camicia, R. G. M., Christ, D., Coelho, S. R. M., & Camicia, R. F. M. (2015). Modelagem do processo de secagem de sementes de feijão-caupi. *Revista Caatinga*, 28(3).

Corrêa, P. C., Oliveira, G. H. H., Botelho, F. M., Goneli, A. L. D., & Carvalho, F. M. (2010). Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. *Revista Ceres*, 57(5), 595-601. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2010000500005>

Goneli, A. L. D., Nasu, A. K., Gancedo, R., Araújo, W. D., & Sarath, K. L. L. (2014). Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*Cordiaverbenácea* DC.). *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 16(2), 434-443.

Luikov, A. V. (1968). *Analytical Heat Diffusion Theory*. Academic Press, Inc., Ltd. London.

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. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n9p702-708>

Oliveira, D. E. C., Resende, O., Smaniotto, T. A. S., Souza, K. A., & Campos, R. C. (2013). Propriedades termodinâmicas de grãos de milho para diferentes teores de água de equilíbrio. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43(1), 50-56.

Orsi, D. C., Nishi, A. C. F., Carvalho, V. S., & Asquieri, E. R. (2017). Caracterização química, atividade antioxidante e formulação de doces com feijão azuki (*Vigna angularis*). *Brazilian Journal of Food Technology*, 20, e2016174. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.17416>

Resende, O., Ferreira, L. U., & Almeida, D. P. (2010). Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão Adzuki (*Vignaangularis*). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 12(2), 171-178.

Ribeiro, N. D., Domingues, L. S., Gruhn, E. M., Zemolin, A. E. M., & Rodrigues, J. A. (2014). Desempenho agrônômico e qualidade de cozimento de linhagens de feijão de grãos especiais. *Revista de Ciências Agrônômicas*, 45, 92-100.

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. (2019). Modelling and thermodynamic properties of the drying of acuri slices. *Brazilian Journal of Food Technology*, 22, e2018031. Doi: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.03118>

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, N., Leite, D., Câmara, G., Barros, S., Santos, F., Soares, T., Lima, A., Soares, T., Albuquerque, A., Oliveira, M., Vasconcelos, U., & Queiroz, A. (2020). Modelagem matemática da cinética de secagem de cascas da toranja (*Citrus paradisi* Macf.). *Research, Society and Development*, 9(1), e61911609.

Silva, H. W., Rodovalho, R. S., Velasco, M. F., Silva, C. F., & Vale, L. S. R. (2016). Kinetics and thermodynamic properties related to the drying of ‘Cabacinha’ pepper fruits. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(2), 174-180. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n2p174-180>

Silva, W. D., Cavalcanti-Mata, M. E. R. M., Silva, C. D. P. S., Guedes, M. A., & Lima, A. D. (2008). Determinação da difusividade e da energia de ativação para feijão Macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), variedade sempre-verde, com base no comportamento da secagem. *Engenharia Agrícola*, 28(2), 325-333.

Siqueira, V. C., Resende, O., & Chaves, T. H. (2012). Difusividade efetiva de grãos e frutos de pinhão-manso. *Semina: Ciências Agrárias*, 33, 2919-2930.

Wu, G., Bai, Z., Wan, Y., Shi, H., Huang, X., & Nie, S. (2019). Antidiabetic effects of polysaccharide from azuki bean (*Vigna angularis*) in type 2 diabetic rats via insulin/PI3K/AKT signaling pathway. *Food Hydrocolloids*, 101, 105456. Doi:10.1016/j.foodhyd.2019.105456

Zogzas, N. P., Mauroulis, Z. B., & Marinos, D. K. (1996). Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. *Drying Technology*, 14(10), 2225-2253.

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Raphael Lucas Jacinto Almeida – 10%

Newton Carlos Santos – 10%

Tamires dos Santos Pereira – 10%

Anna Paula Rocha de Queiroga – 10%

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva – 10%

Victor Herbert de Alcântara Ribeiro – 10%

Rafaela Duarte Almeida Araújo – 10%

Maysa Bernardino Cabral – 10%

Lucas Rodolfo Inácio da Silva – 10%

Elder Miguel Esperidião Silva Borges – 10%