

Propriedades físicas de sementes de pimenta malagueta**Physical properties of chilli pepper seeds**

Gabriel Pamphilly Lima REZENDE (em memória)¹; Renato Souza RODOVALHO²; Filipe Beserra da SILVA³; Samuel Gonçalves Ferreira dos SANTOS⁴

¹Engenheiro Agrônomo, Instituto Federal Goiano – Campus Ceres.

²Autor para correspondência, Engenheiro Agrícola, Doutor em Agronomia, Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, e-mail: renato.rodvalho@ifgoiano.edu.br

³Engenheiro Agrônomo, Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, e-mail: filipe.silva.agro@gmail.com

⁴Engenheiro Agrônomo, Doutor, Universidade Federal de Viçosa, e-mail: samuel-2100@hotmail.com

Recebido em: 26-03-2021; Aceito em: 10-09-2025

Resumo

A pimenta malagueta pertencente à família Solanaceae, tem destaque no mercado comercial brasileiro. As propriedades físicas dos produtos agrícolas são alteradas no processo de secagem, assumindo-se grande importância o estudo de condições ideais para um desenvolvimento correto nos manejos de colheita e pós-colheita, que irão influenciar na conservação da qualidade de sementes. Objetivou-se neste trabalho, estudar o efeito da secagem nas propriedades físicas de sementes de pimenta malagueta (*Capsicum frutescens* L.), ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados de contração volumétrica experimental e identificar o modelo que melhor represente este fenômeno. O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Preparo de Amostras do Instituto Federal Goiano - Campus Ceres. Os frutos de pimenta malagueta foram colhidos na Fazenda Cachoeira, no município de Jaraguá - GO. As sementes foram extraídas de forma manual e, em seguida, submetidas a secagem a 30 °C. Prosseguiu-se com as análises das propriedades físicas para o teor de água das sementes, a taxa de redução de água, densidade, a porosidade, os eixos ortogonais, os dimensionamentos geométricos e o índice de contração volumétrica. Cinco modelos matemáticos foram ajustados aos dados experimentais de contração volumétrica, e a partir dos critérios estatísticos selecionou-se o melhor. Houve redução nos valores das propriedades físicas de acordo com o tempo de secagem e, também, redução do teor de água. O processo de secagem afeta as propriedades físicas das sementes de pimenta malagueta, e o modelo Linear foi o melhor modelo representativo para contração volumétrica.

Palavras-chave adicionais: *Capsicum frutescens* L.; contração volumétrica; modelo Linear; secagem.

Abstract

Chilli peppers belonging to the Solanaceae family, are prominent in the Brazilian commercial market. The physical properties of agricultural products are altered in the drying process, assuming great importance the study of ideal conditions for a correct development in harvest and post-harvest management, which will influence the conservation of seed quality. The objective of this work was to study the effect of drying on the physical properties of *Capsicum frutescens* L. seeds, to adjust different mathematical models to the experimental volumetric contraction data and to identify the model that best represents this phenomenon. The work was developed at the Sample Preparation Laboratory of the Federal Institute of Goiás - Campus Ceres. The chili pepper fruits were harvested at Fazenda Cachoeira, in the municipality of Jaraguá - GO, the seeds were extracted manually and then subjected to drying at 30 °C. The analysis of the physical properties for the water content of the seeds, the rate of water reduction, density, porosity, orthogonal axes, geometric dimensioning and the volumetric contraction index was continued. Five mathematical models were adjusted to the experimental data of volumetric contraction, and from the statistical criteria the best was selected. There was a reduction in the values of physical properties according to the drying time and, also, a reduction in the water content. It was concluded that the drying process affects the physical properties of chili pepper seeds, and that the Linear model was the best representative model for volumetric contraction.

Additional keywords: *Capsicum frutescens* L.; drying; Linear model; volumetric contraction.

Introdução

As pimentas (*Capsicum spp.*) pertencem à família botânica Solanaceae e têm como centro de diversidade natural regiões tropicais das Américas (Melo et al., 2014). Consideradas como uma das especiarias mais consumidas no mundo (Rebouças et al., 2013), as pimentas exercem grande importância no mercado nacional (Caixeta et al., 2014), seja pelo comércio de seus produtos gerando renda ao produtor rural (Ricci et al., 2013) ou pelos benefícios para humanidade, tais como alimentação e nutrição, medicina e cosméticos (Dagnoko et al., 2013).

A pimenta malagueta (*Capsicum frutescens* L.) apresenta alto teor de capsaicina, também altos níveis de oxidante usados em medicina (Aldana et al., 2015). O teor de água das sementes durante a colheita não é adequado para o seu armazenamento, fazendo com que o processo de secagem seja necessário (Abud et al., 2013).

Durante o armazenamento a temperatura regula a velocidade dos processos bioquímicos e respiratórios das sementes (Bewley et al., 2013). Quanto maior a magnitude desse fator, mais rapidamente as sementes se deterioram (Segnou et al., 2012), ou seja, o seu vigor reduz progressivamente quando estas são expostas a condições inadequadas de armazenamento. Nas etapas do processo produtivo, a secagem torna-se imprescindível para garantir a qualidade da semente, reduzir a ocorrência de doenças e pragas, auxiliando no armazenamento e distribuição (Ravindran et al., 2000).

A secagem é a etapa do pré-processamento de pós-colheita que visa retardar a deterioração das sementes durante a fase de armazenamento. Este processo consiste em reduzir a água na semente possibilitando a redução da atividade biológica, física e química comumente ocorridas durante esse período (Carvalho e Nakagawa, 2012). Portanto, o conhecimento da qualidade final da semente após o seu período de secagem e armazenamento torna-se necessário para melhorias do seu próprio processo de beneficiamento (Abud et al., 2013).

Com isso há preservação de sua capacidade germinativa, sendo importante entender o nível ideal de umidade e temperatura das sementes (Peske et al., 2003). No entanto, os índices ideais para este processo podem variar de acordo com a espécie e variedade do material armazenado (Aldana et al., 2015). Os estudos relacionados as propriedades físicas de sementes são importantes para o dimensionamento de equipamentos relacionados a transbordo, pré-etapas de beneficiamento e armazenamento, regulagem de máquinas de pré-limpeza, secagem e embalagem (Silva e Corrêa, 2008).

Ratti (1994) e Sokhansanj & Lang (1996) relatam que as causas das alterações das principais propriedades físicas de produtos agrícolas, se deve em razão de sua desidratação. A relação entre o volume da semente, o teor de água e o volume inicial são determinados pelo índice de contração volumétrica. Sendo possível assim, indicar o volume reduzido ocupado pela massa da semente em função da redução do seu teor de água (Siqueira et al., 2012). Bem como é relatado por Ramos et al. (2005), que algumas alterações no produto referente à sua contração volumétrica também devem ser incluídas em modelos matemáticos para descrição completa e precisa na análise dos fenômenos de secagem.

Diante o abordado, considerando-se a relevância desta cultura, a escassez de informações sobre seu comportamento no processo de secagem e a variabilidade existente nas propriedades físicas das sementes de pimenta, o objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da secagem nas propriedades físicas de sementes de pimenta malagueta, ajustar diferentes modelos matemáticos a dados de contração volumétrica experimental e identificar o modelo que melhor represente este fenômeno.

Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Preparo de Amostras do Instituto Federal Goiano - Campus Ceres, no período de fevereiro de 2020. Para condução do experimento foram colhidos frutos de pimenta variedade Malagueta (*Capiscum frutescens* L.) por ocasião da maturação dos mesmos (coloração avermelhada), oriundos da Fazenda Cachoeira, localizada no município de Jaraguá – GO, no entorno das coordenadas 22 L UTM. Com o auxílio de estilete e pinça foi realizada a extração das sementes de acordo com a metodologia de Ricci et al. (2013), a fim de não danificá-las. Após extração, as sementes foram submetidas a secagem com ar natural por 48 horas, mantidas em repouso e em ambiente ventilado. Foram extraídos, aproximadamente, 0,6 kg de sementes.

Para tratamento de secagem as amostras mantiveram-se acondicionadas em B.O.D. a 30 °C e as avaliações das propriedades físicas em intervalo de 40 minutos até estabilização. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com dois tratamentos e quatro repetições para cada tratamento. Optando-se pela temperatura de 30°C em razão de ser este, um valor mínimo trabalhado nos diversos estudos de secagem de produtos agrícolas.

Foram avaliados o teor de água das sementes, a taxa de redução de água, a densidade e a porosidade da massa de sementes, os eixos ortogonais, o volume da massa de sementes, o diâmetro geométrico e o índice de contração volumétrica. Essas propriedades físicas foram analisadas com a seguinte metodologia:

- O teor de água das sementes foi determinado pelo método de estufa a 105 °C ± 3 °C por 24 horas e expressada em porcentagem, referenciado pela metodologia descrita nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

- A taxa de redução de água em sementes de pimenta malagueta, obtida a partir dos teores de água encontrados, seguindo-se a Equação 1 descrita por Corrêa et al. (2001):

$$TRA = [(Ma_0 - Ma_i) / Ms \cdot (t_i - t_0)] \quad (1)$$

TRA: taxa de redução de água, kg kg⁻¹ h⁻¹;

Ma₀: massa total de água anterior, kg;

Ma_i: massa total de água atual, kg;

Ms: matéria seca, kg;

t₀: tempo total de secagem anterior, h;

t_i: tempo total de secagem atual, h.

- A densidade da massa de sementes, definida pela média de três repetições como a razão entre a massa e o volume de sementes contidos em cada recipiente, utiliza-se um volume conhecido de grãos e pesa-se a massa deste volume (Silva e Corrêa, 2008).

- A porosidade da massa de sementes de pimenta malagueta, determinada pela média de três repetições e aferindo-se o volume de cada recipiente, conforme método do deslocamento de líquidos, utilizando-se o óleo de soja disposto em bureta volumétrica graduada. Despeja-se um volume conhecido de tolueno ou algum outro fluído, como óleo de soja, a partir de um recipiente graduado contendo um certo volume de grãos. Com a diferença destes, estipula-se o espaço granular (Silva e Corrêa, 2008).

- Os eixos ortogonais das amostras (Figura 1), foram aferidos com paquímetro digital as dimensões de comprimento, largura e espessura, correspondentes ao maior eixo (a), eixo intermediário (b) e menor eixo (c), utilizando-se vinte repetições para cada leitura. Com os dados dos eixos obtidos foram determinados a circularidade (Ci) e a esfericidade (Es) utilizando as Equações 2 e 3, conforme Mohsenin (1986).

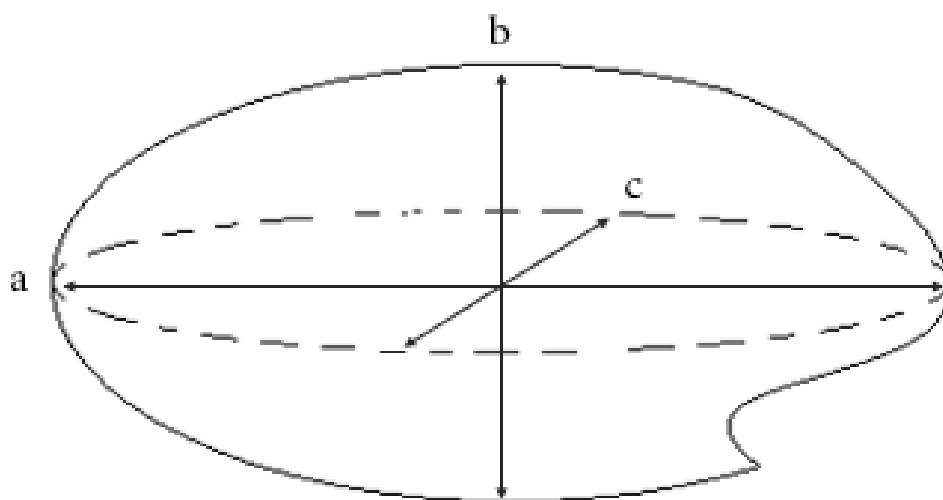


Figura 1. Ilustração esquemática da semente de pimenta malagueta e suas dimensões características, em que: maior eixo (a), eixo intermediário (b) e menor eixo(c). *Schematic illustration of the chilli pepper seed with and its characteristic dimensions, in which: biggest axis (a), intermediate axis (b) and smallest axis (c).*

$$\text{Circularidade} = \left(\frac{b}{a} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

$$Esfericidade = \left[\frac{(a.b.c)^{1/3}}{a} \right] . 100 \quad (3)$$

- O volume da massa de sementes, também foi obtido ao longo do processo de secagem, seguindo-se a Equação 4 proposta por Mohsenin (1986):

$$V_g = [(\pi . a . b . c) / 6] \quad (4)$$

V_g: volume da semente, mm³;

a: maior eixo da semente, mm;

b: eixo intermediário da semente, mm;

c: menor eixo da semente, mm.

- O diâmetro geométrico da massa de sementes foi obtido ao longo do processo de secagem, conforme proposto na Equação 5 por Mohsenin (1986):

$$D_g = (a . b . c)^{1/3} \quad (5)$$

D_g: diâmetro geométrico, mm.

a: maior eixo da semente, mm;

b: eixo intermediário da semente, mm;

c: menor eixo da semente, mm.

- O índice de contração volumétrica, determinou-se pela relação entre o volume obtido das amostras para cada teor de umidade e o volume inicial, conforme descrito na Equação 6:

$$\Psi = V / V_0 \quad (6)$$

Ψ: índice de contração volumétrica, decimal;

V: volume para cada teor de umidade, mm³;

V₀: volume inicial, mm³.

Os dados experimentais da taxa de redução de água, de porosidade e dos eixos ortogonais, assim como volume da massa de sementes, diâmetro geométrico e índice de contração volumétrica foram submetidos à análise de regressão pelo teste t a 5% de probabilidade. Os valores de contração volumétrica obtidos do processo de secagem das sementes de pimenta malagueta também foram ajustados a modelos matemáticos empíricos (Tabela 1).

Tabela 1 - Modelos utilizados para simular o índice de contração volumétrica em produtos agrícolas.

Models used to simulate the volumetric contraction index in agricultural products.

Referência	Modelo	
Corrêa et al. (2004) – apud Corrêa et al. (2011)	$\Psi = 1/[a_1 + b \cdot \exp(X)]$	(7)
Exponencial – Exp.	$\Psi = a_1 \cdot \exp(b \cdot X)$	(8)
Linear – Lin.	$\Psi = a_1 + a_2 \cdot X$	(9)
Polinomial – Pol.	$\Psi = a_1 + a_2 \cdot X + a_3 \cdot X^3$	(10)
Bala e Woods Modificado (1984) – B. e W. Mod.	$\Psi = 1 - a_1 \{1 - \exp[-a_2(X_0 - X)]\}$	(11)

a_1, a_2, a_3 : parâmetros dependentes do produto; X : teor de água do produto, kgw kgdm⁻¹; X_0 : teor de umidade inicial do produto, kgw kgdm⁻¹. *a1, a2, a3: product dependent parameters; X: product water content, kgw kgdm⁻¹; X0: initial moisture content of the product, kgw kgdm⁻¹.*

Em seguida, os modelos matemáticos foram analisados por regressão não linear pelo método de Gauss-Newton utilizando o software Statistica. O critério estatístico para seleção do melhor modelo para recomendação da representação da contração volumétrica foi considerado a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), o erro médio relativo (P), o erro médio estimado (SE) e o teste qui-quadrado (X^2) mais próximos a zero (Mohapatra e Rao, 2005). Os cálculos relacionados ao erro médio relativo, ao erro médio estimado e ao teste qui-quadrado estão de acordo com as Equações 12, 13 e 14:

$$P = [(100/n)\Sigma(|Y - \hat{Y}|/Y)] \quad (12)$$

$$SE = \sqrt{\Sigma(Y - \hat{Y})^2 / GLR} \quad (13)$$

$$x^2 = [\Sigma(Y - \hat{Y})^2 / GLR] \quad (14)$$

P: erro médio relativo, %;

n: número de observações experimentais;

$\hat{Y}$: o valor calculado pelo modelo;

Y: valor observado experimentalmente;

SE: erro médio estimado, decimal;

χ^2 : qui-quadrado.

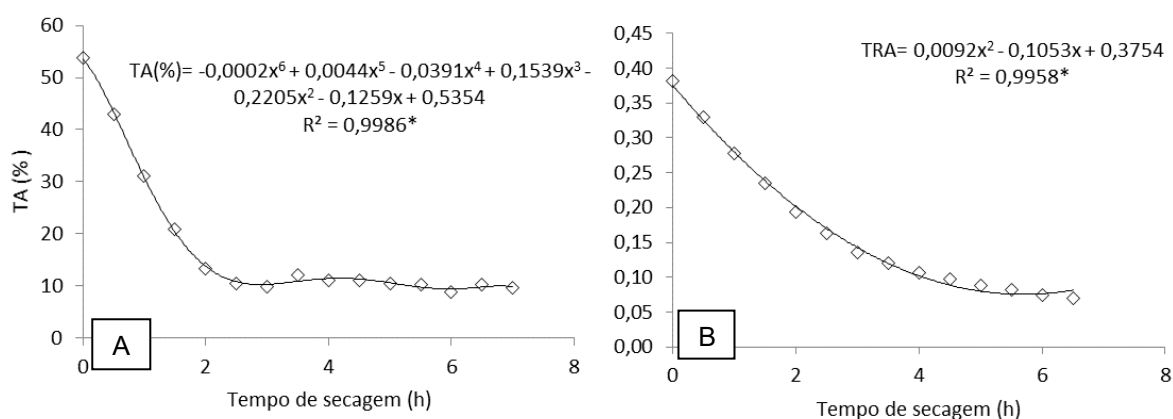
GLR: graus de liberdade do modelo, o número de observações menos o número de parâmetros do modelo.

Resultados e Discussão

O teor de água das sementes de pimenta malagueta foi reduzido de 54% até 10%, 9,7% e 9,4% sob uma temperatura de 30 °C em função do tempo de secagem. Nota-se uma ligeira estabilização a partir do tempo de cinco horas de secagem, no comportamento de perda de água das sementes para o ambiente, (Figura 2a). Referente ao período de exposição das sementes às condições de secagem trabalhadas, até se alcançar o equilíbrio higroscópico, contribuíram para a redução da água livre e solvente, dificultando a proliferação de fungos (Jangam et al., 2010). Siqueira et al. (2012) afirmam que o período de secagem das sementes reduz com o aumento da temperatura, o que se explica pela diferença entre a pressão de vapor do ar de secagem e da semente acompanharem este aumento da temperatura, resultando na redução da água em menor tempo.

Durante o período de secagem as maiores taxas de redução de água (TRA) das sementes de pimenta malagueta chegaram a 0,07; 0,075 e 0,083 kg kg⁻¹ h⁻¹ respectivamente (Figura 2b). Em Estudo semelhante, para sementes de pimenta bode (*Capsicum chinense* L. Jacquin), as maiores TRA foram de 0,063; 0,095 e 0,119 kg kg⁻¹ h⁻¹ para as temperaturas de 30, 35 e 40 °C (Rodvalho et al., 2015). A TRA reduz, continuamente, até tornar-se estável, pois com a redução da água livre e solvente torna-se mais lento e mais difícil a migração da água do interior para a superfície do grão (Jangam et al., 2010).

Figura 2. Dados experimentais da secagem à temperatura do ar de 30 °C (a); e taxa de remoção de água (kg kg⁻¹ h⁻¹) das sementes de pimenta malagueta submetidas ao processo de secagem (b). *Experimental drying data at an air temperature of 30 °C (a); and water removal rate (kg kg⁻¹ h⁻¹) of Chili Pepper seeds submitted to the drying process (b).*



A densidade diminui linearmente de 0,79 para 0,55 g/mL conforme o aumento no tempo de secagem na faixa entre 0 e 8 horas (Figura 3). Valor inicial menor ao encontrado por Tomé et al. (2018) para pimenta do reino de $1,135 \pm 0,54$ g/mL. A utilização prática deste conceito de densidade se dá na comercialização, dimensionamento de silos, secadores, depósitos e sistemas de transportes, utilizado também para determinação de teores de água e danos causados por insetos e pragas nos grãos armazenados (Silva e Corrêa, 2008).

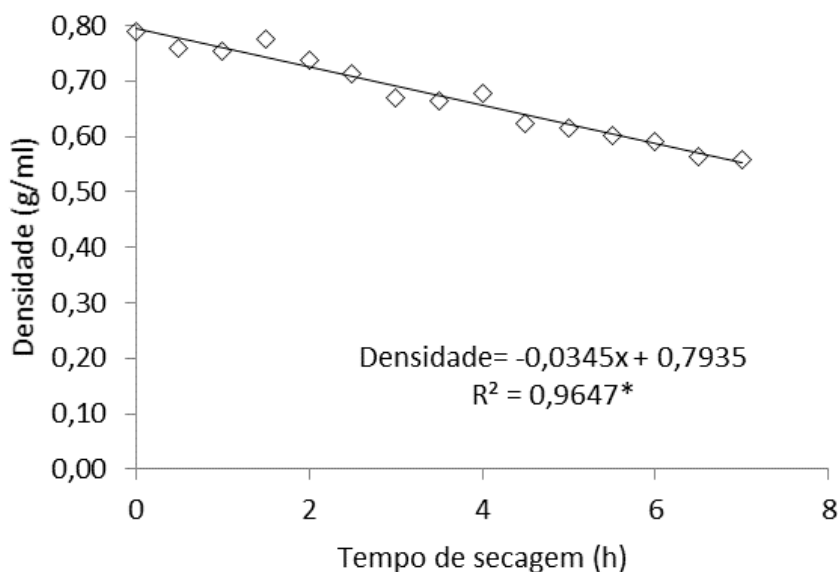


Figura 3. Valores de densidade calculados e estimados em função do tempo de secagem das sementes de pimenta malagueta. *Density values calculated and estimated as a function of the drying time of chili pepper seeds.*

A porosidade em relação ao teor de água, apresentou redução simultânea destas variáveis (Figura 4). A porosidade, passa de 59,4% com teor de água de 53,7% para 44,7% a um teor de água de 9,6%. Esse fenômeno explica-se em razão da conseqüente redução no volume da massa de sementes devido a perda de água que ocorre no decorrer do processo de secagem, isto é, o aumento aparente da densidade das sementes de pimenta malagueta submetidas a secagem reduziu sua porosidade, assim, há uma menor porção de espaços vazios na massa de sementes. Encontrou-se valores de porosidade da pimenta-do-reino equivalente a 51,67%, sendo esta propriedade física definida como a porcentagem de espaços vazios existente na massa de sementes (Tomé et al., 2018). A porosidade exerce grande influência sobre a pressão de um fluxo de ar que traspassa a massa de sementes, é a relação existente entre o volume ocupado pelo ar na massa de sementes e o volume total ocupado por essa massa (Silva e Corrêa, 2008).

As três dimensões das sementes de pimenta malagueta reduziram proporcionalmente, apresentando assim significância com o aumento do tempo de secagem (Figura 5). O que corrobora com o comportamento observado por Corrêa et al. (2006) trabalhando-se com a cultura do trigo. Tais dados são utilizados para o dimensionamento do tamanho e da forma dos furos das peneiras em equipamentos destinados à separação e classificação, sendo o tamanho e a forma características específicas de cada produto (Silva e Corrêa, 2008).

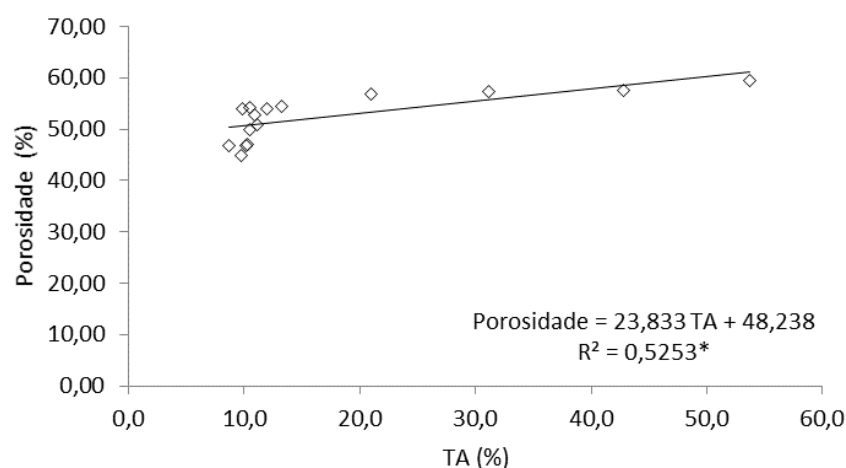


Figura 4. Valores da porosidade calculados em função do teor de água das sementes de pimenta malagueta. *Porosity values calculated according to the water content of chili pepper seeds.*

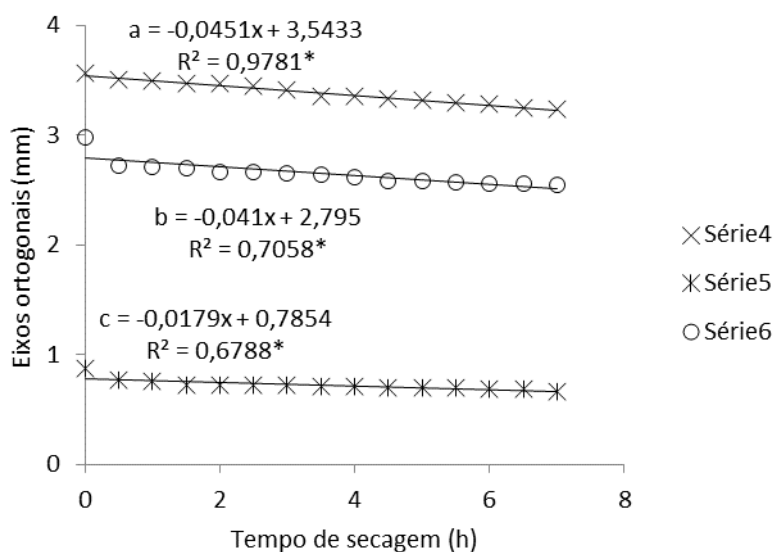


Figura 5. Dimensões dos eixos ortogonais (a, b e c) das sementes de pimenta malagueta em função do tempo de secagem. *Dimensions of orthogonal axes (a, b and c) of chili pepper seeds as a function of drying time.*

A variação dos eixos ortogonais (Figura 6), mesmo reduzindo numericamente de 84% a 78% para circularidade (Ci) e de 59% a 54% para esfericidade (Es), não apresentaram diferença significativa referente aos tempos de secagem trabalhados e temperatura de 30 °C. Alves (2015) encontrou valor de esfericidade para pimenta do reino de 97%, sendo este um fator que indica o quanto a forma de uma semente se aproxima

de uma esfera e a circularidade um fator que indica o quanto a área da semente se aproxima de um círculo (Tomé et al., 2018). Este caso aponta que as sementes de pimenta malagueta utilizadas no trabalho encontravam-se desuniformes, está também se caracterizam pelo tegumento rígido, tornando-a menos susceptível ao redimensionamento.

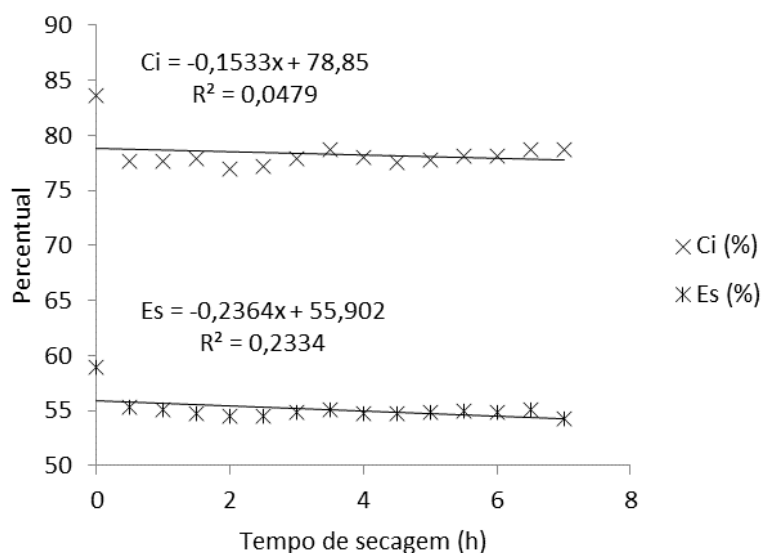


Figura 6. Dimensões dos índices de circularidade (Ci) e esfericidade (Es) das sementes de pimenta malagueta em função do tempo de secagem. *Dimensions of circularity (Ci) and sphericity (Es) indexes of chili pepper seeds as a function of drying time.*

Decorrido o tempo de cinco horas de secagem, houve então reduções quanto ao volume das sementes (Vg) de 4,86mm para 2,85 mm; quanto ao diâmetro geométrico (Dg) que reduziu de 2,1 mm para 1,7 mm e referente ao índice de contração volumétrica (Ψ), reduzindo de 1,0 para 0,58 (Figura 7). Todos os valores dimensionais demonstraram parâmetros significativos ao teste t com coeficientes de determinação acima de 0,74. As condições de secagem de Siqueira et al. (2012) não promoveram alterações significativas na redução geométrica em sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). Tal divergência entre as análises deste estudo com os resultados de Siqueira et al. (2012) pode estar relacionada à variabilidade de sementes e produtos agrícolas existentes, e também em relação ao manejo e técnicas adotados para se proceder com a secagem das sementes em estudo.

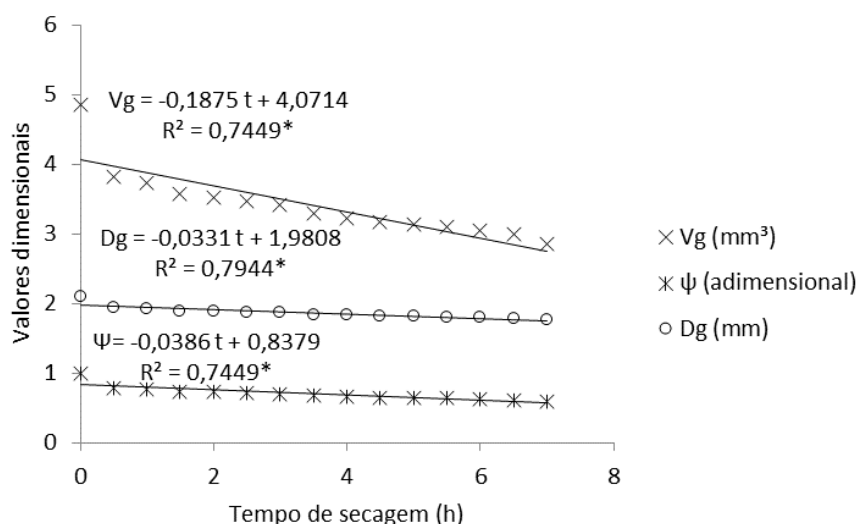


Figura 7. Dados experimentais da secagem à temperatura do ar de 30 °C, para distribuição dos valores dimensionais do volume das sementes (Vg), diâmetro geométrico (Dg) e índice de contração volumétrica (Ψ). *Experimental data of drying at 30 °C air temperature, for distribution of dimensional values of seed volume (Vg), geometric diameter (Dg) and volumetric contraction index (Ψ).*

Quanto aos critérios estatísticos de ajuste dos valores de contração volumétrica aos modelos matemáticos, o modelo Linear apresentou os melhores critérios de ajuste com coeficiente de determinação (R^2) a 0,71, e obteve valores comprobatórios mais próximos a zero quando comparados aos demais modelos tanto para os erros médios relativo (P) e estimado (SE) quanto para o valor de qui-quadrado (X^2), parâmetros significativos a 5% de probabilidade (Tabela 2). Bala e Woods Modificado obtiveram elevado R^2 , porém resultado não significativo ao parâmetro de segunda ordem. Dentre estes, o modelo de Corrêa e o modelo Exponencial apresentaram números mais elevados de P, SE e X^2 . Os menores valores para P e SE são expressos pelo modelo Polinomial que em consequente aponta um R^2 bem distante da magnitude. De acordo com os modelos analisados, o erro médio estimado (SE), que descreve o valor do desvio padrão para a estimativa, apresentou pouca variação.

Siqueira et al. (2012), também trabalhando com o fenômeno de contração volumétrica em sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), obteve o modelo Polinomial com condições mais adequadas de secagem e distribuição residual aleatória. Nos estudos decorrentes de produtos agrícolas observa-se que o modelo Linear se ajusta satisfatoriamente aos dados experimentais de contração volumétrica, para apresentação dos resultados estimados de contração volumétrica da massa de grãos de soja, optou-se por

este modelo devido a sua simplicidade e por apresentar coeficiente de determinação de 0,99 (Ribeiro et al., 2005).

Tabela 2 - Modelos de contração volumétrica das amostras de sementes de pimenta malagueta com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), erros médios relativo (P) e estimado (SE), teste qui-quadrado (X^2) e parâmetros dependentes dos produtos (a_1), (a_2), (a_3). *Volumetric contraction models of Chili Pepper seed samples with their respective determination coefficients (R^2), relative (P) and estimated (SE) mean errors, and chi-square test (X^2) and product-dependent parameters (a_1), (a_2), (a_3).*

Modelo	R^2	a_1	a_2	a_3	P	SE	X^2
Corrêa	0,63	4,02*	-1,79*	-	39,41	1,98	3,92
Exponencial	0,68	0,40*	1,76*	-	36,35	1,83	3,36
Linear	0,71	0,34*	1,25*	-	33,80	1,74	3,03
Polinomial	0,29	0,20 ^{ns}	2,72 ^{ns}	-2,53 ^{ns}	29,62	1,64	2,69
Bala e Woods Modificado	0,71	738,02*	0,00 ^{ns}	-	33,88	1,74	3,03

* Significativo e ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. * *Significant and* ^{ns} *not significant at 5% probability by t test.*

Conclusões

O processo de secagem afeta as propriedades físicas de sementes de pimenta malagueta. A taxa de redução de água reduz gradativamente, juntamente com a água da semente, entrando em equilíbrio com a temperatura do ar que a envolve. A densidade demonstra que a massa e o volume das sementes dessa cultura reduzem no processo de secagem. Assim como a porosidade, que reduz com a redução de seu teor de água.

O modelo Linear foi o mais adequado para representar a contração volumétrica das sementes de pimenta malagueta.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi apoiada pelo Instituto Federal Goiano (Campus Ceres), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Dedica-se este trabalho à memória do Engenheiro Agrônomo Gabriel Pamphilly Lima Rezende, em reconhecimento à sua fundamental contribuição e inspiração.

Referências

- ABUD HF, Araujo EF, Araujo RF, Araujo AV, Pinto CMF (2013) Qualidade fisiológica de sementes das pimentas malagueta e biquinho durante a ontogênese. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.48, p.1546-1554. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013001200003>
- ALDANA IJG, Sauri MHML, Castro CLA, Cuevas LF, Vásques FA (2015) Nitrate promotes capsaicin accumulation in *Capsicum chinense* immobilized placentas. *BioMed Research International*. p. 101-106. <https://doi.org/10.1155/2015/794084>
- ALVES DAS (2015) Secagem de Pimenta-do-Reino Preta (*Piper nigrum* L.) em Secador de Leito Fixo. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos. 91p. <https://doi.org/10.5151/ENEMP2015-SE-398>
- BEWLEY JD, Bradford KJ, Hilhorst HWM, Nonogaki H (2013) *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*, 3 ed. New York: Springer. 392p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4>
- Brasil (2009) Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Regras para análise de sementes / Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Brasília, MAPA/ACS. 399p.
- CAIXETA F, Von Pinho ÉVR, Guimarães RM, Pereira PHAR, Catão HCRM (2014) Physiological and biochemical alterations during germination and storage of habanero pepper seeds. *African Journal of Agricultural Research*, v.9, p.627-635. <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.7133>
- CARVALHO NM, NAKAGAWA J (2012) *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. Jaboticabal: Funep. 590p.
- CORRÊA PC, MACHADO PF, ANDRADE ET (2001) Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho-pipoca. *Ciência e Agrotecnologia*, 25(1):134-142.
- CORRÊA PC, RIBEIRO DM, RESENDE O, BOTELHO FM (2006) Determinação e modelagem das propriedades físicas e da contração volumétrica do trigo, durante a secagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(3), Campina Grande. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000300019>
- DAGNOKO S, DIARISSO NY, SANAGO PN, Adetula O, Nantoumé AD, Touré KG, BA DD (2013) Overview of pepper (*Capsicum* spp.) breeding in West Africa. *African Journal of Agricultural Research*, v.8, p.1108-1114. <https://doi.org/10.5897/AJAR2012.1758>
- JANGAM SV, LAW CL, MUJUMDAR (2010) *Drying of foods, vegetables and fruits*. Singapore: National University of Singapore, 1. ed., 232p.
- MELO AMT, NASCIMENTO WM, FREITAS RA (2014) Produção de sementes de pimenta. In: Nascimento WM. *Produção de sementes de hortaliças*, Embrapa, v.2, Brasília. p.169-197.

MOHAPATRA D, Rao PS (2005) A thin layer drying model of parboiled wheat. Journal of Food Engineering, 66(4):513-518. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.04.023>

MOHSENIN NN (1986) Propriedades físicas de materiais vegetais e animais. Nova York: Gordon and Breach Publishers.

PESKE ST, VILLELA F (2003) Secagem de sementes. In: Peske ST, Rosenthal M, Rota GRM. Sementes: Fundamentos científicos e tecnológicos, Editora e Gráfica Universitária (UFPel), Pelotas. p.283-322.

RAMOS IN, BRANDÃO TRS, SILVA CLM (2005) Integrated approach on solar drying, pilot convective drying and microstructural changes. Journal of Food Engineering, 67(1):195-203. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.069>

RATTI C (1994) Shrinkage during drying of foodstuffs. Journal of Food Engineering, London, 23(1):1-105. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(94\)90125-2](https://doi.org/10.1016/0260-8774(94)90125-2)

RAVINDRAN PN, et al. (2000) Indian J. Arecanut Spices and Medicinal Plants, v.2, p.71-78.

REBOUÇAS TNH, VALVERDE RMV, TEIXEIRA HL (2013) Bromatologia da pimenta malagueta in natura e processada em conserva. Horticultura Brasileira, v.31, p.163-165. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362013000100026>

RIBEIRO CSC, et al. (2008) Pimentas Capsicum. Embrapa Hortaliças, Brasília, 21. Ed., 200p.

RIBEIRO DM, CORRÊA PC, RODRIGUES DH, GONELI ALD (2005) Análise da variação das propriedades físicas dos grãos de soja durante o processo de secagem. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 25(3): 611-617. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612005000300035>

RICCI N, PACHECO AC, CONDE AS, CUSTÓDIO CC (2013) Qualidade de sementes de pimenta jalapenho em função da maturação e tempo de permanência nos frutos. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.43, p.123-129. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000200008>

RODOVALHO RS, SILVA HW, SILVA IL, ROSSETTO CAV (2015) Cinética de secagem dos grãos de pimenta bode. Global Science and Technology, v.8, p.128-142. <https://doi.org/10.14688/1984-3801/gst.v8n2p128-142>

SEGNOU J, AKOA A, YOUNBI E (2012) Viabilité et développement végétatif des plantules de piment (Capsicum annum L.) suivant différents matériels de conditionnement des semences. Tropicultura, v.30, p.15-23.

SILVA JS, CORRÊA PC (2008) Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. Aprenda Fácil, Viçosa, cap.2, p.21-37.

SIQUEIRA VC, RESENDE O, CHAVES TH (2012) Determination of the volumetric shrinkage in jatropha seeds during drying. Acta Scientiarum. Agronomy, 34(3): 231-238. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v34i3.14402>

SOKHANSANJ S. LANG W (1996) Prediction of kernel and bulk volume of wheat and canola during adsorption and desorption. Journal Agricultural Engineering Research, New York, 63(2):129-136. <https://doi.org/10.1006/jaer.1996.0015>

TOMÉ TCH, CAVALCANTE HSA, BONOU SI, SILVA ARP, LINS ADF (2018) Determinação das propriedades físicas da pimenta-do-reino. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia - CONTECC, Maceió - AL.