



Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem

Willian D. Araujo¹, André L. D. Goneli², Cristiano M. A. de Souza³,
Alexandre A. Gonçalves⁴ & Henrique C. B. Vilhasanti⁵

¹ FCA/UFMG. Dourados, MS. E-mail: williandiasaraujo@hotmail.com

² FCA/UFMG. Dourados, MS. E-mail: andregoneli@ufgd.edu.br (Autor correspondente)

³ FCA/UFMG. Dourados, MS. E-mail: csouza@ufgd.edu.br

⁴ FCA/UFMG. Dourados, MS. E-mail: alexandre_alvesg@hotmail.com

⁵ FCA/UFMG. Dourados, MS. E-mail: herrique_vilhasanti716@hotmail.com

Palavras-chave:

Arachis hypogaea L.
massa específica aparente
porosidade
teor de água
esfericidade

RESUMO

Objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar o efeito da secagem sobre as características físicas dos grãos de amendoim. Foram utilizados grãos de amendoim com teor inicial de água de aproximadamente 0,56 decimal (base seca) e submetidos à secagem com temperatura de 40 °C. Foram determinadas as propriedades físicas: massa específica aparente, massa específica unitária, porosidade intergranular, massa de mil grãos, esfericidade, circularidade, área projetada, área superficial e a relação superfície/volume. Com base nos resultados obtidos conclui-se que a redução do teor de água proporciona redução em todas as propriedades físicas dos grãos de amendoim com exceção da porosidade e da relação superfície/volume que tiveram seus valores aumentados com a redução do teor de água. A esfericidade dos grãos de amendoim reduz durante o processo de secagem enquanto que a circularidade não apresenta tendência definida em seus valores com a redução do teor de água.

Key words:

Arachis hypogaea L.
bulk density
porosity
moisture content
sphericity

Physical properties of peanut kernels during drying

ABSTRACT

The present study was accomplished with objective of evaluating the effect of drying on physical properties of peanut kernels. Kernels with initial moisture content of 0.56 decimal (dry weight basis) were dried at a temperature of 40 °C. Physical properties - bulk density, true density, intergranular porosity, thousand grain weight, sphericity, circularity, projected area, surface area and surface/volume ratio were determined. Based on these results, it is concluded that reducing the moisture content promotes reduction in all the physical properties of peanut kernels, except porosity and surface/volume ratio that have their values increased with the reduction of moisture content. The peanut kernels sphericity decreases during the drying process, while the circularity shows no definite trend in the values.

INTRODUÇÃO

O amendoim é uma oleaginosa que pode ganhar ainda mais espaço no cenário econômico brasileiro devido à crescente busca por novas fontes alternativas de combustíveis. Os óleos provenientes de produtos vegetais surgem como alternativa para substituição aos tradicionais combustíveis originados do petróleo (Ferrari et al., 2005), com a possibilidade de utilizar o óleo do amendoim como matéria-prima na produção de biodiesel fato este passível de proporcionar um elevado potencial produtivo na região Centro Oeste, ou seja, um dos principais polos produtivos do Brasil.

Em média, o amendoim é constituído por aproximadamente 70% de grãos ou sementes e 30% de casca além de ser importante fonte de alimento, seja como óleo ou utilizado diretamente para consumo humano. Existem diversas espécies de amendoim porém apenas representantes da *Arachis hypogaea* L. foram domesticadas e amplamente cultivadas.

Em virtude de ser necessária a expansão de novas áreas de plantio e com a adesão de um número maior de produtores pertencentes ao programa de agricultura familiar no estado do Mato Grosso do Sul, torna-se indispensável a procura por maiores informações sobre o comportamento da cultura do amendoim nessa região, com foco principal nos processos de operação pós-colheita.

Para a produção de produtos agrícolas sadios e de qualidade elevada é preferível que o produto seja colhido antecipadamente quando ainda apresenta elevado teor de água, visando minimizar as perdas ocasionadas no campo pelo ataque de insetos e microrganismos; assim, a secagem, por sua vez, é o processo mais utilizado para assegurar a qualidade e a estabilidade dos grãos considerando-se que a redução da quantidade de água do material reduz a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento.

A redução do teor de água é um dos fatores essenciais que influenciam na variação das propriedades físicas dos materiais

vegetais durante a secagem (Resende et al., 2005). Admitindo a particularidade de que cada produto, não só em relação às suas características físicas mas também por sua composição química, torna seu comportamento único durante o processo de dessecamento; logo, informações a respeito desta singularidade são de suma importância para auxiliar no processamento pós-colheita além de fornecer um conjunto de dados aos engenheiros e projetistas, que servirão de base na elaboração de máquinas, estruturas, processos de controle e proporcionar melhor eficiência de um equipamento ou operação.

A caracterização física necessita de critérios definidos levando em consideração a variabilidade existente que, no caso do amendoim, ocorre com uma série de caracteres, além do mais, os frutos de amendoim possuem dimensões bem distintas em comparação aos seus grãos. Seguindo este contexto, o conhecimento sobre as propriedades físicas do amendoim apresentadas durante a secagem, é de fundamental importância para o manejo correto desta cultura após a colheita a fim de minimizar os custos de produção para maior competitividade e manutenção da qualidade do produto. Informações como: tamanho, volume, porosidade e massa específica, entre outras, são ferramentas imprescindíveis no estudo envolvendo transferência de calor e massa e movimentação de ar em uma massa de grãos (Goneli et al., 2011).

O volume dos produtos é, normalmente, a característica física que mais sofre variação durante a secagem proporcionando, muitas vezes, redução no seu tamanho ou até mesmo na sua forma geométrica; são essas características que, na verdade, determinam o tamanho e a forma dos furos das peneiras utilizadas no beneficiamento dos produtos agrícolas após a colheita. De acordo com Mayor & Sereno (2004), a redução do teor de água do produto pode causar danos em suas estruturas celulares tanto quanto variações na forma e redução em suas demissões.

A porosidade intergranular pode ser entendida como a porcentagem do volume total ocupada pelo ar em uma massa de produto; este percentual de espaços “vazios” depende do tamanho e da forma do material tal como das características de sua superfície. Uma massa de produto com superfície rugosa tende a apresentar mais espaços vazios do que uma massa de grãos com superfície lisa. Mata & Duarte (2002), admitem que o conhecimento da porosidade de uma massa de grãos é uma ferramenta sumamente importante no dimensionamento de silos, containeres, caixas, embalagens e unidades transportadoras, além de estar contida dentro dos estudos da transferência de calor e massa, nos processos hidrodinâmicos, aerodinâmicos e termoeletrônicos.

Outra característica física de grande relevância é a massa específica aparente e a massa específica unitária dos produtos agrícolas. As informações fornecidas por esta propriedade física são capazes de auxiliar no dimensionamento de silos, cálculo de transportadores, separadores e classificadores de grãos e sementes. Diversos são os fatores que afetam a massa específica dos materiais vegetais, dentre os principais se encontram o

teor de água, a forma e a superfície dos produtos. Por outro lado, o que também pode afetar a massa específica aparente e unitária é o fato de alguns produtos agrícolas, como o fruto de amendoim, apresentarem grãos no seu interior. Sirisomboon et al. (2007), apresentaram as propriedades físicas, área superficial, área projetada, volume, circularidade e esfericidade dos frutos, nozes e sementes, como indispensáveis no dimensionamento de máquinas e equipamentos capazes de realizar o processo de descasque. Esta informação também pode ser utilizada para determinar o limite inferior do tamanho dos transportadores, como esteira, elevador de caneca e transportador helicoidal.

Visto que a secagem é uma das etapas mais relevantes durante a fase pós-colheita de produtos agrícolas, torna-se imprescindível o conhecimento do comportamento das propriedades físicas dos grãos e frutos de amendoim. Neste sentido, inúmeros autores têm investigado as variações das propriedades físicas em função do teor de água e de outros fatores durante a secagem, para diversos produtos (Corrêa et al., 2006; Razavi et al., 2007; Milani et al., 2007; Kibar & Öztürk, 2008; Tavakoli et al., 2009; Lanaro et al., 2011; Bande et al., 2012)

Com base na importância do processo de secagem e da necessidade de informações para o desenvolvimento de equipamentos utilizados no processamento da cultura do amendoim, realizou-se este trabalho com o objetivo de determinar o efeito do teor de água sobre as principais propriedades físicas dos grãos de amendoim, como: massa específica aparente e unitária, porosidade, massa de mil grãos, forma, área projetada, área superficial, relação área superficial/massa e a relação superfície/volume.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Propriedades Físicas de Produtos Agrícolas da Faculdade de Ciências Agrárias, pertencente à Universidade Federal da Grande Dourados, localizada no município de Dourados, MS.

Foram utilizados grãos e frutos de amendoim da cultivar IAC 505, do grupo vegetativo e comercial Runner. Os frutos de amendoim foram colhidos manualmente para evitar qualquer tipo de influência no produto. Após a colheita houve uma seleção dos frutos quando então se procurou retirar todos aqueles defeituosos no intuito de evitar qualquer tipo de influência indesejável que pudesse atrapalhar ou interferir nos resultados da pesquisa. Posteriormente os grãos foram retirados manualmente dos frutos seguindo o mesmo critério de seleção. De início, os grãos de amendoim apresentaram teor de água de aproximadamente 0,56 decimal (base seca).

Os grãos de amendoim foram secados em uma estufa com ventilação forçada, a uma temperatura de 40 ± 1 °C. A redução do teor de água foi acompanhada com auxílio de uma balança com resolução de 0,01 g, pelo método gravimétrico ou perda de massa (conhecendo-se o teor de água inicial do produto), até os grãos atingirem o teor de água final de aproximadamente 0,04 decimal (base seca). Os teores de água do produto foram

determinados pelo método gravimétrico em estufa, a 105 ± 1 °C, durante 24 h, em duas repetições (Brasil, 2009). Devido às particularidades de determinação nem todas as propriedades determinadas foram avaliadas para os mesmos teores de água estando, porém, sempre dentro da faixa de 0,56 a 0,04 decimal (base seca), com variação de mais ou menos 0,01 decimal base seca em todos os casos.

A massa específica aparente (ρ_{ap}) foi determinada para os grãos de amendoim utilizando-se um recipiente em PVC, de formato cilíndrico com relação altura/diâmetro de 1:1, sendo o volume do recipiente de 1 L. A cada período de amostragem determinado em função da perda de massa durante a secagem (método gravimétrico), o produto foi acondicionado no recipiente, e só então se pôde realizar as leituras do volume; logo após o recipiente contendo os grãos, foi pesado em uma balança com resolução de 0,01 g.

Para a determinação da massa específica real ou unitária 10 grãos foram escolhidos ao acaso e secados individualmente, sendo realizadas leituras periódicas durante a secagem. Com auxílio de um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm foram realizadas medidas nas dimensões características do produto como: comprimento (a), largura (b) e espessura (c), ilustrado na Figura 1.

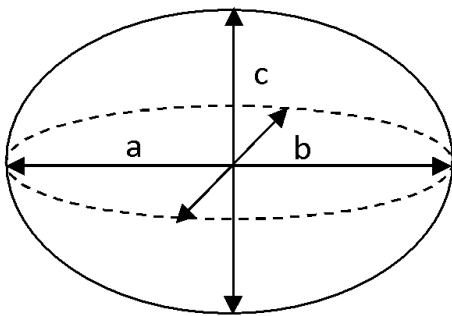


Figura 1. Desenho esquemático dos grãos de amendoim considerados esferoide triaxiais, com suas dimensões características

A determinação do volume (V_g), para cada teor de água dos grãos de amendoim, foi baseada na equação proposta por Mohsenin (1986), mostrada a seguir:

$$V_g = \frac{\pi(abc)}{6} \quad (1)$$

em que:

- V_g - volume, mm^3
- a - comprimento, mm
- b - largura, mm
- c - espessura, mm

A equação proposta por Mohsenin (1986) visando à determinação do volume dos grãos (Eq. 1), foi a utilizada neste trabalho para o amendoim após testes preliminares com 200 grãos sendo esta também utilizada para grãos de amendoim, por Davies (2009). Jain & Bal (1997), propuseram uma nova

fórmula para determinação do volume de produtos agrícolas considerando “cono-esférica” a forma geométrica do produto que desde então vem sendo usada por muitos pesquisadores nos mais diferentes produtos inclusive o próprio amendoim (Balasubramanian et al., 2011; Payman et al., 2011). Porém, esta última metodologia retornava valores consideravelmente diferentes do volume real dos grãos determinados com tolueno nos testes preliminares realizados optando-se assim pela Eq. 1, na qual os valores calculados se aproximavam dos reais.

Após a determinação do volume os grãos de amendoim foram pesados utilizando-se uma balança com resolução de 0,001 g; a massa específica unitária foi determinada pela Eq. 2:

$$\rho_u = \frac{m_g}{V_g} \quad (2)$$

em que:

- ρ_u - massa específica unitária, kg m^{-3}
- m_g - massa de um grão de amendoim, g

A porosidade da massa dos grãos de amendoim foi determinada pela seguinte relação:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_u} \quad (3)$$

em que:

- ε - porosidade, %
- ρ_{ap} - massa específica aparente, kg m^{-3}

A massa de 1000 grãos de amendoim foi determinada de acordo com a Regra para Análise de Sementes, a partir da escolha aleatória de 100 grãos de amendoim para cada teor de água ao longo da secagem. Utilizando uma balança com resolução de 0,01 g, em oito repetições, realizou-se a pesagem da massa do produto cujos resultados foram ajustados para 1000 (Brasil, 2009).

A forma dos grãos de amendoim foi caracterizada pela esfericidade e circularidade. A esfericidade (E_s) foi calculada utilizando-se a expressão a seguir, proposta por Mohsenin (1986):

$$E_s = \left[\frac{(abc)^{1/3}}{a} \right] 100 \quad (4)$$

em que:

- E_s - esfericidade, %

A circularidade do produto foi determinada pela seguinte expressão (Mohsenin, 1986):

$$Cr = \left(\frac{b}{a} \right) 100 \quad (5)$$

em que:

Cr - circularidade, %

A área projetada (A_p), em mm^2 , dos grãos de amendoim foi determinada pela seguinte expressão:

$$A_p = \frac{\pi ab}{4} \quad (6)$$

em que:

A_p - área projetada, mm^2

A área superficial (S), em mm^2 , dos grãos de amendoim foi calculada pelo modelo de Mohsenin (1986), realizando-se ajustes nas dimensões características do produto, com auxílio da seguinte expressão:

$$S = \frac{\pi B^2}{2} + \frac{\pi aB}{2E} \text{sen}^{-1} E \quad (7)$$

em que:

$$B = (bc)^{1/2} \quad (8)$$

$$E = \sqrt{1 - \left(\frac{B}{a}\right)^2} \quad (9)$$

em que:

S - área superficial, mm^2

B - média geométrica entre o comprimento e a largura do grão, mm^2

E - excentricidade

Outra maneira de se calcular a área superficial dos grãos de amendoim foi através do uso da equação da superfície da esfera levando-se em consideração, a partir de então, o diâmetro da esfera equivalente ao produto (D_g), equação esta também utilizada por Tunde-Akintunde & Akintunde (2004).

$$S = \pi (D_g)^2 \quad (10)$$

em que:

$$D_g = (abc)^{1/3} \quad (11)$$

A relação entre a área superficial (S) e a massa dos grãos de amendoim foi determinada segundo a equação (Mohsenin, 1986):

$$S = \xi w^d \quad (12)$$

em que:

S - área superficial, mm^2

ξ e d - constantes da relação, adimensionais

D_g - diâmetro geométrico, mm

w - massa, g

A relação superfície/volume (SV) dos grãos de amendoim foi calculada por meio da expressão seguinte:

$$SV = \frac{S}{V_g} \quad (13)$$

Os dados experimentais referentes às propriedades físicas dos grãos de amendoim foram submetidos à análise de regressão linear. Para o ajuste dos modelos de regressão utilizou-se o programa computacional Statistica 7.0 (Statsoft, Inc., 2007). O nível de significância da regressão, juntamente com os valores do coeficiente de determinação (R^2), pelo teste t, serviu de parâmetros para seleção do modelo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 são apresentados os valores experimentais e estimados da massa específica aparente, massa específica unitária, porosidade e massa de mil grãos de amendoim, para diferentes teores de água durante a secagem.

Constata-se, de acordo com a Figura 2, redução nos valores da massa específica aparente dos grãos de amendoim com a redução do teor de água durante a secagem. Este comportamento contraria a maioria dos produtos agrícolas ao se observar aumento dos valores da massa específica aparente em função da redução do teor de água (Tavakoli et al., 2009; Kibar & Öztürk, 2008; Garnayak et al., 2008; Corrêa et al., 2006; Karababa, 2006). Payman et al. (2011), Firouzi et al. (2009) e Benedetti & Jorge (1987), todos trabalhando com grãos de amendoim também encontraram que a redução no teor de água promoveu aumento nos valores de massa específica aparente.

É provável que a redução da massa específica aparente com a redução do teor de água devido a secagem observada neste trabalho, esteja associada à maior contração na parte interna dos cotilédones observada na variedade avaliada (cultivar IAC 505, do grupo vegetativo e comercial Runner), em relação às suas dimensões externas que contraem em menor proporção formando espaços vazios no interior do grão, verificados ao se retirar a película que envolve o grão. Com isto ocorre menor redução do volume do produto em relação à maior perda de massa (água) durante a secagem permitindo a redução dos valores da massa específica aparente dos grãos de amendoim. Bande et al. (2012) também encontraram, pesquisando sementes de melão, Goneli et al. (2008) trabalhando com mamona e Razavi et al. (2007) trabalhando com pistache, resultados semelhantes aos observados no presente estudo. Os valores da massa específica aparente dos grãos de amendoim (Figura 2A), variaram de 598 a 544 kg m^{-3} , para uma faixa de teor de água de 0,56 a 0,04 decimal (base seca), respectivamente, valores que puderam ser satisfatoriamente representados por um modelo de regressão linear.

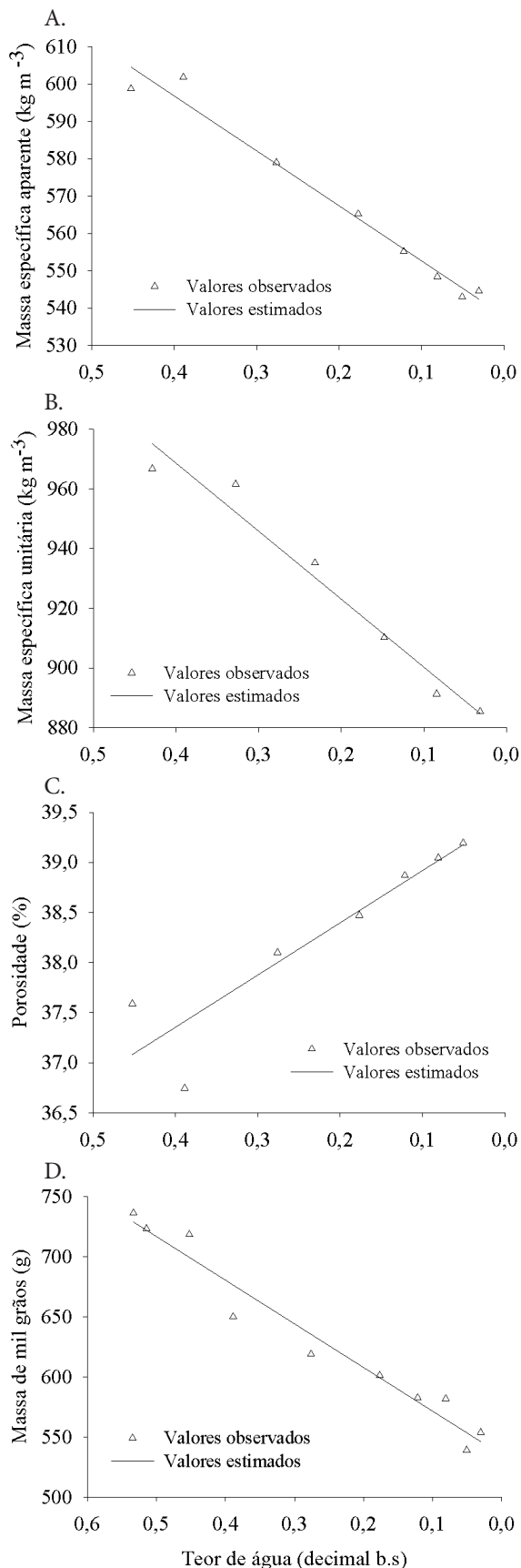


Figura 2. Valores experimentais e estimados da massa específica aparente (A), massa específica unitária (B), porosidade (C) e massa de mil grãos (D) de amendoim em função do teor de água

Observa-se, na Figura 2B, que o decréscimo dos valores da massa específica unitária dos grãos de amendoim é proporcional à redução do teor de água do produto, provavelmente devido ao efeito combinado entre a deformação do grão e a presença de espaços vazios no seu interior, ao mesmo tempo em que ocorre redução da massa. Referidos valores mostram que a redução do volume dos grãos de amendoim não acompanha a perda de massa em forma de vapor de água durante o período de secagem. Esses resultados também foram observados por outros autores trabalhando com grãos de amendoim (Firouzi et al., 2009; Payman et al., 2011), assim como Garnayak et al. (2008), quando trabalhavam com sementes de pinhão-mansão, Razavi et al. (2007) pesquisando grãos de pistache e Milani et al. (2007) trabalhando com sementes de cucurbitáceas.

Ainda na Figura 2 se observa que a massa específica unitária dos grãos de amendoim apresenta variações em seus valores na ordem de 966 a 885 kg m^{-3} , para a faixa de teor de água de $0,56$ a $0,04$ decimal (base seca), respectivamente. Na mesma figura também é possível verificar que a redução dos valores da massa específica unitária dos grãos de amendoim pode ser satisfatoriamente representada por um modelo de regressão linear simples (Tabela 2).

Os valores da porosidade da massa de grãos de amendoim crescem com a redução do teor de água do produto (Figura 2C). A determinação da porcentagem dos espaços vazios da massa de grãos de amendoim foi de forma indireta, levando em conta os valores da massa específica aparente e massa específica unitária sendo que, como já discutido, a formação de espaços vazios no interior dos grãos de amendoim pode ter contribuído para tal tendência observada neste trabalho. O comportamento da curva da porosidade dos grãos de amendoim assemelhou-se àqueles encontrados para as sementes de melão (Bande et al., 2012), pistache (Razavi et al., 2007) e sementes de soja (Kibar & Öztürk, 2008), diferindo do trabalho realizado por Payman et al. (2011), também trabalhando com grãos de amendoim e para a maioria dos produtos agrícolas, onde há redução da porosidade com a redução do teor de água (Karababa, 2006; Corrêa et al., 2006; Garnayak et al., 2008; Lanaro et al., 2011). A porosidade da massa dos grãos de amendoim variou de $37,6$ a $39,2\%$, numa faixa de teor de água de $0,56$ a $0,04$ decimal (base seca), respectivamente. O modelo de regressão linear representa satisfatoriamente os valores experimentais (Tabela 2).

Com relação à massa de mil grãos observa-se, na Figura 2D, que a redução do teor de água acarretou na redução da massa dos grãos de amendoim. Durante a secagem ocorre remoção de água em virtude da diferença de pressão parcial de vapor entre o produto a ser secado e do ar que o envolvia; este processo influencia diretamente na redução da massa dos grãos. Além disto, é possível também observar, na Figura 2D, que a redução da massa de mil grãos de amendoim durante a secagem pôde ser representada adequadamente por um modelo de regressão linear concordando com os resultados obtidos por outros pesquisadores que observaram comportamento semelhante para diversos produtos agrícolas (Aydin, 2007; Goneli et al., 2008; Lanaro et al., 2011; Bande et al., 2012). É possível verificar, ainda

na Figura 2D, que a massa dos grãos de amendoim variou de 736 a 553 g, em uma faixa de teor de água de 0,56 a 0,04 decimal b.s., respectivamente.

Na Tabela 1 são apresentados os valores das dimensões características (a, b, c), o diâmetro geométrico médio (D_g), os índices de contração das dimensões características (a/a_0 , b/b_0 e c/c_0), o volume (V), a circularidade (Cr) e a esfericidade (E) dos grãos de amendoim em função do teor de água decimal (base seca).

De acordo com a Tabela 1, verifica-se redução nos valores das dimensões características dos grãos de amendoim (comprimento, largura e espessura), assim como nos valores do diâmetro geométrico médio, com a redução do teor de água. Nota-se que, como a maioria dos materiais vegetais, o volume dos grãos de amendoim também tem seus valores reduzidos junto à redução do teor de água do produto. Esses resultados são condizentes com os encontrados por Bande et al. (2012) trabalhando com sementes de melão; Goneli et al. (2011), sementes de mamona; e Razavi et al. (2007), grãos de pistache.

No que diz respeito ao índice de contração das dimensões dos grãos de amendoim (Tabela 1), pode-se observar que no local onde há a junção dos cotilédones (espessura) ocorre uma contração mais acentuada do produto devido à secagem, este fenômeno proporcionou o encolhendo de 16% nesta dimensão enquanto o comprimento dos grãos de amendoim reduziu 8% e a largura 7%, para a mesma faixa de teor de água. Como a maioria dos produtos agrícolas, os grãos de amendoim possuem encolhimento ligeiramente desuniforme em suas dimensões características durante o processo de secagem. Goneli et al. (2011) também observaram, pesquisando sementes de mamona, resultados semelhantes, da mesma forma que

Resende et al. (2005), trabalhando com grãos de feijão. As informações adquiridas neste trabalho servirão de base para o desenvolvimento de projetos destinados à pós-colheita.

Observa-se, na Tabela 1, que a circularidade dos grãos de amendoim praticamente não sofreu alterações em seus valores com a redução do teor de água. De modo geral, este fato evidencia que a baixa redução das magnitudes do comprimento e da largura dos grãos de amendoim influenciou na porcentagem da circularidade uma vez que os valores dessas dimensões foram utilizados no cálculo da circularidade dos grãos. Corrêa et al. (2006), também constataram, trabalhando com grãos de trigo, variações reduzidas nos valores da circularidade durante a secagem, o mesmo ocorrendo no trabalho desenvolvido por Goneli et al. (2011), com frutos de mamona. Quanto à esfericidade observa-se um gradiente de redução dos seus valores com o decréscimo do teor água contrariando Guedes et al. (2011) que observaram aumento nos valores da esfericidade nos grãos de soja em função da redução do teor de água. Tanto a esfericidade como a circularidade mantiveram seus valores abaixo de 80%, evidenciando a incapacidade de classificação como esféricos e circulares, independente do teor de água que apresentem.

Na Figura 3 são encontrados os valores da área projetada, relação superfície volume e área superficial dos grãos de amendoim em função da redução do teor de água, durante a secagem.

Constata-se, na Figura 3, que os valores da área projetada dos grãos de amendoim decresceram com a redução do teor de água. Este fenômeno ocorre devido à contração volumétrica dos grãos de amendoim durante o processo de secagem, ou seja,

Tabela 1. Dimensões características (a, b, c, D_g), volume (V), índices de contração (a/a_0 , b/b_0 e c/c_0), circularidade (C) e esfericidade (E) dos grãos de amendoim em função do teor de água (base seca - b.s.)

Teor de água (b.s.)	Dimensões características (mm) *				Volume mm^3	a/a_0	b/b_0	c/c_0	Cr (%)	E
	a	b	c	D_g						
0,56	17,21	11,10	10,68	12,68	1067,92	1,00	1,00	1,00	64,49	73,71
0,43	16,74	10,77	10,22	12,26	965,19	0,97	0,97	0,96	64,35	73,24
0,33	16,48	10,57	9,93	12,00	905,06	0,96	0,95	0,93	64,15	72,85
0,23	16,29	10,48	9,66	11,81	863,15	0,95	0,94	0,90	64,32	72,52
0,15	16,16	10,36	9,39	11,63	823,50	0,94	0,93	0,88	64,12	71,97
0,08	16,03	10,36	9,10	11,47	791,08	0,93	0,93	0,85	64,62	71,60
0,03	15,87	10,29	8,97	11,36	766,66	0,92	0,93	0,84	64,82	71,54

* a - comprimento, mm; b - largura, mm; c - espessura, mm

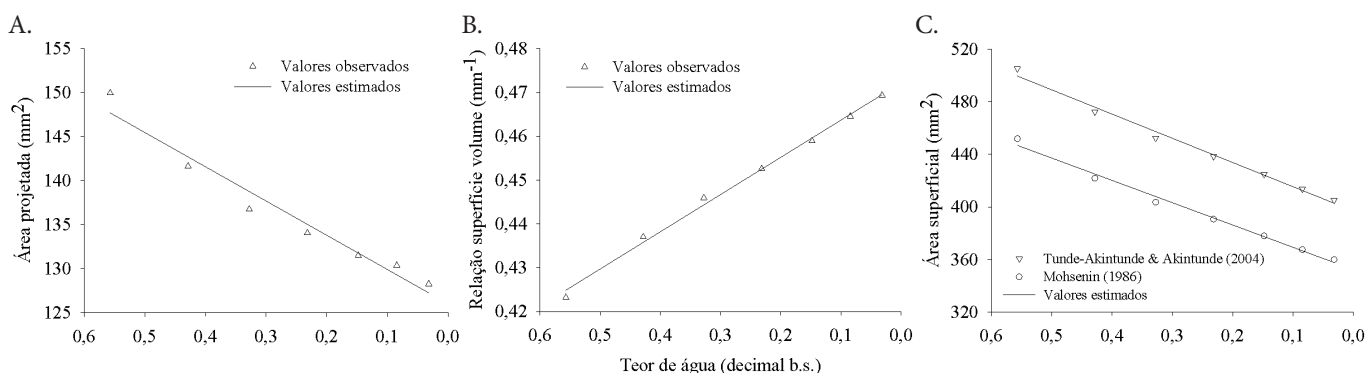


Figura 3. Valores experimentais e estimados da área projetada (A), relação superfície volume (B) e área superficial (C) dos grãos de amendoim em função do teor de água

Tabela 2. Equações ajustadas aos valores das propriedades físicas dos grãos de amendoim em função do teor de água

Variável analisada	Modelo	R ² (decimal)	F	P _{level}
Massa específica aparente	$\rho_a = 537,9484 + 147,2658 * M$	0,9765	249,7240	<0,0001
Massa específica unitária	$\rho_u = 877,4819 + 227,7023 * M$	0,9649	110,1221	<0,0005
Porosidade	$\epsilon = 39,44 + (-5,214 * M)$	0,8458	27,4247	<0,0034
Massa de mil grãos	$M_{1000} = 535,086 + 363,4788 * M$	0,9589	186,5029	<0,0001
Área projetada	$A_p = 126,0154 + 38,9016 * M$	0,9608	227,9611	<0,0001
Área superficial ¹	$S = 396,9478 + 184,2159 * M$	0,9897	478,9069	<0,0001
Área superficial ²	$S = 352,3051 + 169,7053 * M$	0,9903	509,0245	<0,0001
Relação superfície/volume	$S/V = 0,4722 + (-0,085 * M)$	0,9952	1036,3943	<0,0001
Relação superfície/massa	$S/M = (441,8476 * W^{0,5464})$	0,9825	280,1107	<0,0001

¹ Área superficial calculada pela Equação 10 (Tunde-Akintunde e Akintunde, 2004); ² Área superficial calculada pela Equação 7 (Mohsenin, 1986); *Significância a 0,01 teste t; M - Teor de água (decimal b.s.)

o processo de dessecamento colabora para redução das dimensões características do produto evidenciando o encolhimento dos grãos de amendoim. A redução da área projetada e a redução do teor de água também vêm sendo observadas por diversos pesquisadores (Aydin, 2007; Coşkuner & Karababa, 2007; Goneli et al., 2008; Guedes et al., 2011; Bande et al., 2012). Ainda na Figura 3 pode-se observar que a redução nos valores da área projetada foi satisfatoriamente representada por um modelo de regressão linear simples.

Nas condições de secagem analisadas a redução do teor de água proporcionou um aumento na relação superfície/volume dos grãos de amendoim (Figura 3), sendo que este fenômeno em estudo pode ser satisfatoriamente representado por um modelo de regressão linear simples. A relação superfície/volume dos grãos de amendoim variou aproximadamente 0,42 a 0,47 mm⁻¹, para a faixa de teor de 0,56 a 0,04 decimal (base seca), respectivamente. De acordo com Farinha (2008), se os fatores envolvidos no processo forem apenas físicos a redução do teor de água será proporcional à relação superfície/volume e se admitindo que a forma do produto seja constante, a relação superfície/volume aumenta com a redução do tamanho.

Ainda de acordo com a Figura 3, é possível observar que os valores da área superficial dos grãos de amendoim decresceram com a redução do teor de água, fenômeno este também observado por Bande et al. (2012) para sementes de melão, Kibar & Öztürk (2008), para grãos de soja e Razavi et al. (2007) para grãos de pistache. Apesar da discrepância entre os valores apresentados, em ambos os modelos ocorreu uma redução em torno de 20% na área superficial dos grãos de amendoim.

Pode-se dizer que o modelo de Mohsenin (1986) possui valores mais próximos do real no que diz respeito à área superficial dos grãos de amendoim uma vez que sua equação propõe ajustes matemáticos nas principais dimensões características do produto, quando comparada com a equação da superfície da esfera.

A relação entre a área superficial/massa dos grãos de amendoim determinada por meio de análise de regressão não linear e os valores dos seus parâmetros se encontram na Tabela 2.

A determinação da área superficial dos produtos agrícolas é um processo difícil e um tanto complexo de ser realizado em razão da maioria dos produtos agrícolas não apresentar uma uniformidade e homogeneidade. Com isto, leva-se um

tempo maior para obtenção de informação referente à área superficial, sem contar que a margem de erros se torna maior quando não há um número adequado de repetições. A partir daí a equação propõe que, com a obtenção do valor da massa do produto por meio de uma balança de pesagem simples, a mesma tem a capacidade de determinar os valores de área superficial do produto. este tipo de informação é essencial para o desenvolvimento e melhoria dos equipamentos de secagem e pode ajudar os estudos referentes à transferência de calor e massa. Goneli et al. (2008) também observaram, trabalhando com grãos de mamona, resultados semelhantes a estes, ao constatar valores elevados do coeficiente de determinação.

Na Tabela 2 são apresentados os modelos ajustados aos dados observados para todas as propriedades físicas estudadas nos grãos de amendoim em função do teor de água decimal (base seca). Os modelos se mostraram adequados quanto a estimar as propriedades físicas dos grãos de amendoim apresentando elevados valores do coeficiente de determinação (R²) e significância satisfatória dos modelos.

CONCLUSÕES

1. A redução do teor de água proporciona redução na massa específica aparente e unitária na massa de mil grãos, na área projetada e na área superficial dos grãos de amendoim durante a secagem.
2. A porosidade dos grãos de amendoim aumenta com a redução do teor de água.
3. As dimensões características dos grãos de amendoim reduzem com a redução do teor de água.
4. A esfericidade dos grãos de amendoim reduz durante o processo de secagem enquanto a circularidade não apresenta tendência definida em seus valores com a redução do teor de água.
5. A relação superfície/volume dos grãos de amendoim aumenta com a redução do teor de água durante o processo de secagem.

LITERATURA CITADA

Aydin, C. Some engineering properties of peanut and kernel. *Journal of Food Engineering*, v.79, p.810-816, 2007.

- Balasubramanian, S.; Sharma, R.; Sardana, V. Studies on some engineering properties of peanut pod and kernel. *Journal of Agricultural Engineering*, v.48, p.38-42, 2011.
- Bande, Y. M.; Adam, N. M.; Azni, Y.; Jamarei, O. Moisture-dependent physical and compression of bitter melon (*Citrullus colocynthis lanatus*) seeds. *International Journal of Agricultural Research*, v.7, p.243-254, 2012.
- Benedetti, B. C.; Jorge, J. T. Influência da variação do teor de umidade sobre os pesos específicos, aparente e real, e a porosidade de vários grãos. *Engenharia Agrícola*, v.11, p.7-16, 1987.
- Brasil, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA, 2009. 395p.
- Corrêa, P. C.; Ribeiro, D. M.; Resende, O.; Botelho, F. M. Determinação e modelagem das propriedades físicas e da contração volumétrica do trigo, durante a secagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.665-670, 2006.
- Coşkuner, Y.; Karababa, E. Physical properties of coriander seeds (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Food Engineering*, v.80, p.408-416, 2007.
- Davies, R. M. Some physical properties of groundnut grains. *Research Journal of Applied, Engineering and Technology*, v.1, p.10-13, 2009.
- Farinha, L. R. L. Características físicas na perda da matéria fresca e evolução das propriedades reológicas e cor da cenoura cv. Brasília no armazenamento. Viçosa: UFV, 2008. 111p. Dissertação Mestrado
- Ferrari, R. A.; Oliveira, V. S.; Scabio, A. Biodiesel de soja: Taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-químicas e consumo em geradores de energia. *Química Nova*, v.18, p.19-23, 2005.
- Firouzi, S.; Vishgaei, M. N. S.; Kaviani, B. Some physical properties of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) kernel cv. NC2 as a function of moisture content. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, v.6, p.675-679, 2009.
- Garnayak, D. K.; Pradhan R. C.; Naik S. N.; Bhatnagar, N. Moisture-dependent physical properties of jatropha seed (*Jatropha curcas* L.). *Industrial Crops and Products*, v.27, p.123-129, 2008.
- Goneli, A. L. D.; Corrêa, P. C.; Botelho, F. M.; Oliveira, G. H. H.; Santos, E. S. Propriedades físicas dos frutos de mamona durante a secagem. *Revista Brasileira de Armazenamento*, v.33, p.148-155, 2008.
- 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. Agronomy*, v.33, p.1-8, 2011.
- Guedes, M. A.; Mata, M. E. R. M. C.; Duarte, M. E. M.; Farias, P. A.; Nóbrega, A. M. M. C. Caracterização física de grãos de soja utilizando processamento digital de imagens. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.13, p.277-292, 2011.
- Jain, R. K.; Bal, S. Properties of pearl millet. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.66, p.85-91, 1997.
- Karababa, E. Physical properties of popcorn kernels. *Journal of Food Engineering*, v.72, p.100-107, 2006.
- Kibar, H.; Öztürk, T. Physical and mechanical properties of soybean. *International Agrophysics*, v.22, p.239-244, 2008.
- Lanaro, N. D.; Bajay, L. G.; Queiroz, V. M. P.; Pinto, R. C. S.; Leitão, I. G. A.; Lessio B. C.; Augusto, P. E. D. Determinação de propriedades físicas do feijão fradinho. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.13, p.27-35, 2011.
- Mata, M. E. R. M. C.; Duarte, M. E. M. Porosidade intergranular de produtos agrícolas. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.4, p.79-93, 2002.
- Mayor, L.; Sereno, A. M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials. *Journal of Food Engineering*, v.61, p.373-386, 2004.
- Milani E.; Seyed M.; Razavi A.; Koocheki A.; Nikzadeh V.; Vahedi N.; Moeinfarm D.; Gholamhossein A. Moisture dependent physical properties of cucurbit seeds. *International Agrophysics*, v.21, p.157-168, 2007.
- Mohsenin, N. N. Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p.
- Payman, S. H.; Ajdadi, F. R.; Bagheri, I.; Alizadeh, M. R. Effect of moisture content on some engineering properties of peanut varieties. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, v.9, p.326-331, 2011.
- Razavi, S. M. A.; Emadzadeh, B.; Rafe, A.; Amini, A. M. The physical properties of pistachio nut and kernel as a function of moisture content and variety: Part I. Geometrical properties. *Journal of Food Engineering*, v.81, p.209-217, 2007.
- 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, p.15-24, 2005.
- Sirisomboon, P.; Kitchaiya, P.; Pholpho, T.; Mahuttanyavanitch, W. Physical and mechanical properties of *Jatropha curcas* L. fruits, nuts and kernels. *Biosystems Engineering*, v.97, p.201-207, 2007.
- Statsoft, Inc. Statistica (Data Analysis Software System), Version 7, 2007.
- Tavakoli, M.; Tavakoli, H.; Rajabipour, A.; Ahmadi, H.; Gharib-Zahedi, S. M. T. Moisture-dependent physical properties of barley grains. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, v.4, p.84-91, 2009.
- Tunde-Akinntunde, T. Y.; Akintunde, B. O. Some physical properties of sesame seed. *Biosystems Engineering*, v.88, p.127-129, 2004.