



Grãos & Sementes

Coleção Grãos & Sementes
Estudos Avançados

v.1

VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA SILVA
NEWTON CARLOS SANTOS
VICTOR HERBERT DE ALCÂNTARA RIBEIRO
RAPHAEL LUCAS JACINTO ALMEIDA

***Coleção Grãos & Sementes:
Estudos Avançados
v.1***

C6929 Coleção Grãos & Sementes: Estudos Avançados v.1/Org.: Silva et al.

— Campina Grande: EPTEC, 2021.
70 f.: il. color.

ISBN: 978-65-00-23186-1

1. Modelagem Matemática. 2. Sementes. 3. Análise Térmica. 4. Grãos. 5. Modelo de Difusão. I. Silva, Virgínia Mirtes de Alcântara. II. Santos, Newton Carlos. III. Ribeiro, Victor Herbert de Alcântara. IV. Almeida, Raphael Lucas Jacinto. V. Título.

CDU 62

Os capítulos ou materiais publicados são de inteira responsabilidade de seus autores. As opiniões neles emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista do Editor responsável. Sua reprodução parcial está autorizada desde que cite a fonte.



Créditos de Imagens da Capa

Pixabay

Editoração, Revisão e Arte da Capa

Paulo Roberto Megna Francisco

Conselho Editorial

Djail Santos (CCA-UFPB)
Dermeval Araújo Furtado (CTRN-UFCG)
George do Nascimento Ribeiro (CDSA-UFCG)
Josivanda Palmeira Gomes (CTRN-UFCG)
João Miguel de Moraes Neto (CTRN-UFCG)
José Wallace Barbosa do Nascimento (CTRN-UFCG)
Juarez Paz Pedroza (CTRN-UFCG)
Lúcia Helena Garófalo Chaves (CTRN-UFCG)
Luciano Marcelo Fallé Saboya (CTRN-UFCG)
Paulo da Costa Medeiros (CDSA-UFCG)
Paulo Roberto Megna Francisco (CTRN-UFCG)
Soahd Arruda Rached Farias (CTRN-UFCG)
Virgínia Mirtes de Alcântara Silva (CTRN-UFCG)

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva
Newton Carlos Santos
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro
Raphael Lucas Jacinto Almeida

***Coleção Grãos & sementes:
Estudos Avançados
v.1***



1.a Edição
Campina Grande-PB
2021

Realização



Apoio



Universidade Federal
de Campina Grande



Sumário

| | |
|--|----|
| Sumário..... | 5 |
| Agradecimentos..... | 6 |
| Apresentação..... | 7 |
| Capítulo I..... | 9 |
| CINÉTICA DE SECAGEM E MODELAGEM MATEMÁTICA DA PASTA DE AMIDO DE FEIJÃO PRETO (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)..... | 9 |
| Capítulo II..... | 18 |
| EXTRAÇÃO E ANÁLISE TÉRMICA DO AMIDO DE ARROZ JAPÔNICA SUBMETIDO A DIFERENTES TIPOS DE MOAGEM..... | 18 |
| Capítulo III..... | 27 |
| EFEITO DO TEMPO DE GERMINAÇÃO NAS PROPRIEDADES ESTRUTURAIIS DA FARINHA DO FEIJÃO AZUKI (<i>Vigna angularis</i>) GERMINADO..... | 27 |
| Capítulo IV..... | 36 |
| CINÉTICA DE SECAGEM E SUA INFLUÊNCIA NAS DIMENSÕES DE SEMENTES DE ABÓBORA SEM CASCA..... | 36 |
| Capítulo V..... | 45 |
| OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FARINHAS DE CHIA, LINHAÇA E GERGELIM..... | 45 |
| Capítulo VI..... | 56 |
| SECAGEM DE SEMENTES DE MELÃO DESCRITA POR UM MODELO DE DIFUSÃO..... | 56 |
| Curriculum dos Autores..... | 68 |

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química pela seriedade com o desenvolvimento das pesquisas, a Unidade de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande pelo apoio incondicional e pela utilização dos laboratórios para a realização dessa obra. Agradecemos imensamente ao Professor Renato de Arruda Veiga pelas orientações no decorrer de todo o trabalho. Nosso agradecimento em especial à Prof. Vania Moda Cirino do Instituto Agronômico do Paraná, pelas relevantes contribuições e apoio técnico. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão das bolsas de mestrado e doutorado aos autores.

Os autores

Apresentação

O Brasil é o segundo maior exportador de grãos do mundo (atrás apenas dos USA) e o terceiro maior produtor de alimentos (atrás da China e USA), vislumbrando-se como um dos países mais promissores na produção mundial de alimentos com sustentabilidade, destacando-se ainda mais na atual crise epidemiológica ocasionada pelo SARS-CoV-2, enquanto muitos países reduziram as suas exportações o Brasil manteve o seu abastecimento interno e ainda incrementou o fornecimento de alimentos de qualidade para diversos países.

O País tem potencial para expansão cada vez maior de seus produtos para mercados potenciais como os EUA, a China, Índia e países do Norte da África. No entanto, um dos maiores desafios para o setor de alimentos para os próximos anos é o desenvolvimento de uma cadeia alimentar eficiente no fornecimento de alimentos seguros, nutritivos e de alta qualidade diante da previsão de se tornar brevemente o número um na produção de alimentos mundial.

Um dos maiores desafios para o país não é a sua produção e sim a sua produtividade devido as perdas que ocorrem na etapa de pós-colheita, necessitando cada vez mais de pesquisas científicas e aquisição de tecnologia dentre toda a cadeia visando minimizar os danos, garantindo maior produção por área, economizando água e energia a fim de se proteger o meio ambiente, mesmo efetivando o necessário controle de pragas. Assim, as perdas pós-colheita exigem uma visão de um ponto de vista mais amplo e não apenas nutricional e econômico.

A produção de alimentos é bastante complexa pois envolve diversas etapas no decorrer de toda cadeia, desde a colheita, armazenamento, distribuição entre outros. Em qualquer fase pode haver perdas de matérias-primas causadas pela deterioração, pois o alimento é suscetível às pragas e aos agentes físico-químicos, entre outros. Processos de conservação de alimentos são essenciais e se baseiam na inativação dos já citados agentes visando a ampliação da vida útil dos produtos, mantendo suas características nutricionais e de qualidade.

Dentre os fatores que podem inibir ou favorecer a multiplicação de pragas* se destacam a temperatura, a atividade d'água e o pH que afetam fortemente a multiplicação dos microrganismos nos alimentos. Destacam-se entre os fatores a atividade de água A_w , pois a água do alimento que vai reagir com os microrganismos e participar das reações enzimáticas quanto mais elevada for sua atividade mais rápido será o crescimento de microrganismos.

Frutas e vegetais são fontes ricas em micronutrientes (vitaminas, minerais), fibras e uma ampla gama de fitoquímicos pertencentes a diferentes classes, como fibras, pigmentos (betalaínas,

carotenóides, clorofilas e flavonóides), compostos fenólicos que, individualmente ou em combinação, atuam como antioxidantes, anticarcinogênicos e imunomoduladores.

Desse modo, alimentos, incluindo frutas e hortaliças que devido a sua quantidade de água em seu interior pertencem a categoria de produtos perecíveis, mas as técnicas de conservação podem torná-los ainda mais estáveis e portando com maior durabilidade.

Os grãos e sementes pertencem à categoria de produtos deterioráveis, sua conservação relaciona-se com o vigor e germinação, permitindo prolongar a sua vida útil durante o período de armazenamento.

A secagem é, dentre as práticas de pós-colheita, uma das mais importantes, pois tem como finalidade: a) diminuir o teor d'água do produto, permitir a armazenagem por períodos mais longos sem o perigo de deterioração do produto; b) antecipar a colheita; c) manter o poder germinativo por longos períodos; d) impedir o crescimento de pragas; e) minimizar a perda de produto no campo; f) reduzir o volume e o peso a ser transportado.

Nesse cenário o processamento de alimentos assume a aplicação de tecnologias de conservação alinhadas com de segurança nutricional. Logo, a conservação dos alimentos é primordial para garantir a qualidade dos alimentos além de igualar a produção futura ao crescimento populacional global.

Pensando nesses aspectos e na importância das técnicas utilizadas, essa obra apresenta pesquisas de forma abrangente exemplificando a maioria das operações unitárias, técnicas de conservação e seus modelos matemáticos utilizados para diferentes matérias-primas, como as sementes de: arroz japônica, chia, feijão-azuki, feijão-preto, gergelim, linhaça e melão.

A obra vem contribuir cada vez mais para o desenvolvimento tecnológico e produtivo do país na implantação definitiva de um modelo eficiente e limpo de produção de alimentos para o mundo.

Vania Moda Cirino

Bolsista de Produtividade Desen. Tec. e Extensão Inovadora do CNPq - Nível 2

Pesquisadora da Área de Melhoramento e Genética do IAPAR

Capítulo I

CINÉTICA DE SECAGEM E MODELAGEM MATEMÁTICA DA PASTA DE AMIDO DE FEIJÃO PRETO (*Phaseolus vulgaris L.*)

**Virgínia Mirtes de Alcântara Silva
Raphael Lucas Jacinto Almeida
Newton Carlos Santos
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro
Larissa Monique de Sousa Rodrigues
Francisca Moisés de Sousa**

Introdução

Estudos têm mostrado que o feijão preto (*Phaseolus vulgaris L.*) é uma leguminosa que contém muitos componentes benéfico para o corpo humano, incluindo lipídios, vitaminas, celulose e proteínas (FROTA et al., 2010; BARROS et al., 2018; LI et al., 2020). Além de ser uma fonte de nutrientes essenciais, o feijão possui constituintes químicos que são considerados componentes com ação funcional, como os flavonoides, incluindo flavonóis, glicosilados ou não, antocianidinas, proantocianidinas e isoflavonas, bem como ácidos fenólicos (LIÃO et al., 2010)

Segundo Rosa-Millán et al. (2019), o feijão é uma fonte adequada de carboidratos complexos, em que o amido é a fração predominante (50-60 g/100 g). O amido é um dos componentes mais importantes dos sistemas alimentares, pois ele serve como uma fonte de energia na dieta humana (FABBRI et al., 2016; CHI et al., 2020).

Várias pesquisas quantificaram o amido em milho, trigo, batata, mandioca e arroz (THANHBlicharz et al., 2020; WATERSHOOT et al., 2015; DOBOSZ et al., 2019).

Composto por dois polímeros de glicose distintos: a amilose e amilopectina, sendo que a amilose constitui 5–35% da maioria dos amidos naturais e tem uma grande influência sobre as propriedades do amido nos alimentos. Além disso, o amido é o principal responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam grande parte dos produtos processados, uma vez que contribui para

diversas propriedades de textura em alimentos, possuindo aplicações industriais como espessante, estabilizador de colóides, agente gelificante e de volume, adesivo, na retenção de água, dentre outros (SINGH et al., 2003).

Assim, devido à capacidade do amido de ser fisicamente e quimicamente modificado, as propriedades do amido podem ser ajustadas com precisão para aplicações específicas em sistemas alimentares (ASHOGBON et al., 2014).

No entanto, o amido quando é extraído apresenta uma elevada atividade de água, necessitando que seja aplicada alguma técnica de conservação, visando sua obtenção na forma de pó e consequentemente garantindo uma maior estabilidade durante o seu armazenamento. A atividade de água (Aw) é um dos fatores intrínsecos dos alimentos e é uma medida qualitativa que possibilita avaliar a disponibilidade de água livre que é suscetível a diversas reações (SCOTT, 1957).

E uma dessas técnicas é a secagem convectiva, que segundo Santos et al. (2019a) e Almeida et al. (2020a), este processo envolve a redução do teor de água do produto até que ele atinja um nível seguro, podendo ser aplicada para garantir a preservação da qualidade fisiológica e físico-química do produto a ser armazenado durante um longo período.

Nos estudos relacionados aos sistemas de secagem, o dimensionamento, a otimização e a determinação da viabilidade de sua aplicação comercial 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 (ARAÚJO et al., 2017).

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo extrair amido de sementes de feijão preto e ajustar modelos matemáticos empíricos aos dados obtidos experimentalmente na sua cinética de secagem.

Material e Métodos

O feijão preto (*Phaseolus vulgaris L.*) foi adquirido no comércio local da cidade de Natal-RN. As amostras foram encaminhadas e os experimentos foram realizados no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), onde as sementes foram selecionadas.



Figura 1. Feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) utilizados na pesquisa.

Extração do amido

Inicialmente para extração do amido as sementes de feijão preto foram trituradas e imersas em uma solução de metabissulfito de sódio (0,5%) na proporção de 1:2 (m/v) por 72 horas, seguindo o procedimento proposto por Bento et al. (2019). As suspensões foram filtradas, lavadas com água destilada e decantadas por um período de 24 horas por 5 vezes, em ambiente refrigerado a 7°C para evitar ação enzimática ou fermentativa durante o processo de decantação. O sobrenadante foi descartado e o decantado foi submetido a secagem.

Cinética de secagem

A secagem das pastas de amido de feijão preto, foram realizadas em triplicata, utilizando uma estufa de secagem com circulação de ar forçado ajustado para operar nas temperaturas de 40, 50 e 60°C e com velocidade de ar de 1,5 m s⁻¹, nas quais as amostras foram distribuídas uniformemente em bandejas de aço inoxidável, formando uma camada fina. Os dados experimentais da perda de água ao longo do processo de secagem, foi expresso como a razão de umidade (X^*), conforme apresentado na (Equação 1).

$$X^* = \frac{X(t) - X_{eq}}{X_i - X_{eq}} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde: X^* é a razão de umidade (adimensional), X_{eq} é o equilíbrio teor de umidade (base seca), $X(t)$ é o teor de umidade real da amostra no momento t (base seca), e X_i é a umidade inicial conteúdo (base seca).

Quatro funções empíricas Handerson e Pabis (Equação 2), Page (Equação 3), Lewis (Equação 4) e Silva et al. (Equação 5) foram ajustadas aos conjuntos de dados experimentais por regressão não linear com o software LAB Fit (SILVA & SILVA, 2008).

$$X^* = e^{-at} \quad (\text{Eq.2})$$

$$X^* = e^{-atb} \quad (\text{Eq.3})$$

$$X^* = ae^{-bt} \quad (\text{Eq.4})$$

$$X^* = e^{-at-b\sqrt{t}} \quad (\text{Eq.5})$$

Onde: X^* é a razão de umidade (adimensional), “a” e “b” são os parâmetros dos modelos, e t é o tempo de secagem.

Os resultados dos modelos empíricos foram avaliados e comparados usando o qui-quadrado (χ^2) (Equação 6) e o coeficiente de determinação R^2 .

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{\text{exp},i}^* - X_{\text{pre},i}^*)^2}{N - n} \quad (\text{Eq.6})$$

Onde: χ^2 é a função qui-quadrado, $X_{\text{exp},i}^*$ é a razão de umidade experimental, $X_{\text{pre},i}^*$ é a razão de umidade simulada, N é o número de pontos experimentais e n é o número de coeficientes e constantes no modelo.

Rendimento de extração

O rendimento de extração foi calculado como porcentagem de massa do amido obtido em relação à massa bruta das sementes de feijão preto e expresso em base seca, por meio da Equação 7.

$$R = \frac{Ms}{Mr} \times 100 \quad (\text{Eq.7})$$

Onde: Ms é a massa do amido em base seca (g); Mr é a massa do feijão preto (g).

Análise estatística

Os dados experimentais obtidos foram analisados em triplicata e os resultados submetidos à análise de variância de fator único (ANOVA) de 5% de probabilidade. Para o desenvolvimento das análises estatísticas foi utilizado o software Assistat 7.7

Resultados e Discussão

Na Tabela 1 estão dispostos os resultados obtidos para os modelos empíricos aplicados a cinética de secagem da pasta de amido de feijão preto.

Tabela 1. Valores obtidos pelo ajuste de modelos matemáticos aos dados experimentais da cinética de secagem da pasta de amido de feijão preto

| Modelo | T (°C) | <i>a</i> | <i>b</i> |
|-------------------|--------|-------------------------|--------------------------|
| Handerson & Pabis | 40 | 1,0539 | 0,5100x10 ⁻² |
| | 50 | 1,0720 | 0,8554x10 ⁻² |
| | 60 | 1,0949 | 0,1634x10 ⁻¹ |
| Page | 40 | 0,6598x10 ⁻³ | 1,3724 |
| | 50 | 0,9940x10 ⁻³ | 1,4399 |
| | 60 | 0,3201x10 ⁻² | 1,8378 |
| Lewis | 40 | 0,4731x10 ⁻² | - |
| | 50 | 0,7684x10 ⁻² | - |
| | 60 | 0,1490x10 ⁻¹ | - |
| Silva et al. | 40 | 0,6459x10 ⁻² | -0,2231x10 ⁻¹ |
| | 50 | 0,1146x10 ⁻¹ | -0,3560x10 ⁻¹ |
| | 60 | 0,2189x10 ⁻¹ | -0,4778x10 ⁻¹ |

Observa-se que os parâmetros “*a*” e “*b*” das equações empíricas aplicadas sofreram influência com a elevação da temperatura do ar de secagem de 40 para 60°C. O parâmetro “*b*” representa a constante da taxa de secagem nos modelos empregados, aumentando com a elevação da temperatura e representando os efeitos das condições externas de secagem (SANTOS et al., 2020). Esse mesmo comportamento, também foi observado por Almeida et al. (2020b), ao aplicarem o processo de secagem em sementes de feijão azuki nas temperaturas variando de 40 a 60°C.

Os valores obtidos para os indicadores estatísticos coeficiente de determinação (R^2) e função qui-quadrado (χ^2) estão apresentados na Tabela 2.

Analisando a Tabela 2, o coeficiente de determinação (R^2) de todos os modelos aplicados observa-se que apresentaram valores superiores a 0,98 ($R^2 > 0,98$) para todas as temperaturas aplicadas. Mas, a avaliação de apenas um único parâmetro estatístico não constitui um bom critério de seleção de modelos não-lineares. Sendo, portanto, necessário a análise de outros parâmetros como a função qui-quadrado (SILVA et al., 2019b; SANTOS et al., 2019b).

Tabela 2. Coeficiente de determinação (R^2) e função qui-quadrado (χ^2) obtidos pelos ajustes de modelos matemáticos aos dados experimentais da cinética de secagem da pasta de amido de feijão preto

| Modelo | T (°C) | R^2 | χ^2 |
|-------------------|--------|--------|-------------------------|
| Handerson e Pabis | 40 | 0,9902 | 0,4755x10 ⁻¹ |
| | 50 | 0,9887 | 0,4429x10 ⁻¹ |
| | 60 | 0,9870 | 0,3481x10 ⁻¹ |
| Page | 40 | 0,9989 | 0,5637x10 ⁻² |
| | 50 | 0,9998 | 0,3212x10 ⁻² |
| | 60 | 0,9994 | 0,4672x10 ⁻² |
| Lewis | 40 | 0,9917 | 0,6656x10 ⁻¹ |
| | 50 | 0,9898 | 0,6911x10 ⁻¹ |
| | 60 | 0,9879 | 0,4788x10 ⁻¹ |
| Silva et al. | 40 | 0,9945 | 0,2586x10 ⁻¹ |
| | 50 | 0,9949 | 0,2049x10 ⁻¹ |
| | 60 | 0,9931 | 0,1750x10 ⁻¹ |

Em análise do qui-quadrado (χ^2), pode-se observar que o modelo de Page tem os menores valores, no qual variam de 0,005637 a 0,003212 quando a temperatura do ar de secagem varia de 40 a 60°C. Dessa forma o modelo de Page na temperatura de 50°C é o mais adequando para este estudo, pois apresenta o maior valor de R^2 (0,9998) e o menor valor da função qui-quadrado (0,3212x10⁻²).

Na Figura 1, pode-se observar o modelo Page como o que melhor descreve a cinética de secagem da pasta de amido de feijão preto para as temperaturas de secagem aplicadas.

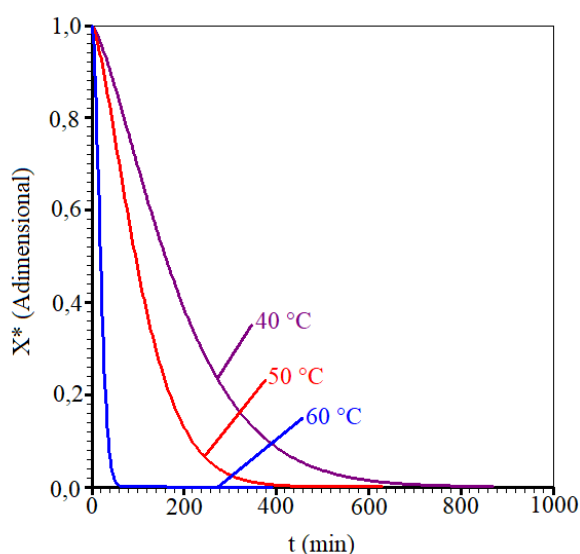


Figura 1. Cinética de secagem da pasta de amido de feijão preto, simulada pelo modelo matemático de Page.

O aumento da temperatura do ar de secagem reduziu o tempo de secagem das pastas de amido, cujos tempos foram de 870, 630 e 390 min para as temperaturas de 40, 50 e 60°C, respectivamente. Essa redução do tempo de secagem está relacionada ao aumento da taxa de perda, visto que, em maiores temperaturas as moléculas de água sofrem uma menor resistência, ou seja, fazendo com que a água seja menos ligada as moléculas que constituem a massa seca do material.

Após o processo de secagem das pastas de amido de feijão preto nas respectivas temperaturas, a Tabela 3, apresenta os valores calculados para o rendimento de extração.

Tabela 3. Rendimento de extração de amido de feijão preto para cada temperatura de secagem

| T(°C) | Rendimento (%) |
|-------|---------------------------|
| 40 | 45,35 ^a ± 0,55 |
| 50 | 46,72 ^a ± 0,98 |
| 60 | 47,62 ^a ± 1,12 |

Observa-se que os valores de rendimento de extração variam de 45,35 a 47,62%, sendo o maior percentual obtido na temperatura de 60°C, no entanto, estatisticamente os valores médios obtidos não apresentam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade.

Conclusão

O modelo matemático de Page na temperatura de 50°C, apresentou-se como o de melhor ajuste aos dados experimentais da cinética de secagem das pastas de amido de feijão preto, pois apresentou o maior valor de R² e o menor valor da função qui-quadrado.

O menor tempo de secagem foi obtido para a temperatura de 60°C (390 min) em decorrência do maior gradiente de temperatura.

O rendimento de extração foi superior a 40% para as três temperaturas de aplicadas, no entanto, não apresentaram diferenças estatísticas.

Como sugestão de trabalhos futuros, pode-se realizar um caracterização física, físico-química e tecnológica do amido em pó.

Referências

- ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; DOS SANTOS PEREIRA, T.; DE QUEIROGA, A. P. R.; DE ALCÂNTARA SILVA, V. M.; DE ALCÂNTARA RIBEIRO, V. H.; BORGES, E. M. E. S. Cinética de secagem do feijão azuki: modelagem matemática e propriedades termodinâmicas. *Research, Society and Development*, v.9, n.3, p. e27932316-e27932316, 2020b.
- ALMEIDA, R. L.; SANTOS, N. C.; DOS SANTOS PEREIRA, T.; DE ALCÂNTARA SILVA, V. M.; CABRAL, M. B.; BARROS, E. R.; DA SILVA, L. R. I. Determinação de compostos bioativos e composição físico-química da

farinha da casca de jabuticaba obtida por secagem convectiva e liofilização. Research, Society and Development, v.9, n.1, p.e157911876-e157911876, 2020a.

ARAÚJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; HARTMANN FILHO, C. P.; MARTINS, E. A. S. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. Revista Ciência Agronômica, v.48, n.3, p.448-457, 2017.

BARROS, L. F. T. D.; ESCOBAR, T. D.; RIBEIRO, P. F. D. A.; KAMINSKI, T. A. Muffins adicionados de farinha de feijão de diferentes classes. Brazilian Journal of Food Technology, v.21, n.1, p.e2017081, 2018.

BENTO, J. A. C.; FERREIRA, K. C.; DE OLIVEIRA, A. L. M.; LIÃO, L. M.; CALIARI, M.; JÚNIOR, M. S. S. Extraction, characterization and technological properties of white garland-lily starch. International Journal of Biological Macromolecules, v.135, p.422-428, 2019.

CHI, C.; LI, X.; ZHANG, Y.; CHEN, L.; LI, L.; MIAO, S. Progress in tailoring starch intrinsic structures to improve its nutritional value. Food Hydrocolloids, v.113, n.106447, p.7.053, 2020.

DOBOSZ, A.; SIKORA, M.; KRZYSTYJAN, M.; TOMASIK, P.; LACH, R.; BORCZAK, B.; BERSKI, W.; LUKASIEWICZ, M. Short and long-term retrogradation of potato starches with varying amylose content. J. Sci. Food Agric., v.99, p.2393-2403, 2019.

FABBRI, A. D.; SCHACHT, R. W.; CROSBY, G. A. Evaluation of resistant starch content of cooked black beans, pinto beans, and chickpeas. NFS Journal, v.3, p.8-12, 2016.

FROTA, K. D. M. G.; MORGANO, M. A.; SILVA, M. G. D.; ARAÚJO, M. A. D. M.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. D. R. Utilização da farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) na elaboração de produtos de panificação. Food Science and Technology, v.30, p.44-50, 2010.

LI, P.; LI, Y.; WANG, L.; ZHANG, H.; QI, X.; QIAN, H. Study on water absorption kinetics of black beans during soaking. Journal of Food Engineering, v.283, n.63, p.110030, 2020.

LIÃO, L. M.; CHOZE, R.; CAVALCANTE, P. P. A.; SANTOS, S. D. C.; FERRI, P. H.; FERREIRA, A. G. Perfil químico de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*) pela técnica de high resolution magic angle spinning (HR-MAS). Química Nova, v.33, n.3, p.634-638, 2010.

ROSA-MILLÁN, J. D. L.; HEREDIA-OLEA, E.; PEREZ-CARRILLO, E.; GUAJARDO-FLORES, D.; SERNASALDÍVAR, S. R. O. Effect of decortication, germination and extrusion on physicochemical and in vitro protein and starch digestion characteristics of black beans (*Phaseolus vulgaris* L.). LWT, v.102, p.330-337, 2019.

SANTOS, N. C.; SILVA, V. M. A.; RIBEIRO, V. H. A.; BARROS, S. L.; ALMEIDA, R. L. J.; LUIZ, M. R.; BESERRA, Y. A. S. Secagem convectiva de cascas de kiwi cv. hayward, difusividade efetiva e energia de ativação. In: FRANCISCO, P. R. M.; RIBEIRO, G. N.; MEDEIROS, P. C. (Org.). Caderno de Pesquisa, Ciência e Inovação. 3ed. Campina Grande: EPGRAF, 2, p.82-89, 2019b.

SANTOS, N. C.; SILVA, W. P.; BARROS, S. L.; ARAÚJO, A. J. B.; GOMES, J. P.; ALMEIDA, R. L. J.; NASCIMENTO, A. P. S.; ALMEIDA, R. D.; SILVA, C. M. D. P. S.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Study on drying of

black rice (*Oryza sativa* L.) grains: physical-chemical and bioactive quality. *Journal of Agricultural Science*, v.11, n.9, p.203-212, 2019a.

SANTOS, N. C.; DA SILVA, W. P.; BARROS, S. L.; ALMEIDA, R. L. J.; DE BRITO ARAÚJO, A. J.; DA SILVA NASCIMENTO, A. P. Red rice (*Oryza sativa* L.) use in flour production: Convective drying and bioactive quality. *Journal of Food Process Engineering*, v.43, n.10, p.e13490, 2020.

SEVERO, M. G.; MORAES, K.; RUIZ, W. A. Modificação enzimática da farinha de arroz visando a produção de amido resistente. *Química Nova*, v.33, n.2, p.345-350, 2010.

SILVA, E. C. O.; DA SILVA, W. P.; GOMES, J. P.; SILVA, C. M. D. P. S.; ALEXANDRE, H. V.; FARIAS, V. S. O.; DE FIGUIREDO, R. M. F. Drying of Albedo and Whole Peel of Yellow Passion Fruit. *Journal of Agricultural Science*, v.11, n.6, p.501-509, 2019b.

SCOTT, W.J. Relações hídricas de microrganismos de deterioração de alimentos. In: *Avanços na pesquisa de alimentos*. Academic Press, v.7, p.83-127, 1957.

THANH-BLICHARZ, L.; LEWANDOWICZ, J. Functionality of native starches in food systems: cluster analysis grouping of rheological properties in different product matrices. *Foods*, v.9, n.8, p.1073, 2020.

Capítulo II

EXTRAÇÃO E ANÁLISE TÉRMICA DO AMIDO DE ARROZ JAPÔNICA SUBMETIDO A DIFERENTES TIPOS DE MOAGEM

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva
Raphael Lucas Jacinto Almeida
Newton Carlos Santos
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro
Larissa Monique de Sousa Rodrigues
Francisca Moisés de Sousa

Introdução

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das cinco espécies da família Poaceae mais utilizadas na agricultura mundial, junto à cevada (*Hordeum vulgare* L.), milho (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e trigo (*Triticum aestivum* L.). O amido é o seu principal constituinte e suas propriedades físico-químicas, como o teor de amilose e os índices de colagem, determinam os vários aspectos de sua qualidade incluindo a qualidade do cozimento e do processamento (YANJIE et al., 2018). A complexa estrutura fina da amilose e amilopectina do amido de arroz determina as diferenças nas propriedades físico-químicas, como as propriedades cristalinas, de gelatinização e de colagem (LI et al., 2016).

Seu centro de origem provável é considerado o sudeste da Ásia, sendo composto por 23 espécies (VAUGHAN & CHANG, 1995), com destaque para duas espécies cultivadas: *Oryza glaberrima* Steud. (arroz cultivado africano), e *O. sativa* (arroz cultivado asiático), que é a mais conhecida por sua importância na alimentação humana. No Brasil temos outras quatro espécies nativas como: *O. latifolia* Desv. *O. glumaepatula* Steud, *O. alba*, *O. grandiglumis* (RANGEL et al., 2006).

O amido é um dos materiais mais multifuncionais utilizados na indústria, devido às suas diversas funções tecnológicas. A aplicação de amido depende de suas características físico-química e as suas propriedades específicas estão fortemente correlacionadas com suas origens botânicas. Várias

pesquisas já foram realizadas com diferentes tipos de amido, de arroz, de trigo, de milho e de batata (PIGŁOWSKA et al., 2020)

Geralmente, o arroz é classificado em três tipos (a) índico ou agulha, b) japonico, carolina ou cateto e c) ceroso ou fragrante) com base apenas na sua variação no teor de amilose. O índico e o japonico são compostos aproximadamente de 10 a 25% de amilose linear e 55 a 70% de amilopectina altamente ramificada, enquanto o ceroso consiste em amilopectina ramificada ainda mais alta e outros componentes basais. Kang et al. (2006) sugeriram que o japonico mostra elasticidade e viscosidade moderada no processamento ou cozimento, devido ao seu teor de amilose apropriado aos índica e ceroso, e é geralmente usado em produtos prontos para consumo.

Ahmed et al. (2008) estudaram as propriedades térmicas e dinâmicas do amido de arroz e descobriram diferenças significativas entre o amido e a farinha de arroz. Em geral, devido às diferenças entre variedades, regiões e ambientes, o conteúdo de componentes básicos no grão de arroz varia significativamente. A intensidade da moagem e textura do grão determina o teor de amido danificado na farinha e tem grande influência na determinação dos testes de avaliação da qualidade tecnológica (BORDIGNON et al., 2015). Segundo Rosentrater e Evers (2017), as alterações que ocorrem como resultados das operações de moagem são observadas nas formas e nos tamanhos de grãos que são alterados, nas diferentes composições obtidas na moagem que são concentradas pelo fracionamento, e na temperatura e/ou no teor d'água dos estoques que são alterados. O presente estudo teve como objetivo realizar a análise térmica do amido de arroz tipo japonico submetido a diferentes processos de moagem (bolas, discos e facas).

O presente estudo tem como objetivo realizar a análise térmica do amido de arroz japônica submetido a diferentes processos de moagem (bolas, discos e facas).

Material e Métodos

O arroz-japônico (*Oryza sativa* L.), foi adquirido no comércio local da cidade de Campina Grande - PB. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Secagem da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).



Figura 1. Grãos de arroz tipo japonico.

Extração do amido do arroz-japonico

O amido foi obtido pelo método descrito por Adebowale et al. (2005) com adaptações. A solução de metabissulfito de sódio (0,2%) foi utilizada no processo, onde o arroz foi imerso nesta solução numa proporção de 1:2 m/v por 48 horas, seguido por uma lavagem em água corrente por cerca de 3 minutos. O arroz foi triturado com água destilada na proporção de 1:2 m/v em liquidificador industrial (Fabricante Kohlbach, modelo KM42A) por 5 minutos, o produto da operação foi filtrado com auxílio de redes de nylon, para aumento do rendimento, enquanto o resíduo foi triturado novamente por três vezes.

A suspensão do amido foi decantada por um período de 24 horas, em ambiente refrigerado a 7 °C para evitar ação enzimática ou fermentativa durante o processo de decantação. Após passar pela primeira decantação foi descartado o sobrenadante e adicionado 300 mL d'água destilada ao amido precipitado com o objetivo de lavar a amostra. Após 24 horas desta nova decantação, o sobrenadante foi novamente descartado e o precipitado acrescido d'água na mesma quantidade (300 mL).

Este procedimento de suspensão e decantação do amido foi efetuado por 5 vezes. O amido decantado foi submetido ao processo de secagem convectiva, realizada em estufa, com circulação de ar na temperatura de 50°C, até peso constante.

Análise termogravimétrica (ATG)

As análises termogravimétricas foram realizadas em analisador termogravimétrico segundo a metodologia descrita por Tian et al. (2011). A faixa de temperatura foi de 25 a 600°C, com varredura de 10°C/min. em atmosfera de N₂, com fluxo de ar de 150 mL.min⁻¹.

Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

A análise de DSC seguiu a metodologia descrita por Chung e Liu (2009) com adaptações. Para preparação da amostra adicionou-se 6,0 µl d'água destilada a 2,0 mg de amido em cadinhos (painéis para o DSC). O recipiente foi selado, pesado novamente e mantido a $30 \pm 2^\circ\text{C}$ por 24 h para assegurar o equilíbrio da amostra de amido e d'água. Logo após foram submetidas a um ciclo de aquecimento e resfriamento de 20-200°C a 10°C/minuto para determinação da entalpia de gelatinização. Sendo utilizadas cápsulas de alumínio fechadas e tendo como referência uma cápsula fechada vazia. O experimento foi conduzido em atmosfera dinâmica com o gás nitrogênio a 50 mL/minuto. Além das entalpias foram obtidos: a temperatura inicial (T_0) e a temperatura de pico da gelatinização (T_p).

Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas para os dados experimentais em triplicata e os resultados foram submetidos à análise de variância de fator único (ANOVA) de 5% de probabilidade e as respostas qualitativas significativas foram submetidas ao teste de Tukey adotando-se o mesmo nível de 5% de significância. Para o desenvolvimento das análises estatísticas o software ASSISTAT versão 7.0 foi utilizado.

Resultados e Discussão

A análise termogravimétrica para o amido de arroz tipo japonico submetido a moagem com moinho de disco, facas e bolas é mostrada na Figura 1, enquanto que os principais eventos e seus respectivos valores de porcentagem de perda de massa, faixa temperatura e temperatura de perda máxima são mostrados na Tabela 1.

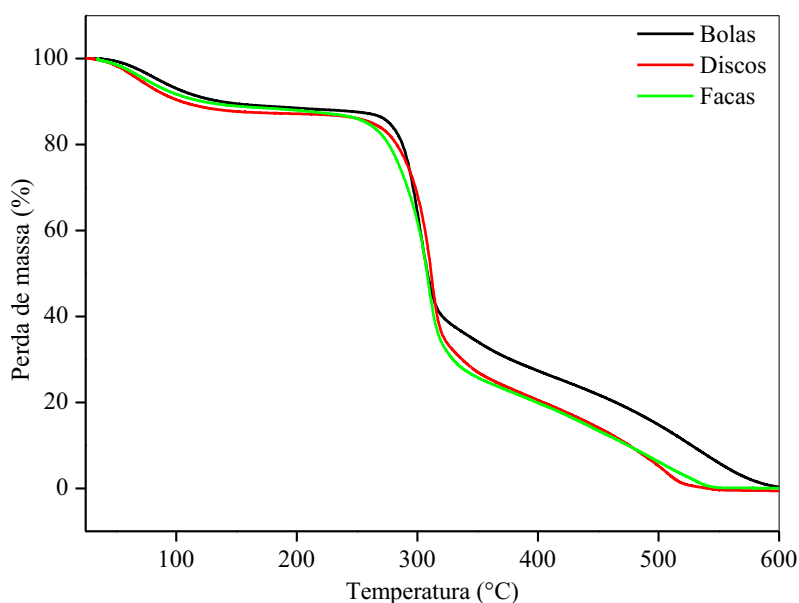


Figura 1. Porcentagem de perda de massa x temperatura.

Tabela 1. Resultados termo analíticos obtidos por ATG nas amostras de amido de arroz japônica

| Formulações | Eventos | Perda de massa (%) | ΔT (°C) | Tp (°C) |
|-------------|---------|--------------------|-----------------|---------|
| F1 (Bolas) | (I) | 11,6 | Tamb - 182,3 | 119,5 |
| | (II) | 69,1 | 182,3 - 399,7 | 321,4 |
| | (III) | 19,1 | 399,7 - 577,6 | 457,3 |
| F2 (Discos) | (I) | 11,6 | Tamb - 212,7 | 73,6 |
| | (II) | 65,8 | 212,7 - 444,0 | 318,9 |
| | (III) | 21,7 | 444,0 - 600,0 | 518,3 |
| F3 (Facas) | (I) | 12,6 | Tamb - 183,7 | 129,9 |
| | (II) | 77,8 | 183,7 - 477,8 | 350,4 |
| | (III) | 6,5 | 477,8 - 594,0 | 516,8 |

O primeiro evento é caracterizado por um pico discreto representado pela evaporação d'água, onde para a F3 essa perda de massa é mais acentuada (12,6%), que vai do início da análise até a temperatura de 183,7°C e obteve sua perda máxima na temperatura de 129,9°C.

O segundo evento é caracterizado por um pico mais acentuado que provavelmente deve-se à degradação do anel de glicose nos polímeros do amido, amilose e/ou amilopectina. Para a F3 a perda de massa foi maior (77,8%) em relação às outras formulações, obtendo sua perda massa máxima a 350,4°C.

A degradação térmica do amido de arroz-japônico tem seu início em (182,3; 212,7 e 183,7°C), respectivamente para a formulação (F1, F2 e F3), chegando ao seu máximo de degradação em 399,7°C; 444 e 477,8°C, como se pode observar na Tabela 1 acima, e confirmado pelo trabalho de Shujun et al. (2005).

Uma degradação térmica similar do amido da castanha de caju (*Anacardium occidentale* L.) foi observada após a remoção do óleo, com a máxima taxa de degradação do anel de glicose ocorrendo a 319°C, mas a partir de 174°C. Liu et al. (2009), relataram o início dessa degradação a 220°C para amido de milho. Relatórios publicados por Fabian et al. (2011) apontaram que parte da degradação da glicose do amido de arroz acontece a 210°C.

Um terceiro evento térmico foi encontrado na ATG com temperatura acima de 399°C, para a (F2) a perda de massa foi maior do que para as outras formulações, com a porcentagem de 21,7% e sua perda máxima na temperatura de 518,3°C. Fabian et al. (2011), em seu estudo com o amido do farelo de arroz notaram que o segundo e terceiro evento foram consecutivos e correspondem à decomposição no intervalo de temperatura de 210–540°C.

O resultado da análise do DSC é apresentado na Tabela 2 para os parâmetros: temperatura dos eventos térmicos e a variação da entalpia (ΔH).

Tabela 2. Valores obtidos na análise do DSC para o amido de arroz japonica

| Parâmetros | F1 (Bolas) | F2 (Discos) | F3 (Facas) |
|--------------|---------------|---------------|---------------|
| T0 (°C) | 71,14 ± 0,23b | 72,11 ± 0,15a | 72,01 ± 0,09a |
| Tp (°C) | 75,62 ± 0,18a | 75,45 ± 0,25b | 75,31 ± 0,13b |
| Tp - T0 (°C) | 4,48 ± 0,20a | 3,34 ± 0,12b | 3,30 ± 0,07b |
| ΔH (J/g) | 6,98 ± 0,25a | 5,31 ± 0,23b | 5,15 ± 0,19b |

Nota: T0: é a temperatura inicial de gelatinização; Tp: é a temperatura do pico de gelatinização; Tp-T0: é a diferença entre a temperatura de pico e inicial; ΔH: é a entalpia de gelatinização. Letras minúsculas sobrescrita na mesma linha significa que os valores não diferem significativamente segundo o teste de Tukey (P>0,05).

A temperatura de gelatinização dos amidos ocorre em geral à temperaturas acima de 60°C. Para o amido extraído do arroz-japonico variou de 71,14 a 72,11°C sendo considerado assim equivalente a outras fontes de amido, como o do milho, com T0 variando de 70 a 75°C (SOUZA & ANDRADE, 2000), amido de batata (*Solanum tuberosum* L.), 65-70°C, amido de trigo, 70-75°C (RATNAYAKE & JACKSON, 2007), e lírio do brejo (*Hedychium coronarium* J. Koenig), 73-78°C (ASCHERI et al., 2010). Segundo o estudo realizado por Hu et al. (2019) para 8 cultivares da farinha do arroz-japonico o valor de T0 variou de 54,25 a 62,78°C. Almeida et al. (2019) obtiveram o valor de 70,46°C para o amido nativo de arroz-vermelho (outro tipo). O amido de arroz-japonico possui uma temperatura de gelatinização próximo às matérias-primas supracitadas, podendo provavelmente substituir estas nas indústrias alimentícias. Houve diferença significativa apenas para a F1 obtida através do processamento com o moinho de bolas, uma menor granulometria facilita a entrada d'água e de calor nos grânulos durante a formação da pasta, necessitando assim de uma menor temperatura para gelatinizar.

Fabian et al. (2011) encontraram para o amido de farelo de arroz uma temperatura de gelatinização de 72,6°C e uma entalpia de gelatinização em torno de 9,5 J/g, sendo é perceptível que ΔH do amido de arroz-japonico é menor, principalmente para o amido submetido ao moinho de facas (F2). O amido do tipo em questão quando comparado aos de outras fontes de amido apresenta menor entalpia de gelatinização como, por exemplo: farinha de arroz-japonico (5,11 a 8,43 J/g), amido de arroz-vermelho (8,31 J/g), amido de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) (15,20 J/g), salsa peruana (*Petroselinum crispum* (Mill.) Nym.) (15,20 a 16,10 J/g) e jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) (13,50 a 14,40 J/g) que foram encontrados nos respectivos trabalhos de (HU et al., 2019; ALMEIDA et al., 2019; HUANG et al., 2007; ROCHA et al., 2008; MADRIGAL-ALDANA et al., 2011). A entalpia da retrogradação fornece uma medida quantitativa da transformação de energia que ocorre durante a fusão do amido de arroz-japonico.

Foi perceptível o decréscimo da entalpia de gelatinização de acordo tipo de moinho utilizado, a maior diferença foi encontrada para a F1. A entalpia do amido de arroz-japonico reflete a presença de cadeias médias de amilopectina, que compreende aproximadamente 55-70% de amilopectina e 10-25% de amilose (HU et al., 2019). A temperatura inicial para a gelatinização ocorre quando a água entra na

região amorfa e se torna menos ordenada. Isso leva a um pequeno intervalo entre as temperaturas inicial e final, devido à rápida gelatinização das regiões mais cristalinas (NODA et al., 2006; OLIVEIRA et al. 2009). Pode-se afirmar que os grânulos do amido nativo do tipo japonico são pouco resistentes e a trituração com moinho de facas os deixou mais susceptíveis à quebra com o aquecimento prolongado.

A quantidade de energia térmica necessária para gelatinizar completamente o amido de arroz é de suma importância para o processo, que pode ser otimizado ao saber desses parâmetros (BAO & BERGMAN, 2004). Este parâmetro depende do tamanho e forma dos grânulos, do grau de cristalinidade, da relação amido/água e da disponibilidade de água (ALVANI et al., 2011; SINGH et al., 2008).

Conclusão

As diferentes técnicas de moagem modificaram significativamente as propriedades térmicas do amido de arroz tipo japonico, visto que na análise termogravimetria a formulação obtida através do moinho de discos apresentou distinção em relação a perda de massa, enquanto que para a calorimetria exploratória diferencial o amido obtido no processo de moagem com o moinho de bolas apresentou menor temperatura inicial de gelatinização e maior entalpia de gelatinização. Como sugestões de trabalhos futuros, pode-se aplicar o amido obtido no desenvolvimento de biofilmes. Assim como também, ser utilizado como matéria prima no desenvolvimento de diversos novos produtos, como por exemplo na panificação.

Referências

- ADEBOWALE, K. O.; AFOLABI, T. A.; LAWAL, O. S. Isolation, chemical modification and physicochemical characterisation of Bambarra groundnut (*Voandzeia subterranean*) starch and flour. *Food Chemistry*, v.78, n.3, p.305-311, 2002.
- AHMED, J.; RAMASWAMY, H. S.; AYAD, A.; ALLI, I. Thermal and dynamic rheology of insoluble starch from basmati rice. *Food Hydrocolloids*, v.22, n.2, p.278-287, 2008.
- ALMEIDA, R. L. J.; PEREIRA T. S.; FREIRE, V. A.; SANTIAGO, A. M.; OLIVEIRA, H. M. L.; CONRADO, L. S.; GUSMÃO, R. P. Influence of enzymatic hydrolysis on the properties of red rice starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, v.141, n.365, p.1210-1219, 2019.
- ALVANI, K.; QI, X.; TESTER, R. F.; SNAPE, C. E. Physico-chemical properties of potato starches. *Food Chemistry*, v.125, n.3, p.958-965, 2011.
- ASCHERI, D. P. R.; MOURA, W. D. S.; ASCHERI, J. L. R.; DE CARVALHO, C. W. P. Caracterização física e físico-química de rizomas e amido do lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*). *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.40, n.2, p.159-166, 2010.
- BAO, J.; BERGMAN, C. J. The functionality of rice starch. In *Starch in food: Structure, function and applications*. Woodhead Publishing, 2004. p.258-294.

BORDIGNON, J. R.; SCHOLZ, M. B. S.; DE MIRANDA, M. Z.; DA SILVA, V. C.; EL KHOURI, M.; DE PIERI, F. L.; TATSCH, P. O. Amido danificado e capacidade de retenção de solventes de farinhas obtidas em moinhos experimentais. In: Seminário Técnico do Trigo, 10., 2015, Passo Fundo. Anais...Passo Fundo: Biotrigo Genética: Embrapa Trigo, 2015.

CHUNG, H. J.; LIU, Q. Effect of gamma irradiation on molecular structure and physicochemical properties of corn starch. *Journal of Food Science*, v.74, n.5, p.353-361, 2009.

FABIAN, C.; AYUCITRA, A.; ISMADJI, S.; JU, Y. H. Isolation and characterization of starch from defatted rice bran. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, v.42, n.1, p.86-91, 2011.

HU, W. X.; CHEN, J.; XU, F.; CHEN, L.; ZHAO, J. W. Study on crystalline, gelatinization and rheological properties of japonica rice flour as affected by starch fine structure. *International Journal of Biological Macromolecules*, v.148, p.1232-1241, 2020.

HUANG, Q.; LI, L.; FU, X. Ultrasound effects on the structure and chemical reactivity of cornstarch granules. *Starch-Stärke*, v.59, n.8, p.371-378, 2007.

KANG, H. J.; HWANG, I. K.; KIM, K. S.; CHOI, H. C. Comparison of the physicochemical properties and ultrastructure of japonica and indica rice grains. *Journal of Agricultural and Food*, v.54, n.13, p.4833-4838, 2006.

LI, Z.; KONG, X.; ZHOU, X.; ZHONG, K.; ZHOU, S.; LIU, X. Characterization of multiscale structure and thermal properties of Indica rice starch with different amylose contents. *RSC Advances*, v.6, n.109, p.107491-107497, 2016.

LIU, X.; YU, L.; LIU, H.; CHEN, L.; LI, L. Thermal decomposition of corn starch with different amylose/amylopectin ratios in open and sealed systems. *Cereal Chemistry*, v.86, n.4, p.383-385, 2009.

MADRIGAL-ALDANA, D. L.; TOVAR-GÓMEZ, B.; DE OCA, M. M. M.; SÁYAGO-AYERDI, S. G.; GUTIERREZ-MERAZ, F.; BELLO-PÉREZ, L. A. Isolation and characterization of Mexican jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L) seeds starch in two mature stages. *Starch-Stärke*, v.63, n.6, p.364-372, 2011.

NODA, T.; TSUDA, S.; MORI, M.; TAKIGAWA, S.; MATSUURA-ENDO, C.; KIM, S. J.; YAMAUCHI, H. Determination of the phosphorus content in potato starch using an energy-dispersive X-ray fluorescence method. *Food Chemistry*, v.95, n.4, p.632-637, 2006.

OLIVEIRA, T. M.; PIROZI, M. R.; BORGES, J. D. S.; GERMANI, R.; FONTES, M. F. Caracterização do amido de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.). *B. CEPPA*, v.27, n.1, p.27-42, 2009.

RANGEL, P. H. N.; BRONDANI, C.; FONSECA, J. R.; DA SILVA, S. C.; RABELO, R. R.; PEREIRA, J. A. Mapeamento da distribuição das espécies brasileiras de oryza, com vistas à conservação dos parentes silvestres e das variedades crioulas de arroz (*O. sativa* L.). In: CORADIN, L. (coord.) *Parentes Silvestres das Espécies de Plantas Cultivadas*. MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Brasília: MMA, 2006. 44p.

RATNAYAKE, W. S.; JACKSON, D. S. A new insight into the gelatinization process of native starches. *Carbohydrate Polymers*, v.67, n.4, p.511-529, 2007.

- ROCHA, T. S.; DEMIATE, I. M.; FRANCO, C. M. L. Structural and physicochemical characteristics of Peruvian carrot (*Arracacia xanthorrhiza*) starch. *Food Science and Technology*, v.28, n.3, p.620-628, 2008.
- ROSENTRATER, K. A.; EVERS, A. D. Kent's technology of cereals: An introduction for students of food science and agriculture. Woodhead Publishing, 5^a ed. 2017. 924p.
- SHUJUN, W.; JIUGAO, Y.; JINGLIN, Y. Preparation and characterization of compatible thermoplastic starch/polyethylene blends. *Polymer Degradation and Stability*, v.87, n.3, p.395-401, 2005.
- SINGH, N.; ISONO, N.; SRICHUWONG, S.; NODA, T.; NISHINARI, K. Structural, thermal and viscoelastic properties of potato starches. *Food Hydrocolloids*, v.22, n.6, p.979-988, 2008.
- SOUZA, R. C.; ANDRADE, C. T. Investigação dos processos de gelatinização e extrusão de amido de milho. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v.10, n.1, p.24-30, 2000.
- TIAN, Y.; LI, Y.; XU, X.; JIN, Z. Starch retrogradation studied by thermogravimetric analysis (TGA). *Carbohydrate Polymers*, v.84, n.3, p.1165-1168, 2011.
- YANJIE, X. U.; YINING, Y. I. N. G.; SHUHONG, O. U. Y. A. N. G.; XIAOLIANG, D. U. A. N.; HUI, S. U. N.; SHUKUN, J. I. A. N. G.; JINSONG, B. A. O. Factors affecting sensory quality of cooked japonica rice. *Rice Science*, v.25, n.6, p.330-339, 2018.

Capítulo III

EFEITO DO TEMPO DE GERMINAÇÃO NAS PROPRIEDADES ESTRUTURAIS DA FARINHA DO FEIJÃO AZUKI (*Vigna angularis*) GERMINADO

***Virgínia Mirtes de Alcântara Silva
Raphael Lucas Jacinto Almeida
Newton Carlos Santos
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro
Larissa Monique de Sousa Rodrigues
Francisca Moisés de Sousa***

Introdução

O feijão Azuki é a segunda mais importante leguminosa no Japão após a soja. De acordo com os resultados da pesquisa, o Japão deveria ser um local possível onde o feijão azuki foi domesticado (KAGA et al. 2008; WIN et al., 2016). O feijão azuki (*Vigna angularis*), originário das regiões tropicais da Ásia e uma das culturas mais importantes do Japão, China e Coréia do Sul (MUKAI & SATO, 2011), é rico em proteínas, polissacarídeos, fibras, gorduras e outros vários micronutrientes como as vitaminas do complexo B e minerais como fósforo, cálcio e ferro (KAN et al. 2018).

É um grão muito divulgado pela escola macrobiótica, de grande valor nutricional. Além disto, este feijão fermenta menos do que os outros, auxilia na formação óssea, sendo indicado para disfunções renais, hipertensão e diabetes (PAJAK, 2014). A germinação é, possivelmente, um dos processos mais antigos, simples e econômicos empregados para melhorar o valor nutricional de grãos. Trata-se de uma alternativa adequada para a redução dos fatores antinutricionais, digestibilidade, inibidores de proteases, presentes originariamente nestes grãos, além de converter proteínas vegetais de baixa qualidade nutricional em proteínas de melhor qualidade (LOPEZ-AMORÓS, 2013).

A germinação inicia-se quando a semente seca começa a absorver a água e se completa quando o eixo embrionário alonga. Neste ponto, as reservas dentro dos tecidos de armazenamento da semente são mobilizadas para apoiar o crescimento das plântulas (BEWLEY et al., 2001). A partir do momento

em que quebram a dormência das sementes, as respostas de proteção ocorrem através da síntese de fenóis e outros compostos (TAIZ & ZEIGER, 2004).

O objetivo do presente estudo é analisar as propriedades estruturais da farinha de feijão azuki em diferentes estágios de germinação.

Material e Métodos

As amostras de feijão azuki (Figura 1) foram adquiridas no comércio local e analisadas no Laboratório de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande.



Figura 1. Grãos de feijão azuki antes da germinação.

Germinação das amostras

A germinação foi conduzida com quatro repetições de 50 sementes, distribuídas em caixas gerbox sobre três folhas de papel germitest, umedecido com 2,5 vezes a sua massa com água destilada, colocadas no germinador, regulado com temperatura constante de 25°C (± 2), umidade relativa do ar de 80% (± 5). As coletas dos germinados foram efetuadas no 6, 8, 10 e 12º dia, considerando a protrusão ou tamanho da radícula como indicador da germinação e como forma de padronizar a coleta conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Produção da farinha

Para obtenção da farinha, o feijão germinado foi disposto em bandejas e colocadas em uma estufa de secagem na temperatura de 50°C e velocidade de ar de 1,0 m.s⁻¹ até massa constante. As amostras desidratadas foram maceradas em moinho de bolas (Marconi, MA 350) até adquirirem aspecto de farinha, logo após foram passados em peneira de 60 mesh para obtenção da granulometria fina, em

seguida foram acondicionadas em embalagens laminadas sob o abrigo de luz, até o momento de realização das análises (FARONI et al., 2007).

Difração de raios-X (DRX)

O padrão de difração de raios-X foi determinado por difratômetro de Raio X – Shimadzu – XRD – 7000 pela metodologia de Won et al. (2017) com adaptações, utilizando radiação $K\alpha$ do cobre (1,5418 Å), 40 kV, 40 mA, com um passo de 0,05 e taxa de varredura de 0,5°/min na temperatura ambiente. A faixa de varredura da difração foi ajustada para ângulos de 5° a 65° (2 θ). Os difratogramas foram utilizados para identificação das fases que compõem um material cristalino. A leitura do difratômetro foi realizada por meio de um gráfico que fornece o registro das contagens por segundo (proporcional à intensidade difratada) versus a difração do ângulo 2 θ (feixe transmitido).

O grau de cristalinidade das amostras foi obtido segundo a Equação 1.

$$X_c(\%) = \frac{I_c}{(I_c + I_a)} \cdot 100 \quad (\text{Eq.1})$$

Em que: X_c = o grau de cristalinidade; I_c = somatório das áreas dos picos cristalinos; I_a = área do halo amorfo.

Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros de infravermelho das amostras de amidos de arroz nativo e modificado foram obtidos em espectrofotômetro de absorção na região do infravermelho utilizando um equipamento Spectrum 400 da Perkin Elmer na região de 4000-500 cm^{-1} , segundo a metodologia de Chung et al. (2011) com adaptações. Foram preparadas pastilhas a partir da mistura das amostras com KBr em uma proporção de 1:100 (amostra: KBr). Sendo recolhidas dez leituras a uma resolução de 4 cm^{-1} .

Resultados e Discussão

O resultado da análise de Difração de raios-X para a farinha de feijão azuki está demonstrada na Figura 2 e o grau de cristalinidade, assim como os picos cristalinos na Tabela 1.

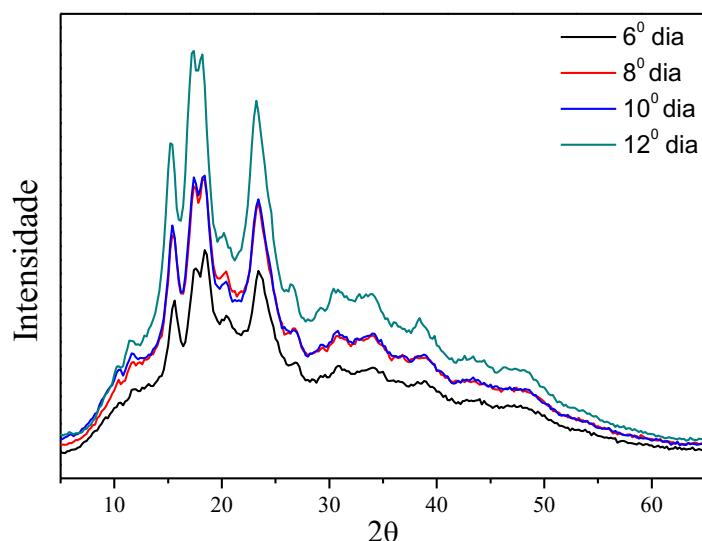


Figura 2. Difratoogramas de raios X da farinha de feijão azuki germinado em diferentes dias de germinação.

Tabela 1. Valores dos picos cristalinos e o grau de cristalinidade

| Dias de germinação | Picos (°) | Grau de cristalinidade (%) |
|--------------------|-------------------|----------------------------|
| 6º | 15,6; 18,4 e 23,4 | 17,55 |
| 8º | 15,4; 18,2 e 23,4 | 20,88 |
| 10º | 15,4; 18,4 e 23,4 | 20,95 |
| 12º | 15,2; 18,2 e 23,2 | 23,06 |

A análise por técnica de difração de raios X permite distinguir os três tipos de cristalinidade para os grânulos que, dependendo de sua forma e estrutura cristalina, denominam-se A, B e C, apresentando diferentes picos de intensidade nos ângulos de difração 2θ . Pertencente ao tipo A aqueles que apresentam picos de 15,3; 17,1; 18,2 e 23,5°, ao tipo B em 5,6; 14,4; 17,2; 22,2 e 24° e ao tipo C quando apresentarem picos em 2θ misturados de A e B.

A farinha é classificada como grupo A para todos os tempos de germinação. Este resultado está de acordo com os dados relatados por Van Soest e Vliegenthart (1997) e Sajilata et al. (2006), no qual os autores afirmam que os amidos de cereais apresentam cristalinidade do tipo A, os amidos de tubérculos cristalinidade do tipo B e os amidos de raízes e sementes cristalinidade do tipo C. Isso foi encontrado por Granza et al. (2015), no qual estudaram a modificação do feijão carioca por acetilação e encontraram cristalinidade tipo A para os picos de 15, 18 e 23°.

A hidratação dos grânulos e do condições de análise pode influenciar na resolução dos padrões e na classificação nos tipos A, B e C (DONALD, 2004). O tamanho e a quantidade de cristais são diretamente relacionados ao teor de amilose e amilopectina, assim como seus comprimentos de cadeia, pela orientação e interação das duplas hélices nas zonas cristalinas, o que acaba interferindo nos padrões e no grau de cristalinidade (AMBIGAIPALAN et al., 2011; HOOVER et al., 2010; VANIER et al., 2012).

O grau de cristalinidade das amostras de feijão azuki variaram de 17,55 a 23,06% de acordo com o tempo de germinação. Várias pesquisas corroboram com os valores encontrados valores próximos para o amido de feijão, Granza et al. (2015) verificaram o que valor variou de 22,2 a 27,6% para o feijão carioca, Bedin (2014) para o feijão carioca e IPR Tuiuiu (preto) foram de 33,0 a 36,9%, respectivamente. Ambigaipalan et al. (2011) encontraram de 20,2 a 21,9% para o feijão fava, 20,4 a 21,3% para o feijão preto, e de 21,5 a 23,1% para o feijão pinto. Os valores encontrados no presente trabalho se assemelham mais aos estudos feitos por Maaran et al. (2014) que obtiveram uma variação de 19,9 a 26,5% para variedades de feijão, e por Hoover et al. (2010) onde a cristalinidade variou de 17 a 34%.

Os resultados da análise de FTIR para a farinha de feijão azuki encontra-se na Figura 2.

Os picos observados a $950-700\text{ cm}^{-1}$ estão associados à deformação dos grupos lateral COH, CCH e OCH contendo ligações CC esticadas, com as regiões do esqueleto da molécula contendo deformações exocíclicas ($700-500\text{ cm}^{-1}$) (MROZEK & WEAVER, 2002). Vários autores incluem evidências de picos detectados nas bandas espectrais de máxima intensidade entre 854 cm^{-1} e $1100,50\text{ cm}^{-1}$, semelhantes aos encontrados no amido deste estudo (1081 e 998 cm^{-1}) (VALENCIA et al., 2015; ASCHERI et al., 2014). As bandas próximas a 990 e 1081 cm^{-1} são atribuídas às deformações CH_2 e C-OH. Enquanto Mina et al. (2011) verificou que, normalmente as bandas que aparecem na região entre 1080 e 990 cm^{-1} são atribuídas à vibração axial assimétrica do COC, à vibração axial do CO e à vibração axial da corrente principal.

As bandas na região 1000 a 1200 cm^{-1} são consideradas bandas características do amido presente na farinha do feijão azuki e são atribuídas a vibrações de deformação axial de C-O em alcoóis e as vibrações de deformação axial do sistema O-C-O. O grupo C-O-C (éter) presente em um anel de seis átomos (como no monômero de glicose) absorve em $1071-1158\text{ cm}^{-1}$, e dependendo de deformação axial (simétrica ou assimétrica), essas bandas irão se deslocar (SILVERSTEIN & BASSLER, 1962). Os espectros de infravermelho da farinha do feijão azuki apresentam bandas na região próxima a 1153 cm^{-1} , que correspondem ao estiramento C-O e C-C com alguma contribuição do estiramento C-OH.

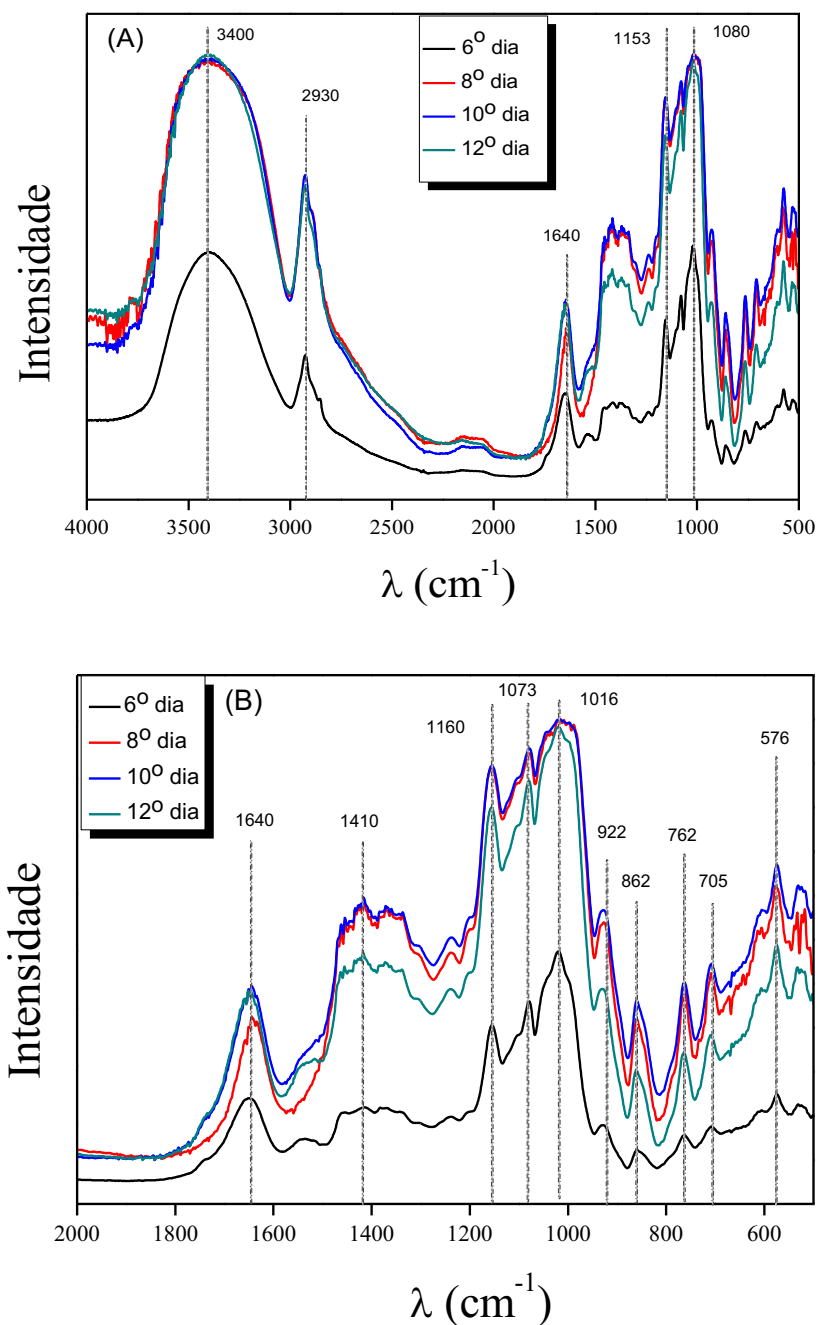


Figura 2. Espectrogramas de FTIR de amostras de farinha de feijão azuki (A) comprimento de onda completo analisado (B) destaque na região de 2000-650 cm^{-1} .

As deformações moleculares existentes a 1650 e 3400 cm^{-1} são atribuídas ao estiramento e a deformação angular de ligações (-OH), referentes ao pico de teor de água. Além dessas bandas, é possível observar a banda próxima a 2930 cm^{-1} , atribuída à deformação axial de ligações C-H (lipídios). As bandas correspondentes ao estiramento C-H são mostradas na região 2900-3000 cm^{-1} , enquanto que a banda larga a 3295 cm^{-1} foi atribuída a vibrações de OH.

Conclusão

A estrutura das moléculas da farinha de feijão azuki foi modificada de acordo com o tempo de germinação e o tamanho da radícula. No qual, provavelmente sofreu a influência devido ao teor de amilose e amilopectina do grânulo, assim como a porcentagem de hidratação do produto. Foi notado diferenças de intensidade nos difratogramas e nos espectogramas, neste último nenhum pico diferente foi verificado pela germinação prolongada.

Como sugestões de trabalhos futuros, pode-se avaliar as propriedades do feijão germinado em diferentes tempos de germinação e conseqüentemente obtendo sua farinha em diferentes temperaturas. Extrair o amido do feijão azuki e realizar as análises estruturais do amido. Além de se realizar análises físico-químicas e de compostos bioativos no feijão *in natura* e nas suas farinhas germinadas.

Referências

- AMBIGAIPALAN, P.; HOOVER, R.; DONNER, E.; LIU, Q.; JAISWAL, S.; CHIBBAR, R.; SEETHARAMAN, K. Structure of faba bean, black bean and pinto bean starches at different levels of granule organization and their physicochemical properties. *Food Research International*, v.44, n.9, p.2962-2974, 2011.
- ASCHERI, D. P. R.; MORAIS, C. C.; ASQUIERI, E. R.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R. Characterization of starch extracted from the roots of *Cissus sirsiana* Roem. & Schult. *Semina: Ciências Agrárias*, v.35, n.2, p.787-799, 2014.
- BEDIN, A. C. Caracterização de misturas de amidos de feijão e tuberosas (mandioca e batata-doce) e sua aplicação na obtenção de biofilmes. 174f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2014.
- BEWLEY, J. D.; HEMPEL, F. D.; MCCORMICK, S.; ZAMBRYSKI, P. Reproductive development. In: BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. (Eds.). *Biochemistry and molecular biology of plants*. Rockville, MD: Courier Companies, 2002. 1367p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Departamento Nacional de Defesa Vegetal. Regras para análise de sementes. Brasília, SNDA/ DNDV/ CLAV, 2009. 364p. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/2946_regras_analise_sementes.pdf>
- CHUNG, H. J.; LIU, Q.; LEE, L.; WEI, D. Relationship between the Structure, physicochemical Properties and in Vitro Digestibility of Rice Starches with Different Amylose Contents. *Food Hydrocolloids*, v.25, p.968-975, 2011.
- DONNARD, A. M. Understanding starch structure and functionality. In: ELIASSON, A. C. *Starch in food: structure function and applications*. CRC Press, cap.5, p.156-184. 2004.
- FARONI, L. R. D.; BERBERT, P. A.; MARTINAZZO, A. P.; COELHO, E. Qualidade da farinha obtida de grãos de trigo fumigados com dióxido de carbono e fosfina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.2, p.115-119, 2007.

GRANZA, A. G.; TRAVALINI, A. P.; FARIAS, F. O.; COLMAN, T. A. D.; SCHNITZLER, E.; DEMIATE, I. M. Effects of acetylation and acetylation–hydroxypropylation (dual-modification) on the properties of starch from Carioca bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v.119, n.1, p.769-777, 2015.

HOOVER, R.; RATNAYAKE, W. S. Starch characteristics of black bean, chick pea, lentil, navy bean and pinto bean cultivars grown in Canada. *Food Chemistry*, v.78, n.4, p.489-498, 2002.

KAGA, A.; ISEMURA, T.; TOMOOKA, N.; VAUGHAN, D. The genetics of domestication of the azuki bean (*Vigna angularis*). *Genetics*, v.178, n.2, p.1013e1036, 2008.

KAN, L.; NIE, S.; HU, J.; WANG, S.; BAI, Z.; WANG, J.; ZHOU, Y.; JIANG, J.; ZENG, Q.; SONG, K. Comparative study on the chemical composition, anthocyanins, tocopherols and carotenoids of selected legumes. *Food Chemistry*, v.260, p.317-326, 2018.

LÓPEZ-AMOROS, M. L.; EI-NAGGAR, T.; DUEÑAS, M.; ORTEGA, T.; ESTRELLA, HERNANDEZ, T.; CARRETERO, M. E. Effect of cooking and germination on phenolic composition and biological properties of dark beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry*, v.138, n.1, p.547-555, 2013.

MAARAN, S.; HOOVER, R.; DONNER, E.; LIU, Q. Composition, structure, morphology and physicochemical properties of lablab bean, navy bean, rice bean, tepary bean and velvet bean starches. *Food Chemistry*, v.152, p.491-499, 2014.

MINA, J.; VALADEZ-GONZALEZ, A.; HERRERA-FRANCO, P.; ZULUAGA, F.; DELVASTO, S. Physicochemical characterization of natural and acetylated thermoplastic cassava starch. *Dyna*, v.78, n.166, p.174-182, 2011.

MROZEK, M. F.; WEAVER, M. J. Detection and identification of aqueous saccharides by using surface-enhanced Raman spectroscopy. *Analytical Chemistry*, v.74, n.16, p.4069-4075, 2002.

MUKAI, Y.; SATO, S. Polyphenol-containing azuki bean (*Vigna angularis*) seed coats attenuate vascular oxidative stress and inflammation in spontaneously hypertensive rats. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, v.22, n.1, p.16-21, 2011.

PAJAK, P.; SOCHA, R.; GALKOWSKA, D.; ROZNOWSKI, J.; FORTUNA, T. Phenolic profile and antioxidant activity in selected seeds and sprouts. *Food Chemistry*, v.43, p.300–306, 2014.

SAJILATA, M. G.; SINGHAL, R. S.; KULKARNI, P. R. Resistant starch—a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v.5, n.1, p.1-17, 2006.

SILVERSTEIN, R. M.; BASSLER, G. C. Spectrometric identification of organic compounds. *Journal of Chemical Education*, v.39, n.11, p.546, 1962.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

VALENCIA, G. A.; MORAES, I. C. F.; LOURENÇO, R. V.; BITTANTE, A. M. Q. B.; SOBRAL, P. J. D. A. Physicochemical, morphological, and functional properties of flour and starch from peach palm (*Bactris gasipaes* K.) fruit. *Starch-Stärke*, v.67, n.1-2, p.163-173, 2015.

VANIER, N. L.; DA ROSA ZAVAREZE, E.; PINTO, V. Z.; KLEIN, B.; BOTELHO, F. T.; DIAS, A. R. G.; ELIAS, M. C. Physicochemical, crystallinity, pasting and morphological properties of bean starch oxidised by different concentrations of sodium hypochlorite. *Food Chemistry*, v.131, n.4, p.1255-1262, 2012.

VAN SOEST, J. J.; VLIEGENTHART, J. F. Crystallinity in starch plastics: consequences for material properties. *Trends in Biotechnology*, v.15, n.6, p.208-213, 1997.

WIN, K. T.; OO, A. Z.; KOJIMA, K.; SALEM, D.; YAMAYA, H.; BELLINGRATH-KIMURA, S. D.; YOKOYAMA, T. Genotypic difference in ¹³⁷Cs accumulation and transfer from the contaminated field in Fukushima to azuki bean (*Vigna angularis*). *Journal of Environmental Radioactivity*, v.158, p.138-147, 2016.

WON, C.; JIN, Y. I.; KIM, M.; LEE, Y.; CHANG, Y. H. Structural and rheological properties of potato starch affected by degree of substitution by octenyl succinic anhydride. *International Journal of Food Properties*, v.20, n.12, p.3076-3089, 2017.

Capítulo IV

CINÉTICA DE SECAGEM E SUA INFLUÊNCIA NAS DIMENSÕES DE SEMENTES DE ABÓBORA SEM CASCA

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva
Raphael Lucas Jacinto Almeida
Newton Carlos Santos
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro
Larissa Monique de Sousa Rodrigues
Francisca Moisés de Sousa

Introdução

A abóbora é uma planta pertencente à família Cucurbitaceae, juntamente com o melão, o pepino e a melancia. No Brasil, são cultivados diversos genótipos de abóboras, apresenta crescimento rasteiro ou trepador, apresentando extensão de até seis metros e seus frutos se diferem com relação à forma, tamanho, coloração, cor, firmeza, teor de amido, teor de matéria seca, capacidade de armazenamento e sabor. A fruta da abóbora possui alto valor nutricional devido à presença de substâncias como os carotenóides e γ -tocoferol, demonstra atividade anti-fadiga em camundongos (SALES et al., 2015; BAHRAMSOLTANI et al., 2017).

Partes não convencionais de frutas e hortaliças, como sementes e cascas são frequentemente utilizadas no consumo direto ou introduzidas como matéria-prima no processo produtivo de alimentos com o objetivo de proporcionar o seu enriquecimento nutricional. As sementes e grãos de várias espécies vegetais são consideradas como fontes alternativas de proteínas e de outros nutrientes para a alimentação humana (DIOGENES et al., 2013)

A farinha da casca de abóbora pode ser utilizada no enriquecimento de produtos de panificação, através da substituição parcial de farinha de trigo devido ao alto conteúdo de proteínas, carboidratos, proteínas, minerais e aminoácidos essenciais incluindo alanina, arginina, ácido aspártico, ácido glutâmico, histidina, leucina, isoleucina, glicina, lisina, metionina, fenilalanina, serina, treonina, valina e tirosina (DIOGENES et al., 2013; BAHRAMSOLTANI et al., 2017).

O óleo extraído da semente de abóbora é cada vez mais apreciado devido à sua excelente qualidade nutricional e valor medicinal, especialmente na prevenção e tratamento de doenças como a hiperplasia benigna da próstata, diabetes e na redução de cristais de oxalato de cálcio, pois possui em sua composição ácidos graxos mono e poli-insaturados, bem como ácidos graxos saturados como os ácidos palmítico, esteárico, oleico e linoleico, exercendo também atividades antidiabéticas, antifúngicas, antibacterianas, anti-inflamatórias hipoglicemiantes, hipocolesterolemiantes, hipotriglicéridemiantes e laxativo (BAHRAMSOLTANI et al., 2017; DARRUDI et al., 2018).

A comercialização dos grãos de abóbora demanda a aplicação de conhecimentos para viabilizar um maior período de armazenamento do produto. Dentre as técnicas de conservação aplicadas em produtos agroindustriais, a secagem destaca-se por possuir facilidade na conservação do produto, estabilidade dos componentes aromáticos a temperatura ambiente por longos períodos de tempo, proteção contra degradação enzimática e oxidativa, redução do seu peso e economia de energia (DIOGENES et al., 2013).

O processo de secagem consiste na aplicação de calor no produto, proporcionando a redução do teor de umidade das sementes e atuando na diminuição do metabolismo, contribuindo assim para a maior estabilidade e armazenamento por longos períodos, sem provocar a perda da sua qualidade fisiológica. Outro efeito positivo no processo de secagem é que as sementes de abóbora tratadas termicamente apresentam teores reduzidos de substâncias tóxicas e antinutricionais como os inibidores de tripsina, hemaglutininas, saponinas, polifenóis e cianetos (TINOCO et al., 2012; COSTA et al., 2017; ULLMANN et al., 2018).

Segundo Goneli et al. (2011), a determinação de propriedades físicas é necessária para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de máquinas e equipamentos presentes na cadeia produtiva agrícola, especialmente as propriedades geométricas (dimensões). Devido à variabilidade nas propriedades físicas de sementes e grãos, associada à necessidade de fornecer dados para dimensionamento de máquinas e melhoria pós-colheita, incluindo as fases de secagem, processamento e embalagem, são necessários a busca desses tipos de informações (SILVA et al., 2019a).

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo realizar a cinética de secagem das sementes de abóbora sem casca em diferentes temperaturas do ar de secagem, ajustando os dados experimentais obtidos a modelos matemáticos empíricos e avaliar a influência da secagem em suas dimensões.

Material e Métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas sementes de abóbora híbrida (*Cucurbita moschata*) sem casca, adquiridas na feira central da cidade de Campina Grande, Paraíba. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Secagem da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).



Figura 1. Sementes de abóbora.

Cinética de secagem

A cinética de secagem foi realizada em estufa de circulação de ar com velocidade de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$, nas temperaturas de 50, 70 e 90°C , nas quais as sementes de abóbora sem casca foram distribuídas uniformemente em bandejas formando uma camada fina. Os dados experimentais foram expressos em termos de razão de teor de água (X^*), dada pela relação entre as diferenças de teores de água no tempo, t , e teor de água de equilíbrio ($X(t) - X_{eq}$) e teores de água inicial e de equilíbrio ($X_i - X_{eq}$). Como descrito na Equação 1.

$$X^*(t) = \frac{X(t) - X_{eq}}{X_i - X_{eq}} \quad (\text{Eq.1})$$

Sendo que: X^* = razão de teor de água (adimensional); X_{eq} = teor de água de equilíbrio (base seca); $X(t)$ = teor de água (base seca); X_i = teor de água inicial (base seca).

As funções empíricas $f(t,a,b)$ apresentadas na Tabela 1, foram ajustadas aos conjuntos de dados experimentais, usando regressão não linear através do Software de Ajuste de Curvas LAB Fit (SILVA & SILVA, 2008). Os resultados, dos modelos empíricos, foram avaliados através dos indicadores estatísticos qui-quadrado, χ^2 (Equação 5) e coeficiente de determinação, R^2 .

Tabela 1. Modelos empíricos e taxa de secagem para descrição da cinética de secagem

| Modelos | Equação empírica | |
|-------------------|-------------------|-----|
| Handerson e Pabis | $X^* = ae^{-bt}$ | (2) |
| Lewis | $X^* = e^{-at}$ | (3) |
| Page | $X^* = e^{-at^b}$ | (4) |

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{exp,i}^* - X_{pre,i}^*)^2}{N - n} \quad (\text{Eq.5})$$

Onde: χ^2 é a função qui-quadrado; $X_{exp,i}^*$: é a razão de umidade experimental; $X_{pre,i}^*$: é a razão de umidade prevista pelo modelo; N é o número de dados experimentais; e n é o número de coeficientes e constantes do modelo.

Dimensões

O tamanho das sementes foi analisado quanto ao comprimento, largura, espessura com auxílio de paquímetro digital sendo que “a” representa o comprimento ou maior eixo, mm; “b” a largura ou eixo médio, mm e “c” a espessura ou menor eixo, mm, conforme metodologia de Mohsenin (1986).

Análise estatística

Os dados experimentais das dimensões foram analisados em triplicata e os resultados submetidos à análise de variância de fator único (ANOVA) de 5% de probabilidade e as respostas qualitativas significativas foram submetidas ao teste de *Tukey* adotando-se o mesmo nível de 5% de significância. Para o desenvolvimento das análises estatísticas foi utilizado o software Assistat 7.7 (SILVA & AZEVEDO, 2016).

Resultados e Discussão

Na Tabela 2, estão apresentados os resultados obtidos para os modelos empíricos aplicados a cinética de secagem das sementes de abóbora de abóbora sem casca.

Tabela 2. Parâmetros obtidos para os modelos aplicadas a cinética de secagem das sementes de abóbora sem casca

| Modelos | Temperatura (°C) | Parâmetros | |
|--------------------------|------------------|------------|----------|
| | | <i>a</i> | <i>b</i> |
| Handerson e Pabis | 50 | 0,9026 | 0,01064 |
| | 70 | 0,9358 | 0,01774 |
| | 90 | 0,9220 | 0,02563 |
| Lewis | 50 | 0,01336 | - |
| | 70 | 0,02006 | - |
| | 90 | 0,02908 | - |
| Page | 50 | 0,04686 | 0,6891 |
| | 70 | 0,05326 | 0,7330 |
| | 90 | 0,07118 | 0,7383 |

Através da Tabela 2 pode-se observar o aumento nos valores do parâmetro *a* de acordo com o acréscimo da temperatura nos modelos de Lewis e Page, contudo não foi observada esta proporcionalidade com relação ao modelo de Handerson e Pabis. No tocante ao parâmetro *b*, foi constatado correlação com a temperatura aplicada ao processo de secagem. Santos et al. (2019) ao realizarem a cinética de secagem de pimentão amarelo orgânico nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80°C também verificaram que o aumento da temperatura proporcionou o aumento dos parâmetros *a* e *b* na maioria dos modelos matemáticos aplicados.

Na Tabela 3, estão apresentados os parâmetros estatísticos obtidos pelos ajustes dos modelos empíricos aplicados a cinética de secagem das sementes de abóbora sem casca.

Tabela 3. Coeficiente de determinação (R²) e qui-quadrado (χ²), obtidos pelos ajustes dos modelos empíricos

| Temperatura (°C) | Modelos | | | | | |
|---------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Handerson e Pabis | | Lewis | | Page | |
| | R ² | χ ² | R ² | χ ² | R ² | χ ² |
| 50 | 0,9590 | 0,08401 | 0,9659 | 0,11056 | 0,9847 | 0,02869 |
| 70 | 0,9747 | 0,04904 | 0,9792 | 0,05799 | 0,9892 | 0,01756 |
| 90 | 0,9848 | 0,02277 | 0,9878 | 0,03410 | 0,9973 | 0,00345 |

Observa-se por meio da Tabela 3 que dentre os modelos matemáticos aplicados, o modelo de Page possui melhor ajuste aos dados experimentais obtidos, pois apresenta valores superiores com

relação ao coeficiente de determinação ($R^2 > 0,98$) e baixos valores de qui-quadrado ($\chi^2 < 0,02$). Pode-se afirmar portanto que, o modelo de Page apresenta maior eficiência na descrição do processo de secagem de sementes de abóbora sem casca. Silva et al. (2017) ao realizarem a cinética de secagem de sementes de melão aplicando as temperaturas de 35, 40, 45, e 50°C, verificaram que o modelo de Page apresentou melhor ajuste aos dados experimentais obtidos.

Constatou-se através das curvas representadas na Figura 1, obtidas para a cinética de secagem de abóbora sem casca utilizando o modelo de Page para o ajuste dos dados, que o aumento da temperatura do ar de secagem proporcionou maior taxa de remoção de água e conseqüentemente foi observada a redução do tempo de secagem, que variou de 270 a 520 minutos para as temperaturas de 90 e 50°C respectivamente. Silva et al. (2014) verificou comportamento similar ao efetuarem a cinética de secagem de grãos de guandu.

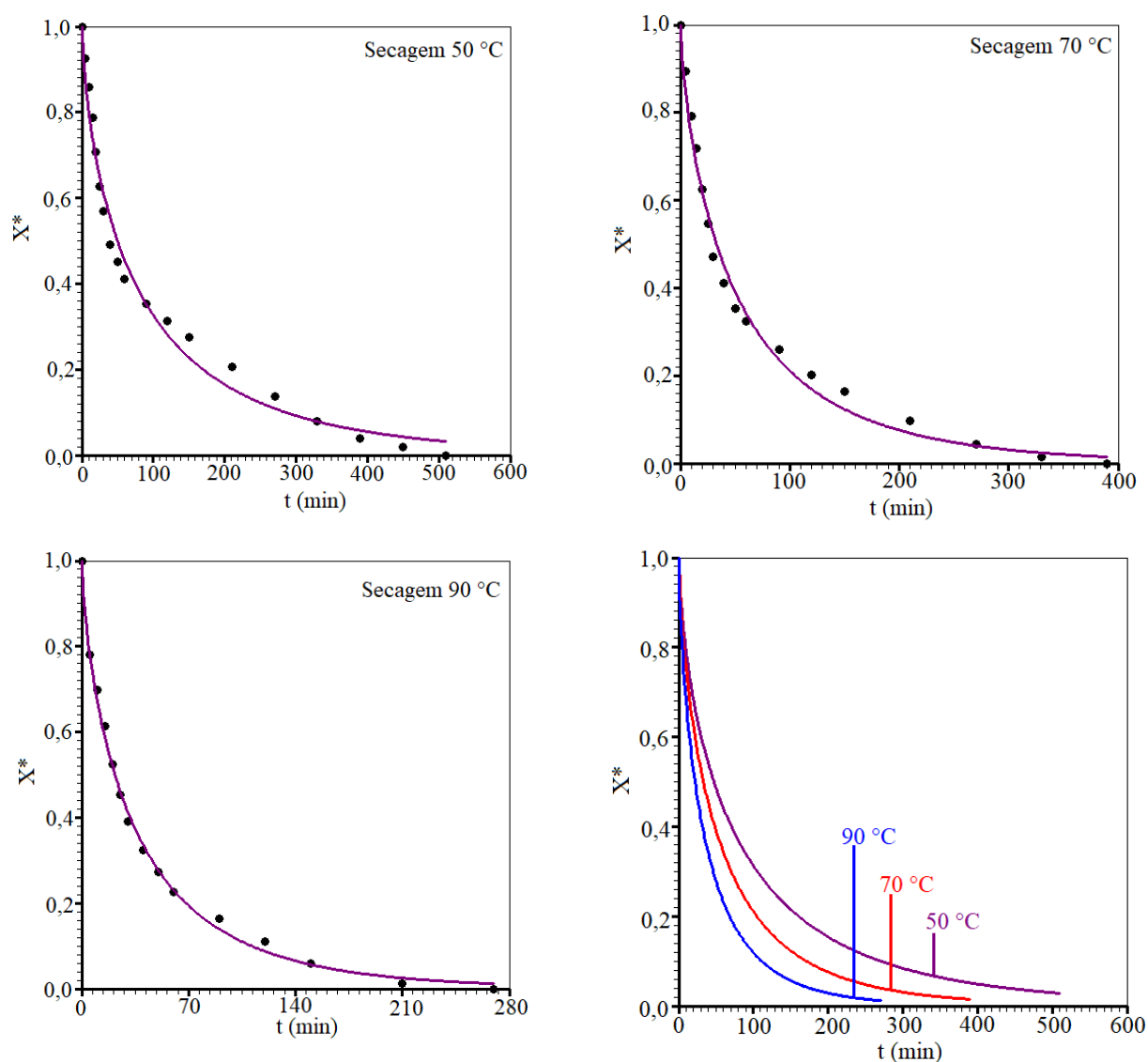


Figura 1. Cinética de secagem simulada usando o modelo empírico de Page para as temperaturas de 50, 70 e 90°C.

Na Tabela 4, estão apresentados os resultados obtidos para as dimensões das sementes de abóbora sem cascas antes e a pós o processo de secagem, nas temperaturas de 50, 70 e 90°C.

Tabela 4. Dimensões das sementes de abóbora sem casca

| Tratamentos | Dimensões (mm ²) | | |
|------------------|------------------------------|--------|-------|
| | a | b | c |
| <i>In natura</i> | 13,56a | 7,71a | 2,69a |
| Secagem 50°C | 13,27a | 7,65b | 2,59a |
| Secagem 70°C | 12,77b | 7,58bc | 2,31b |
| Secagem 90°C | 12,26b | 7,36c | 2,24b |

Nota: Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (P<0,05).

Para o comprimento das sementes (eixo de maior dimensão), observa-se uma variação de 13,56 a 12,26 mm², é perceptível a partir dos dados obtidos que este eixo sofreu uma redução de até 1,30mm quando a temperatura variou até 90°C. No entanto, estatisticamente as sementes *in natura* e as desidratadas a 50°C não apresentam diferença ao nível de 5% de probabilidade, assim como as submetidas a 70 e 90°C também não apresentaram. Segundo Silva et al. (2019b) o uso de sementes ordenadas por tamanho facilita a operação de semeadoras na distribuição de sementes, possibilitando a obtenção de populações adequadas no campo.

Em relação a largura, apenas as sementes antes do processo de secagem diferiram estatisticamente dos demais tratamentos. Houve redução com aumento da temperatura, sendo as sementes submetidas a 90°C, apresentando a menor largura (7,36 mm²). A forma do produto é influenciada pela redução do teor de água, pois além de causar a redução no tamanho da semente, influencia diretamente as propriedades físicas (RESENDE et al., 2005).

A espessura média das sementes reduzira de 2,69 para 2,24 mm² sendo esta redução influenciada pelo aumento da temperatura. Estatisticamente o comportamento obtido é semelhante ao obtido para o comprimento. Tamanho e forma são características específicas de cada produto definidas geneticamente (NUNES et al., 2014).

Conclusão

O aumento da temperatura do ar de secagem aplicado proporcionou maior remoção de umidade do produto, implicando na redução do tempo de secagem. Dentre os modelos matemáticos aplicados, o modelo de Page apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais obtidos, pois possui valores superiores de R² e valores inferiores de χ^2 . Os dados obtidos para as dimensões das sementes foram

diretamente influenciados pelo aumento da temperatura de secagem e podem ser usados para dimensionar o tamanho de peneiras e equipamentos de pós-colheita.

Referências

- BAHRAMSOLTANI, R.; FARZAEI, M. H.; ABDOLGHAFFARI, A. H.; RAHIMI, R.; SAMADI, N.; HEIDARI, M.; ESFANDYARI, M.; BAEERI, M.; HASSANZADEH, G.; ABDOLLAHI, M.; SOLTANI, S.; POURVAZIRI, A.; AMIN, G. Evaluation of phytochemicals, antioxidant and burn wound healing activities of *Cucurbita moschata* Duchesne fruit peel. Iran J. Basic Med. Sci., v.20, n.7, 2017.
- COSTA, L. M.; RESENDE, O.; GONÇALVES, D. N.; SOUSA, K. A. Qualidade fisiológica das sementes de crambe submetidas a diferentes condições de secagem. Revista de Ciências Agrárias, v.60, n.3, p.235-240, 2017.
- DARRUDI, R.; NAZERI, V.; SOLTANI, F.; SHOKRPOUR, M.; ERCOLANO, M. R. Evaluation of combining ability in *Cucurbita pepo* L. and *Cucurbita moschata* Duchesne accessions for fruit and seed quantitative traits. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, v.9, p.70-77, 2018.
- DIÓGENES, A. M. G.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SANTOS, D. C. Cinética de secagem de grãos de abóbora. Revista Caatinga, v.26, n.1, p.71-80, 2013.
- GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; MAGALHÃES, F. E. A.; BAPTESTINI, F. M. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. Acta Scientiarum, v.33, n.1, p.1-8, 2011.
- MOHSENIN, N. N. Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon and Breach Science Publishers Inc., 1986. 734p.
- NUNES, J. A. S.; ORMOND, A. T.; CANEPPELE, C.; SILVA, S. L. S. DA.; JOB, M. T. Determinação do ângulo de repouso, volume unitário, eixos ortogonais e esfericidade de trigo. Acta Iguazu, v.3, n.2, p.7786, 2014.
- RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; CECON, P. R. Forma, tamanho e contração volumétrica do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v.7, n.1, p.15-24, 2005.
- SALES, M. A. L.; MOREIRA, F. J. C.; RIBEIRO, A. A.; MONTEIRO, R. N. F.; SALES, F. A. L. Potencial das sementes de abóbora submetidas a diferentes períodos de embebição. Brazilian Journal of Biosystems Engineering, v.9, n.4, p.289-297, 2015.
- SANTOS, N. C.; BARROS, S. L.; SILVA, S. N.; RIBEIRO, V. H. A.; MELO, M. O. P.; SILVA, W. P.; ALMEIDA, R. L. J.; PEREIRA, T. S.; ARAÚJO, A. J. B.; GOMES, J. P.; NASCIMENTO, A. P. S.; SILVA, V. M. A.; VIEIRA, D. M. Physico-chemical characterization and kinetics of drying of organic yellow bell pepper (*Capsicum annuum* L.). African Journal of Agricultural Research, v.14, n.29, p.1247-1253, 2019.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. African Journal Agricultural Research, v.11, p.3733-3740, 2016.

SILVA, I. L.; SILVA, H. W.; CAMARGO, F. R. T.; FARIAS, H. F. L.; FREITAS, E. F. M. Secagem e difusividade de sementes de melão Drying and diffusivity of melon seeds. *Revista de Ciências Agrárias*, v.41, n.2, p.309-315, 2018.

SILVA, L. M. M.; SOUSA, F. C.; SOUSA, E. P.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M. Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos de guandu. *Brazilian Journal of Food Technology*, v.17, n.4, p.310-318, 2014.

SILVA, N. S.; SANTOS, N. C.; GURJÃO, K. C. O.; BARROS, S. L.; ALMEIDA, R. L. J.; WANDERLEY, R. O. S.; MELO, M. O. P.; PEREIRA, T. S.; ALMEIDA, R. D. Determination of the physiological and physical quality of seeds of *Phaseolus vulgaris* creole. *International Journal of Current Multidisciplinary Studies*, v.5, n.2, p.968-971, 2019a.

SILVA, S. N.; PEREIRA FILHO, M. D.; GUEDES, M. H. S.; SOUSA, M. T. L.; GOMES, J. P.; SANTOS, N. C.; ALMEIDA, R. L. J.; WANDERLEY, R. S. O.; BARROS, S. L.; RIBEIRO, V. M. A. Determination of the physical properties of grains of *Lens culinaris* L. *Journal of Scientific and Engineering Research*, v.6, n.4, p.36-40, 2019b.

SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P. S. LAB Fit Curve Fitting Software (Nonlinear Regression and Treatment of Data Program) V 7.2.50. 2008. Disponível em: www.labfit.net. Acesso em: 2019 jun. 17.

TINOCO, L. P. N.; PORTEB, A.; PORTEC, L. H. M.; GODOYD, R. L. O.; PACHECO, S. Perfil de aminoácidos de farinha de semente de abóbora. *UNOPAR Cient. Ciênc. Biol. Saúde*, v.14, n.3, p.149-153, 2012.

ULLMANN, R.; RESENDE, O.; RODRIGUES, G. B.; CHAVES, T. H.; OLIVEIRA, D. E. C. Qualidade fisiológica das sementes de sorgo sacarino submetidas à secagem e ao armazenamento. *Revista Engenharia na Agricultura*, v.26, n.4, p.313-321, 2018.

Capítulo V

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FARINHAS DE CHIA, LINHAÇA E GERGELIM

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva
Raphael Lucas Jacinto Almeida
Newton Carlos Santos
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro
Larissa Monique de Sousa Rodrigues
Francisca Moisés de Sousa

Introdução

Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), farinhas são produtos obtidos de partes comestíveis de uma ou mais espécies de cereais, leguminosas, frutos, sementes, tubérculos e rizomas, podendo sofrer previamente processos tecnológicos adequados considerados seguros para a produção de alimentos. A desintegração da farinha deve ser seguida do nome comum da espécie vegetal utilizada (BRASIL, 2005).

Na indústria de alimentos, as farinhas participam do processo como matérias primárias, intermediárias ou como produtos. Durante o processo de obtenção das farinhas, assim como de outros produtos alimentícios é importante que se preservem as suas qualidades organolépticas e nutricionais. Entretanto, sabe-se que esta operação é difícil de ser mantida no caso de pó alimentício, pois seja qual for a sua origem, este tipo de produto se constitui de tecidos vivos susceptíveis de evoluir em função da absorção de água, amolecimento, fusão e modificação de sua granulometria (GUSMÃO, 2011).

A linhaça é uma cultura antiga que tem sido utilizada em alimentos, fibras e tecidos. Cerca de 200 espécies de *Linum* (linho ou linhaça) são conhecidas. Na América do Norte, o termo preferido para linhaça é o linho (usado mais para tecidos), enquanto os europeus usam o termo linho oleaginoso comestível. Seu nome botânico é *Linum Usitatissimum* e pertence à família Linaceae, sendo muito utilizada no consumo humano e animal (NOVELLO & POLLONIO, 2012). Apesar da importância relativamente pequena como alimento, a linhaça é conhecida por seu alto conteúdo em fibras solúveis

mucilaginosas, com implicações positivas sobre quadros de hiperglicemia e hipercolesterolemia em humanos (BORGES et al., 2011).

As sementes de chia (*Salvia Hispanica* L.) apresentam alto valor nutricional e compostos bioativos como vitamina E, carotenóides e um alto teor de fibra. (JAGELAVICIUTE et al., 2021). As sementes de chia fornecem muitos minerais, com fósforo, cálcio, potássio e magnésio encontrados em maiores quantidades (USDA, 2021; JIN et al., 2012). No entanto, as sementes de chia também contêm uma grande quantidade de fibra solúvel ou mucilagem, o que dificulta um processo de extração de óleo com solventes polares (CASTEJÓN et al., 2017).

Semente de gergelim contém índices elevados de óleo (46-50%) com 83-90% de ácidos graxos saturados, 20% de proteínas e vários nutrientes menores como as vitaminas e minerais, além de grande quantidade de lignanas (compostos de metilenedioxifenil), tais como extratos vegetais, sesamol, sesamolin e tocoferóis. Os componentes funcionais juntos, aumentam a resistência contra a deterioração oxidativa e fornece valor nutracêutica para a colheita. Contudo, as sementes de gergelim possuem elevadas quantidades de componentes nutricionais, muito utilizados em tratamentos na área da saúde, com efeitos anti-hipertensivos, anticancerígenos, anti-inflamatórios e antioxidantes (PATHAK et al., 2014; RIBEIRO et al., 2017; CRUZ et al., 2019).

Entre os importantes oleaginosas amplamente cultivadas no mundo, como colza (*Brassica napus* L.), amendoim (*Arachis hypogaea* L.), soja (*Glycine max* (L.) Merrill), girassol (*Helianthus annuus* L.), o gergelim (*Sesamum indicum* L.) se destaca, pois fornece um dos maiores e mais ricos óleos comestíveis (PATHAK et al., 2014; ARRIEL et al., 2020).

De acordo com a resolução nº 18, de 30 de abril de 1999, alega que propriedade funcional é aquela relativa ao papel metabólico ou fisiológico que o nutriente ou não nutriente tem no crescimento, no desenvolvimento, na manutenção e em outras funções normais do organismo humano. Esse mesmo órgão descreve como alegação de propriedade de saúde aquela que afirma, sugere ou implica a existência de relação entre o alimento ou ingrediente e a doença ou condição relacionada à saúde (BRASIL, 1999).

Um alimento pode ser considerado funcional se, além de suas funções básicas nutricionais, afetar positivamente uma ou mais funções fisiológicas do organismo, favorecendo a saúde, melhorando a qualidade de vida e auxiliando na redução de riscos de enfermidades (SILVA et al., 2016).

Segundo Perin et al. (2015), a avaliação nutricional é de grande importância, pois se realizada periodicamente pode detectar mudanças precoces, possibilitando a intervenção de forma adequada, com o objetivo de prevenir doenças, promover uma vida mais saudável, mantendo ou recuperando o estado nutricional.

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo obter e caracterizar físico-quimicamente as farinhas elaboradas com sementes de linhaça, chia e gergelim.

Material e Métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas sementes de chia, linhaça marrom e gergelim (Figura 1), adquiridas na Feira Central da cidade de Campina Grande, Paraíba. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Secagem da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

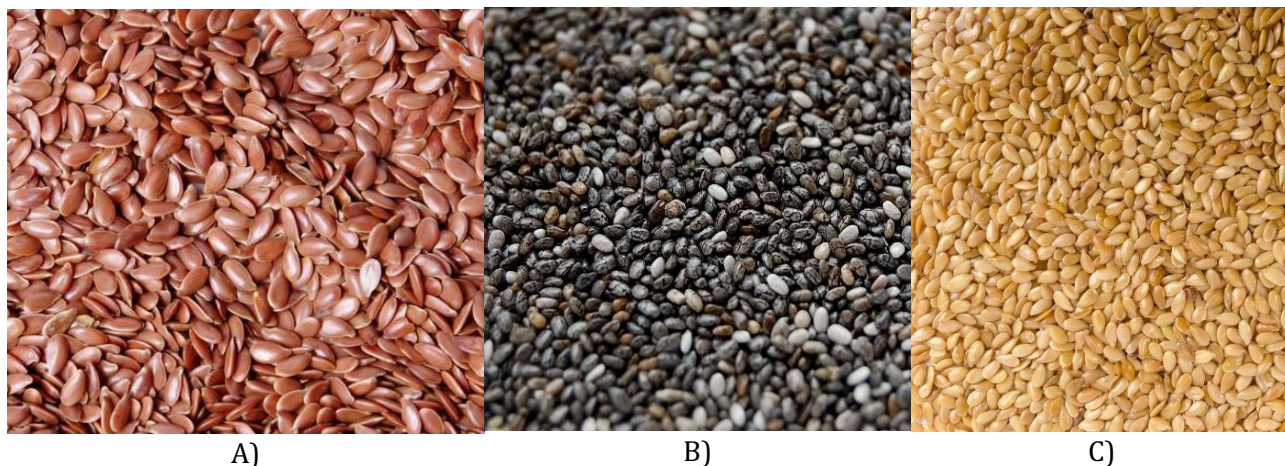


Figura 1. Foto das sementes de: A) linhaça, B) chia e C) gergelim.

Secagem das sementes

A secagem foi realizada em estufa de circulação de ar com velocidade de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$, na temperatura de 50°C durante 6 horas, nas quais as sementes foram distribuídas uniformemente em bandejas formando uma camada fina.

Processamento das sementes

Após desidratadas, as sementes foram trituradas em moinho de facas onde ficaram com texturas de farinha com granulometria irregular. Em seguida, foram empacotadas e armazenadas em embalagens laminadas, seladas a vácuo e identificadas como F1 (farinha de chia), F2 (farinha de linhaça) e F3 (farinha de gergelim).

Caracterização físico-química

As determinações de umidade, cinzas, proteínas seguiram a metodologia de acordo com BRASIL (2008). O teor de lipídeos foi realizado através do método de Folch et al. (1957). A atividade de água foi determinada usando o dispositivo Decagon® Aqualab CX-2T a 25°C . O teor total de carboidratos foi calculado por diferença para obter 100% da composição total (FAO, 2003).

Métodos analíticos

Teor de umidade e sólidos Totais foi realizada em estufa (marca TECNAL, modelo TE- 393/2) pela técnica de secagem gravimétrica a 105°C, por 24 horas;

Atividade de água foi determinada através de leitura direta em dispositivo Decagon® Aqualab CX-2T a 25°C.

Teor de cinzas foi quantificado por gravimetria após incineração em mufla (marca FORNETEC, modelo F1 - DM Monofásico) a 550°C. O método de baseia na perda de peso que ocorre quando o produto é incinerado a 550°C, com destruição da matéria orgânica (BRASIL, 2008).

Teor de proteínas foi realizado através da quantidade de nitrogênio da amostra, por digestão *Kjeldahl*. As três etapas importantes para a determinação de proteínas foram: digestão, onde a amostra é submetida a altas temperaturas juntamente com a mistura catalítica em um digestor (marca TECNAL, modelo TE 007A); destilação foi realizada em destilador (marca TECNAL, modelo TE 007A) com Hidróxido de Sódio concentrado e pôr fim a titulação, onde o nitrogênio foi transformado em amônia, resultando em g de protídios e se aplicando um fator de 6,25.

Teor de lipídeos foi realizada empregando clorofórmio e metanol. As vantagens sobre a maioria dos métodos é que se consegue a extração e purificação dos lipídios, pela mistura de solventes.

Teor de carboidratos onde o valor de carboidratos totais, incluindo fibras, foi obtido por diferença centesimal com a soma dos resultados encontrados em percentagem de umidade, cinzas, proteínas e lipídeos, conforme apresentado na Equação 1.

$$\text{Carboidratos totais (\%)} = 100 - [\text{umidade} + \text{cinzas} + \text{proteínas} + \text{lipídeos}] \text{ (Eq.1)}$$

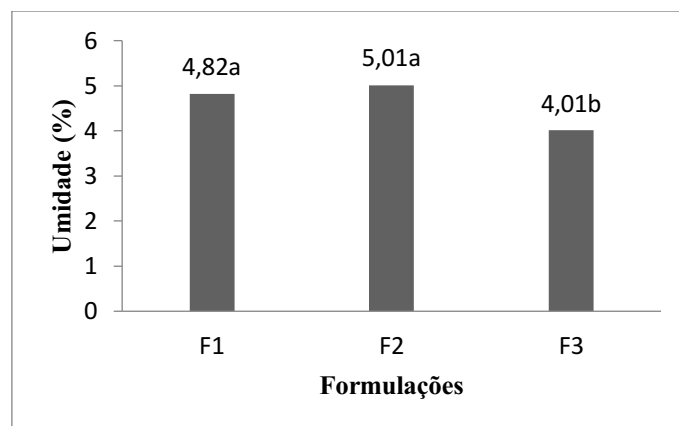
Análise estatística

Os dados experimentais das análises físico-químicas foram analisados em triplicata e os resultados submetidos à análise de variância de fator único (ANOVA) de 5% de probabilidade e as respostas qualitativas significativas foram submetidas ao teste de Tukey adotando-se o mesmo nível de 5% de significância. Para o desenvolvimento das análises estatísticas foi utilizado o software Assistat 7.7 (SILVA & AZEVEDO, 2016).

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos referentes à caracterização das farinhas obtidas, encontram-se nas Figuras de 2 a 7. As médias obtidas na análise de umidade (Figura 2) deixaram evidente que, todas as amostras estão de acordo com o permitido pela Legislação Brasileira (máximo de 14%) (BRASIL, 1978). Entre as três farinhas produzidas (chia, linhaça e gergelim), verificou-se que F1 e F2 não diferiram estatisticamente entre si, sendo F3 a que apresentou menor valor (4,01%), porém os valores se

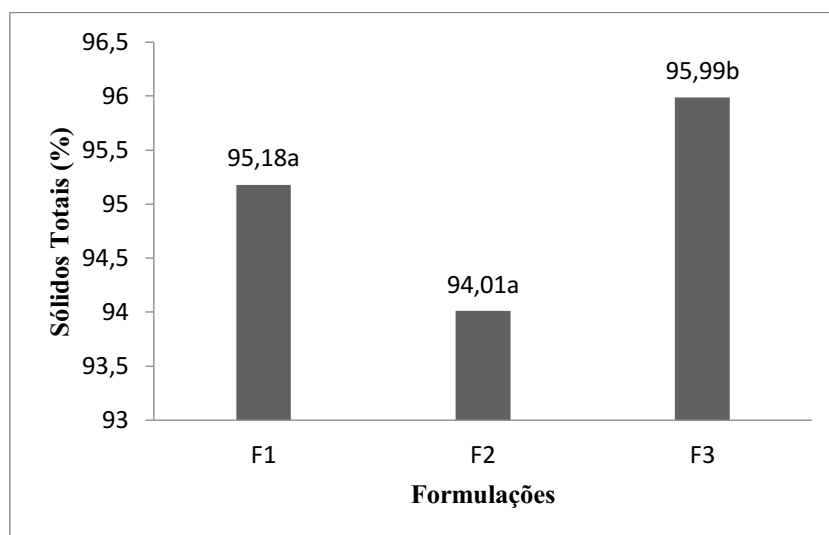
aproximaram ao encontrado por Oliveira (2014), ao estudar a farinha de linhaça dourada e obter 5,9% de umidade.



Nota: F1: Farinha de chia; F2: Farinha de linhaça marrom; F3: Farinha de gergelim; as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Figura 2. Gráfico das médias do teor de umidade das farinhas funcionais.

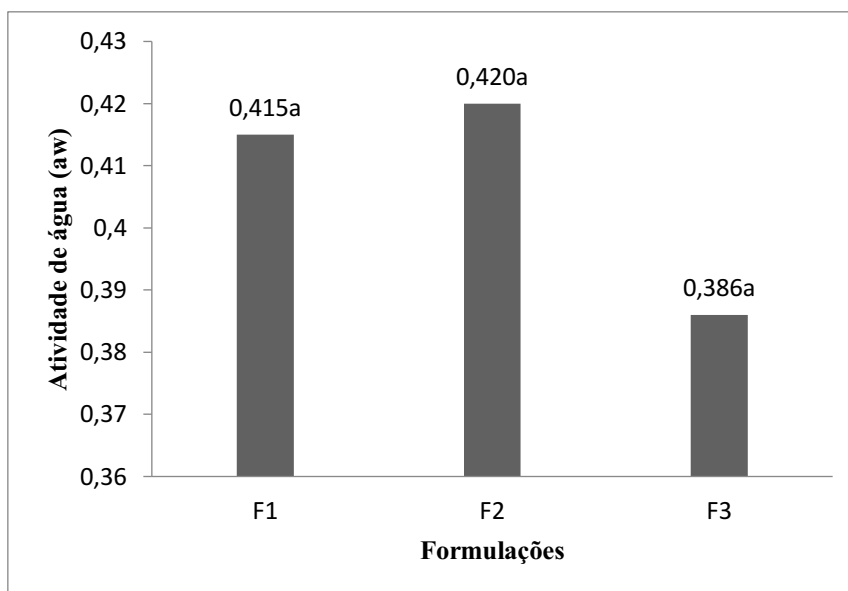
Quanto aos valores de sólidos totais, na Figura 3 é possível observar que, a farinha de gergelim (F3) apresentou a maior média para sólidos totais (95,99%), enquanto a farinha de linhaça apresentou apenas 94,01%, sendo a farinha com menor concentração de sólidos. Ao aplicar o teste de comparação de médias, observa-se que as médias de F1 e F2 não diferiram estatisticamente entre si, havendo uma diferença significativa de ambas em relação a F3.



Nota: F1: Farinha de chia; F2: Farinha de linhaça marrom; F3: Farinha de gergelim; as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Figura 3. Gráfico das médias do teor de sólidos totais das farinhas funcionais.

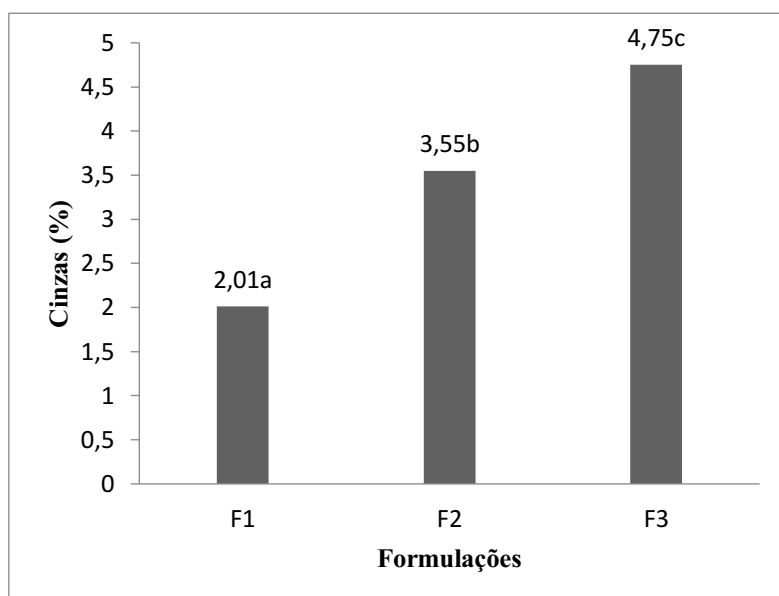
Na Figura 4, o gráfico deixa evidente que a farinha de linhaça (F2) apresentou maior atividade de água, seguida da farinha de chia (F1), ambas apresentaram valores bem próximos, 0,420 e 0,415 respectivamente. Através do teste de Tukey verificou-se que não houve diferença significativa quanto a atividade de água entre as três formulações, mesmo a farinha de gergelim (F3) apresentando um valor de 0,386, um tanto menor que as demais.



Nota: F1: Farinha de chia; F2: Farinha de linhaça marrom; F3: Farinha de gergelim; as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Figura 4. Gráfico das médias de atividade de água das farinhas funcionais.

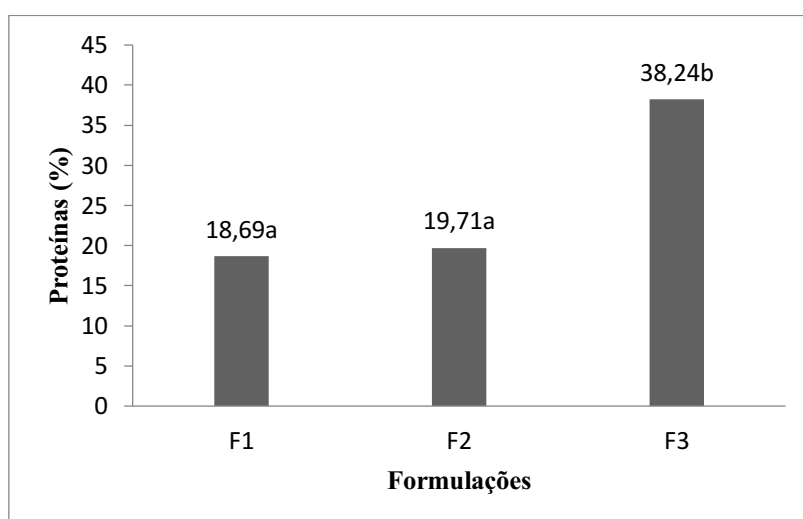
Conforme expresso na Figura 5, a farinha que apresentou o maior teor de cinzas 4,75% foi a farinha de gergelim (F3) e o menor valor obtido para esse teor, foi na farinha de chia (F1), a qual apresentou 2,01% de cinzas, valor próximo ao encontrado por Coelho e Salas-Mellado (2014), 2,33% ao estudarem sementes de chia, o que nos sugere que o processamento para a obtenção da farinha não influenciou neste parâmetro. Ao comparar as médias, as três formulações apresentaram diferença estatística significativa a 1%.



Nota: F1: Farinha de chia; F2: Farinha de linhaça marrom; F3: Farinha de gergelim; as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Figura 5. Gráfico das médias do teor de cinzas das farinhas funcionais.

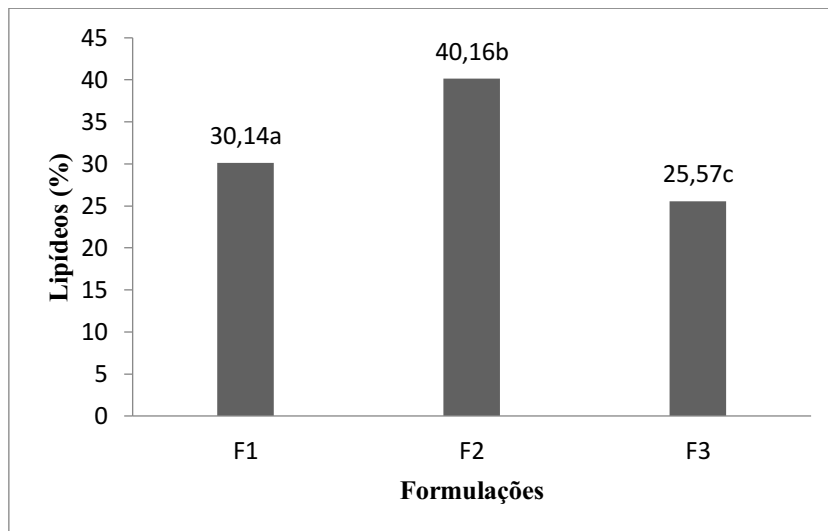
Quanto ao teor de proteínas, não houve diferença significativa entre a farinha de chia (F1) e a farinha de linhaça (F2), mas as duas diferiram estatisticamente da farinha de gergelim (F3). Pode-se observar por meio do gráfico da Figura 6, que a formulação F3 apresenta maior quantidade de proteínas ao comparada com F1 e F2. Comparada ao padrão da FAO, a proteína do gergelim apresenta uma composição em aminoácidos adequada, exceto em relação a uma pequena deficiência em lisina e metionina (FINCO, 2011). Portanto, o alto teor de proteína pode ser considerado como uma vantagem na produção da farinha.



Nota: F1: Farinha de chia; F2: Farinha de linhaça marrom; F3: Farinha de gergelim; as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Figura 6. Gráfico do teor de proteínas das farinhas funcionais.

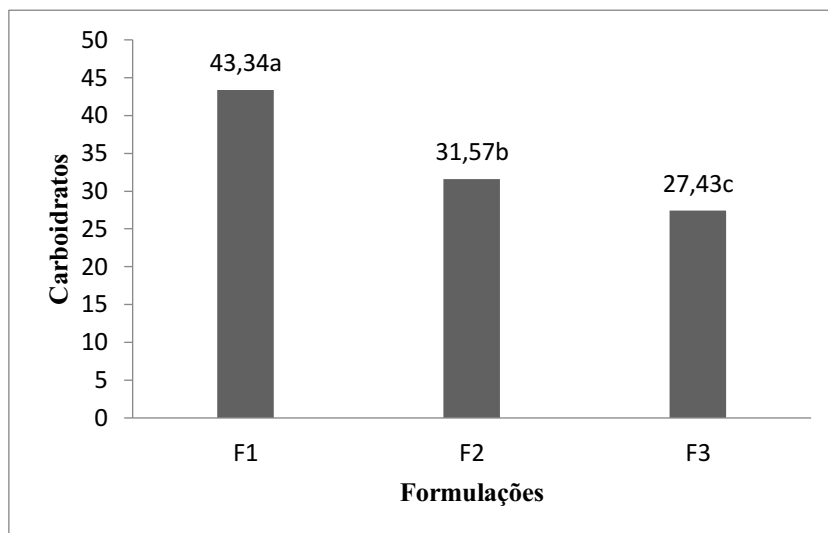
Na Figura 7 é possível observar que a formulação F2 (farinha de linhaça) apresentou o maior teor lipídico 40,16%, ainda assim, este valor foi inferior ao relatado por Oliveira (2014), o qual descreveu que a farinha de gergelim contém 43,69% de lipídeos. E as três formulações de farinha, diferiram estatisticamente entre si.



Nota: F1: Farinha de chia; F2: Farinha de linhaça marrom; F3: Farinha de gergelim; as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Figura 7. Gráfico das médias do teor de lipídeos das farinhas funcionais.

As médias obtidas para o teor de carboidratos nas três formulações de farinhas apresentaram diferenças estatísticas significativas. Conforme exposto na Figura 8, farinha de chia apresentou o maior valor, 44,34% enquanto a farinha de gergelim apresentou o menor valor de carboidratos, 27,45%, porém mesmo sendo o menor valor ao comparada com F1 e F2, a formulação F1 ainda apresentou um valor superior ao obtido por Finco (2011), o qual mencionou um valor de 15,18% para este componente na farinha de gergelim.



Nota:F1: Farinha de chia; F2: Farinha de linhaça marrom; F3: Farinha de gergelim; as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Figura 8. Gráfico das médias do teor de carboidratos das farinhas funcionais.

Conclusão

A estrutura das moléculas da farinha de feijão azuki foi modificada de acordo com o tempo de as três farinhas produzidas e avaliadas, apresentaram teor de umidade dentro da faixa permitida pela Legislação Brasileira, sendo a farinha de linhaça a que apresentou um maior percentual nesta análise, assim como também se destacou quanto ao teor de lipídeos e a atividade de água. A farinha de chia apresentou o maior teor de carboidratos e o menor percentual de cinzas. E a farinha de gergelim apresentou os maiores valores de sólidos totais, proteínas e cinzas.

Referências

- ABIAD. Associação Brasileira da Indústria de Alimentos Dietéticos e para Fins Especiais. et al. Análise comparativa da Legislação de Alimentos especiais. In: GERMANO, PEDRO M. L.; GERMANO, MARIA I. S. Higiene e Vigilância Sanitária de Alimentos. Ed. 4, p. 761-815. Manole, Barueri, 2011.
- BORGES, J. T. S.; PIROZI, M. R.; CHAVES, J. B. P.; GERMANI, R.; PAULA, C. D. Caracterização físico-química e reológica de farinhas mistas de trigo e linhaça. Boletim da CEPPA, v.29, n.2, p.159-172, 2011.
- BRASIL. Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4 ed. v.1. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução Nº 263 de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelo. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 de setembro de 2005.
- BRASIL. Decreto nº 12.486, de 20 de outubro de 1978. Normas técnicas especiais relativas a alimentos e bebidas. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, p.20, 21 out. 1978.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução Nº 18 de 30 de abril de 1999. Regulamento Técnico que estabelece as diretrizes básicas para análise e comprovação de propriedades funcionais e ou de saúde alegadas em rotulagem de alimentos, constante do anexo desta portaria. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 30 de abril de 1999.

CAPITANNI, M. I. et al. Caracterização físico-química e funcional dos subprodutos de semente de chia (*Salvia hispanica* L.) da Argentina. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.45, p.92-102, 2012.

CASTEJÓN, N.; LUNA, P.; SEÑORÁNS, F. J. Ultrasonic removal of mucilage for pressurized liquid extraction of omega-3 rich oil from chia seeds (*Salvia hispanica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.65, n.12, p.2572–2579, 2017.

COELHO, M. S.; SALAS-MELLADO, M. I. M. Revisão: Composição química, propriedades funcionais e aplicações tecnológicas da semente de chia (*Salvia hispanica* L) em alimentos. *Brazilian Journal of Food Technology*, v.17, n.4, p.259-268, 2014.

CHAUAN, A.; SAXENA, D.; SINGHS, S. Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (*Amaranthus spp.*) flour. *LWT-Food Science and Technology*, v.63, n.2, p.939-945, 2015.

CRUZ, N. F. F. S.; NASCIMENTO, L. F. J.; SANTOS, R. F.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; CUNHA, E.; ROCHA, E. O. Características e tratamentos culturais do gergelim (*Sesamum indicum* L.). *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v.8, n.4, p.665-675, 2019.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food Energy: Methods of Analysis and Conversion Factors. Report of a Technical Workshop. Food and Nutrition Paper. v.77. FAO: Rome, Italy, 2003.

FINCO, A. M. O.; GARMUS, T. T.; BEZERRA, J. R. M. V.; CÓRDOVA, K. R. V. Elaboração de iogurte com adição de farinha de gergelim. *Ambiência*, v.7, n.2, p.217–227, 2011.

FOLCH, J.; LESS, M.; STANLEY, S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, v.226, n.497, 1957.

GUSMÃO, R. P. Avaliação dos aspectos tecnológicos envolvidos na obtenção da farinha de palma forrageira (*Opuntia ficus indica* mil). 66f. Dissertação (Mestrado). Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2011.

JIN, F.; NIEMAN, D. C.; SHA, W.; XIE, G.; QIU, Y.; JIA, W. Supplementation of milled chia seeds increases plasma ALA and EPA in postmenopausal women. *Plant Foods for Human Nutrition*, v.67, n.2, p.105-110, 2012.

JULIANTTI, E.; RUSMARILIN, H.; YUSRANI, E. Functional and rheological properties of composite flour from sweet potato, maize soybean and xanthan gum. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, v.16, n.2, p.171-177, 2017.

MORALES-MEDINA, R.; TAMM, F.; GUADIX, A. M.; GUADIX, E. M. DRUSCH, S. Functional and antioxidant properties of hydrolysates of sardine (*S. pilchardus*) and horse mackerel (*T. mediterraneus*) for the microencapsulation of fish oil by spray-dryer. *Food Chemistry*, v.194, n.1, p.1208-1216, 2015.

NOVELLO, D.; POLLONIO, M. A. R. Caracterização físico-química e microbiológica da linhaça dourada e marrom (*Linum Usitatissimum* L.). *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, v.71, n.2, p.291-300, 2012.

OLIVEIRA, D. F. Farinha de linhaça dourada como substituto de gordura animal em hambúrguer de carne bovina com redução de sódio. 70f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos. Universidade Tecnológica do Paraná. Londrina, 2014.

PATHACK, N.; RAI, A. K.; KUMARI, R.; THAPA, A.; BHAT, K. V. Sesame crop: an underexploited oilseed holds tremendous potential for enhanced food value. *Agriculture Sciences*, v.5, p.519-529, 2014.

PERIN, L.; ZEMOLIN, G. P.; SPINELLIR, B.; ZANARDO, V. P. S. Nutritional profile evaluation, consumption and knowledge about functional foods of teachers in public schools. *Revista Perspectiva*, v.39, n.145, p.73-83, 2015.

RIBEIRO, V.; QUEIROZ, M.; FERREIRA, J.; ARRIEL, N. Crescimento, produção e fenologia do gergelim sob diferentes níveis de solução organomineral via fertirrigação. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 4, 2017, Belém. Anais...Belém, 2017.

RIBEIRO, V. H. A.; ARRIEL, N. H. C.; FERNANDES, P. D. Tolerância de genótipos de gergelim ao estresse hídrico em cultivo com biofertilizante. *Brazilian Journal of Development*, v.6, n.9, p.64637-64660, 2020.

RIBEIRO, V. H. A.; QUEIROZ, M. F.; ARRIEL, N. H.; SILVA, V. M. A. Análise de genótipos de gergelim BRS Seda e Preta sob diferentes níveis de fertirrigação com solução organomineral. 1. ed. Campina Grande: EPTEC, 2021. v.1. 45p.

SILVA, A. C. C.; SILVA, N. A.; PEREIRA, M. C. S.; VASSIMON, H. S. Foods containing functional ingredients in its formulation are healthy: A review of article published in brazilian journals. *Revista Conexão Ciência*, v.11, n.2, 2016.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *African Journal Agricultural Research*, v.11, p.3733-3740, 2016.

Capítulo VI

SECAGEM DE SEMENTES DE MELÃO DESCRITA POR UM MODELO DE DIFUSÃO

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva
Raphael Lucas Jacinto Almeida
Newton Carlos Santos
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro
Larissa Monique de Sousa Rodrigues
Francisca Moisés de Sousa

Introdução

As cucurbitáceas são culturas vegetais pertencentes à família *Cucurbitaceae*, cultivadas em todo o mundo em regiões quentes, e aparecem em várias formas e tamanhos. O melão persa é uma das plantas cucurbitáceas cultivadas na região mais quente do Irã e em alguns países vizinhos (KOTOWSKI, 1962; THOMPSON, 1974; SABERALI & SHIRMOHAMADI-ALIAKBARKHANI, 2020). O melão é uma planta hortícola importante, com rica nutrição e com alto valor econômico. Em 2016, a área de plantio de melão no mundo era de 1,72 milhão de hectares, com um rendimento de 47 milhões de toneladas, e a China responde por mais de 60%, criando um valor de exportação de cerca de US \$ 2,4 bilhões, tornando-se a segunda maior cultura econômica da família *Cucurbitaceae* (FAO, 2016).

A fim de evitar o impacto do clima adverso ou obter maior valor econômico com a produção fora da estação, a China, o Brasil e outros países importantes em cultivo de melão utilizam cada vez mais instalações protegidas, como estufas, no cultivo de melão (AGUIAR et al., 2012; HUANG et al., 2017). Ao mesmo tempo, a rotação curta ou a monocultura se tornou uma tendência mundial, e a rotação a longo prazo se torna inviável ou impraticável (BENNETT et al., 2012; ZHANG et al., 2020). No Brasil, a produção de melão está concentrada na região Nordeste. Essa safra mostra grande importância social e econômica, pois é um dos principais itens das exportações brasileira, relevantes para a balança comercial do país, além de gerar renda e milhares de empregos em uma das regiões mais pobres do Brasil (CALIXTO et al., 2019; ORNELLAS et al., 2019).

Nesse sentido, é preciso intensificar as pesquisas sobre o aproveitamento integral do melão, incluindo além da polpa, as cascas e sementes. As sementes de melão são ricas em compostos bioativos com propriedades funcionais, representam uma excelente matéria-prima para o desenvolvimento de novos produtos. Seus principais nutrientes incluem 22,87% de carboidratos, 32,8% de proteína, 37,2% de gordura, 0,2% de fibra dietética, 2% de umidade, 3% de cinzas e fornece 5550 570 kcal/100 g de energia (MANCHALI et al.,2020).

Várias pesquisas foram realizadas para avaliar os níveis de proteínas de diferentes frutas e comparar com os níveis das sementes de melão e maracujá. Morais et al. (2017) constataram que os níveis de proteínas da semente de melão ($12,6 \pm 1,8$ g/100 g) e maracujá ($12,3 \pm 0,9$ g/100 g) são semelhantes para várias partes de diferentes frutas, tais como: abacate, abacaxi, banana, mamão, melancia. Apenas para as sementes de abacate ($3,1 \pm 0,5$ g/100 g) os níveis de proteínas foram menores (MORAIS et al., 2017).

A semente de melão pode ser usada para a extração de óleo principalmente para consumo doméstico, embora usos medicinais e aplicações industriais para produção de biodiesel, sabão, detergentes e margarinas foram relatadas (JARRET et al., 2012; OLUBA et al., 2011; GIWA, ABDULLAH & ADAM, 2010; OGBE & GEORGE, 2012; NYAKUMA et al., 2018).

Com relação aos óleos, as pesquisas relacionadas às propriedades químicas, bioquímicas, térmicas e antibacterianas são incipientes. O óleo extraídos de sementes são riquíssimos em ácidos graxos poli-insaturados essenciais, como ácido linoléico e α -linolênico (AL JUHAIMI et al., 2017 ; XU et al., 2018). De acordo com Rezing et al. (2019) o óleo de semente de melão apresenta quantidades consideráveis de fitoesteróis, com predominância para o sitosterol, respondendo por 3248,48 mg/kg de óleo e exibindo maior estabilidade oxidativa ($3,8 \pm 0,41$ h) e atividade antioxidante ($IC_{50} = 52,55 \pm 5,08$ g/g). A análise cromatográfica dos compostos fenólicos mostrou que os ácidos fenólicos foram o grupo mais importante no óleo de semente de melão com predominância de ácido ferúlico (134,83 g/g). (REZIG et al., 2019). Além disso, a sementes de melão possui enormes quantidades resíduos de biomassa lignocelulósica que pode ser viável para a produção de etanol de segunda geração. (ALMEIDA et al., 2019)

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo realizar a cinética de secagem das sementes de melão em diferentes temperaturas e ajustar o modelo de difusão aos dados experimentais considerando a geometria de um cilindro infinito.

Material e Métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas sementes de melão, os frutos foram adquiridos na feira central da cidade de Campina Grande, Paraíba. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Secagem da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).



Figura 1. Sementes de melão.

As secagens das sementes de melão (*Cucumis melo* L.) foram realizadas em triplicata, utilizando estufa de secagem com circulação de ar forçado ajustado para operar nas temperaturas de 50, 60 e 70°C e com velocidade do ar de 1,5 m.s⁻¹, nas quais as amostras foram distribuídas uniformemente em bandejas de tela de aço, formando uma camada fina. O teor de água inicial e final do produto, após a secagem foi determinado pelo método gravimétrico de acordo com a metodologia proposta pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2008).

Os dados experimentais foram expressos em termos de razão de teor de água (RX), como descrito na Equação 1.

$$RX = \frac{(X - X_e)}{(X_0 - X_e)} \quad (\text{Eq.1})$$

Em que: *RX* é a razão do teor de água (adimensional); *X* é o teor de água (base seca); *X_e* é o teor de água de equilíbrio (base seca) e *X₀* é teor de água inicial (base seca).

Modelo de difusão

A Equação de difusão que descreve a secagem de um produto na forma de um cilindro infinito pode ser escrita como observa-se na Equação 2.

$$\frac{\partial RX}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(rD \frac{\partial RX}{\partial r} \right) \quad (\text{Eq.2})$$

Em que: *D* é a difusividade efetiva de massa e *r* define uma posição no interior do cilindro com relação ao seu eixo axial.

Neste trabalho, uma solução analítica da Equação 2 será usada para descrever a difusão de umidade em corpos cilíndricos.

Solução analítica para condição de contorno convectivo

A condição de contorno do terceiro tipo ou ainda condição de fronteira de Cauchy, é expressa pela imposição de fluxo difusivo interno igual no limite do cilindro infinito e do fluxo convectivo externo próximo a este limite, dado pela Equação 3.

$$-D \frac{\partial RX(r,t)}{\partial r} \Big|_{r=R} = hRX(r,t) \Big|_{r=R} \quad (\text{Eq.3})$$

Em que: h é o coeficiente de transferência convectiva de massa, $RX(r,t)$ é a razão do teor de umidade na posição radial r no tempo t , e R é o raio do cilindro infinito.

A solução $RX(r,t)$ da Equação 2 para um cilindro homogêneo infinito, com umidade inicial uniforme X_0 e condição de contorno definida pela Equação 3 pode ser obtida por separação de variáveis, o que resulta na Equação 4 (LUIKOV, 1968; CRANK, 1992).

$$RX(r,t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n J_0(\mu_n r/R) \exp\left(-\mu_n^2 \frac{D}{R^2} t\right) \quad (\text{Eq.4})$$

Onde:

$$A_n = \frac{2Bi}{J_0(\mu_n) [\mu_n^2 + Bi^2]} \quad (\text{Eq.5})$$

Em que: J_0 é a função de Bessel de primeiro tipo e ordem zero. O parâmetro Bi é o número de Biot de transferência de massa e é dado pela Equação 6.

$$Bi = \frac{hR}{D} \quad (\text{Eq.6})$$

Os parâmetros μ_n são as raízes da Equação 7 transcendental.

$$\frac{J_0(\mu_n)}{J_1(\mu_n)} = \frac{\mu_n}{Bi} \quad (\text{Eq.7})$$

Em que: J_1 é a função de Bessel de primeiro tipo e ordem 1.

A razão de umidade média no tempo t é dada pela Equação 8.

$$\overline{RX} = \frac{1}{V} \int RX(r,t) dV \quad (\text{Eq.8})$$

Em que: V é o volume do cilindro.

Substituindo a Equação 4 na Equação 8 e integrando, a razão de umidade média do sólido cilíndrico no instante t é obtida pela Equação 9.

$$RX(t) = \sum_{n=1}^{16} B_n \exp\left(-\mu_n^2 \frac{D}{R^2} t\right) \quad (\text{Eq.9})$$

Onde: o número de termos do somatório foi estabelecido como 16, ao invés de infinito, e o parâmetro B_n é dado pela Equação 10.

$$B_n = \frac{4Bi^2}{\mu_n^2 (Bi^2 + \mu_n^2)} \quad (\text{Eq.10})$$

Para obtenção dos parâmetros de processo D , h e Bi , a otimização do processo foi feita conforme metodologia descrita por Da Silva et al. (2010).

Análise estatística

O coeficiente de correlação de Pearson (r) foi calculado para avaliar a influência do aumento da temperatura nas variáveis quantitativas: difusividade efetiva, coeficiente de transferência de calor e número de Biot, para isso foi utilizado o software Statistica 7.0.

Resultados e Discussão

Na Tabela 1 estão expressos os resultados obtidos por solução analítica da equação de difusão nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, considerando as sementes de melão com geometria de um cilindro infinito e o coeficiente de correlação de Pearson.

Tabela 1. Resultados obtidos pela solução analítica da equação de difusão e o coeficiente de correlação de Pearson

| Temperatura (°C) | $D \times 10^{-10}$ ($m^2 \text{ min}^{-1}$) | $h \times 10^{-6}$ ($m \text{ min}^{-1}$) | Nº de <i>Biot</i> | R ² | χ^2 |
|--|---|--|-------------------|----------------|----------|
| 50 | 6,78 | 2,99 | 3,40 | 0,9980 | 0,006076 |
| 60 | 7,56 | 6,78 | 10,00 | 0,9966 | 0,009649 |
| 70 | 8,82 | 12,92 | 18,5 | 0,9955 | 0,012406 |
| Coeficiente de correlação de Pearson (r) | + 0,9908 | + 0,9908 | + 0,9974 | - | - |

Nota: D é a difusividade efetiva; h é o coeficiente convectivo de transferência de calor.

Observa-se que, para a difusividade efetiva, houve um aumento em seus valores de $6,78 \times 10^{-10} m^2 \text{ min}^{-1}$ para $8,82 \times 10^{-10} m^2 \text{ min}^{-1}$ quando se teve aumento na temperatura de secagem de 50 para 70°C. Silva et al. (2018), ao também realizarem a cinética de secagem de sementes de melão, obtiveram valores de difusividade variando de $1,553 \times 10^{-10} m^2 \text{ min}^{-1}$ a $2,091 \times 10^{-10} m^2 \text{ min}^{-1}$ quando a temperatura de secagem variou de 35 a 50°C. Silva et al. (2019a), ao determinaram a difusividade efetiva em grãos de sorgo nas temperaturas variando de 40 a 80°C, também observaram aumento nos valores quando se teve aumento da temperatura de secagem.

Segundo Alves et al. (2019), a difusividade efetiva indica a velocidade em qual água pode ser transferida do interior para a superfície do produto. Para Araújo et al. (2017), normalmente o coeficiente de difusividade é utilizado, devido à complexidade, além de limitadas informações a respeito do movimento da água no interior dos alimentos durante a secagem.

O coeficiente convectivo de transferência de calor, assim como a difusividade efetiva, o mesmo também apresentou relação direta com o aumento da temperatura de secagem. Variando de $2,99 \times 10^{-6} m \text{ min}^{-1}$ (50 °C) a $12,92 \times 10^{-6} m \text{ min}^{-1}$ (70 °C). Santos et al. (2019), ao também determinarem esse mesmo parâmetro em grãos de arroz preto nas temperaturas variando de 40 a 80°C, obtiveram valores que variaram de $3,75$ a $60,8 \times 10^{-5} m \text{ min}^{-1}$. Valores elevados do coeficiente de transferência de calor tendem a apresentar um menor tempo para atingir a umidade de equilíbrio durante o processo de secagem (SANTOS et al., 2019).

Com relação aos valores do número de *Biot*, eles apresentaram relação direta com o aumento da temperatura de secagem, no entanto, os valores obtidos foram inferiores a 20; e o menor valor obtido foi de 3,40 para as sementes submetidas à 50°C. De acordo com Kaya et al. (2010) e Ferreira et al. (2020), o número de *Biot* é indicativo da existência de fatores internos e resistências externas à transferência de água, sendo consideradas o caso mais realista em aplicações práticas.

Então, uma possível razão para a falta de soluções analíticas na literatura para problemas de difusão com condição de contorno do terceiro tipo, pode ser atribuída à grande quantidade de raízes, que deve ser determinada de forma a cobrir todo o domínio do número de *Biot*, quando são considerados muitos termos da série (BORGES, 2016).

O coeficiente de determinação (R^2) apresentou valores superiores a 0,99 ($R^2 > 0,99$), variando de 0,9955 (70°C) a 0,9980 (50°C). Segundo Santos et al. (2020), o R^2 não constitui um bom parâmetro para representação do fenômeno de secagem, sendo, portanto, avaliado também os valores da função qui-quadrado, que neste estudo variou de 0,006076 a 0,012406 indicando que o modelo de difusão apresentou ajuste satisfatório aos dados experimentais da cinética de secagem das sementes de melão.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) apresentou um número positivo e acima de 0,99 para as 3 variáveis quantitativas avaliadas, indicando que há uma forte correlação positiva entre os dados. No qual o aumento da temperatura foi diretamente proporcional aos valores dos parâmetros de difusão calculados.

Na Figura 1, têm-se o ajuste do modelo de difusão aos dados experimentais da cinética de secagem das sementes de melão nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

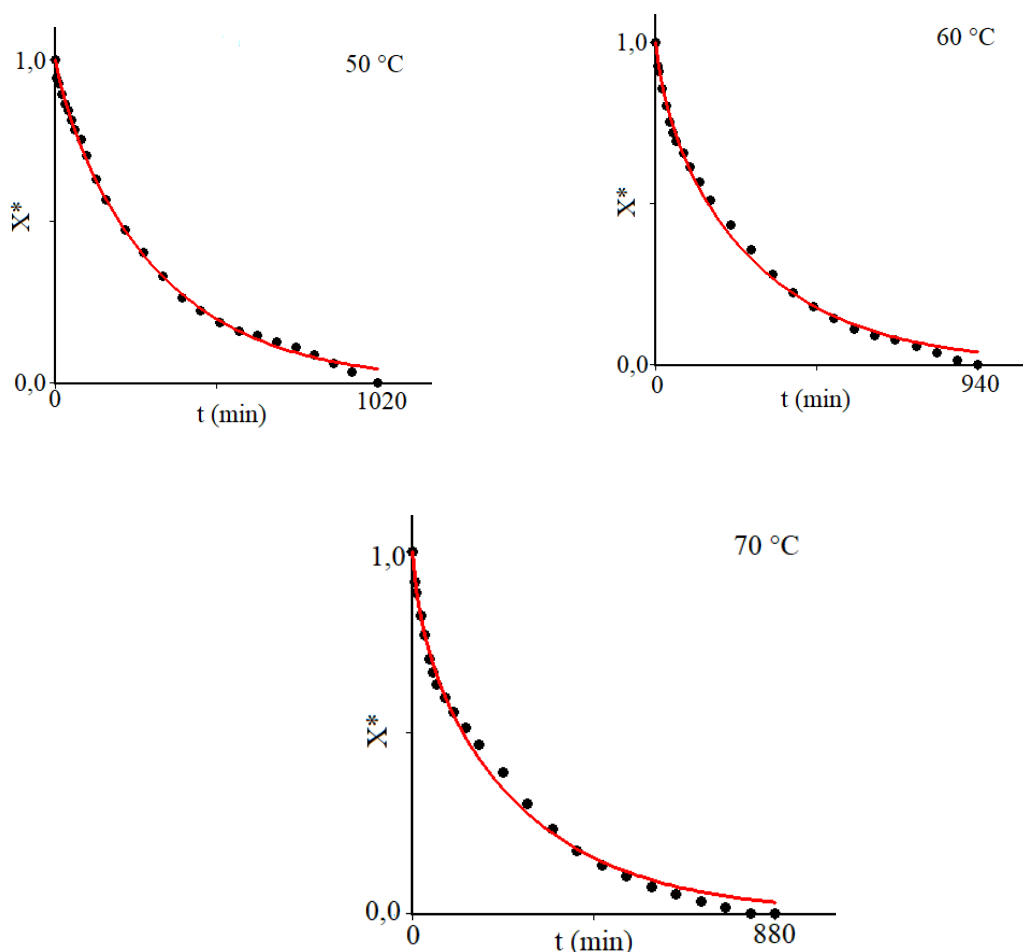
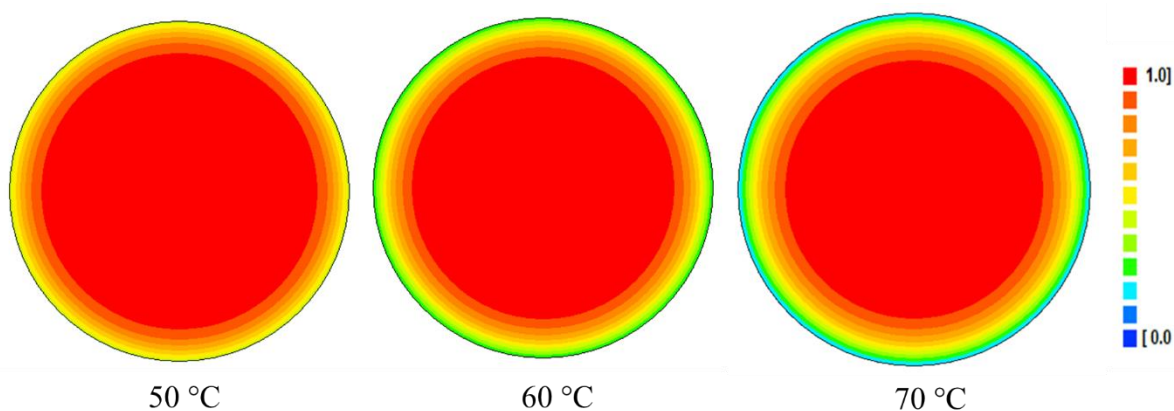


Figura 1. Simulação do modelo de difusão aos dados experimentais da cinética de secagem das sementes de melão nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

O estudo da cinética de secagem das sementes de melão mostra que, o acréscimo da temperatura favorece a transferência de massa, diminuindo a umidade de equilíbrio dinâmico e o tempo de secagem que variou de 1020, 940 e 880 minutos para as temperaturas de 50, 60 e 70°C, respectivamente. Segundo Ribeiro et al. (2019) e Silva et al. (2019b), a elevação da temperatura do ar de secagem desenvolve maior gradiente de umidade entre o produto e o ar, acarretando maior taxa de remoção de água, independentemente do tipo do material utilizado.

Na Figura 2, pode-se observar a distribuição de umidade no interior das sementes de melão nas temperaturas de 50, 60 e 70°C e no tempo de 60 e 200 minutos.

A)



B)

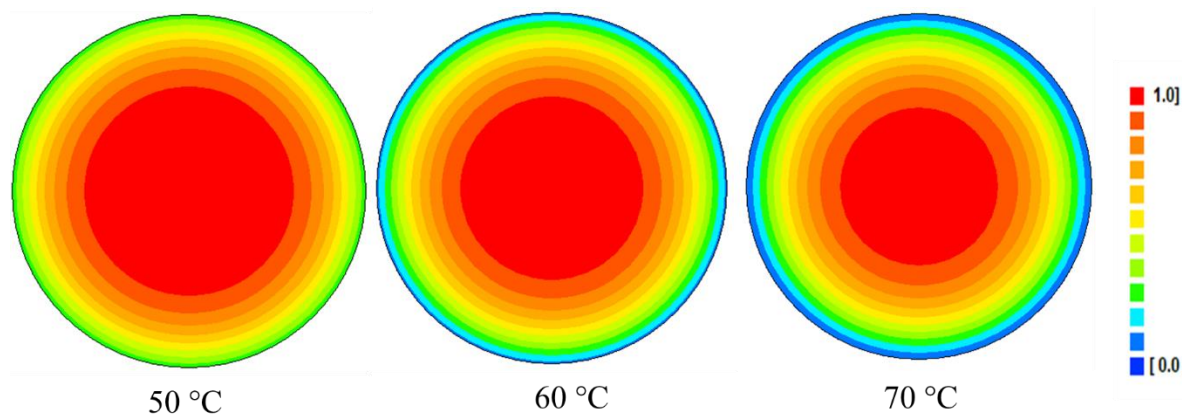


Figura 2. Distribuição espacial de umidade no interior das sementes de melão em diferentes tempos:

A) 60 minutos e B) 200 minutos.

Através da análise dos gradientes de umidade existentes no interior das sementes de melão durante o processo de secagem, a perda de umidade do produto ocorre principalmente da parte externa à parte interna do produto. Fato este também verificado por Almeida et al. (2020) na secagem de fatias de beterraba.

Quando comparado as mesmas temperaturas (50, 60 e 70°C) em intervalos de tempos diferentes (60 e 200 minutos), visualiza-se que, para o maior intervalo de tempo, maiores eram as variações de umidade no interior da semente. E que, para o menor tempo e temperatura de exposição das sementes, não se tinha uma expressiva variação de umidade.

Conclusão

De acordo com os dados obtidos na cinética de secagem das sementes de melão constatou-se que a difusividade efetiva, o coeficiente de transferência de calor e o número de Biot mostraram forte correlação positiva, indicando que o aumento da temperatura foi diretamente proporcional aos valores dos parâmetros de difusão calculados.

O acréscimo da temperatura favoreceu a transferência de massa, diminuindo a umidade de equilíbrio dinâmico e o tempo de secagem que variou de 1020, 940 e 880 minutos para as temperaturas de 50, 60 e 70°C, verifica-se que para o maior intervalo de tempo maiores foram as variações de umidade no interior da semente.

Referências

- AGUIAR, B. D. M.; VIDA, J. B.; TESSMANN, D. J.; OLIVEIRA, R. R. D.; AGUIAR, R. L.; ALVES, T. C. A. Fungal species that cause powdery mildew in greenhouse-grown cucumber and melon in Paraná State, Brazil. *Acta Sci. Agron.*, v.34, n.3, p.247–252, 2012.
- ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; SILVA, V. M. A.; RIBEIRO, V. H. A.; BARROS, E. R.; CAVALCANTI, J.; QUEIROGA, A.; LUÍZ, M. R.; NASCIMENTO, A.; NUNES, J. Influência da espessura na cinética de secagem de fatias de beterraba. *Research, Society and Development*, v.9, n.3, 2020.
- ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; DOS SANTOS PEREIRA, T.; DE ALCÂNTARA SILVA, V. M.; DE ALCÂNTARA RIBEIRO, V. H.; DA SILVA, L. R. I.; DA SILVA EDUARDO, R. Cinética de secagem de sementes de melão descrita por um modelo de difusão. *Research, Society and Development*, v.9, n.5, e32953146-e32953146, 2020.
- ALVES, R. A.; QUEIROZ, A. J. D. M.; DE FIGUEIRÊDO, R. M.; SILVA, W. P. D.; GOMES, J. P. Secagem solar de feijão-caupi combinada com secagem em secador acumulador de calor. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.23, n.9, p.709-715, 2019.
- ARAUJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; HARTMANN FILHO, C. P.; MARTINS, E. A. S. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. *Revista Ciência Agronômica*, v.48, n.3, p.448-457, 2017.
- BENNETT, A. J.; BENDING, G. D.; CHANDLER, D.; HILTON, S.; MILLS, P. Meeting the demand for crop production: the challenge of yield decline in crops grown in short rotations. *Biological Reviews*, v.87, n.1, p.52-71, 2012.

- BORGES, F. B. Descrição da secagem convectiva de grãos de milho através de modelos difusivos. 147f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2016.
- BRASIL. Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4 ed. São Paulo, 2008. 1020p.
- CALIXTO, R. R.; PINHEIRO-NETO, L. G.; CALVACANTE, T. S.; ARAGÃO, M. F.; SILVA, E. O. A computer vision model development for size and weight estimation of yellow melon in the Brazilian northeast. *Sci. Hortic.*, v.256, 108521, 2019.
- CRANK, J. *The Mathematics of Diffusion*. Clarendon Press, Oxford, UK. 1992.421p.
- DA SILVA, W. P.; PRECKER, J. W.; SILVA, C. M. D. P. S.; GOMES, J. P. Determination of effective diffusivity and convective mass transfer coefficient for cylindrical solids via analytical solution and inverse method: Application to the drying of rough rice. *Journal of Food Engineering*, v.98, n.3, p.302–308, 2010.
- FAO. Agriculture Organization. 2014. Livestock Primary. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2016. Disponível em: <http://www.fao.org/publications/sofi/en/>
- FERREIRA, J. P. D. L.; CASTRO, D. S. D.; MOREIRA, I. D. S.; SILVA, W. P. D.; DE FIGUEIRÊDO, R. M.; QUEIROZ, A. J. D. M. Cinética de secagem convectiva de cubos de mamão pré-tratados osmoticamente. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.24, n.3, p.200-208, 2020.
- GIWA, S.; ABDULLAH, L. C.; ADAM, N. M. Investigating Egusi (*Citrullus colocynthis* L.) seed oil as potential biodiesel feedstock. *Energies*, v.3, n.4, p.607-618, 2010.
- HUANG, Y.; LI, W.; ZHAO, L.; SHEN, T.; SUN, J.; CHEN, H.; KONG, Q.; NAWAZ, M. A.; BIE, Z. Melon fruit sugar and amino acid contents are affected by fruit setting method under protected cultivation. *Sci. Hortic-Amsterdam*, v.214, p.288–294, 2017.
- JARRET, R. L.; LEVY, I. J. Oil and fatty acid contents in seed of *Citrullus lanatus* Schrad. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.60, n.20, p.5199-5204, 2012.
- JUHAIMI, F. A.; ÖZCAN, M. M.; GHAFOR, K.; Caracterização de sementes e óleos de romã (*Punica granatum* L.). *Jornal Europeu de Ciência e Tecnologia de Lipídios*, v.119, n.10, p.1700074, 2017.
- KAYA, A.; AYDIN, O.; DINCER, I. Comparison of experimental data with results of some drying models for regularly shaped products. *Heat and Mass Transfer*, v.46, n.5, p.555-562, 2010.
- KOTOWSKI, F. Temperature relations to germination of vegetable seeds. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, v.23, p.176–184, 1962.
- LUIKOV, A. V. *Analytical Heat Diffusion Theory*. Academic Press Inc. Ltd. London, 1968. 702p.
- MANCHALI, S.; MURTHY, K. N. C. Muskmelon. In: *Composição nutricional e propriedades antioxidantes de frutas e vegetais*. Academic Press, 2020. p.533-546.
- MORAIS, D. R.; ROTTA, E. M.; SARGI, S. C.; BONAFE, E. G.; SUZUKI, R. M.; SOUZA, N. E.; VISENTAINER, J. V. Proximate composition, mineral contents and fatty acid composition of the different parts and dried

peels of tropical fruits cultivated in Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v.28, n.2, p.308-318, 2017.

NYAKUMA, B. B.; ROOZBAHANI, F.; OLADOKUN, O.; DODO, Y. A.; ELNAFATY, A. S.; IVASE, T. J. P. Kinetic Analysis of Melon Seed Husk Using Non-Isothermal Thermogravimetric Analysis. *Materials Today: Proceedings*, v.5, n.11, p.23249-23257, 2018.

OGBE, A.; GEORGE, G. Nutritional and anti-nutrient composition of melon husks: Potential as feed ingredient in poultry diet. *Research Journal of Chemical Sciences*, v. 2231, p.606x. 2012.

OLUBA, O. M.; EIDANGBE, G. O.; OJIEH, G. C.; IDONIJE, B. O. Palm and Egusi melon oils lower serum and liver lipid profile and improve antioxidant activity in rats fed a high fat diet. *International Journal of Medicine and Medical Sciences*, v.3, n.2, p.47-51, 2011.

ORNELLAS, F. L. S.; DE SOUSA, A. O.; PIROVANI, C. P.; DO NASCIMENTO ARAÚJO, M.; DA COSTA, D. S.; DANTAS, B. F.; BARBOSA, R. M. Gene expression, biochemical and physiological activities in evaluating melon seed vigor through ethanol release. *Scientia Horticulturae*, v.261, p.108884. 2020.

REZIG, L.; CHOUAIBI, M.; MEDDEB, W.; MSAADA, K.; HAMDY, S. Chemical composition and bioactive compounds of Cucurbitaceae seeds: Potential sources for new trends of plant oils. *Process Safety and Environmental Protection*, v.127, p.73-81, 2019.

RIBEIRO, V. H. A.; ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; BARROS S. L.; NASCIMENTO, A. P. S. Mathematical modeling of apple drying kinetics. *Higiene Alimentar*, v.33, n.288/289, p.3474-3478, 2019.

SABERALI, S. F.; SHIRMOHAMADI-ALIAKBARKHANI, Z. Quantifying seed germination response of melon (*Cucumis melo* L.) to temperature and water potential: Thermal time, hydrotime and hydrothermal time models. *South African Journal of Botany*, v.130, p.240-249, 2020.

SANTOS, N. C.; SILVA, W. P.; BARROS, S. L.; ARAÚJO, A. J. B.; GOMES, J. P.; ALMEIDA, R. L. J.; NASCIMENTO, A. P. S.; ALMEIDA, R. D.; SILVA, C. M. P. D. S.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Study on Drying of Black Rice (*Oryza sativa* L.) Grains: Physical-Chemical and Bioactive Quality. *Journal of Agricultural Science*, v.11, n.9, p.203-212, 2019.

SANTOS, N. C.; ALMEIDA, R. L. J.; SILVA, L.; MUNIZ, C.; PEREIRA, T.; SILVA, V.; RIBEIRO, V.; MOREIRA, F.; PINHEIRO, W.; EDUARDO, R. Determinação dos parâmetros cinéticos durante o processo de secagem da casca de abacaxi. *Research, Society and Development*, v.9, n.4, 2020.

SILVA, I. L.; SILVA, H. W. D.; DE CAMARGO, F. R.; DE FARIAS, H. F.; FREITAS, E. D. F. Secagem e difusividade de sementes de melão. *Revista de Ciências Agrárias*, v.41, n.2, p.21-30, 2018.

SILVA, V. M. A.; RIBEIRO, V. H. A.; SANTOS, N. C.; BARROS, S. L.; NASCIMENTO, A. P. S.; ARAÚJO, A. J. B. Determinação de modelo matemático na secagem do sorgo (*sorghum bicolor* (L.) moench). *Caderno de Pesquisa, Ciência e Inovação*, v.2, n.3, p. 112-120, 2019.

SILVA, V. M. A.; SANTOS, N. C.; BARROS, S. L.; ALMEIDA, R. L. J.; RIBEIRO, V. H. A.; MELO, M. O. P. Conservação de sementes de abóbora através de secagem convectiva. *Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.9, n.7, e-7098, 2019b.

THOMPSON, P. A. Characterization of germination responses to temperature of vegetable seeds. I. Tomatoes. *Scientia Horticulturae*, v.2, p.35-54, 1974.

XU, B.; WEI, B.; REN, X.; LIU, Y.; JIANG, H.; ZHOU, C.; WANG, Z. Pré-tratamento dielétrico de colza 1: Influência nas características de secagem das sementes e nas propriedades físico-químicas do óleo prensado a frio. *Food and Bioprocess Technology*, v.11, n.6, p.1236-1247, 2018.

ZHANG, Z.; FAN, J.; WU, J.; ZHANG, L.; WANG, J.; ZHANG, B.; WANG-PRUSKI, G. Alleviating effect of silicon on melon seed germination under autotoxicity stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.188, p.109901, 2020.

Curriculum dos Autores

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva: Licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade do Vale do Acaraú-CE em 2010, Doutora e Mestre em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Especialista em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido pela Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, Especialista em Geografia e Gestão Ambiental pela Universidade Integrada de Patos - FIP. Atuando nas áreas de Sensoriamento Remoto e SIG, Desertificação, Restauração Ecológica, Recuperação de Áreas Degradadas e Características Climatológicas do Brasil, Eventos Extremos de Chuva e Desastres Ambientais. Doutora em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais atuando na área de Crioconservação de Recursos Genéticos de Origem Vegetal, com ênfase em criocongelamento de sementes, além de Transferência de Calor e Massa vinculados a Refrigeração e Secagem de Alimentos (secagem, desidratação osmótica, liofilização, enriquecimento de alimentos e novos produtos). Integra o corpo editorial da editora EPTEC. Revisor dos Periódicos *African Journal of Plant Science*; *African Journal of Food Science*; *Journal of Development and Agricultural Economics*, *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, *African Journal of Agricultural Research*. Membro Integrante da Rede Internacional de Pesquisa em Desenvolvimento Resiliente ao Clima - RIPEDRC- Rede Resiliência Climática, criada em 2019, como uma parceria internacional, aprovado pelo edital do CNPQ/Fundação Araucária: PI 06/2018 Programa Researcher (Reino Unido), que previu a organização do Workshop Brasil-Reino Unido sobre o Financiamento do Desenvolvimento Urbano Resiliente ao Clima realizado nos dias 09 a 13 de setembro de 2019.

Dra. Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande
virginia.mirtes2015@gmail.com /virginia.m.alcantara@gmail.com

Newton Carlos Santos: Bacharel em Química Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB); Professional Internship realizado na ASA Indústria e Comércio - Vitamilho, trabalhando no setor de Controle de Qualidade; Especialista em Ciências e Tecnologia dos Alimentos pelo Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN); Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), atuando na área de Transferência de Calor e Massa com ênfase em Refrigeração e Secagem de Alimentos.

Doutorando em Engenharia Química na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).
newtonquimicoindustrial@gmail.com

Victor Herbert de Alcântara Ribeiro: Possui graduação em Agroecologia pela Universidade Estadual da Paraíba (2016). Mestre em Ciências Agrárias (Agroecologia) no Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias da Universidade Federal da Paraíba - Campus III, Bananeiras. Doutorando em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais com ênfase na área de Transferência de Calor e Massa vinculados a Refrigeração e Secagem de Alimentos (secagem, desidratação osmótica, liofilização, enriquecimento de alimentos e novos produtos (desenvolvimento de ração para peixes com resíduos de algaroba *Prosopis juliflora* (Sw) DC). Também trabalha com temas vinculados a biofertilizantes, substâncias organominerais e cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.)

Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG/CTRN/Campus Campina Grande-PB
victor_herbert@hotmail.com

Raphael Lucas Jacinto Almeida: Bacharel em Química Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba (2017), onde trabalhou na área de microbiologia e produção de bebida láctea probiótica; Profissional Internship (2017) realizado na Indústria de Bebidas de Garanhuns - Jatobá LTDA, trabalhando nos setores de Controle da qualidade e Microbiologia; Especialista (2019) em Ciências e Tecnologia dos Alimentos pelo Instituto Federal do Rio Grande no Norte; Mestre em Engenharia Química (2019) pela Universidade Federal de Campina Grande, com experiência na área Biotecnologia com ênfase em hidrólise enzimática, extração de amido e beneficiamento de resíduos agroindustriais, onde atualmente é Doutorando em Engenharia Química na Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Revisor dos Periódicos *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, *African Journal of Agricultural Research e Research, Society and Development*.

Doutorando em Engenharia Química na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).
raphaelqindustrial@gmail.com

Larissa Monique de Sousa Rodrigues: Graduada em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Atuou como Bolsista de Iniciação Científica, desenvolvendo trabalhos acadêmicos por dois anos. Possui experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em Engenharia de Alimentos, atuando principalmente nas seguintes áreas: análises físico-químicas e desenvolvimento de novos produtos.

Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG/CTRN/UAEA/Campus Campina Grande
larissamonique@gmail.com

Francisca Moisés de Sousa: *Graduada em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Campina Grande (2017). Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Mestrado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais (UFCG), na área de concentração de Engenharia de Recursos Naturais, com ênfase em Armazenamento de produtos agrícolas.*

Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG/CTRN/Campus Campina Grande – PB.

fran_moyses@hotmail.com



® Portal Tecnológico
de Divulgação Científica
Eventos, Pesquisas e Inovação



UFERN
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE



Universidade Federal
de Campina Grande



978-65-00-23186-1