



SECAGEM DE SEMENTES DE MAMÃO EM LEITO DE JORRO

AMANDA A. L. SANTOS^{1*}, IARA H. R. ANSONI¹, ISABELE C. BICALHO¹

¹Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos
Escola de Ciências Agrárias de Lavras
*e-mail: amandalsants@gmail.com

RESUMO - As sementes de mamão, amplamente descartadas, podem apresentar utilidade em várias indústrias graças ao seu óleo, rico em ácidos graxos. Entretanto, contém alta umidade e se degradam rápido, assim, devem passar pela secagem, podendo ser realizada em leito de jorro. O objetivo deste trabalho foi realizar caracterização desse material, investigar sua secagem em leito de jorro e obter uma correlação para a previsão da taxa de secagem em função da temperatura e velocidade do ar. Obteve-se diâmetro médio de Sauter, esfericidade, densidade aparente e bulk solta e compactada, porosidade bulk, peso de mil sementes, umidade e ângulo de repouso. Realizou-se a secagem em leito de jorro por 15 min, variando-se temperatura (40, 50 e 64 °C) e velocidade do ar (21, 34 e 36 m/s). Como resultados, as sementes *in natura* e secas foram classificadas, de acordo com o grau de escoabilidade, como tendo bastante fluidez e fluxo livre e, de acordo com o diagrama de Geldart, como pertencentes ao grupo particulado D. A curva característica do leito de jorro permitiu identificar a velocidade e queda de pressão mínima de jorro de 22 m/s e 21 Pa. Ademais, identificou-se que maiores temperaturas e velocidades proporcionam maiores taxas de secagem.

INTRODUÇÃO

No processamento de frutas tem-se a geração de 45 a 65% de resíduos, dentre cascas e sementes das frutas, um indicativo do grande desafio que as indústrias possuem com o fluxo orgânico. Além disso, esses resíduos podem causar problemas ambientais se não forem descartados de maneira correta (Gorinstein et al., 2001). No contexto mundial do desenvolvimento sustentável, o reaproveitamento de resíduos tem ganhado grande destaque e atenção. Consequentemente, pesquisas científicas com o intuito de estudar a possibilidade de reutilização de resíduos como fontes nutricionais ganham cada vez mais espaço.

Dentre as indústrias de processamento de frutas no Brasil, pode-se destacar a indústria de mamão, que se encontra em constante crescimento e coloca o país entre os cinco maiores produtores do mundo (De Melo et al.,

2020). O mamão é rico em vitaminas A, B e C, carboidratos, proteínas, alcalóides, enzimas proteolíticas e isotiocianato de benzila (Barroso et al., 2016). No entanto, tanto no consumo do fruto quanto no seu processamento, as sementes são usualmente descartadas, constituindo cerca de 15 a 20% em massa do fruto (Chielle et al., 2016; Hameed, 2009).

As sementes de mamão possuem potencial para obtenção de subprodutos valiosos, dentre eles, o óleo de mamão, que pode ser amplamente utilizado para produção de oleoquímicos, formulações cosméticas e produtos para cuidado pessoal como óleos de banho, maquiagem e produtos de cabelo. Além disso, devido sua composição, o óleo de mamão é considerado um substituto aceitável para outros óleos insaturados (Chielle et al., 2016; Malacrida et al., 2011; Yanty et al., 2014).

Apesar disso, as sementes de mamão contêm alta umidade, o que contribui para sua rápida degradação, inviabilizando seu

aproveitamento. Desta maneira, a etapa de secagem é fundamental para preservação e armazenamento desse resíduo. A operação de secagem reduz o teor de umidade do material, diminuindo sua deterioração, além de prolongar o tempo de armazenamento das sementes, sem que haja perda considerável de suas qualidades fisiológicas. Assim, é indispensável que a operação de secagem seja realizada com o uso de equipamentos e condições de operação adequadas.

O leito de jorro, apresentado na Figura 1 com suas respectivas regiões características, é um equipamento utilizado na secagem de sementes (De Brito et al., 2017), de polpas (Soares e Pereira, 2020), no recobrimento de partículas (De Almeida e Rocha, 2008), em processos de pirólise (Ferreira et al., 2017; Lopez et al., 2019), dentre outras aplicações. A principal característica do equipamento é o movimento cíclico das partículas em seu interior o que proporciona alto contato entre as fases sólida e fluida, isto é, alto grau de mistura e altas taxas de circulação que podem ser alcançadas durante o processo. Além disso, a operação de secagem em leito de jorro pode ser maximizada através de estudos de condições operacionais que aumentem o contato entre as fases no sistema (De Brito et al., 2017; Souza et al., 2018).

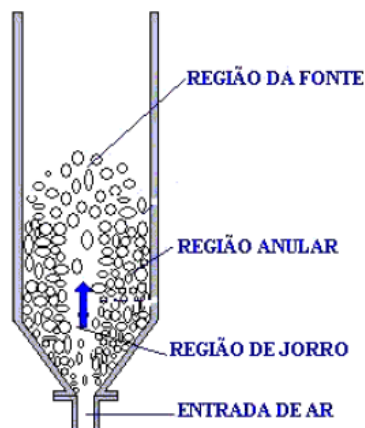


Figura 1: Regiões características do leito de jorro

Fonte: Santos et al. (2009)

De acordo com Silva et al. (2018), estudos fluidodinâmicos em leitos de jorro são de extrema importância, pois fornecem informação a respeito dos parâmetros que influenciam no desempenho do processo e no resultado final. Parâmetros fluidodinâmicos do leito de jorro disponíveis na literatura estão

intimamente ligados ao tipo de partícula e fluido presentes no interior do leito, altura do leito estático de partículas e a geometria do equipamento (Almeida et al., 2020; Arrotéia et al., 2017; Artur et al., 2020; Bezerra et al., 2013; Jittanit et al., 2010). Assim, o estudo de secagem em leito de jorro é um importante campo de pesquisa a ser explorado.

Há na literatura, estudos sobre a extração (Senrayan; Venkatachalam, 2018; Tan et al., 2020) e a aplicação industrial de óleo de semente de mamão (Afolabi et al., 2015). Foram encontrados também estudos sobre as sementes de mamão que incluem a análise de sua qualidade fisiológica em função da secagem e de seu armazenamento (Berbert et al., 2008), efeito da secagem no condicionamento osmótico (Lopes; Souza, 2008), caracterização física e química (Rinaldi et al., 2010) e estudos morfo-anatômicos (Santos et al., 2009). Além disso, há estudos sobre a secagem das sementes de mamão utilizando diferentes equipamentos como secador de bandeja (Berbert et al., 2008), leito fixo (Carlesso, 2009) e estufa (Tome; Augustinha, 2018; Venturini et al., 2012). No entanto, até o presente momento, de acordo com a literatura disponível nos bancos de dados pesquisados, apenas Chielle et al. (2016) estudaram a secagem de sementes de mamão especificamente em leito de jorro, o que demonstra a importância de realizar mais estudos sobre a operação de secagem desse tipo de material em leito de jorro.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi realizar a caracterização física das sementes de mamão, avaliar a secagem dessas sementes em leito de jorro, de maneira a estudar a influência da velocidade e da temperatura do ar na secagem e obter um modelo empírico para estimar a taxa de secagem como função das variáveis citadas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Matéria-prima e caracterização

As sementes utilizadas foram obtidas de mamões das variedades papaia e formosa, adquiridos no comércio local de Lavras/MG através de compras e doações. As sementes eram retiradas da cavidade central do fruto e lavadas para remoção da polpa aderida a elas. Após isso, eram colocadas em uma peneira e esfregadas para remoção da exotesta, película

protetora dos poros, e, por fim, lavadas e colocadas em recipientes plásticos para congelamento até a sua utilização (Chielle et al., 2016).

Realizou-se a caracterização das sementes de mamão sem exotesta *in natura* e secas em estufa por 24 h a 105 °C, como mostra a Figura 2. Todos os experimentos foram realizados em triplicata.



Figura 2: Sementes de mamão sem exotesta (a) *in natura* e (b) secas

Para a determinação do diâmetro médio de Sauter (Equação 1) das sementes foi utilizado o método de peneiramento. Para isso, empregou-se 50 g de sementes, peneiras da série Tyler 4, 5, 6, 7 e 8 mesh e agitador mecânico.

$$d_{ps} = \frac{1}{\sum \frac{x_i}{D_i}} \quad (1)$$

A esfericidade das sementes (Equação 2) foi calculada com base nas propriedades isométricas de uma esfera (Mohsenin, 1980 apud Chielle et al., 2016). Com auxílio de um paquímetro digital, realizou-se medições de três amostras contendo 20 sementes cada.

$$\phi = \frac{(x \cdot y \cdot z)^{\frac{1}{3}}}{x} \quad (2)$$

A densidade aparente das sementes foi determinada por picnometria líquida, conforme descrito por Cremasco (2014), utilizando-se picnômetros de 25 mL, água destilada à temperatura de 25 °C (0,9970 g/cm³) e uma balança analítica. O mesmo procedimento foi realizado utilizando álcool isopropílico, com temperatura de 28°C (0,7787 g/cm³) como forma

de conferência do valor de densidade aparente encontrado. Com base nas regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009), o peso de mil sementes (PMS), foi obtido através da análise de cinco amostras de 100 sementes, com o uso de balança analítica com precisão de 0,001 g e utilização da Equação 3.

$$PMS = \frac{m_{sementes} \times 1000}{n_{sementes}} \quad (3)$$

A umidade das sementes foi determinada utilizando-se o ensaio padrão pelo método gravimétrico em estufa a 105 °C por 24 h. Além disso, realizou-se a determinação da densidade aparente em função da umidade ao decorrer do ensaio de secagem em estufa e obteve-se a curva de cinética de secagem em estufa.

Para a determinação da densidade *bulk* (Equação 4), foi feita a deposição a uma altura fixa, por gravidade das sementes no interior de uma proveta de forma a preencher o volume de 100 mL. O procedimento utilizado para a determinação da densidade *bulk* compactada (ρ_{bc}) foi semelhante, em que após a deposição do material dentro da proveta, foram realizadas 10 movimentações mecânicas, utilizando um aparato de maneira a fixar a altura de queda da proveta. As movimentações ocorreram elevando-se a proveta até a altura determinada e soltando-a em seguida, provocando assim sua queda até a base do aparato.

$$\rho_b = \frac{m_{sementes}}{V_{sementes}} \quad (4)$$

A porosidade *bulk* (Equação 5) foi obtida a partir do volume dos interstícios e do volume total ocupado pelas partículas. Para isso, uma proveta foi preenchida com uma quantidade de água até uma altura equivalente a 10 mL, determinou-se o peso e a temperatura da água, conseguinte, por meio de dados de densidade da água obtidos na literatura, determinou-se seu volume. Após isso, colocou-se na proveta determinada quantidade de sementes de mamão, correspondente a mesma altura de água, e através da densidade aparente e da massa das sementes, calculou-se seu volume.

$$\varepsilon = \frac{V_{vazio}}{V} \quad (5)$$

O ângulo de repouso dinâmico foi determinado pelo método do tambor rotativo, para auxiliar no entendimento do comportamento fluidodinâmico das sementes no interior do leito de jorro. Utilizou-se um cilindro com diâmetro de 20,5 cm e após 4 voltas, mediu-se o ângulo em que as partículas repousaram. Apesar desse parâmetro ser muito utilizado para materiais em pó, há trabalhos na literatura que reportam a sua utilização para sementes (Bortolotti et al., 2013; Cheim et al., 2021; Correia et al., 2015; Pozitano; Rocha, 2011; Santos et al., 2018).

As sementes de mamão foram classificadas de acordo com o grau de escoabilidade recomendado por Jong, Hoffmann e Finkers (1999). Ademais, foi possível classificá-las também por meio do diagrama de Geldart (1973).

Unidade experimental

Os experimentos foram realizados em uma unidade de leito de jorro presente no Laboratório de Processos de Separação Mecânica localizado no prédio das Engenharias ABI da Universidade Federal de Lavras, cuja estrutura é apresentada na Figura 3.

A unidade é composta por uma bancada em aço para suporte do sistema de jorro. O leito de jorro (6) é construído em aço inoxidável e consiste em uma coluna cilíndrica com uma base cônica de 60° e com diâmetro e altura de 0,256 m e 0,508 m, respectivamente, e uma parte com geometria de tronco de cone com diâmetro da base menor e altura, respectivamente, de 0,050 m e 0,176 m. A coluna vem equipada com um visor transparente que permite observar o experimento ao longo do tempo. O ar da secagem é fornecido por um soprador (2) de potência de 7,5 CV e aquecido através de resistências (1). A unidade consta com uma placa de orifício (4) para medição da velocidade do ar de secagem e sensores para aferição da pressão (4 e 5). Além disso, há uma válvula do tipo gaveta (3); inversor de frequência e software com interface para aquisição de dados (7).

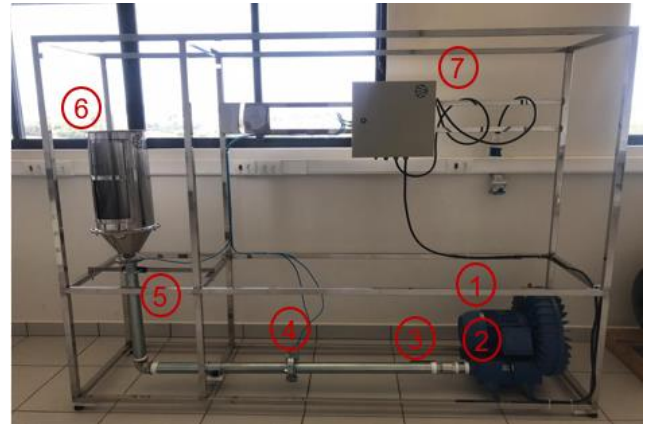


Figura 3: Unidade experimental

Caracterização fluidodinâmica

O comportamento fluidodinâmico das sementes no leito de jorro foi caracterizado através do levantamento da curva característica do equipamento e da determinação da velocidade de jorro mínimo e queda de pressão de jorro mínimo. Inicialmente, adicionou-se ao leito 557 g de sementes, equivalente à altura de 0,10 m da parte tronco de cone. Em seguida, ar foi injetado pelo orifício de entrada e sua velocidade foi gradativamente aumentada até a máxima capacidade do soprador, quando então, se iniciou o procedimento inverso. O valor correspondente da queda de pressão do leito foi determinado pelo *software* de aquisição de dados.

Ensaio de secagem

As variáveis operacionais estudadas durante o processo de secagem em leito de jorro foram: velocidade e temperatura do ar na entrada do leito. O planejamento experimental dos ensaios de secagem está apresentado na Tabela 1, trata-se de um planejamento experimental fatorial de 3 níveis e foi utilizado para avaliar a influência dos parâmetros estudados na secagem das sementes de mamão. A carga do leito foi fixada em 557 g para todos os experimentos e, a partir da observação da curva característica e da estabilidade do escoamento, foram selecionadas as velocidades a serem utilizadas. Já os valores de temperatura utilizados seguiram as limitações operacionais do equipamento. Além disso, estabeleceu-se o tempo de operação de 15 min para se avaliar a secagem do material.

Tabela 1: Planejamento dos ensaios de secagem experimental

Exp.	Temperatura média do ar (°C)	Velocidade do ar (m/s)
1	40	24
2	40	31
3	40	36
4	50	24
5	50	31
6	50	36
7	50	36
8	50	36
9	64	24
10	64	31
11	64	36

O processo de secagem iniciou-se com o fornecimento de ar, aquecido pelas resistências, através do soprador para o equipamento vazio. Uma vez atingida a temperatura desejada do ar, o equipamento era desligado e rapidamente alimentado com 557 g de sementes com umidade inicial determinada. Em seguida, o equipamento era religado, a velocidade do ar era ajustada para o valor desejado e iniciava-se a contagem de 15 min de secagem.

Após esse tempo, a alimentação de ar era desligada, as sementes eram removidas do leito e três amostras eram pesadas e levadas a estufa para secagem a 105 °C por 24 h. Consequente, determinou-se a taxa de secagem (Equação 6), definida como a razão entre a diferença de umidade inicial e final dos sólidos pelo tempo de secagem.

$$\eta = \frac{U_i - U_f}{t} \quad (6)$$

Os dados experimentais obtidos foram analisados no *software* Statistica versão 7 para quantificar os efeitos das variáveis independentes, suas interações e contribuições na resposta. Para isso realizou-se uma regressão múltipla dos dados, e foi realizada uma análise de variância, adotando nível de significância de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de caracterização das sementes e do meio poroso estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Caracterização das sementes e do meio poroso

Parâmetro	In natura	Secas
Diâmetro médio de Sauter (mm)	3,63 (±0,02)	3,05 (±0,03)
Esfericidade (%)	81,97 (±2,86)	77,87 (±4,88)
Densidade aparente (g/mL)	1,06 (±0,01)	0,57 (±0,01)
Densidade bulk (g/mL)	0,39 (±0,02)	0,19 (±0,00)
Densidade bulk compactada (g/mL)	0,41 (±0,02)	0,20 (±0,00)
Porosidade	0,59 (±0,02)	0,72 (±0,01)
Umidade b.u. (%)	73,99 (±1,56)	-
Peso de mil sementes (g)	43,38 (±3,25)	13,14 (±0,59)
Ângulo de repouso (°)	51,00 (±1,73)	38,33 (±2,89)

Portanto, após realizar o estudo de caracterização das sementes de mamão, foi possível verificar que a secagem confere as sementes redução do diâmetro médio de Sauter, da esfericidade, da densidade aparente e *bulk*, da umidade, do peso de mil sementes e do ângulo de repouso. Além disso, confere aumento da porosidade, corroborando na dinâmica das sementes no interior do leito de jorro.

As curvas de cinética de secagem em estufa são apresentadas na Figura 4. Pode-se notar que a secagem total das sementes ocorre com cerca de 120 min de operação na estufa a 105 °C.

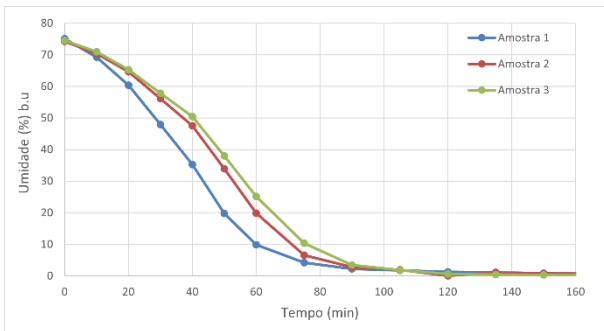


Figura 4: Cinética de secagem em estufa da semente de mamão in natura sem exotesta

Uma vez que se notou grande diminuição no valor de densidade aparente das sementes após secas, como apresentado na Tabela 2, prosseguiu-se um estudo para observação da variação da densidade ao longo do tempo de secagem, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Variação da densidade com a umidade ao longo da secagem em estufa.

Tempo (min)	Umidade b.u. (%)	Densidade (g/mL)
0	74,33 ($\pm 1,65$)	1,05 ($\pm 0,02$)
15	65,95 ($\pm 4,05$)	0,97 ($\pm 0,05$)
30	53,45 ($\pm 7,62$)	0,73 ($\pm 0,11$)
45	37,88 ($\pm 12,23$)	0,62 ($\pm 0,07$)
60	19,29 ($\pm 11,34$)	0,55 ($\pm 0,03$)
75	8,45 ($\pm 6,08$)	0,55 ($\pm 0,03$)
90	3,57 ($\pm 1,94$)	0,53 ($\pm 0,02$)
105	2,28 ($\pm 0,92$)	0,49 ($\pm 0,01$)
120	1,27 ($\pm 0,83$)	0,52 ($\pm 0,03$)
135	1,18 ($\pm 0,42$)	0,51 ($\pm 0,01$)
1440	0,00 ($\pm 0,00$)	0,49 ($\pm 0,01$)

Pode-se observar que, conforme a umidade das sementes de mamão diminui, sua densidade aparente também decresce (Tabela 3), sendo que seu valor diminui 46,56% em relação ao inicial. Tal resultado demonstra o quanto, durante o processo de secagem, a densidade do material é variável e o seu comportamento fluidodinâmico pode ser afetado, uma vez que conforme o valor de densidade decai, se torna mais fácil o material ser arrastado.

A curva característica do leito de jorro operando com sementes de mamão *in natura* sem exotesta, para altura do leito de partículas de 0,10 m, é apresentada na Figura 5.

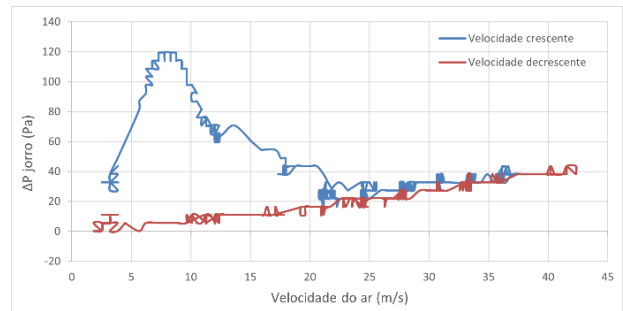


Figura 5: Curva característica do escoamento de sementes de mamão em leito de jorro

Os padrões fluidodinâmicos exibidos na Figura 5 evidenciam um perfil coerente com o padrão típico de um leito de jorro. Apesar da Figura 5 permitir uma fácil identificação dos regimes de contato ar-sementes e a compreensão da transição do leito estático a jorro estabelecido, não foi possível essa observação visual de maneira experimental. Alguns aspectos dificultaram a observação do movimento das partículas no interior do leito, como: a presença do visor apenas na parte cilíndrica, uma vez que o movimento da maioria das sementes se dava na parte tronco de cone; o fato das sementes serem muito escuras e devido ao contato ar-semente e semente-semente, desprenderem partes de exotesta aderidas a elas, deixando o visor sujo e embaçado.

Além disso, observou-se que, paralelamente à formação do jorro ocorria o transporte de uma pequena parcela do material. Acredita-se que este comportamento possa estar associado à heterogeneidades das propriedades do material ou a secagem rápida de algumas sementes, pois partículas com diâmetro e/ou densidade reduzidas teriam seu arraste facilitado, uma vez que as velocidades utilizadas seriam suficientemente altas para promover o seu transporte. Ademais, apesar da aparente condição de estado estacionário, houve certa oscilação nos valores de queda de pressão para cada condição da curva fluidodinâmica. Essas oscilações podem ser atribuídas às variações no diâmetro do bico, fluxo descontínuo de partículas (Chen, 2008) e do sistema de alimentação de ar.

De acordo com a classificação de Geldart, pode-se dizer que o regime de escoamento é considerado instável, resultado coerente com o observado dada a oscilação da pressão que ocorreu. E, portanto, sabe-se que

comportamentos não usuais do escoamento em leito de jorro podem estar associados a algumas condições de instabilidade, por exemplo, o arraste de algumas partículas.

Pela curva fluidodinâmica (Figura 5) pode-se constatar que a queda de pressão máxima é de 120 Pa, energia essa necessária para que o jorro rompa a estrutura do leito compactado e forme o jorro interno. A queda de pressão de jorro mínimo e a velocidade do ar de jorro mínimo são, respectivamente, 21 Pa e 22 m/s, e representam as condições de operação na qual o jorro ainda existe.

Os resultados da secagem das sementes sem exotesta *in natura* em leito de jorro são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados de umidade e taxa de secagem

Exp.	Umidade inicial (%) b.u.	Umidade final (%) b.u.	Taxa de secagem (%) b.u./h
1	74,749	68,391	25,433
2	74,294	62,569	46,903
3	77,510	62,658	59,410
4	76,128	67,565	34,254
5	75,656	64,075	46,325
6	73,347	51,766	86,325
7	77,977	55,330	90,586
8	74,649	52,143	90,024
9	75,009	60,679	57,311
10	73,834	47,083	107,003
11	74,402	48,552	103,402

A partir da Tabela 4 nota-se que o aumento da temperatura e da velocidade do ar exercem grande influência na taxa de secagem, de acordo com o esperado. Uma vez que, quanto maior a temperatura e a velocidade do ar, mais favorecido é o processo de transferência de calor e massa entre as fases e, assim, maior quantidade de água é removida das sementes.

Os resultados da regressão múltipla realizada estão representados na Tabela 5. Em que a partir dos valores dos coeficientes obtidos pela análise estatística foi possível encontrar um modelo preditivo.

Tabela 5: Resultados da regressão para a taxa de secagem

Variável	Parâmetro	Nível de significância (p)
Constante	-154,722	0,000000
Temperatura	1,903	0,000450
Velocidade	3,998	0,000610

A partir da Tabela 5, é possível dizer que as duas variáveis analisadas influenciam significativamente a resposta de forma isolada e que a velocidade possui maior influência. Com um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,9, distribuição dos resíduos aleatória em torno de uma média zero com variância constante e normalidade observada, tem-se a garantia que o modelo proposto se ajustou bem aos dados experimentais, de forma a obter a Equação 7 e a superfície de resposta da Figura 6.

$$\eta = -154,722 + 1,903T + 3,998V \quad (7)$$

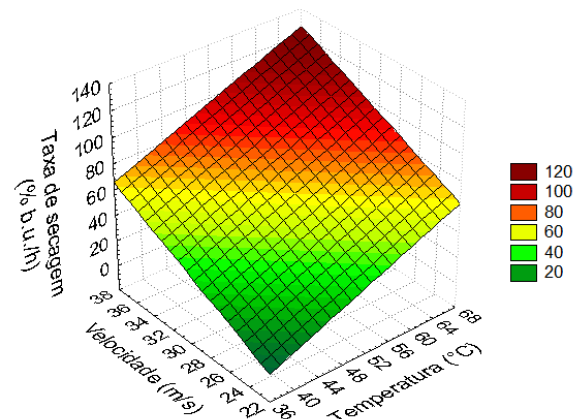


Figura 6: Superfície de resposta para a taxa de secagem em função da temperatura e da velocidade do ar

Pode-se perceber que a taxa de secagem é maximizada com o acréscimo das duas variáveis (Figura 6), uma vez que o aumento destas favorecem a transferência de calor e massa entre o ar e as sementes de mamão. Sendo assim, dentre as condições adotadas, a condição que garante a maior taxa de secagem é a que utiliza temperatura e velocidade do ar, equivalentes a 64 °C e 36 m/s.

Por fim, é importante salientar que, para secagem em leito de jorro a 64 °C por 15 min, foi possível reduzir a umidade média do

material de 75,232 ($\pm 1,463$)% para 52,105 ($\pm 7,461$)%. Para que houvesse essa mesma redução de umidade do material utilizando-se a estufa a 105 °C seriam necessários 30-40 min de operação (Figura 4). Essa comparação demonstra que a secagem em leito de jorro pode ser mais rápida se comparada à secagem em estufa, sendo possível alcançar altas taxas de secagem em menores períodos e temperaturas. Graças ao escoamento característico do leito de jorro que proporciona altas taxas de transferência de calor e massa, colaborando para a otimização da secagem.

CONCLUSÕES

A secagem confere às sementes redução da umidade, da densidade aparente e *bulk*, do peso de mil sementes e do atrito interno, além disso, confere aumento da porosidade, corroborando na dinâmica das sementes no interior do leito de jorro. Foi possível classificar as sementes de mamão qualitativamente, de acordo com o diagrama de Geldart e de acordo com o grau de escoabilidade, como pertencentes ao grupo particulado D e *in natura* como de bastante fluidez e secas como de fluxo livre, respectivamente.

A curva fluidodinâmica do leito de jorro experimental apresentou comportamento coerente com o padrão típico, permitindo a fácil identificação dos regimes de escoamento e da queda de pressão de jorro mínimo (21 Pa) e da velocidade do ar de jorro mínimo (22 m/s). Ademais, observou-se experimentalmente um comportamento atípico, em que paralelamente à formação do jorro houve o carregamento de algumas partículas até a saída do equipamento, resultado atribuído à heterogeneidade das propriedades do material e a uma secagem muito rápida de algumas sementes.

Por fim, conclui-se que maiores temperaturas e velocidades do ar favorecem a operação de secagem da semente e o equipamento mostrou-se eficaz na secagem de sementes de mamão operando em períodos curtos com baixas temperaturas de ar, característica que torna a técnica promissora para a secagem de produtos alimentares.

NOMENCLATURA

d_{ps}	diâmetro médio de Sauter	m
x_i	fração de massa retida em cada peneira	-
D_i	média do diâmetro de abertura da menor e da maior peneira do intervalo utilizado	m
ϕ	esfericidade das sementes	%
x	comprimento	m
y	largura	m
z	espessura	m
PMS	peso de mil sementes	g
$m_{sementes}$	massa da amostra de sementes	g
$n_{sementes}$	número total de sementes	-
$V_{sementes}$	volume total ocupado pelas sementes	mL
$V_{sementes_compactado}$	volume ocupado pelas sementes após a compactação	mL
ρ_b	densidade bulk	g/mL
ρ_{bc}	densidade bulk compactada	g/mL
ε	porosidade do leito	-
V_{vazio}	volume dos interstícios	mL

∇ volume das
sementes com os
interstícios mL

REFERÊNCIAS

- AFOLABI, I. S. et al. (2015), Radiations and Biodegradation Techniques for Detoxifying Carica Papaya Seed Oil for Effective Dietary and Industrial Use, *Journal of Food Science and Technology*, Vol 52, p. 6475–6483.
- ALMEIDA, R. L. J. et al. (2020), Obtenção de Batata-doce em Pó Em Leito de Jorro e Influência Da Temperatura De Secagem Nas Propriedades Físico-químicas, *Research, Society and Development*, Vol 9, p. 1-12.
- ARROTÉIA, D. R. et al. (2017), Estudo do Processo de Secagem da Linhaça em Leito Fluidizado e em Leito de Jorro, *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, Vol 3, p. 215–224.
- ARTUR, A. P. S. et al. (2020), Análise de Mínima Fluidização de Leito Fluidizado em 3D Via CFD para o Material Orgânico Café, *Brazilian Journal of Development*, Vol 6, p. 4851–4865.
- BARROSO, P. T. W. et al. (2016), Evaluation of the Composition of Carica Papaya L. Seed Oil Extracted with Supercritical CO₂, *Biotechnology Reports*, Vol 11, p. 110–116.
- BERBERT, P. A. et al. (2008), Qualidade Fisiológica de Semente de Mamão em Função da Secagem e do Armazenamento, *Revista Brasileira de Sementes*, Vol 30, p. 40–48.
- BEZERRA, C. V. et al. (2013), Green Banana (*Musa cavendishii*) Flour Obtained in Spouted bed - Effect of Drying on Physico-chemical, Functional and Morphological Characteristics of the Starch, *Industrial Crops and Products*, Vol 41, p. 241–249.
- BORTOLOTTI, C. T. et al. (2013), Hydrodynamic Study of a Mixture of West Indian Cherry Residue and Soybean Grains in a Spouted Bed, *Canadian Journal of Chemical Engineering*, Vol 91, p. 1871–1880.
- BRASIL. (2009), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de defesa agropecuária. Regras para análise de sementes, Brasília, p. 1-399. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise_sementes.pdf>. Acesso em: 06 març. 2021.
- CARLESSO, V. D. O (2009), Secagem e Armazenamento de Sementes de mamão (Carica papaya L .). CCTA/UENF - Campos dos Goytacazes - Rio de Janeiro, 132 p. (tese de doutorado).
- CHEIM, L. M. G. et al. (2021), Characterization of the Seeds of a Landrace Popcorn (*Zea mays* L. subsp. *mays*) Cropped in an Organic System via Family Farming, *Research, Society and Development*, Vol 10, p. 1–22.
- CHEN, Z. (2008), Hydrodynamics Stability and Scale-up of Slot-Rectangular Spouted Beds. PPGEQ/UBC - Vancouver - Colúmbria Britânica, 282 p. (tese de doutorado).
- CHIELLE, D. P. et al. (2016), Spouted Bed Drying of Papaya Seeds for Oil Production, *LWT - Food Science and Technology*, Vol 65, p. 852–860.
- CORREIA, T. P. DA S. et al.(2015), Influência da Inclinação do Terreno e Velocidade de Operação na Semeadura de Sorgo por Semeadora de Fluxo Contínuo, *Revista Energia na Agricultura*, Vol 30, p. 331–337.
- CREMASCO, M. A. Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos. 2 ed. São Paulo, Editora Blucher, 2014.
- DE ALMEIDA, C.; ROCHA, S. C. S. (2008), Eficiência do Processo de Recobrimento de Sementes de Brócolos Recobertas com Polímero em Leito de Jorro, *Engenharia Agrícola*, Vol 28, p. 305–314.
- DE BRITO, R. C. et al. (2017), Effect of Mechanical Energy on the Energy Efficiency of Spouted Beds Applied on Drying of Sorghum [*Sorghum bicolor* (L) moench], *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, Vol 117, p. 95–105.

- DE MELO, D. M. et al. (2020), Irrigation of Papaya in a Sandy Loam Soil in the Semiarid of Bahia, Brazil, *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 15, p. 1–8.
- FERREIRA, C. G. et al. (2017), Estudo Da Fluidodinâmica De Um Leito De Jorro Aplicado a Uma Mistura De Casca De Coco E Areia Via Análise Experimental E Simulação Por Cfd, XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, p. 1944–1949.
- GELDART, D. (1973), Types of Gas Fluidization, *Powder technology*, Vol 7, p. 285-292.
- GORINSTEIN, S. et al. (2001), Comparative Contents of Dietary Fiber, Total Phenolics, and Minerals in Persimmons and Apples, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol 49, p. 952–957.
- HAMEED, B. H. (2009), Evaluation of Papaya Seeds as a Novel Non-conventional Low-cost Adsorbent for Removal of Methylene Blue, *Journal of Hazardous Materials*, Vol 162, p. 939–944.
- JITTANIT, W. et al. (2010), Seed Drying in Fluidized and Spouted Bed Dryers, *Drying Technology*, Vol 28, p. 1213–1219.
- JONG, J.A.H. et al. (1999), Properly Determine Powder Flowability to Maximize Plant Output, *Chemical Engineering Progress*, Vol 95, p.25-34.
- LOPES, H. M.; SOUZA, C. M. (2008), Efeitos da Giberelina e da Secagem no Condicionamento Osmótico Sobre a Viabilidade e o Vigor de Sementes de Mamão (*Carica papaya L.*), *Revista Brasileira de Sementes*, Vol 30, p. 181–189.
- LOPEZ, G. et al. (2019), Kinetic Modeling and Experimental Validation of Biomass Fast Pyrolysis in a Conical Spouted Bed Reactor, *Chemical Engineering Journal*, Vol 373, p. 677–686.
- MALACRIDA, C. R. et al. (2011), Characterization Of a High Oleic Oil Extracted From Papaya (*Carica papaya L.*) Seeds, *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Vol 31, p. 929–934.
- POZITANO, M.; ROCHA, S. C. DOS S. (2011), Caracterização Física e Germinação de Sementes de Senna *Macranthera*, *Revista Brasileira de Sementes*, Vol 33, p. 777–784.
- RINALDI, M. M. et al. (2010), Caracterização Física de Frutos de Mamão e Química de Cascas e Sementes, *Embrapa Cerrados-Boletim de pesquisa e desenvolvimento*-263, p. 1-18.
- SANTOS, S. A. DOS et al. (2009), Estudos Morfo-anatômicos de Sementes de Dois Genótipos de Mamão(*Carica papaya L.*), *Revista Brasileira de Sementes*, Vol 31, p. 116–122.
- SANTOS, V. D. DOS et al. (2018), Estudo Comparativo da Secagem em Leitos de Jorro e Fluidizado de Sementes de Cevada (*Hordeum vulgare L.*), *Revista da Jornada da Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega*, Vol 15, p. 168–178.
- SENRAYAN, J.; VENKATACHALAM, S. (2018), Solvent-assisted Extraction of Oil from Papaya (*Carica papaya L.*) Seeds: Evaluation of its Physiochemical Properties and Fatty-acid Composition, *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, Vol 53, p. 2852–2859.
- SILVA, B. R. D. S. et al. (2018), Estudo Experimental da Fluidodinâmica em Leito de Jorro de Misturas Binárias de Partículas de Bagaço de Cana-de-açúcar e de Inertes, *Scientia Plena*, Vol 14, p. 1–10.
- SOARES, A. C.; PEREIRA, N. R. Secagem da polpa de jabolão (*Syzygium cumini*) em secador de leito de jorro: efeito da clara de ovo como agente carreador de secagem na qualidade do produto. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 23, p. 1–15, 2020.
- SOUZA, A. S. et al. (2018), Computational Fluid Dynamics Evaluation of the Influence of Cone Geometry on Solids Circulation in Spouted Beds, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, Vol 57, p. 13876–13888.
- TAN, C. X. et al. (2020), An Overview of Papaya Seed Oil Extraction Methods, *International Journal of Food Science and Technology*, Vol 55, p. 1506–1514.

- TOME, A. C.; AUGUSTINHA, B. F. (2018), Teor de Vitamina C em Farinha da Casca, Polpa e Semente de Mamão (Carica papaya) Submetidas a Diferentes Temperaturas de Secagem, Uniciências, Vol 22, p. 43–46.
- VENTURINI, T. et al. (2012), Estudo Da Secagem E Extração De Sementes De Mamão (Carica Papaya L.), Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, Vol 5, p. 950–959.
- YANTY, N.A.M. et al. (2014), Physico-Chemical Characteristics of Papaya (Carica papaya L.) Seed Oil of the Hong Kong/Sekaki variety, Journal of Oleo Science, Vol 63, p. 885–892.