

AVALIAÇÃO DO “SHRINKAGE” AO LONGO DA SECAGEM POR CONVECÇÃO DE CASTANHA (*Castanea sativa*)

E Ramalhosa¹; H Lamas²; JA Pereira³; AMMB Morais⁴

¹CIMO, Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, Apartado 1172, 5301-855 Bragança, Portugal, E-mail: elsa@ipb.pt

² Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, Apartado 1172, 5301-855 Bragança, Portugal, E-mail: a19759@alunos.ipb.pt

³CIMO, Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, Apartado 1172, 5301-855 Bragança, Portugal, E-mail: jpereira@ipb.pt

⁴CBQF, Escola Superior de Biotecnologia, Universidade Católica Portuguesa, Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 4200-072 Porto, Portugal, E-mail: abmorais@esb.ucp.pt

Resumo

Geralmente nos estudos que envolvem modelagem matemática da secagem por convecção de castanha (*Castanea sativa*), os frutos são aproximados a corpos esféricos e assume-se que a dimensão dos mesmos se mantém constante ao longo da secagem. Neste trabalho pretendeu-se encontrar um modelo que relacionasse, de forma simples e rápida, as dimensões axiais das castanhas com o diâmetro de esferas de volume equivalente e avaliar se o efeito de “shrinkage” era significativo ou não ao longo da secagem por convecção a diferentes temperaturas. Para tal, determinaram-se as dimensões axiais (a , b , c) e calcularam-se os diâmetros médios aritmético (D_a) e geométrico (D_g), a esfericidade e os diâmetros das esferas equivalentes a castanhas da variedade “Longal”, utilizadas no presente trabalho. Procedeu-se posteriormente à sua secagem por convecção a diferentes temperaturas, designadamente a 40, 50, 65, 85 e 100°C e avaliou-se o seu efeito nas dimensões dos frutos.

Verificou-se que os D_a e D_g permitiram estimar os diâmetros das esferas equivalentes, x , através de dois modelos lineares: $y=0,771x+0,730$, $r = 0,922$ e $y=0,814x+0,545$, $r = 0,916$, respectivamente. Além disso, verificou-se que um modelo do tipo: diâmetro estimado pelo modelo = $k_1a + k_2b + k_3c + k_4ab + k_5bc + k_6ac + k_7(abc)$, também permitiu relacionar de forma adequada estes diâmetros estimados com os das esferas correspondentes ($r = 0,949$) demonstrando que as castanhas podem ser consideradas corpos esféricos com diâmetros estimados a partir das dimensões axiais, as quais são fácil e rapidamente determinadas.

Em relação à secagem por convecção a diferentes temperaturas, verificou-se um comportamento linear (r entre 0,834 e 0,997) entre as três dimensões axiais das castanhas com casca, avaliadas no início e no final de cada experiência, determinando-se na maior parte dos casos declives próximos de 1,0. Estes resultados indicam que as castanhas com a casca não sofrem um efeito de “shrinkage” significativo ao longo da secagem. Após calcular a proporção do fruto interno sem casca em relação ao fruto com casca ao longo das secagens a diferentes temperaturas, verificou-se que a mesma variou entre 78,3±4,3 e 89,2±4,6 % e que, para cada temperatura, se observou uma diminuição nessa percentagem ao longo do tempo, indicando que o fruto internamente sofreu efeito de “shrinkage” significativo à medida que foi secando.

Em conclusão, este trabalho permitiu verificar que no futuro ao realizar a modelagem da secagem por convecção da castanha pode aproximar-se a mesma a esferas com diâmetros estimados a partir de D_a , D_g ou de outro modelo que seja adequado. No entanto, deve-se ter em conta a forma como a castanha se encontra, designadamente com ou sem casca, uma vez que o efeito de “shrinkage” poderá ser significativo na castanha sem casca.

1. INTRODUÇÃO

A castanha (*Castanea sativa*) é um fruto com uma elevada importância económica em Portugal, contribuindo significativamente para o equilíbrio da balança comercial portuguesa, uma vez que o nosso país é um importante exportador deste fruto. O Norte de Portugal, nomeadamente a zona de Trás-os-Montes e Beiras, é uma das que mais contribui para a

produção nacional, representando 86% do total da produção (INE, 2008). Contudo, muitas vezes os produtores de castanha enfrentam problemas quando a castanha é de pior qualidade ou de menor tamanho, as quais são geralmente rejeitadas em fresco pela indústria e consumidor final. Dessa forma, a obtenção de produtos alternativos feitos à base de castanha surgem como promissores.

A secagem por convecção de castanhas é uma das possíveis técnicas que pode ser utilizada, por exemplo, no fabrico de farinha de castanha, utilizada na confecção de novos produtos à base deste fruto. Geralmente nos estudos realizados até ao momento que envolvem a modelagem matemática de secagem por convecção de castanhas, os frutos são aproximados a esferas e assume-se que a dimensão dos mesmos se mantém constante ao longo da secagem (Guiné e Fernandes, 2006; Cletus e Carson, 2008). No entanto, estes aspectos não têm sido alvo de estudo ou discussão.

De forma a obter mais conhecimentos nessa área e a melhor esclarecer as simplificações normalmente utilizadas, neste trabalho pretendeu-se encontrar um modelo que relacionasse de forma simples e rápida as dimensões axiais das castanhas com o diâmetro equivalente de esferas e se o efeito de “*shrinkage*” era significativo ou não ao longo da secagem por convecção a diferentes temperaturas. Deste modo, o presente trabalho também pretendeu inferir da adequabilidade de usar-se algumas equações na modelagem matemática da secagem deste fruto, nas quais se assume que a dimensão se mantém constante.

2. EXPERIMENTAL

As castanhas (*Castanea sativa*) da variedade “Longal” utilizadas no presente trabalho foram adquiridas a um produtor local da região de Trás-os-Montes, Portugal, tendo sido colhidas em Novembro de 2009. Após a chegada ao laboratório, as castanhas foram observadas em pormenor e aquelas que denotavam indícios de estarem estragadas foram rejeitadas.

2.1. Avaliação das dimensões axiais das castanhas (*Castanea sativa*) da variedade “Longal”

No início das experiências procedeu-se à medição das dimensões axiais de cada fruto, tal como indicado na Figura 1, correspondendo o a ao comprimento, b à largura e c à espessura.

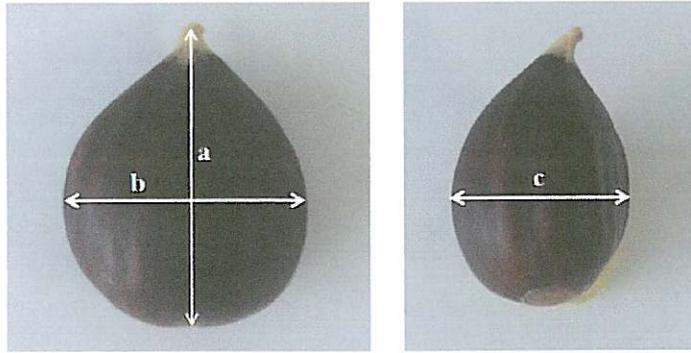


Figura 1. Dimensões axiais (a , b e c) avaliadas para cada fruto.

Utilizando os valores destas dimensões, determinaram-se os diâmetros médios aritmético (D_a) e geométrico (D_g), bem como a esfericidade (Φ), através das seguintes equações (Mohsenin, 1970; Güner, 2007; Kılıçkan e Güner, 2008):

$$D_a = \frac{a + b + c}{3} \quad (1)$$

$$D_g = \sqrt[3]{a \times b \times c} \quad (2)$$

$$\Phi = \frac{\sqrt[3]{a \times b \times c}}{b} \quad (3)$$

De seguida, as castanhas foram colocadas em caixas de Petri, contendo cada uma, cinco frutos. Posteriormente, procedeu-se aos ensaios da secagem por convecção a diferentes temperaturas (ponto 2.2).

Em paralelo a estas experiências e de forma a estimar como as dimensões axiais, o D_a e o D_g das castanhas se encontram relacionados com os diâmetros das esferas equivalentes (situação considerada quando a castanha é aproximada a um corpo esférico e utilizada na modelagem matemática deste fruto), procedeu-se ainda à avaliação das dimensões axiais em 20 castanhas provenientes do mesmo lote das anteriores. De seguida determinaram-se os seus volumes (V) por imersão em água e calcularam-se os diâmetros das esferas equivalentes ($D_{\text{esfera equivalente}}$), através da seguinte expressão:

$$D_{\text{esfera equivalente}} = 2 \times \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} \quad (4)$$

2.2. Secagem das castanhas por convecção a diferentes temperaturas

Efectuou-se a secagem por convecção das castanhas a várias temperaturas, designadamente a 40, 50, 65, 85 e 100°C, utilizando-se para isso uma estufa com convecção forçada (Binder, Germany). Ao longo do tempo, foram sendo retiradas amostras, às quais foram novamente

avaliadas as respectivas dimensões axiais, após terem arrefecido num exsiccador. Em cada retirada procedeu-se às medições dos frutos com casca e após o seu descasque.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As dimensões (a , b e c), os diâmetros médios aritmético e geométrico, e a esfericidade das castanhas (*Castanea sativa*) da variedade “Longal”, utilizadas no presente trabalho, encontram-se descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Dimensões axiais das castanhas (*Castanea sativa*) da variedade “Longal”, bem como os respectivos diâmetros médios aritmético e geométrico, e esfericidade.

T (°C)	a (cm)	b (cm)	c (cm)	D_a (cm)	D_g (cm)	Φ (%)
40	2,73 ± 0,22	3,27 ± 0,18	1,89 ± 0,29	2,63 ± 0,18	2,56 ± 0,20	78,3 ± 1,8
50	2,62 ± 0,17	3,10 ± 0,16	1,69 ± 0,22	2,47 ± 0,12	2,39 ± 0,13	77,1 ± 2,2
65	2,76 ± 0,20	3,26 ± 0,21	1,91 ± 0,27	2,64 ± 0,15	2,57 ± 0,16	79,0 ± 1,7
85	2,67 ± 0,21	3,16 ± 0,18	1,74 ± 0,24	2,53 ± 0,16	2,45 ± 0,17	77,4 ± 2,5
100	2,81 ± 0,17	3,29 ± 0,17	1,88 ± 0,29	2,66 ± 0,14	2,58 ± 0,16	78,6 ± 2,0

Estes resultados indicam que no início os frutos utilizados nas experiências da secagem eram bastante semelhantes, pois apresentavam dimensões a , b e c idênticas, variando entre 2,62±0,17 e 2,81±0,17; 3,10±0,16 e 3,29±0,17 e 1,69±0,22 e 1,91±0,27 cm, respectivamente. Estas dimensões originaram diâmetros médios aritméticos e geométricos entre 2,47±0,12 e 2,66±0,14, e entre 2,39±0,13 e 2,58±0,16 cm, respectivamente. Em relação à esfericidade, este parâmetro variou entre 77,1±2,2 e 79,0±1,7 %, indicando que as castanhas poderão ser aproximadas a esferas.

De forma a poder encontrar um modelo que relacionasse de forma simples e rápida as dimensões axiais das castanhas com o diâmetro equivalente de esferas, num lote de castanhas efectuaram-se ensaios de imersão de forma a determinar o volume dos frutos e a calcular os diâmetros das esferas equivalentes (Eq. 4). Após representar os diâmetros médios aritmético e geométrico em função dos diâmetros das esferas equivalentes, verificou-se que o D_a e o D_g permitiram estimar os $D_{esfera\ equivalente}$ através de dois modelos lineares ($r = 0,922$ e $r = 0,916$, respectivamente), como representado na Figura 2. Além disso, verificou-se que o Modelo I, $D_{estimado\ pelo\ Modelo\ I} = 0,646a + 0,506b + 3,149c - 1,422ab - 2,851bc - 3,452ac + 5,331(abc)^{0,724}$, permitiu também relacionar de forma adequada estes diâmetros com os das esferas correspondentes ($r = 0,949$).

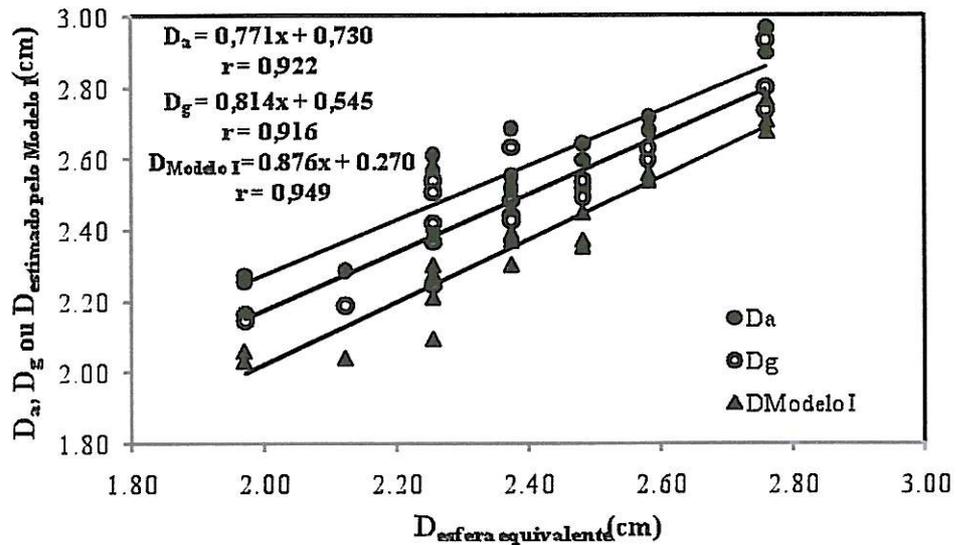
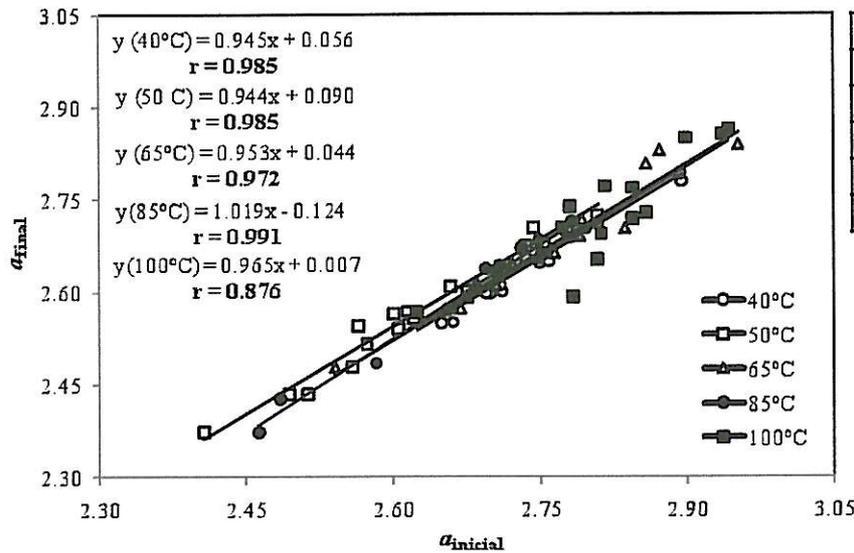


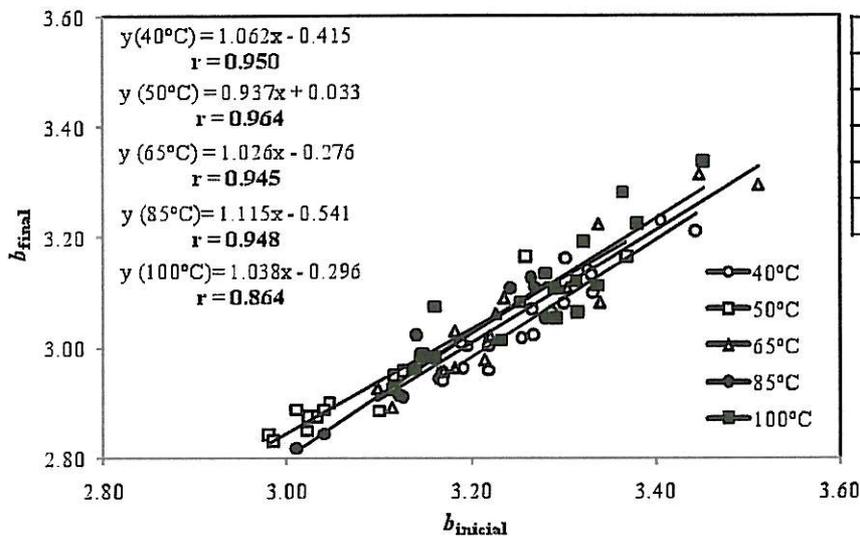
Figura 2. Relações entre o D_a , o D_g ou o $D_{\text{estimado pelo Modelo I}}$ e o diâmetro das esferas, $D_{\text{esfera equivalente}}$, assumindo as castanhas como sendo corpos esféricos.

Ao longo dos ensaios da secagem às diferentes temperaturas verificou-se sempre um comportamento linear (r entre 0,834 e 0,997) entre as três dimensões avaliadas (a , b e c) no início e no final de cada experiência para os frutos, tal como representado na Figura 3. Verificou-se ainda que os intervalos de confiança dos declives incluíram quase sempre o valor de 1,0. De facto, só duas exceções é que foram verificadas. Estas disseram respeito aos ensaios realizados a 85 e 100°C para a dimensão axial c , referente à espessura. No entanto, estes resultados podem resultar da maior incerteza associada à determinação desta dimensão. Também se verificou que o intervalo de confiança da ordenada na origem da maior parte dos ensaios (novamente com as exceções indicadas anteriormente) incluem o ponto 0,0, indicando a não existência de erros sistemáticos entre as determinações iniciais e finais.

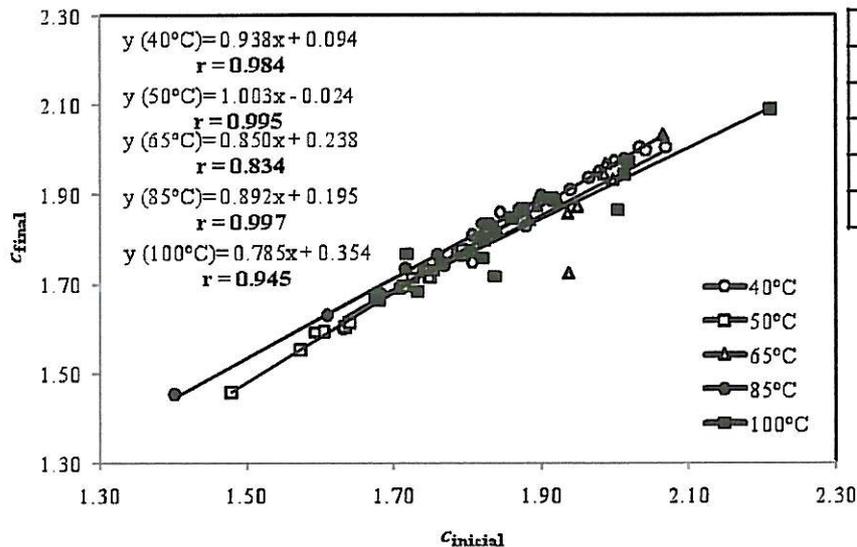
Em termos gerais, estes resultados indicam que as castanhas com a casca não sofrem um efeito de “*shrinkage*” significativo ao longo da secagem.



T (°C)	IC _{declive}	IC _{ordenada na origem}
40	0,863 a 1,027	-0,169 a 0,280
50	0,850 a 1,038	-0,157 a 0,337
65	0,816 a 1,090	-0,334 a 0,423
85	0,906 a 1,131	-0,424 a 0,177
100	0,632 a 1,298	-0,932 a 0,945



T (°C)	IC _{declive}	IC _{ordenada na origem}
40	0,889 a 1,235	-0,980 a 0,150
50	0,789 a 1,086	-0,428 a 0,494
65	0,814 a 1,238	-0,968 a 0,415
85	0,809 a 1,421	-1,509 a 0,426
100	0,657 a 1,419	-1,550 a 0,959



T (°C)	IC _{declive}	IC _{ordenada na origem}
40	0,854 a 1,022	-0,064 a 0,252
50	0,943 a 1,062	-0,125 a 0,077
65	0,513 a 1,187	-0,406 a 0,882
85	0,836 a 0,948	0,097 a 0,293
100	0,614 a 0,957	0,031 a 0,677

Figura 3. Relações das dimensões axiais (a , b e c) de castanhas com casca, entre o final em e o início da secagem por convecção a diferentes temperaturas, bem como os respectivos intervalos de confiança (IC) do declive e ordenada na origem, com um nível de confiança de 95%.

De forma a avaliar se o fruto sofria internamente algum efeito de “*shrinkage*” significativo ao longo da secagem e considerando que as dimensões axiais dos frutos com casca no final da secagem foram semelhantes às iniciais, para cada ensaio determinaram-se as seguintes percentagens:

$$\text{Interior do fruto em relação ao fruto com casca (\%)} = \frac{(a, b, c \text{ do fruto sem casca no final da secagem})}{(a, b, c \text{ do fruto com casca no final da secagem})} \times 100 \quad (5)$$

Os resultados obtidos para cada uma das dimensões axiais avaliadas às diferentes temperaturas encontram-se apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Percentagens do interior do fruto em relação ao fruto com casca para cada temperatura.

Temperatura (°C)	Interior do fruto em relação ao fruto com casca (%)		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
40	85,3 ± 2,7	78,3 ± 4,3	81,7 ± 4,6
50	85,5 ± 4,5	78,7 ± 4,4	80,2 ± 6,0
65	86,1 ± 5,4	81,2 ± 4,2	82,6 ± 5,5
85	87,7 ± 4,8	83,6 ± 3,8	81,9 ± 6,1
100	89,2 ± 4,6	84,4 ± 3,6	80,4 ± 9,0

Nota: Os valores correspondem à média ± desvio padrão.

Verificou-se que ao considerar as três dimensões - *a*, *b* e *c* - o interior do fruto em relação ao mesmo com casca variou entre 85,3 ± 2,7 e 89,2 ± 4,6 %, 78,3 ± 4,3 e 84,4 ± 3,6 %, e 80,2 ± 6,0 e 82,6 ± 5,5 %, respectivamente. Ao representar a variação ao longo do tempo de secagem a uma dada temperatura, observou-se que esta percentagem diminuía (Figura 4), indicando que internamente o fruto sofreu efeito de “*shrinkage*” significativo à medida que foi secando.

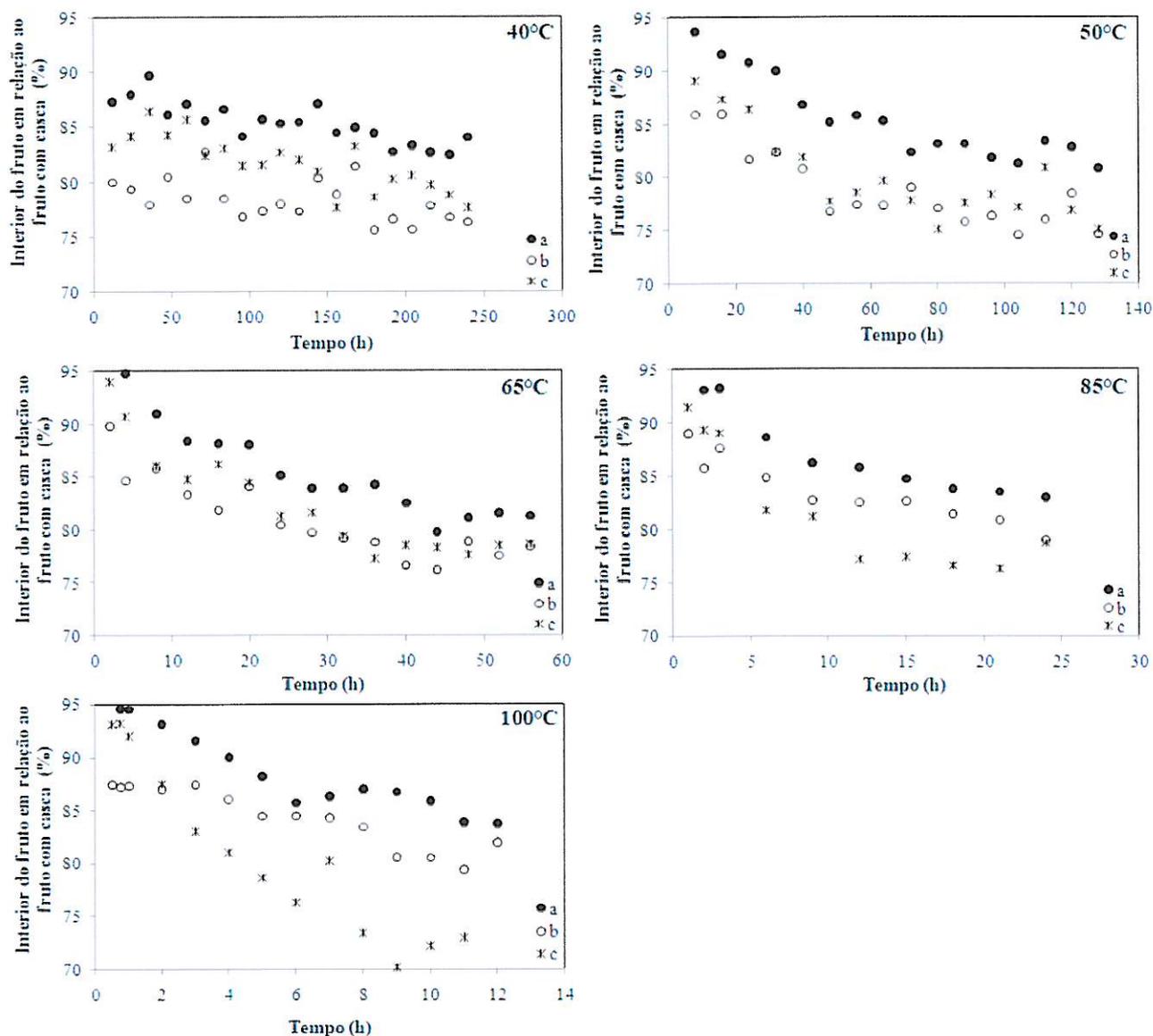


Figura 4. Variação das percentagens das três dimensões axiais dos frutos sem casca em relação às dos frutos com casca ao longo do tempo de secagem a 40, 50, 65, 85 e 100°C.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho permitiu verificar que as castanhas (*Castanea sativa*) da variedade “Longal” podem ser aproximadas a esferas com diâmetros estimados a partir dos D_a , D_g ou de outro modelo que seja adequado. Também se verificou que durante a secagem por convecção, o efeito de “shrinkage” pode ser significativo. De facto, verificou-se que as castanhas com a casca não sofrem modificações significativas ao longo da secagem. No entanto, ao considerar o interior do fruto verificou-se que a proporção do fruto sem casca em relação ao fruto com casca diminui ao longo do tempo a uma dada temperatura, indicando que internamente o fruto sofre efeito de “shrinkage” significativo à medida que vai sendo seco.

Também se constatou que, no futuro, ao realizar a modelagem da secagem por convecção da castanha, esta pode ser aproximada a esferas, mas deve-se ter em conta a possibilidade de ocorrência de um efeito de “*shrinkage*” significativo, o qual acarretará alterações nas dimensões do fruto ao longo do processo. Deste modo, a adequabilidade de se usar algumas equações na modelagem matemática da secagem deste fruto, nas quais se assume que a dimensão se mantém constante, deve ser avaliada para cada situação em particular.

Agradecimentos: Agradece-se à FCT a Bolsa BII/CIMO/09/17 atribuída ao aluno Hugo Lamas e ao Sr. Julião Augusto Afonso, membro da Cooperativa “Soutos os Cavaleiros”, as castanhas utilizadas no presente trabalho.

Referências

- Cletus AB, Carson JK. (2008) Drying curves and apparent diffusivity of New Zealand chestnut variety ‘1015’. *Journal of Food Engineering*, 85, 381-386.
- Guiné RPF, Fernandes RMC. (2006) Analysis of the drying kinetics of chestnuts. *Journal of Food Engineering*, 76, 460-467.
- Güner M. (2007) Pneumatic conveying characteristics of some agricultural seeds”. *Journal of Food Engineering*, 80, 904–913.
- INE (2008) *Estatísticas Agrícolas 2007* (ISSN 0079-4139).
- Kılıçkan A; Güner M. (2008) Physical properties and mechanical behavior of olive fruits (*Olea europaea* L.) under compression loading. *Journal of Food Engineering*, 87, 222–228.
- Mohsenin N.N. (1970) *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publishers, Inc., New York.