

## Cinética de secagem de amido de mandioca (*Manihot esculenta* C.): modelagem matemática

*Cassava (Manihot esculenta C.) starch drying kinetics: mathematical modeling*

José de Arimateia Rodrigues do Rego<sup>1</sup>, Adria Evellin Godinho de Vilhena<sup>2</sup>, Davi do Socorro Barros Brasil<sup>3</sup>, Gleice Vasconcelos Pereira do Lago<sup>4</sup>, Glauce Vasconcelos da Silva Pereira<sup>5</sup>, Marcondes Lima da Costa<sup>6</sup>, Rafael Nascimento Queiroz<sup>7</sup>.

### RESUMO

O monitoramento e o controle das principais variáveis no processo de secagem são importantes para garantir condições operacionais que permitam obter um produto dentro de especificações de qualidade, maior vida útil e menor tempo de secagem. A modelagem matemática aplicada ao processo é ferramenta importante para a avaliação de condições ótimas. O objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento da secagem do amido de mandioca com enfoque na avaliação do processo de cinética de secagem para verificar condições de temperatura e tempo para obtenção de um material adequado de trabalho. No estudo experimental, a perda de água nas amostras de amido decorrentes da ação do calor durante a cinética de secagem evaporou-se significativamente na amostra secas a 60, reduzindo a umidade final (razão de umidade – Ru) e o tempo de secagem de 840 para 570. Com base na modelagem matemática, verificou-se valores de R<sup>2</sup> ajustado superiores a 0,9, indicando uma boa representatividade do processo de secagem, sendo o modelo de Midilli que melhor apresentou ajustes para todas as condições avaliadas. Assim, o modelo matemático de Midilli mostrou-se mais adequado para prever as curvas de secagem de todas as amostras; e dentre as temperaturas avaliadas, a 50 °C, mostrou-se a com melhores parâmetros de reprodutibilidade referente a perda de umidade, apresentando melhores previsões de dados para futuros dimensionamentos em processos diversos.

### ABSTRACT

Monitoring and controlling the main variables in the drying process are important to ensure operational conditions that allow obtaining a product within quality specifications, longer shelf life and shorter drying time. Mathematical modeling applied to the process is an important tool for evaluating optimal conditions. The objective of this study was to evaluate the drying behavior of cassava starch focusing on the evaluation of the drying kinetics process to verify temperature and time conditions to obtain an adequate material for work. In the experimental study, the loss of water in the starch samples resulting from the action of heat during the drying kinetics evaporated significantly in the samples dried at 60°C, reducing the final moisture (moisture ratio – Ru) and the drying time of 840 to 570. Based on mathematical modeling, adjusted R<sup>2</sup> values were found to be greater than 0.9, indicating a good representativeness of the drying process, with the Midilli model that best presented adjustments for all evaluated conditions. Thus, Midilli's mathematical model proved to be more adequate to predict the drying curves of all samples; and among the evaluated temperatures, 50 °C, showed to be the one with the best reproducibility parameters regarding moisture loss, presenting better data predictions for future design in different processes.

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência e Meio Ambiente (PPGCMA) - Universidade Federal do Pará, Brasil  
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0891-6438>  
 Email: jr2reg@gmail.com

<sup>2</sup>PPGCMA (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Meio Ambiente), Universidade Federal do Pará (UFPA).  
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9372-4993>  
 Email: adriavilhena@gmail.com

<sup>3</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência e Meio Ambiente (PPGCMA) - Universidade Federal do Pará, Brasil  
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1461-7306>  
 Email: dsbbrasil@ig.com.br

<sup>4</sup>Universidade Federal do Pará, Brasil  
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9702-250X>  
 Email: gleicedasilva@ufpa.br

<sup>5</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Pará (UFPA).  
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4900-1664>  
 Email: glaucepereira@ufpa.br

<sup>6</sup>Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Pará (UFPA)  
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0134-0432>  
 Email: marcondeslc@gmail.com

<sup>7</sup>Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal do Pará (UFPA)  
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5529-8906>  
 Email: rafael.queirox@gmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com dados do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), segundo a projeção de 2021 o Pará foi mantido no posto de maior produtor do Brasil de mandioca e de cacau. De acordo com LSPA, a produção paraense representa aproximadamente 62,94% da produção da região Norte ficando, portanto, em primeiro lugar no ranking regional, com um volume de 4.051.783 toneladas, segundo as projeções para o ano de 2022 (IBGE, 2021).

De acordo com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), a mandioca é um alimento de referência para a alimentação paraense. A farinha, a tapioca, a maniva e o tucupi, consumidos em diversas ocasiões, são frutos da produção rural do estado, que abastece o aquecido mercado local é também o de outras regiões, já que o Pará se destaca como o maior produtor de mandioca do Brasil. De acordo LSPA, do IBGE, na safra de 2021, o estado foi responsável pela produção de 4 milhões de toneladas de mandioca, o que representa 21,95% do volume nacional (CNA, 2022). Isso indica a disponibilidade do amido que é um dos principais produtos da mandioca no país (ALAMU *et al.*, 2020).

O amido para uso industrial é extraído principalmente de batatas e cereais. No entanto, esta macromolécula também pode ser obtida a partir de tubérculos e rizomas e pode ser utilizada como polímeros, adesivos, produtos farmacêuticos, têxteis e outros (LEITE *et al.*, 2017). Por ser um polímero natural renovável de fácil decomposição, abundante e de baixo custo e grande valor comercial, o amido pode ser utilizado como matéria base para inúmeros produtos alimentícios (PEREIRA *et al.*, 2021; REGO *et al.*, 2017; 2020)

Da mandioca pode-se extrair o amido, com dois principais componentes fundamentais como amilose e amilopectina. A cadeia do amido tem muitos grupos hidroxila (O-H) nos quais dois O-H subordinados em C-2 e C-3 de todo o excesso de glicose e um O-H em C-6 não estão interligados. Este fenômeno leva o amido a ser hidrofílico. A amilose contém moléculas lineares de elementos de glicose conectados com a ligação  $\alpha$  (1-4). A amilopectina contém moléculas bifurcadas com ligações  $\alpha$  (1-6) que ligava unidades de ramificação com a cadeia linear de  $\alpha$  (1-4) glicose. O amido se comporta como um biopolímero semicristalino que auxilia como reservatório de carboidratos em muitas floras

contendo sementes, tubérculos e cereais. Além disso, o amido possui excelente condutividade térmica e propriedades biodegradáveis (NAVARRO *et al.*, 2019).

Métodos para sua conservação e armazenamento são essenciais para alimentos com alto conteúdo de água. A secagem é o processo de remoção de umidade para preservação de alimentos, devido a diminuição da atividade biológica. O tempo de prateleira para comercialização de um produto é de grande importância, para que não ocorra perda de qualidade, torna-se interessante aplicação de métodos de conservação, principalmente métodos que não agriam o meio ambiente. A escolha para aplicação do método é fundamental, pois o tipo de processamento aplicado poderá afetar a qualidade do produto (DEFRAEYER; RADU, 2018).

Dentre as tecnologias, a secagem é a mais conhecida e utilizada no mundo para assegurar a qualidade de produtos in natura e a estabilidade durante a vida de prateleira deles. A diminuição da quantidade de água (teor de água) do material pela secagem reduz a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas durante os procedimentos pós-colheita até o consumo final. Consiste procedimento imprescindível para a transformação industrial de frutas em subprodutos (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

A conservação pela secagem baseia-se no fato de que tanto os microrganismos como as enzimas e todo o mecanismo metabólico necessitam de água para suas atividades. Com a redução da quantidade de água disponível, serão reduzidas a atividade de água e a velocidade das reações químicas e, como consequência, o desenvolvimento de microrganismos, conferindo ao produto uma maior qualidade por maior período, aumentando-se, assim, a vida de prateleira (OLIVEIRA *et al.*, 2015). A simulação do comportamento de cada alimento durante a redução do teor de água é importante no desenvolvimento e aprimoramento de equipamentos de secagem, e para tal utilizam-se modelos matemáticos que possam representar satisfatoriamente a perda de água durante o período de secagem em função da espessura de camadas do material (BERBERT *et al.*, 1995).

O dimensionamento, a otimização e a determinação da viabilidade de sua aplicação comercial, nos sistemas de secagem, podem ser feitos através de simulações matemáticas, em que para isso faz-se uso de modelos matemáticos que possam representar satisfatoriamente a perda de água durante o processo de secagem. Estes processos podem ser previstos por meio de modelagem matemática (ARAÚJO *et al.*, 2017).

A modelagem é uma importante ferramenta de análise disponível para projeto e operação de processos ou sistemas. Esta simula processos como experimentos de sistemas ou fenômenos físicos, através de modelos matemáticos que representam características observadas em sistemas reais possibilitando avaliar formas de otimizar a operação, na qual pode ser útil em qualquer uma das fases do ciclo de vida de um sistema da produção (PAIVA, 2005). Sendo uma ferramenta cada vez mais explorada pelos pesquisadores, de grande utilidade para o cálculo do desenvolvimento eficiente de cada análise, tendo em vista a melhoria no processamento, redução de perdas e aumento da qualidade do produto, é utilizado modelos matemáticos que consideram as características do sistema de transferência de massa em alimentos (DANTAS; MATA; DUARTE, 2011).

Para a estimativa do tempo necessário para que ocorra a redução do teor de água do produto, sob diferentes condições de secagem, contribuindo para a melhoria da eficiência no processo, os modelos matemáticos são instrumentos bastante utilizados. Além disso, essas ferramentas são importantes para o correto dimensionamento dos equipamentos (ANDRADE; BORÉM; HARDOIM, 2003). Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento da secagem do amido de mandioca com enfoque na avaliação do processo de cinética de secagem para verificar o comportamento higroscópico, a temperatura constante, das amostras para serem utilizadas como base para produção de produtos diversos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Matérias-primas

#### *Amido de mandioca.*

Foram utilizados amido de mandioca (*Manihot Sculenta* Crantz) produzida em fecculárias do município de Castanhal-PA e comercializadas em rede de supermercados de Belém-PA.

### 2.2 Cinética de secagem do amido de mandioca

O experimento foi realizado no Laboratório de Engenharia Química (LEQ) na Universidade Federal do Pará. Para a determinação do teor de água, foi utilizado o método

padrão de estufa ( $105 \pm 3$  °C, durante 24 h), segundo a metodologia da Association of Official Analytical Chemists, (AOAC, 2000). As análises foram realizadas em triplicata.

Cerca de 50 g de amido de mandioca reginal (AM) foram distribuídos em placas de Petri e acondicionadas em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas 40, 50 e 60 °C, até que a variação de massa das amostras em duas pesagens consecutivas fossem  $\leq 0,10$ , determinando o equilíbrio. No período de 180-840 minutos obteve-se o perfil de cinética de secagem, pesando-se as amostras a cada 30 min em uma balança analítica com precisão de 0,0001 g. Foi utilizado um esquema de rodízio entre as placas, anotando-se a massa de cada amostra e o tempo, obtendo-se a duração da secagem total. A cinética de secagem foi construída baseada na correlação entre a razão de umidade ( $R_u$ ) (Equação 1) e o tempo de processo (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

$$R_u = \frac{U_t - U_e}{U_i - U_e} \quad (1)$$

Onde:  $R_u$  = razão de umidade (adimensional);  $U_t$  = teor de água presente na amostra no tempo  $t$  (g água/g da amostra seca);  $U_e$  = teor de água presente no equilíbrio;  $U_i$  = teor de umidade da amostra no tempo inicial

### 2.3 Modelagem matemática do perfil de secagem

Na predição das curvas de secagem, os três modelos matemáticos (Tabela 1) foram ajustados aos dados experimentais de razão de umidade obtida para as amostras de amido.

**Tabela 1** – Modelos empíricos utilizados para descrever a cinética de secagem do amido.

Nome do Modelo	Modelo	Equação
Page (PAGE, 1949)	$R_u = e^{(-k.t^n)}$	(2)
Midilli (MIDILLI <i>et al.</i> , 2002)	$R_u = a.e^{(-k.t^n)} + b.t$	(3)
Aproximação da difusão (YALDIZ; ERTEKIN, 2001)	$R_u = a.e^{(-k.t)} + (1 - a).e^{(-k.b.t)}$	(4)

Nota:  $R_u$ : razão de umidade (adimensional);  $a$ ,  $b$ ,  $c$ : são coeficientes dos modelos (adimensionais);  $n$ ,  $k$ ,  $k_0$ ,  $k_1$ : constantes de secagem,  $\text{min}^{-1}$ ;  $t$ : tempo (min).

## 2.4 Análise estatística

A análise estatística dos resultados obtidos das matérias-primas amido de mandioca foi realizada por meio do software STATISTICA 7 para Windows. Os modelos matemáticos foram ajustados aos dados experimentais por regressão não linear, sendo utilizado o algoritmo Quasi-Newton, com um critério de convergência de  $10^{-6}$  (erro relativo). O menor valor do erro quadrático médio ( $RMS_E$ ) e o maior valor do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajustado}$ ) foram os critérios utilizados para definir o melhor modelo da cinética de secagem (MONTGOMERY; RUNGER, 2018). Segundo Taylor (1997), o RMSE é uma boa medida de exatidão, pois mede a diferença entre dois conjuntos de dados e amplifica os grandes resíduos.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Cinética de secagem do amido de mandioca

As curvas de secagem das amostras de amidos, para as diferentes temperaturas de secagem (40, 50 e 60 °C) são apresentadas na Figura 1. Embora as curvas tenham apresentado o comportamento semelhante nas respectivas temperaturas analisadas, é possível observar que o aumento da temperatura de 40°C para 60 °C favoreceu consideravelmente a perda de água.

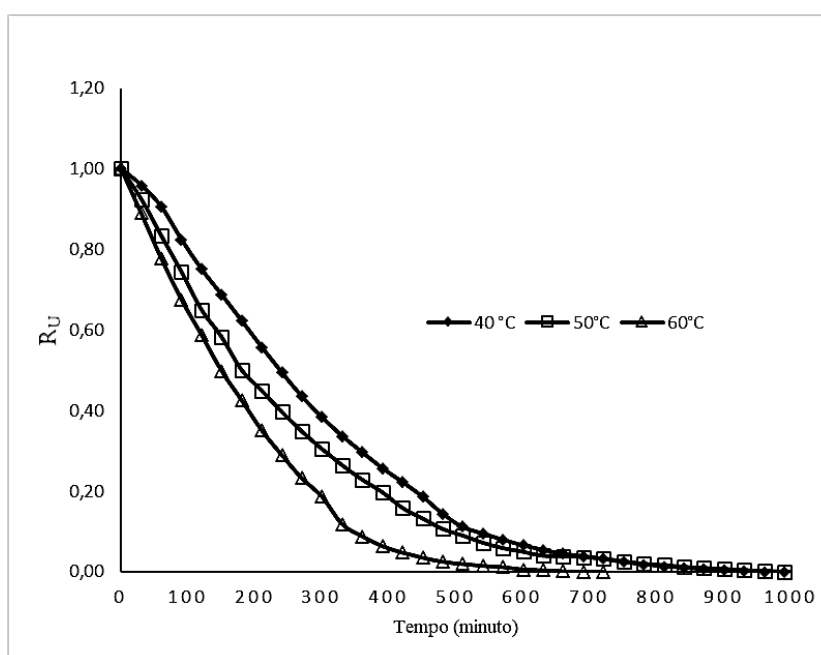


Figura 1 - Curvas de secagem realizadas a 40, 50 e, 60 °C.

### 3.2 Modelagem matemática das curvas de secagem

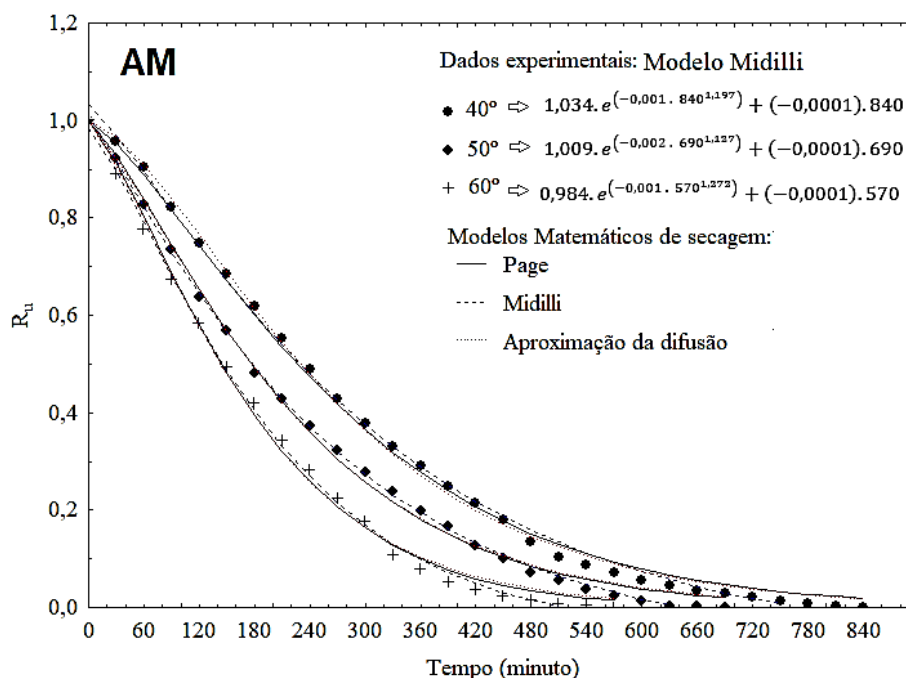
Os modelos matemáticos foram ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem das amostras de amido de mandioca, de forma a obter o modelo matemático que melhor descreva o tempo de secagem. De acordo com a modelagem realizada, os melhores ajustes para o processo de secagem foram obtidos pelos modelos de Midilli, de acordo com os maiores valores de  $R^2_{ajustado}$  e menores valores de  $RMS_E$  (Tabela 2). O valor de  $R^2_{ajustado}$  considera o número de graus de liberdade, que não é considerado pelo valor de  $R^2$  (MONTGOMERY; RUNGER, 2018). O erro quadrático médio ( $RMS_E$ ) é uma boa medida de exatidão, pois mede a diferença entre dois conjuntos de dados e amplifica os grandes resíduos (TAYLOR, 1997). Verificou-se nos modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais, valores de  $R^2_{ajustado}$  superiores a 0,9, indicando uma boa representatividade do processo de secagem. No entanto, observa-se que o modelo de Midilli apresentou os maiores valores de  $R^2_{ajustado}$  e os menores valores de  $RMS_E$ , sendo considerado o melhor modelo em todas as temperaturas analisadas (Tabela 2). Os bons ajustes destes modelos, podem ser visualizados na Figura 2.

**Tabela 2** - Parâmetros dos ajustes dos modelos aos dados de secagem do amido de mandioca.

Modelos	Temperatura	k (min. <sup>-1</sup> )	n	$R^2_{ajustado}$	$RMS_E$
<b>AM</b>					
Page	<b>40 °C</b>	0,0005	1,3337	0,997	0,017
Midilli		0,0010	1,1972	0,998	0,015
Aproximação da difusão		0,0070	-	0,998	0,016
Page	<b>50 °C</b>	0,0010	1,2687	0,997	0,017
Midilli		0,0020	1,1268	0,999	0,008
Aproximação da difusão		0,0078	-	0,997	0,017
Page	<b>60 °C</b>	0,0010	1,3130	0,996	0,020
Midilli		0,0012	1,2720	0,998	0,013
Aproximação da difusão		0,0104	0,9260	0,995	0,022

Nota: constantes de secagem: n, k (min.<sup>-1</sup>).

O modelo de Aproximação de difusividade por ser considerado um modelo complexo, sendo utilizado quando não se consegue bons ajustes com os modelos mais simples. O modelo de Page, por ter apresentado um bom ajuste e possuir apenas dois parâmetros, facilita a sua solução matemática, podendo ser utilizado para efeitos práticos na predição da cinética de secagem das amostras avaliadas. O modelo de Midilli foi o que apresentou os melhores ajustes para todas as condições avaliadas. Assim, pode-se afirmar que os modelos de Page e Midilli predizem de forma correta o comportamento das secagens.



**Figura 2** - Curvas de secagem e modelagem de amostras de amidos de mandioca (AM) secos a 40, 50 e 60 °C e as curvas preditas pelos modelos de Page, Midilli e Aproximação de difusão.

Na Tabela 2, os valores do erro quadrático médio (RMS<sub>E</sub>) da estimativa obtiveram resultados satisfatórios com os modelos de Midilli, e Page, para o amido de mandioca nas temperaturas analisadas, indicando na Figura 2 que as curvas ajustadas pelo modelo de Aproximação de difusão afastaram-se dos dados experimentais obtidos para as temperaturas analisadas.



## 4. DISCUSSÃO

As variações na perda de umidade das amostras foram dependentes da temperatura, influenciando no tempo de secagem, com umidade (b.u.) inicial de 43,21. A perda de água nas amostras de amido decorrentes da ação do calor durante a cinética de secagem evaporou-se significativamente nas amostras secas a 60 °C, reduzindo a umidade final (razão de umidade –  $R_u$ ) e o tempo de secagem de 840 para 570. Com relação a perda de água dos produtos, observa-se um comportamento exponencial, assim como encontrados na literatura para comportamento de perda de umidade a temperatura constante, onde o início da curva apresenta um declínio superior, indicando uma alta taxa de perda de água, sendo esta umidade presente mais na superfície das amostras ou nas proximidades da superfície, e apresenta também no final da curva um comportamento menos acentuado de perda de umidade, caracterizando um a baixa perda de água e pode ser ligado a umidade mais interna das amostras, onde necessitam percorrer um caminho mais resistente por entre os poros do material.

Maiores taxas de perda de água foram sendo observadas a medida que as temperaturas de secagem foram aumentando, podendo ser visualizada pelos maiores arcos formados nas curvas de 40 a 60°C. De acordo com Miranda *et al.* (2009), essa diferença ocorre devido ao uso de alta temperatura no processo de secagem, proporcionando maior taxa de transferência de massa (água), atingindo-se a umidade de equilíbrio mais rapidamente. Estudos reportados por Oliveira e colaboradores (2015) em cinética de secagem de morangos nas temperaturas de 40, 50 e 60°C, identificaram o adimensional de umidade da secagem de morangos em menor temperatura levou mais tempo para chegar ao equilíbrio comparado ao tempo da secagem em temperatura maior.

Pode-se observar que os valores do parâmetro  $n$  diminuíram com o aumento da temperatura de secagem (Tabela 2). De acordo com Corrêa *et al.* (2007), o  $n$  reflete a resistência interna do produto ao processo de secagem, um comportamento anormal para as temperaturas de 50 a 60°C, onde houve um aumento de resistência com o aumento de temperatura, apesar de uma estimativa, este fato pode ser mais bem avaliado em estudos futuros para melhor compreensão do comportamento higroscópico do produto. Em relação a constante  $k$ , esta pode ser utilizada de forma a caracterizar o efeito da temperatura no processo de secagem (CORRÊA *et al.*, 2007). Verifica-se, que o nível da temperatura de secagem, ocorre o aumento desta constante, caracterizando uma coerência estável diante

do aumento da temperatura das amostras analisadas. A constante de secagem ( $k$ ), é considerada uma aproximação do efeito da temperatura na secagem, relacionando-se à difusividade efetiva no processo de secagem no período decrescente e à difusão líquida que controla o processo (MADAMBA et al., 1996; BABALIS; BELESSIOTIS, 2004).

Assim, o modelo matemático de Midilli mostrou-se mais adequado para prever as curvas de secagem de ambas as amostras; e dentre as temperaturas avaliadas, a 50 °C, mostrou-se a mais semelhante referente a perda de umidade, apresentando menor erro, e podendo utilizado com mais precisão para estimativas, assim como sua utilização para matéria-prima de elaboração de produtos. Ferronato *et al.* (2020) observaram que o modelo de Medilli foi o que melhor se ajustou aos dados de secagem da mandioca.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A secagem mostrou-se viável do ponto de vista tecnológico, visto que o processo utilizado aumentou a útil das matérias primas que podem ser utilizadas como base de preparação para diversos produtos.

Na modelagem matemática, o modelo Midilli apresentou ajuste satisfatório em toda a faixa de temperaturas, predizendo de forma eficiente o processo de secagem. A secagem em temperatura de 50 °C foi a que apresentou os melhores ajustes dos modelos para ambas as amostras, sendo este um parâmetro importante para a indústria, pois indica que as amostras apresentam boa reprodutibilidade.

## REFERÊNCIAS

- ALAMU, E. O. *et al.* Report On the Status of Attiéké Production in Côte d'Ivoire. International **Institute of Tropical Agriculture**, Ibadan, 2020.
- ARAUJO, Willian Dias *et al.* Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 3, p. 448–457, jul. 2017.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of 494 analysis**. In: Horwitz W (ed.) AOAC 495 international. vols. 1 and 2, 17th ed. Gaithersburg, MD, USA: 2000, p.2200.
- BABALIS, S. J.; BELESSIOTIS, V. G. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 65, n. 3, p. 449-458, 2004.
- BERBERT, P. A.; QUEIROZ, D. M.; SILVA, J. S.; PINHEIRO FILHO, J. B. Simulation of coffee drying in a fixed bed with periodic airflow reversal. **Journal of Agricultural**

---

**Engineering Research**60, n. 3, p. 167-173, 1995. <http://dx.doi.org/10.1006/jaer.1995.1010>.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M. Mathematical modelling for describing the drying process of the edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in thin layers. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 501-510, 2007.

DANTAS, L. A.; MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M. Programa Computacional Dinâmico para Simulação de Secagem de Grãos e Sementes de Milho. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.13, n.3, p.309-318, 2011.

DEFRAEYER, T.; RADU, A. Insights in convective drying of fruit by coupled modeling of fruit drying, deformation, quality evolution and convective exchange with the airflow. **Applied Thermal Engineering**, v. 129, p. 1026-1038. 2018

CNA - CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. **Descubra como a inovação contribui para a produção de mandioca no Pará**. 2022.

FERRONATTO, G. B.; JÜNGES, F.; Carli, C.; CAVICHI, L. V.; FELTRIN, V. P.; ZANATTA, E. R.; PEREIRA, C. **Modelagem matemática do processo de secagem de mandioca**. In: VIEIRA, V. B.; PIOVESAN, N.; COSTA, A. C. S. (eds) Investigação cinética no campo da engenharia e da tecnologia de alimentos. Ponta Grossa, PR: **Atena Editora**, 2020, p. 97–186.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção de mandioca no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. **Thin-layer drying characteristics of garlic slices**. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 29, n. 1, p. 75-97, 1996.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. A new model for single-layer drying. **Dry. Techn.**, v. 20(7), p. 1503-1513. (2002).

MIRANDA, M.; MAUREIRA, H.; RODRÍGUEZ, K.; VEGA-GÁLVEZ, A. Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of Aloe Vera (*Aloe Barbadensils Miller*) gel. **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 2, p. 297-304. (2009).

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied Statistics and Probability for Engineers**. 7th ed. **Hoboken**, Nova Jersey, USA: 2018.

NAVARRO, D.; ABELILLA, J. J.; STEIN, H. H. Structures and characteristics of carbohydrates in diets fed to pigs: a review. **J. Anim. Sci. Biotechnol.** 10, 39. <http://dx.doi.org/10.1186/s40104-019-0345-6>. 2019.

OLIVEIRA, G. H. H.; ARAGÃO, D. M. S.; OLIVEIRA, A. P. L. R.; SILVA, M. G.; GUSMÃO, A. C. Modelagem e propriedades termodinâmicas na secagem de morangos. **Brazilian J. Food Technol.**, v. 18(4), p. 314-321. (2015).

PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers**. Thesis (M.Sc.) - Purdue University, West Lafayette. (1949).

PAIVA, A. F. O. **Geração Automática de Modelos de Simulação de uma Linha de Produção na Indústria Têxtil**. 239p. 2005. Dissertação de mestrado. Engenharia industrial, Universidade de Minho. Guimarães. Portugal. 2005.

TAYLOR, J. R. Introduction to error analysis: The study of Uncertainties in physical measurements (2<sup>a</sup> ed.). **University Science Books**. 1997.

VIEGAS, B. M. *et al.* Produção de agregados utilizando lama vermelha: o estudo da cinética de secagem. In: HOLZMANN, H. A. BISCAIA, R. V. B. (eds) **Ciência e engenharia de materiais e o desenvolvimento socioambiental**. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019, p. 10-17.

YALDIZ, O.; ERTEKIN, C. Thin layer solar drying of some vegetables. **Dry. Techn.**, v. 19, p. 583–596. (2001).