

08 a 11 de Outubro de 2018
Instituto Federal Fluminense
Búzios - RJ

ESTUDO DO PROCESSO DE SECAGEM DE ARROZ COM CASCA EM LEITO DE JORRO

Daiane Ribeiro Dias¹ – daianedias2301@gmail.com

Isabelle Santos Andrade² – isabelleandrade610@gmail.com

Polyana Gomes de Aguiar² – polyana.eq@gmail.com

João Carlos Gonçalves² – joaocarloseq@gmail.com

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica – Uberlândia, MG, Brasil.

² Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Campus Montes Claros – Montes Claros, MG, Brasil.

Resumo. A secagem em leito de jorro é uma alternativa tecnológica que vem ganhando espaço nas investigações científicas para a secagem de grãos em geral e isso se deve a algumas vantagens, tais como uma maior área de contato entre o sólido e o fluido de secagem e altas taxas de transferência de calor e massa. Nesse contexto, o presente trabalho objetivou estudar a cinética de secagem do arroz com casca nesse equipamento, sendo, previamente, realizada a caracterização do grão. A secagem em leito de jorro foi realizada com uma massa de sólidos secos de 300 g com umidade inicial de 22 % em base úmida, nas temperaturas de 50 e 60 °C e velocidade do ar de secagem de 3,73 m/s e 4,14 m/s, obtendo, assim, as curvas de secagem. A secagem dos grãos no leito de jorro apresentou resultados satisfatórios com significativa diminuição de umidade ao longo do tempo de processamento. A temperatura foi parâmetro significativo na redução de umidade do produto. Dentre as condições operacionais estudadas, a temperatura de 60 °C e velocidade do ar de 3,73 m/s resultou em maior perda de umidade do material, em que a umidade inicial decresceu de 0,2820 para 0,1270 em base seca.

Palavras-chave: Leito de jorro, secagem e cinética de secagem.

1. INTRODUÇÃO

O arroz é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, sendo ingrediente principal de vários pratos típicos de diferentes países (NITZKE; BIEKRZYCKI, 2018). Conforme os dados informados pela *Food and Agriculture Organization* – FAO (2017), o Brasil fechou o ano com a produção de 12,3 milhões de toneladas de arroz com casca, superando a de 2016, representando um aumento de 16,3%. O país foi, nesse ano, o décimo produtor mundial e o maior produtor da América do Sul.

Por ser o arroz um produto sazonal e de consumo constante, a conservação e armazenagem devem ser conduzidas de forma adequada, com objetivo de minimizar a deterioração do produto (OCÁCIA *et al.*, 2002).

As sementes do arroz são colhidas com altos teores de água, entre 18 e 27%, inadequados para uma armazenagem segura, uma vez que valores elevados de umidade associados às condições ambientes podem levar à deterioração da semente. O armazenamento eficiente é alcançado quando as sementes apresentam teor de umidade de, no máximo, 13 % (base úmida). Após a colheita, o arroz é submetido à secagem visando estabelecer as condições ideais mínimas necessárias para o seu armazenamento (EMBRAPA, 2013; OLSEN, 1998).

A secagem é uma operação unitária por meio da qual ocorre a redução de umidade de um sólido, mediante o fornecimento de energia a esse; é um processo de transferência simultânea de calor e massa, podendo ter um alto consumo energético. O transporte de umidade do interior do produto para sua superfície pode ocorrer na forma de líquido e/ou vapor, dependendo do tipo de sólido e do teor de umidade contido. O tempo de secagem é um parâmetro que depende das condições de estado do ar atmosférico (temperatura, umidade relativa e velocidade), assim como das propriedades internas do sólido (LIMA, 2017).

A avaliação do processo de secagem é, normalmente, realizada pela análise das curvas típicas de secagem que relacionam a umidade do sólido com o tempo de secagem, ou ainda a taxa de secagem em função da umidade do sólido (ARROTÉIA *et al.*, 2017).

Uma alternativa tecnológica que vem sendo objeto de investigações científicas é a secagem de produtos alimentícios em leito de jorro. A operação desse proporciona a formação de um caminho preferencial para o ar de secagem, resultando em um movimento cíclico das partículas; como consequência tem-se uma intensa agitação dos grãos, garantindo altas taxas de transferência de calor e massa (ARROTÉIA *et al.*, 2017).

Outros fatores que complementam a vantagem do secador em leito de jorro em relação a outros tipos é o baixo custo de construção e operação, bom desempenho e por proporcionar alto contato entre fluido e partículas para produtos com diâmetro superior a 1 mm, sem perder a homogeneidade do processo fluidodinâmico, fato que não é observado na fluidização (FREIRE; SARTORI, 1992 *apud* DUARTE, 2006).

Nesse contexto, com o intuito de contribuir para a aplicação do leito de jorro cônico, o presente trabalho objetivou estudar a cinética de secagem do arroz com casca nesse equipamento, visando atingir umidade ideal para armazenamento do grão. Sendo, previamente, realizada a caracterização do grão. Com os resultados de teores de umidade avaliou as taxas específicas de secagem do cereal.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Sistema experimental

O sistema experimental (Figura 1 A) utilizado na condução dos ensaios de secagem consiste em um leito cônico-cilíndrico, sendo as dimensões representadas na Figura 1 B.

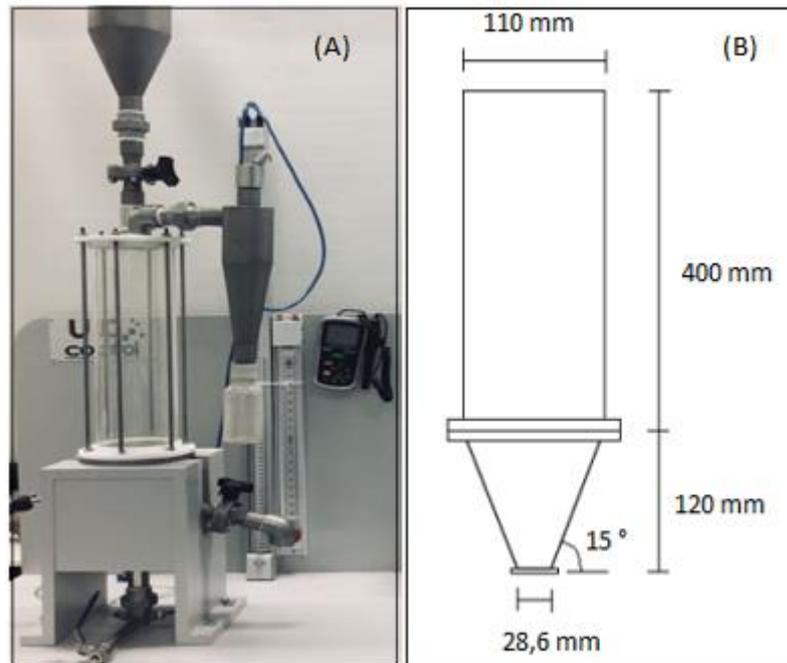


Figura 1 – Unidade experimental (A) e dimensões (B).

2.2 Métodos

Umidificação do arroz: Previamente, os grãos de arroz foram obtidos no comércio varejista da cidade Montes Claros – MG. Para garantir que a massa do arroz não apresentasse umidade prévia, realizou-se a secagem desse em estufa a 105 °C, por 24 horas, para determinação da massa de sólido seco (BRASIL, 2009). Objetivou atingir o conteúdo de umidade de 22,00 %, em base úmida, assim como 28,20 % em base seca. Esse valor de umidade foi escolhido por estar na faixa de umidade de colheita que, segundo a Embrapa (2013), é de 18,00 % e 27,00 % em base úmida. Os valores citados foram obtidos a partir de amostras de 300 g de arroz isento de umidade, além da medição de 84,6153 g de água. Assim, utilizou-se balança analítica para determinar as massas de sólido seco em um béquer, além da medição da massa de água em uma proveta, adicionados a um saco plástico lacrado e armazenados em um recipiente hermeticamente fechado, em um intervalo mínimo de 24 horas, anterior aos ensaios de secagem.

Caracterização: Três amostras de grãos foram selecionadas ao acaso, contendo 10 sementes cada uma. Foi realizada uma separação manual das impurezas e das sementes danificadas. Procedeu-se à classificação dos grãos por meio das medidas das dimensões, comprimento (L), espessura (E) e largura (W) com um paquímetro digital. O diâmetro equivalente de cada partícula, a esfericidade e o volume do grão foram calculados a partir das dimensões medidas, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades de partículas não esféricas.

Unidade	Expressão
Diâmetro equivalente	$D_g = (LEW)^{1/3}$ (01)
Esfericidade	$\phi = (LEW)^{1/3} \cdot L^{-1}$ (02)
Volume do grão	$V_g = \pi D^3 / 6$ (03)

Fonte: Mohsenin (1965, *apud* USTRA, 2005)

Em uma proveta, adicionou-se uma quantidade conhecida de arroz, verificou-se o volume aparente ocupado, então, adicionou-se um volume de água pré-definido e anotou-se o volume final da proveta. A partir desses dados, determinou-se o volume real ocupado pelo arroz, como sendo a diferença entre o volume total e o da água para cálculo da densidade. Com as densidades real e aparente determinou-se a porosidade (Equação 04).

$$\varepsilon = \left[1 - \left(\frac{\gamma}{\rho_g} \right) \right] \cdot 100 \quad (04)$$

Velocidade de jorro mínimo: A coluna do leito foi preenchida com uma carga de 384,6153 g de arroz úmido (o que representa 300 g de arroz em base seca com 22 % de umidade em base úmida). A determinação da velocidade de jorro mínimo, foi determinada experimentalmente, variando-se a vazão de ar no leito, até que esse se expandisse. Variou-se a vazão de forma ascendente e descendente, anotando-se a velocidade superficial do gás.

Processo de secagem: Foi adicionada uma massa de arroz com casca umidificado equivalente a 300 g de sólido seco, sempre na mesma umidade de início, 22 % em base úmica. Alimentou-se o leito já com a vazão de sólidos estabelecidos, em intervalos de tempos pré-estabelecidos anotou-se a umidade e temperatura de saída do ar, queda de pressão e velocidade de entrada do ar de secagem.

Todos os experimentos descritos nesse item foram realizados em triplicata.

2.3 Fluxograma geral da metodologia

O procedimento experimental para caracterização e secagem do arroz em casca encontra-se descrito na Figura 2.



Figura 2 – Fluxograma do processo experimental de secagem do arroz com casca.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização física do arroz com casca

Os grãos de arroz, reumidificados, foram caracterizados de acordo com as técnicas especificadas na metodologia experimental, quanto às medidas do comprimento, largura e espessura (empregadas no cálculo da esfericidade e do volume do grão), bem como à densidade e porosidade do grão. Na Tabela 2 são apresentados os valores médios dos parâmetros derivados das dimensões do grão de arroz.

Tabela 2- Propriedades obtidas das amostras do arroz com casca e comparação com a literatura.

	Umidade inicial em base úmida X_{bu} (%)	Diâmetro equivalente D_g (m)	Esfericidade \emptyset	Densidade aparente γ (kg/m ³)	Densidade real ρ_g (kg/m ³)	Porosidade ϵ
Este trabalho	22	0,00412	0,47	586,21	1065,84	45,00
Ustra (2005)	23	0,00355	0,37	557,10	12,17	54,22

Sendo basilares os resultados apresentados na Tabela 2, observa-se que a magnitude dos valores encontrados diferira dos encontrados por Ustra (2005); essa observação se deve às diferentes classificações dadas para o cereal (longo fino, longo, médio, curto e misturado); outra justificativa também pode ser em relação às técnicas utilizadas para análise (do diâmetro equivalente e da esfericidade), que podem ser baseadas em princípios físicos diferentes, resultando em valores diferentes.

O valor do diâmetro encontrado para o arroz com casca está de acordo com o estabelecido na literatura para o processo de secagem em leito de jorro. Segundo Medeiros (2004), o tamanho mínimo estabelecido de uma partícula em um leito de jorro é de 1 mm.

3.2 Determinação da velocidade de jorro mínimo

O parâmetro fluidodinâmico mais relevante no estudo de secagem em leito de jorro é a velocidade de jorro mínimo. Foi determinada para o arroz com casca com umidade de 22 % em base úmida (bu), sendo a magnitude desta de 3,46 m/s. A partir da velocidade de jorro mínimo, estipulou-se um acréscimo da ordem de 8% e 20% na velocidade do gás, o que foi suficiente para promover a secagem dos grãos de arroz com casca no leito de jorro

3.3 Processo de secagem

Com os dados obtidos de teor de umidade em função do tempo foi possível construir as curvas que os relacionam para todos os ensaios experimentais. As curvas de secagem em leito de jorro (Figuras 2 e 3) para sementes de arroz com casca demonstram que o conteúdo de umidade diminui, continuamente, com o tempo e com a temperatura do ar de secagem. Esse fato concorda com a teoria de secagem, conforme Strumillo e Kudra (1986 *apud* SANTANA, 2011).

Comportamento semelhante foi observado por Santos e Oliveira (2013) quando estudaram a cinética de secagem de grãos de arroz-vermelho em secador leito fixo para três temperaturas distintas. Coradi (2016) também estudou o comportamento da temperatura de secagem em outro

tipo de produto agrícola, os grãos de soja, e concluiu que o aumento da temperatura aumenta a taxa de secagem do material.

Na Figura 3, foi fixada a velocidade do ar de secagem (3,73 m/s), analisando-se o efeito da temperatura do fluido de processo sobre as curvas de secagem. Nota-se que o valor mínimo alcançado de umidade, para a secagem do arroz com casca em leito de jorro após 25 minutos de operação, foi de 0,1420 (g H₂O/g sólido seco) para temperatura de 50 °C; e de 0,1270 (g H₂O/g sólido seco) para temperatura de 60 °C. Fica evidente que a temperatura exerce influência significativa sobre as curvas de secagem das sementes de arroz, demonstrando que quanto maior a temperatura maior a taxa de remoção de umidade do grão. Esse resultado se deve a uma maior disponibilidade energética para vaporização de água.

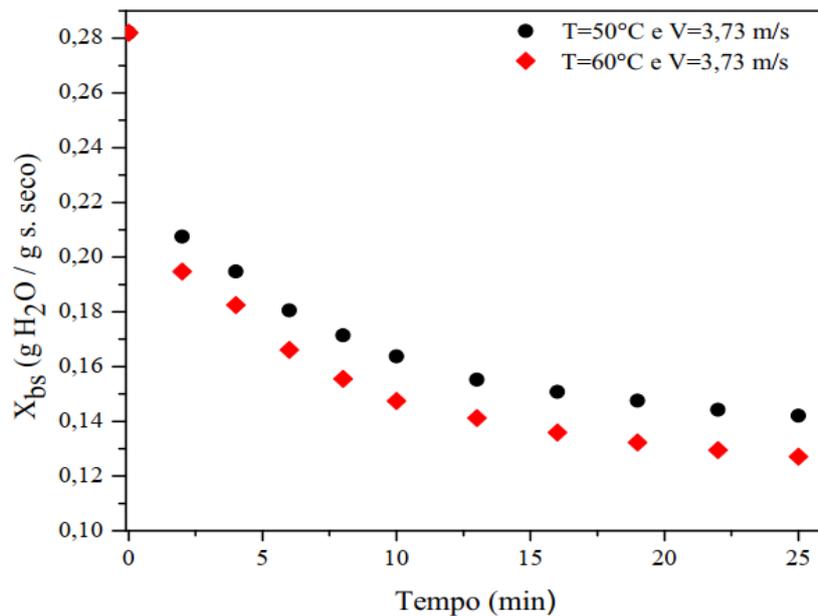


Figura 3 – Cinética de secagem do arroz com casca para velocidade de 3,73 m/s e umidade inicial de 22 % bu.

A Figura 4 representa a secagem do arroz com casca para uma velocidade do ar de secagem de 4,14 m/s. O comportamento foi similar ao anterior, para temperatura mais elevada a redução de umidade foi mais significativa. O teor de umidade (em base seca) para o período de 25 minutos foi de 0,1564 para temperatura de 50°C, e de 0,1356 para temperatura de 60 °C.

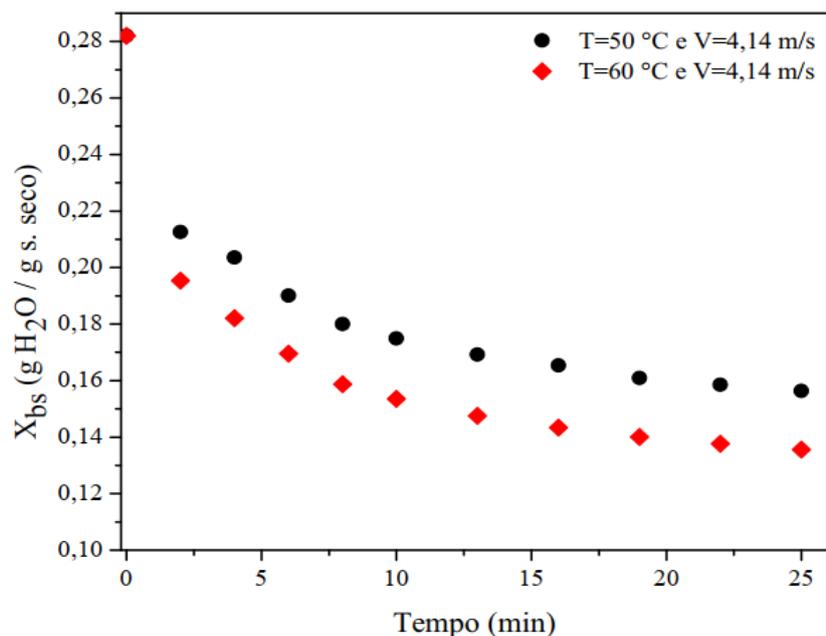


Figura 4 – Cinética de secagem do arroz com casca para velocidade de 4,14 m/s e umidade inicial de 22 % bu.

Nos primeiros minutos de secagem, para os dois casos de velocidade estudados, houve maior perda de água devido à rápida evaporação e intenso transporte de água livre contida na superfície do grão, proveniente do interior do produto para a superfície. Posteriormente, a velocidade de secagem ocorre de forma mais lenta, demonstrando dificuldade de se retirar água do produto para maior redução de umidade.

Segundo Silva (2008), o teor de umidade ideal para armazenamento do grão de arroz é de 13 % em base úmida (em base seca representa 15 %), logo, as condições de temperatura, velocidade e tempo de secagem utilizadas nos experimentos resultaram em um produto com umidade desejável para armazenamento, exceto para o experimento realizado com velocidade de 4,14 m/s e temperatura de 50 °C, que apresentou umidade superior a 15% (base seca).

Ustra (2005) realizou a secagem estacionária, em leito fixo, de arroz com casca com umidade inicial de 22,45 % em base úmida e, no final do processo, com 270 minutos, obteve uma umidade final de 13,67% bu. O autor também realizou a secagem dos grãos de arroz em leito fluidizado e a umidade inicial decresceu de 23,39 % até 17,18%, no fim do quarto ciclo de secagem (91 min), que é o limite de tempo da secagem fluidizada, necessitando, posteriormente, de uma secagem estacionária até atingir condição de armazenagem.

Dessa forma, diante do exposto, para a secagem de sementes de arroz com casca, é possível dizer que, dentre os processos de secagem avaliados (fixo, fluidizado e jorro), a secagem em leito de jorro demonstra ser o processo mais eficiente para remoção de umidade devido ao tempo de processamento ser muito curto, indicando que esse proporciona altas taxas de transferência de calor e massa, intensa mistura de sólidos e, conseqüentemente, uniformidade na distribuição de temperaturas no interior do leito.

3.4 Taxas específicas de secagem

As taxas específicas de secagem foram calculadas por meio do *software* ORIGIN 2018b (versão estudantil) a partir das derivadas da umidade, em base seca, dos grãos de arroz com o tempo. O comportamento observado (Figuras 4 e 5) demonstra que a secagem dos grãos de arroz com casca ocorre em taxa decrescente, indicando que há uma maior resistência à transferência

de calor e de massa do interior do grão para a sua superfície. Nesse caso, a velocidade de secagem pode ser controlada, pela difusão interna de umidade que ocorre no grão (para a qual a diferença de temperatura entre o interior do grão e sua superfície é determinante) e não pela evaporação dessa umidade a partir da superfície (para a qual a velocidade do ar exerce papel fundamental), predominando, assim, o efeito da temperatura do ar de secagem frente à velocidade do ar, fato que é observado no período de taxa decrescente de secagem.

No entanto, é importante afirmar que, embora as curvas da taxa de secagem indiquem que essa ocorre em taxa decrescente, é possível que ocorra um período de taxa constante inicial que se sobreponha a fase de aquecimento das sementes.

Conforme Madamba, Robert e Buckle (1996), a secagem de grãos e sementes, em geral, ocorre no período de taxa decrescente. Isso porque, segundo Kreyger (1973 *apud* GONELI 2009), nas condições de secagem, as resistências às transferências de água encontram-se no interior do grão, o que torna a taxa de evaporação superficial, acentuatadamente, superior à taxa de reposição de água do interior para a superfície do sólido.

Para avaliação do efeito da variável temperatura sobre as taxas específicas de secagem dos grãos no leito de jorro, adotou-se o mesmo procedimento empregado na análise da influência da temperatura nas curvas de secagem, fixando-se a velocidade. Observa-se, nas Figuras 4 e 5, uma importante influência da temperatura na taxa específica de secagem para as duas velocidades estudadas. A taxa de secagem foi sempre maior para a temperatura mais elevada (60 °C), resultando em uma umidade final menor ao produto. Outro fator destacável é que as curvas de taxa de secagem apresentaram dois períodos de taxa decrescente, com transição entre 0,18 e 0,20 de umidade em base seca, independente da velocidade do ar.

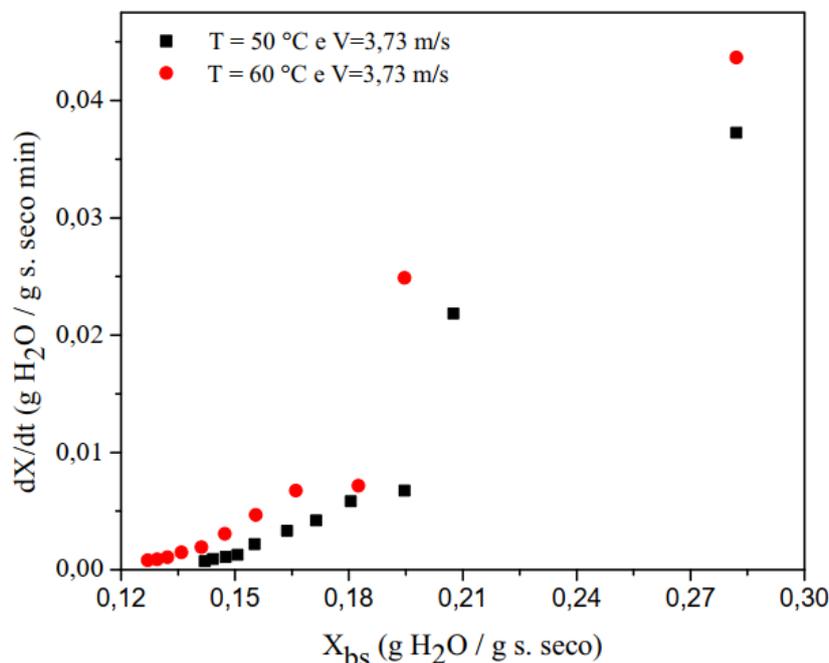


Figura 4 – Dados da taxa específica de secagem no leito de jorro em função da umidade dos grãos. Velocidade do ar de 3,73 m/s e umidade inicial de 22 % bu.

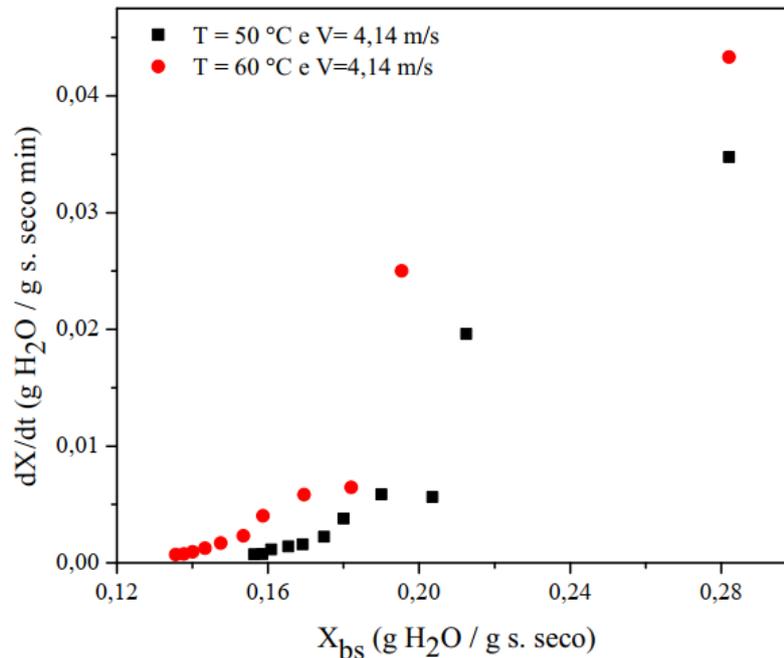


Figura 5 – Dados da taxa específica de secagem no leito de jorro em função da umidade dos grãos. Velocidade do ar de 4,14 m/s e umidade inicial de 22 % bu.

4. CONCLUSÕES

A secagem do arroz com casca foi realizada com êxito, mostrando uma diminuição no teor de umidade com o tempo. O aumento da temperatura resultou em maior diminuição de umidade. O tempo de 25 minutos utilizado nos experimentos foi suficiente para que o sólido atingisse a umidade ideal de armazenamento (13% em base úmida), exceto para o experimento realizado na velocidade de 4,14 m/s e temperatura de 50 °C, em que a umidade (base seca) final do produto foi de 0,1564. Os resultados mostraram que, para o secador em leito de jorro, os valores de 3,73 m/s e 60 °C são condições operacionais que resultaram em um produto com menor umidade final, apresentando valor de 0,1270 em base seca.

Os gráficos de taxa de secagem, indicaram a presença de dois períodos de taxa decrescente, demonstrando assim que a velocidade de secagem é controlada pelas condições internas ao sólido, sendo essa característica observada para produtos alimentícios em geral; outra característica foi que a taxa de secagem é maior para temperatura mais elevada.

Agradecimentos

A equipe agradece ao Instituto Federal de Ciência, Tecnologia e Educação do Norte de Minas Gerais – *Campus Montes Claros* pelo suporte ao trabalho realizado.

REFERÊNCIAS

ARROTÉIA, D.R.; BARBALHO, B. G.; CARA, G. C.; RISOLÉO, V.; SANTOS, L. C.; TESTA, F. A. G.; CONDOTTA, R. (2017), Estudo do Processo de Secagem da Linhaça em Leito Fluidizado e em Leito de Jorro. *Revista The Journal of Engineering and Exact Sciences*, v. 3, n. 02 p. 215-224.

- BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2009), Regras para análise de sementes. Brasília: Mapa/ACS.
- CORADI, P.C. *et al.* (2016) Effects of drying air temperature and grain initial moisture content on soybean quality (Glicine max (L.) merrill). *Revista Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*, Jaboticabal - p. 866-876.
- EMBRAPA. (2013), *Colheita, Secagem, Beneficiamento e Tratamento de Sementes de Arroz Irrigado*. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado.
- GONELI, A.H.L.D.; CORRÊA, P.C.; AFONSO JÚNIOR, P.C.; OLIVEIRA, G.H.H. (2009), Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. Viçosa. *Revista Brasileira de Armazenamento*, p. 64-73.
- LIMA, W.M.P.B. (2017), *Transferência de calor e massa em sólidos porosos com geometria complexa em sólidos porosos com geometria complexa via análise concentrada: Modelagem e simulação*. 2017. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- MADAMBA, P.S.; ROBERT, H.D.; BUCKLE, K.A. (1996), The thin-layer dring characteristics of carlic slices. *Revista Journal of Food Engineering*, v 27, n 1, p. 75-97.
- MEDEIROS, U.K.L. (2004), *Estudo da Secagem do Feijão Verde (Vigna unguiculata l. Walp)- Análise Experimental do Processo Combinado Leito Fixo/Leito de Jorro*. 2004. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- NITZKE, J.A.; BIEKRZYCKI, A. O grão de arroz. ICTA/UFRGS. 2018. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/alimentus1/terradearroz/grao/gr_apresenta.htm >. Acesso: 10 maio 2018.
- OCÁCIA, G. C.; VILHENA, P.; LIBERMAN, B.; GONÇALVES, C. A. D. (2002), Utilização de GLP na secagem do arroz. In: *Encontro De Energia No Meio Rural*, 4. Campinas.
- OLAZAR, M.; SAN JOSÉ, M.J.; AGUAYO, A.T.; ARANDES, J.M.; BILBAO, J. (1994), Hydrodynamics of nearly flat base spouted beds. *Revista Chem. Eng.* j., v.55, p. 27-37.
- OLSEN, M.H.N. (1998), *Avaliação das qualidades físicas e fisiológicas da semente de arroz na secagem em batelada em leito de jorro cônico utilizando ciclos de resfriamento*. 1998. Dissertação de mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- SANTANA, E. B. (2011), *Análise experimental do comportamento fluidodinâmico e da secagem de sementes de linhaça (Inum usitatissimum L.) em leito de jorro*. 2011. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Pará, Belém.
- SILVA, J.S. (2008), *Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas*. 2ª edição. Viçosa: Aprenda Fácil.
- USTRA, L.A.R. (2005), *Secagem de grãos de arroz em leito fluidizado*. 2005. Dissertação de mestrado - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas.

STUDY OF THE PROCESS OF DRYING RICE SPOUTED BEDS

Abstract. *Drying in spouted beds is a technological alternative that has been gaining ground on scientific investigations for grain drying, which happens because of some of the advantages of this method, such as a larger contact area between the solid and the drying fluid, high heat and mass transfer rates. Given this context, this work aimed to study the drying kinetics of rough rice in this equipment, given that the particle characterization was previously conducted. The drying in spouted bed was carried out with a dry solids weight of 300 grams with an initial moisture content of 22 % on a wet basis, at the temperatures of 50 °C and 60 °C and with drying air velocities of 3.73 m/s and 4.14 m/s, therefore, it was possible to obtain the drying curves. The grain drying in spouted bed presented satisfactory results with significant reduction of moisture content throughout the processing time. Temperature was a significant parameter in the moisture reduction of the product. Within the operational conditions analyzed, the temperature at 60 °C and air velocity of 3.73 m/s resulted in the biggest moisture content reduction in the material, in which the initial moisture content reduced from 0.2820 to 0.1270 on a dry basis.*

Keywords: *Spouted bed, drying and drying kinetics.*