

SECAGENS CONTÍNUAS EM TÚNEL POR CONVECÇÃO FORÇADA

Vítor Silva¹; A. Rui Figueiredo¹; José J Costa¹; Raquel Guiné²; Dulcineia Ferreira²; João Gonçalves¹

¹ADAI – Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial – Rua Pedro Hispano nº12 3031-289
Coimbra – vitor.silva@dem.uc.pt

²ESAV- IPV – Escola Superior Agrária de Viseu - Quinta da Alagoa - Estrada de Nelas, Ranhados 3500-606 Viseu
– raquelguine@esav.ipv.pt

Resumo

Foram realizadas em Agosto dos anos de 2007 e 2008 secagens de pêra São Bartolomeu em túnel, com circulação de ar forçada. Estes ensaios foram realizados, como alternativa às técnicas convencionais de secagem solar, em regime contínuo. Nos anos de 2007 e 2008 foram utilizadas temperaturas de secagem de 40°C. Em 2007 foi realizada também uma secagem a 30°C. Foram utilizados diversos caudais de ar nos dois anos.

Os resultados obtidos permitiram constatar que a temperatura desempenha um papel fulcral ao nível da velocidade de secagem, quando comparada com o factor velocidade do ar. As secagens a 40°C revelaram-se vantajosas ao nível da rapidez, aliada a uma maior segurança alimentar do processo, quando comparadas com a mesma operação a 30°C.

As secagens convectivas efectuadas em regime contínuo mostraram ser uma alternativa a considerar relativamente à secagem tradicional de pêra São Bartolomeu, por permitir uma maior rapidez de secagem e controlo do processo. Contudo a ausência de algumas características organolépticas, nomeadamente ao nível da coloração do produto final, apresenta-se como uma condicionante a ser minimizada.

1. INTRODUÇÃO

O processo de secagem de alimentos é uma prática ancestral, que surgiu primeiramente por necessidade de alargar o período de conservação dos mesmos. Tradicionalmente, o método escolhido é o da secagem por exposição directa ao sol (Doymaz, 2005; Ferreira & Candeias, 2005; Karathanos & Belessiotis, 1997). Este processo revela contudo alguns problemas, quer pela permanência excessiva às condições meteorológicas oscilantes, quer devido à fauna presente, nomeadamente insectos, podendo resultar danos significativos ao nível do produto final (Ferreira & Candeias, 2005; Sharma et al., 2009).

Com vista a minimizar estes efeitos indesejáveis, surgiram nos últimos anos alternativas, nomeadamente secadores solares, de menor ou maior grau de complexidade (Ferreira & Candeias, 2005; Sharma et al., 2009; Murthy, 2009). Estes dividem-se em dois tipos:

Sistemas directos: Existe exposição solar directa, incidindo a radiação na superfície exterior dos mesmos. A circulação do ar é garantida por acção do vento ou ventiladores. São exemplos comuns as estufas, ou túneis, cobertos por plástico, vidro, ou outros materiais) (Fohr & Figueiredo, 1987; Murthy, 2009; Sacilik et al., 2006; Sharma et al., 2009) ou pequenos secadores (caixas) com cobertura no mesmo material (Mwithiga & Kigo, 2006; Saleh & Badran, 2009).

- Sistemas indirectos: Existe o acoplamento de um colectador à câmara de secagem, sendo que o produto não contacta directamente com a radiação solar. No colectador o ar é aquecido e transportado até à câmara (Ferreira & Candeias, 2005; Mohamed et al., 2008; Murthy, 2009; Nourhène et al., 2008; Sharma et al., 2009; Seres & Farkas, 2007).

Estes sistemas de secagem embora sejam uma clara evolução, não permitem contudo a independência das condições meteorológicas. Assim, a secagem por convecção forçada em túnel surge como alternativa, permitindo um total controlo do processo e das condições impostas ao mesmo (Ferreira & Candeias, 2005; Karathanos & Belessiotis, 1997).

Como esta alternativa apresenta grandes gastos energéticos, têm sido desenvolvidos colectores híbridos que conjugam a utilização de colectores solares a meios auxiliares, que permitam também a laboração contínua (Sharma et al., 2009; Murthy, 2009).

A utilização dos diversos sistemas referidos e a melhoria das técnicas de secagem, é factor cada vez mais importante, não só como meio de conservação de alimentos mas também na obtenção de novos produtos de qualidade.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Câmara de secagem

No ano de 2007 foi usada uma unidade de secagem P. A. Hilton, Ltd (Hampshire, England), de velocidade de ar regulável e grelhas de aquecimento até 4kW de potência, com capacidade para 20 pêras. Em 2008 foi construída uma câmara em polietileno extrudido com capacidade total de 170 pêras. O ar quente é, neste caso, proveniente de fontes de termo-ventilação, sendo distribuído homogeneamente pela câmara. Os modelos descritos encontram-se na Figura 1.

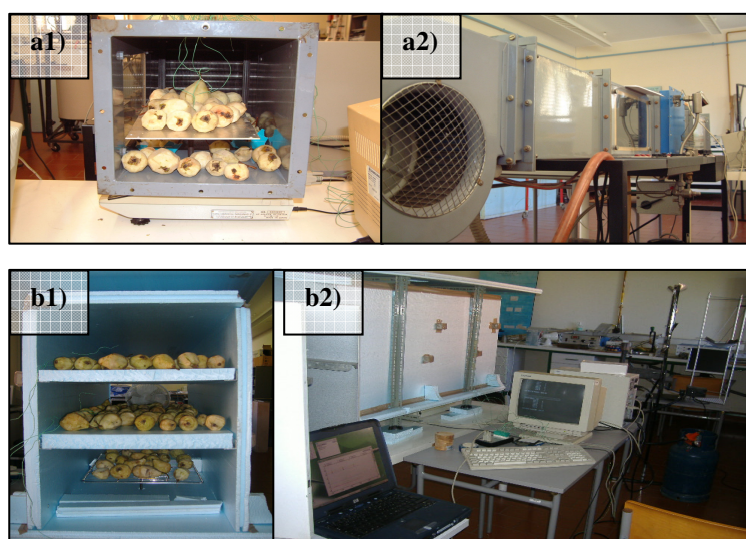


Figura 1 – a) Câmara de secagem usada em 2007: a1) Vista frontal com pêras. a2) Vista lateral; b) Câmara de secagem utilizada em 2008: b1) Vista frontal (com pêras); b2) Vista lateral, com hardware de aquisição de temperaturas e massas.

2.2. Aquisição de massas

O tabuleiro do ensaio 2007 e o tabuleiro inferior da câmara de secagem em 2008 possuíam uma base de metal que assentava sobre a balança electrónica (FX – 3000 (A&D company, Abingdon – Reino Unido), com uma divisão mínima de 0,01g, utilizada para aquisição contínua, como é observável na Figura 2. Todos os valores de massa foram registados com o secador em funcionamento. O programa de aquisição de massas em QBasic foi preparado para aquisições automáticas em intervalos de 90 segundos em 2007 e 60 segundos em 2008. Nestas aquisições o valor obtido resulta sempre de uma média de quatro pesagens consecutivas.

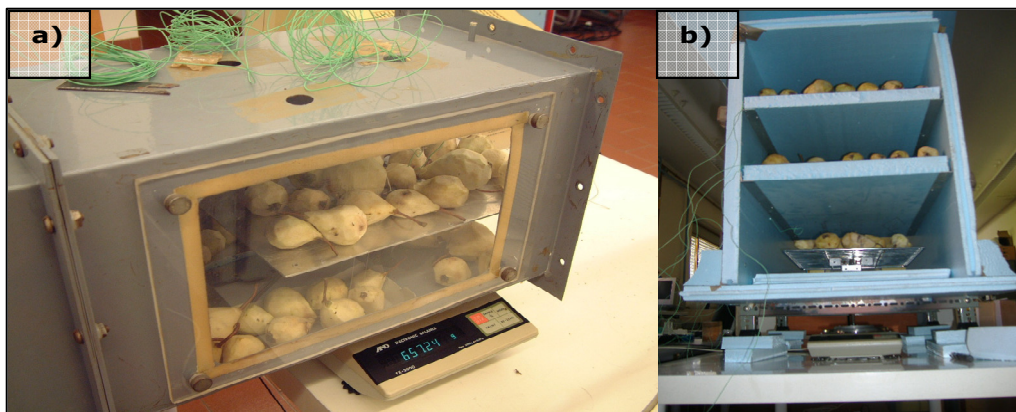


Figura 2 – Balança para aquisição de massas com tabuleiro de pesagem contínua em: a) 2007 e b) 2008.

2.3. Aquisição de temperaturas

As temperaturas ao longo dos ensaios, na câmara e nas pêras, foram registadas por termopares conectados a uma interface PICO –TC 08, da Pico Technology (Cambridgeshire – Reino Unido). Os dados foram visualizados e guardados através do software Picolog Recorder da mesma empresa (Figura 3).

Em cada ensaio foram seleccionadas algumas pêras sendo colocados termopares (Figura 3), à superfície prendendo as extremidades dos mesmos através de um corte superficial muito fino e no interior, perfurando a pêra previamente com um arame até ao seu centro.

Os restantes termopares foram introduzidos no interior da câmara de secagem de modo a registar a temperatura do fluxo de ar, sendo que em 2008 foram colocados a vários níveis da mesma, por forma a garantir a homogeneidade das temperaturas nos vários tabuleiros existentes. O software foi preparado para efectuar o registo de temperaturas em intervalos de 90 segundos.

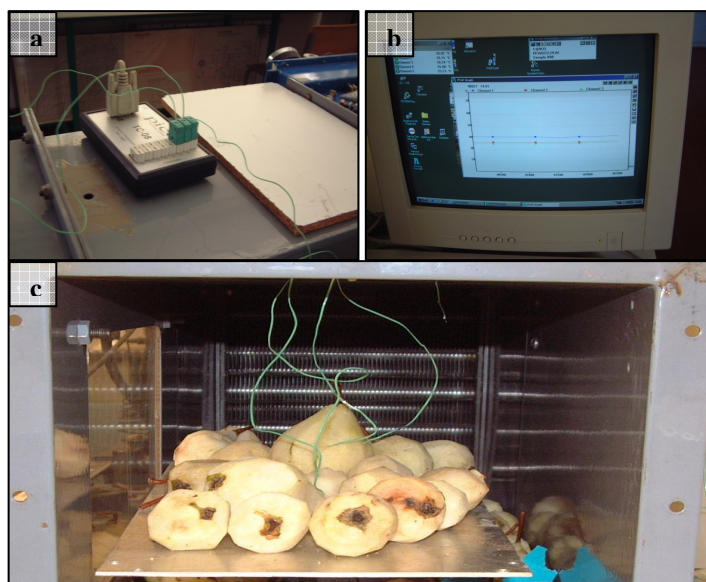


Figura 3 – a) Interface PICO TC 08. b) Écran com software de aquisição Picolog Recorder visível, c) Pormenor de termopares colocados em pêras no tabuleiro de secagem contínua (ano de 2007).

2.3. Determinação da humidade nas pêras frescas

Em cada ensaio, para a determinação da humidade, foram retirados pedaços de pêras pertencentes ao mesmo lote a ser secado (previamente descascadas) e pesados. Os pedaços foram então colocados na estufa WTC Binder F53 (Tuttlingen, Alemanha) a 115°C, sobre papel de alumínio, como mostrado na figura 4.

As pêras foram periodicamente retiradas e pesadas numa balança electrónica (FX – 3000 (A&D company, Abingdon – Reino Unido) até peso constante. A humidade (em base húmida) foi então calculada através da fórmula:

$$\text{Hum}(\%) = \left(\frac{P_{\text{inicial}} - P_{\text{final}}}{P_{\text{inicial}}} \right) \times 100$$

Em que P_{inicial} e P_{final} representam a massa das pêras antes e após secagem em estufa, respectivamente. Após determinação de humidade individual foi calculada a média e desvio padrão.

Durante os ensaios foi usada a mesma fórmula para determinação da percentagem de humidade em base húmida ao longo processo substituindo P_{inicial} pela massa das pêras em cada instante, e a humidade em base seca fazendo a mesma substituição mas usando como denominador a massa de matéria seca (P_{final}).



Figura 4 – Pedacos de pêras colocados na estufa, para cálculo da humidade.

2.5. Preparação das secagens

As pêras de variedade São Bartolomeu, após colheita, foram colocadas em frigoríficos até serem secadas. Estas foram descascadas (preservando o pedúnculo intacto) imediatamente antes de cada ensaio.

Após o descasque, as pêras foram distribuídas na câmara de secagem, sendo colocadas 20 no tabuleiro de pesagem contínua.

2.6. Parâmetros de secagem

Foram realizados ensaios de secagem convectiva a temperaturas de 30°C e 40°C.

A velocidade do ar variou entre os 1,2 (± 0.1) m/s e os 2,7 (± 0.1) m/s.

É de referir que, em todos os ensaios realizados, a temperatura da câmara e a velocidade do ar mantiveram-se constantes ao longo da secagem.

2.7. Critérios de paragem dos ensaios

Os critérios de paragem definidos para os ensaios foram os seguintes:

- 1 - Redução dos teores de humidade nas pêras a 20% em base húmida.
- 2 - Massa constante ou com variação desprezável
- 3 - Pêras incompatíveis (produto final sem características de pêra secada)

3. RESULTADOS

Os resultados descritos neste capítulo apresentam um resumo comparativo dos ensaios realizados em Agosto de 2007 e 2008, nas diferentes condições impostas:

3.1. Comparação entre ensaios a 40°C (Influência do grau de maturação e velocidade do ar)

A tabela 1 apresenta a cronologia e velocidade do ar imposta, nos ensaios que foram realizados à temperatura de 40°C:

Tabela 1 – Cronologia e condições de ensaio

Ano	Data da colheita	Data do ensaio	Velocidade do ar (± 0.1 m/s)
2007	27 de Julho	2 de Agosto	2,2
	10 de Agosto	13 de Agosto	
	20 de Agosto	21 de Agosto	
2008	12 de Agosto	13 de Agosto	1,2
	12 de Agosto	18 de Agosto	

De notar que no ano de 2008 foi apenas efectuada uma colheita, num grau de maturação aproximado ao do período compreendido entre as 2ª e 3ª colheita de 2007.

A humidade inicial das pêras foi obtida através do método apresentado em 2.4. e a humidade foi calculada através da monitorização da massa, adquirida continuamente. O quadro resumo da humidade inicial e final das pêras encontra-se na Tabela 2:

Tabela 2 – Humidade inicial e final em base seca e base húmida dos diferentes ensaios.

Ano	Ensaio	Humidade Inicial em base seca (%)	Humidade final em base seca (%)	Humidade inicial em base húmida (%)	Humidade inicial em base húmida (%)
2007	1	418,0	51,3	80,7	33,9
	2	382,8	33,0	79,3	24,8
	3	300,7	24,9	75,0	20,0
2008	1	585,0	45,6	85,4	31,3
	2	594,4	30,7	85,6	23,5

Os ensaios foram suspensos de acordo com os critérios referidos em 2.7., tendo-se verificado o critério de massa constante ou variação desprezível para todos os ensaios, excepto o ensaio 1 de 2007 por verificação de produto não conforme (pêra secada com crosta extremamente enrugada) e o ensaio 3 do mesmo ano por se ter atingido 20% de humidade em base húmida.

A variação da humidade ao longo do ensaio é ilustrada pelos gráficos das figuras 5 (humidade em base seca) e 6 (humidade em base húmida).

Verifica-se uma perda de humidade em mais curto espaço de tempo nos ensaios de 2007 (exceptuando o ensaio 2) relativamente ao ano de 2008, provocado pelas condições de velocidade do ar mais elevadas.

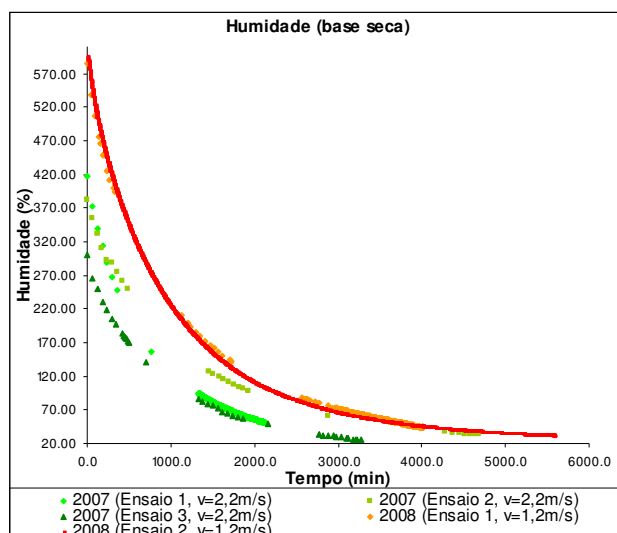


Figura 5 – Variação de umidade (base seca) ao longo dos ensaios.

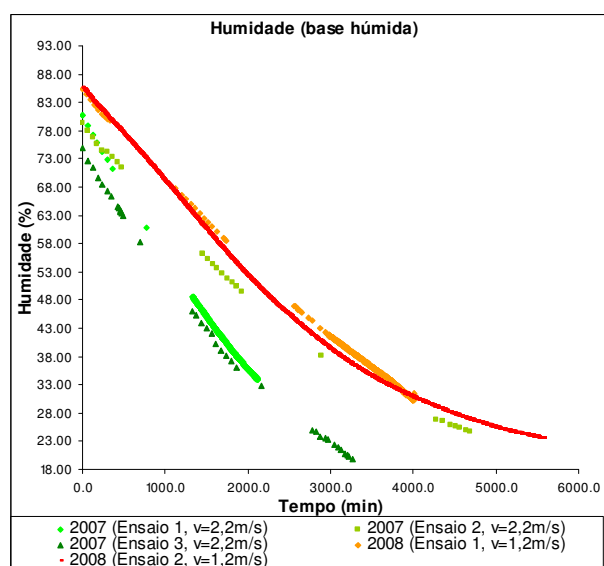


Figura 6 – Variação de umidade (base húmida) ao longo dos ensaios.

Tal facto aliado a um prematuro estado de maturação determinou o fim abrupto do ensaio 1 de 2007, por falta de viabilidade do produto obtido (as pêras encontravam-se demasiado duras, com formação de uma crosta enrugada). Observam-se também perfis de umidade mais harmoniosos para as secagens de 2008, notando-se uma fase inicial de maior perda de água, uma fase de desaceleração e posterior estabilização. Em 2007 esses patamares não foram tão notórios verificando-se estabilizações mais abruptas com tempos totais de secagem menores nos ensaios 1 e 3.

A figura 7 mostra a evolução do parâmetro “massa” das pêras, através de uma escala adimensional de Massa/Massa Inicial para melhor comparação entre ensaios:

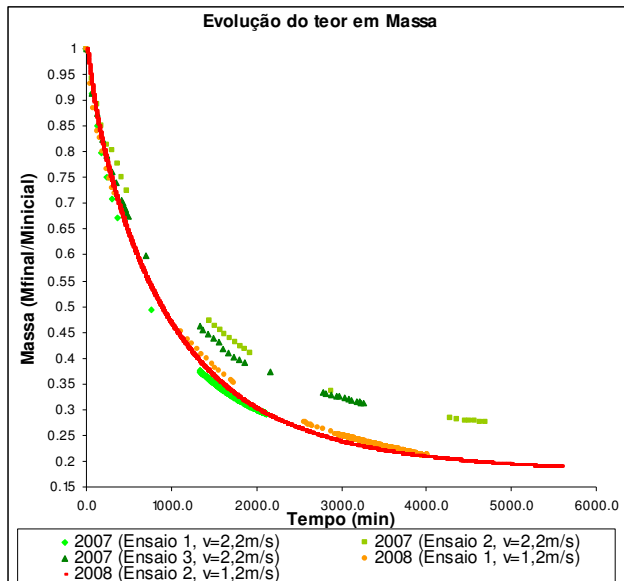


Figura 7 – Evolução da perda de massa ao longo do ensaio

Evidencia-se uma maior perda de massa nos ensaios de 2008 em conformidade com a maior humidade inicial das pêras. Verificam-se também semelhanças ao nível das curvas de secagem, não obstante a variação das velocidades de ar impostas nos dois anos. Novamente é visível no primeiro ensaio de 2007 um exagerado declive inicial, traduzido neste caso por uma perda de massa elevada no início da secagem, seguida de uma estabilização repentina.

A figura 8 demonstra a cinética de secagem através da taxa de variação do teor de massa (derivada com sinal negativo) ao longo do tempo.

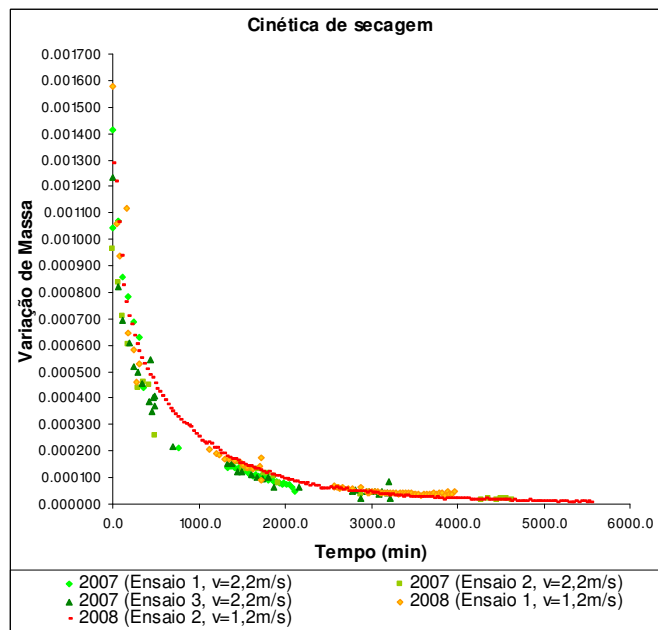


Figura 8 – Taxa da variação da massa (derivada de sinal negativo), ao longo do tempo, para os diferentes ensaios

É de notar o comportamento semelhante nas curvas de secagem sensivelmente após os 1500 minutos (25 horas) de secagem. Tal facto parece indicar que, apesar das diferentes velocidades do ar utilizadas, existe um padrão de secagem para processos à mesma temperatura e que esta parece desempenhar um papel mais importante ao nível da cinética de secagem do que a velocidade do ar. Este aspecto é abordado no capítulo seguinte.

3.2. Comparação de ensaios a diferentes temperaturas

Foi efectuada, em Agosto de 2007, uma secagem a 30°C, utilizando o mesmo lote de pêras do Ensaio 3 a 40°C. Serão estes dois ensaios que serão comparados de seguida. A cronologia dos mesmos, temperaturas e velocidades de ar impostas estão presentes na tabela 3.

Tabela 3 – Cronologia dos ensaios a diferentes temperaturas.

Ano	Data da colheita	Data do ensaio	Temperatura (°C)	Velocidade do ar (± 0.1 m/s)
2007	20 de Agosto	21 de Agosto	40	2,2
	20 de Agosto	27 de Agosto	30	2,7

No ensaio a 30°C, e por limitação técnica, foi necessário o aumento da velocidade do ar na câmara de secagem.

As humidades iniciais e finais em base seca e húmida verificadas, encontram-se presentes na tabela 4.

Tabela 4 – Humidade inicial e final, em base seca e húmida, dos ensaios a 40°C e 30°C

Ensaio	Humidade Inicial em base seca (%)	Humidade final em base seca (%)	Humidade inicial em base húmida (%)	Humidade inicial em base húmida (%)
40°C	300,7	24,9	75,0	20,0
30°C	300,7	24,9	75,0	20,0

Os ensaios foram interrompidos com 20% de humidade final (19,96% e 19,98%, respectivamente), segundo os critérios pré estabelecidos.

A evolução do teor de humidade ao longo do ensaio pode ser observado nas figuras 9 e 10. Observa-se que a perda de humidade se verifica mais rapidamente no ensaio a 40°C.

A diferença muito significativa no tempo de ensaio (o ensaio a 40°C foi concluído em menos 28 horas que o ensaio a 30°C), e a maior velocidade de ar imposta a 30°C, vem reforçar a ideia que a temperatura exerce maior influência ao nível da rapidez dos processos de secagem convectiva quando comparada com a velocidade do ar.

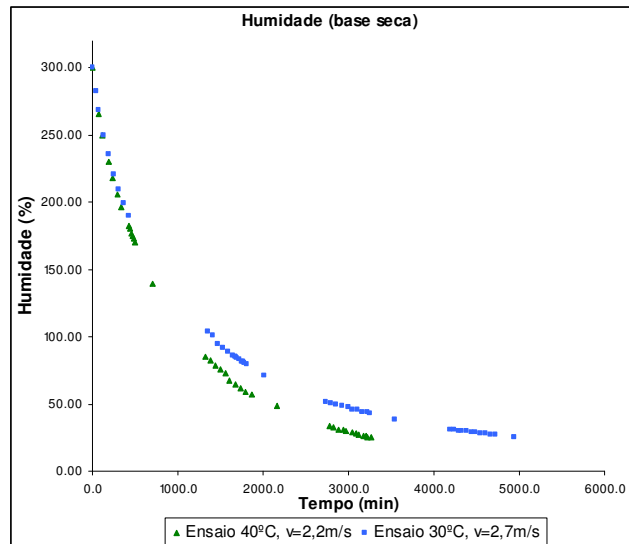


Figura 9 – Humidade em base seca para ensaios a diferentes temperaturas

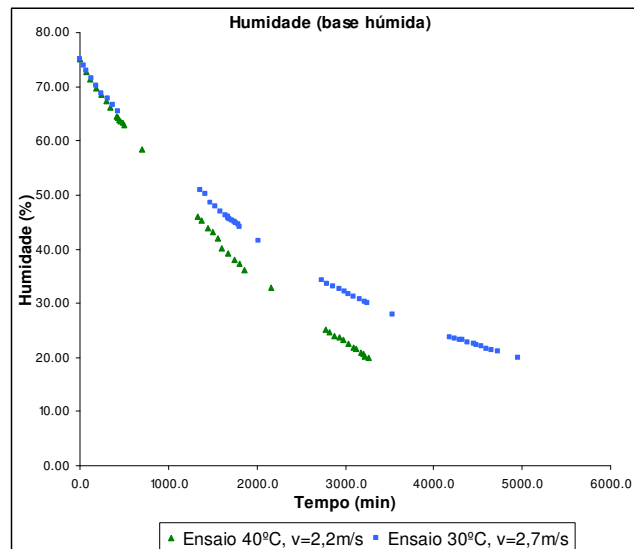


Figura 10 – Humidade em base húmida para ensaios a diferentes temperaturas.

Da mesma forma a perda de massa é substancialmente mais rápida no ensaio a 40°C, após uma primeira fase de secagem relativamente idêntica, como é possível verificar na Figura 11.

De notar mais uma vez o comportamento semelhante das curvas na fase inicial de secagem.

Na fase de desaceleração existe uma maior perda de massa no ensaio a 40°C, ou seja uma secagem mais rápida, antes da estabilização final e consequente estagnação da variação de massa.

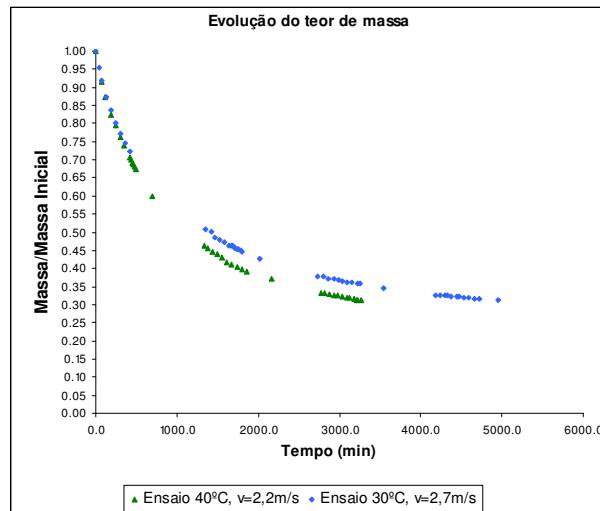


Figura 11 – Evolução da Massa/Massa Inicial, nos ensaios a diferentes temperaturas

Na Figura 12 é possível observar o perfil cinético destas secagens.

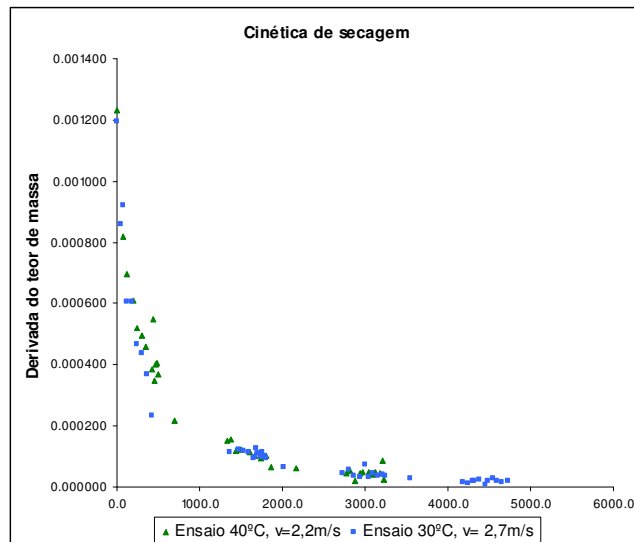


Figura 12 – Derivada do taxa de variação de massa ao longo do tempo em ensaios a diferentes temperaturas.

Embora os perfis apresentem semelhanças verifica-se, mais uma vez, que para tempos semelhantes e até à fase de estabilização, as variações são superiores no ensaio a 40°C correspondendo a uma maior velocidade de secagem.

3.3. Características visuais das pêras secadas convectivamente

Nos dois anos em estudo, as pêras secadas convectivamente em túnel foram observadas no final dos ensaios, no sentido de comparar a viabilidade do produto final obtido com o produto tradicional.

Assim denotou-se que a principal diferença se regista ao nível da coloração, que se caracteriza por tons vermelho colorau nas pêras secadas tradicionalmente ao sol. Na secagem convectiva verifica-se a ausência desta pigmentação típica do produto.

No sentido de tentar conferir essas características foram realizadas ensaios isolados com lâmpadas de UV, IV e halogéneo.

Os resultados mostraram que apenas com a lâmpada de halogéneo foi possível obter alguma coloração residual nas pêras em estudo.

Algumas fotos comparativas entre pêras sujeitas a diferentes tipos de secagem estão presentes na Figura 13, sendo notórias as diferença verificadas na côr.

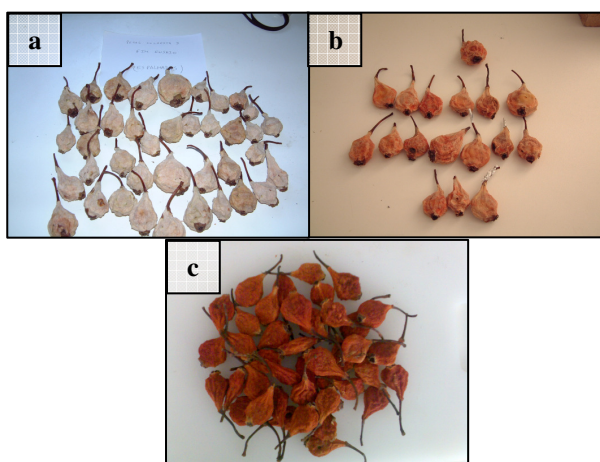


Figura 13 – a) Pêras secadas convectivamente (40°C, velocidade do ar de 2,2 m/s; b) Pêras secadas convectivamente durante 47 horas sob lâmpada de halogéneo (velocidade do ar de 1,7 m/s), c) Aspecto de pêras sujeitas a secagem solar.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que a secagem convectiva apresenta vantagens relativamente à secagem tradicional por permitir um maior controlo de operação e a possibilidade de garantir condições de trabalho constantes (temperatura e velocidade do ar inalteráveis). Além disso as secagens podem ser realizadas em modo contínuo. Verificam-se curvas de secagem harmoniosas e tempos de secagem geralmente mais rápidos, dependendo das condições impostas.

Verifica-se também que existe vantagem ao efectuar secagens a 40°C em vez de 30°C, uma vez que se obtém uma maior rapidez do processo e melhores condições de segurança alimentar do mesmo. Conclui-se também, que a temperatura exerce um papel mais decisivo na cinética global do processo, quando comparada com a velocidade do ar.

A secagem convectiva pode servir como alternativa à secagem tradicional por ser um método rápido, mais facilmente monitorizável e mais independente das condições ambientais. Apresenta contudo limitações ao nível organoléptico, nomeadamente na caracterização visual,

que precisam ainda de ser resolvidas, surgindo a utilização de lâmpadas de comprimento de onda específico, como uma possível solução a explorar.

*Agradecimentos: Os autores desejam agradecer à Fundação para a Ciência e Tecnologia, pelo financiamento no âmbito do projecto **PTDC/AGR-ALI/74587/2006**.*

Referências

- Doymaz I (2005) Sun drying of figs: an experimental study. *Journal of Food Engineering* 71, 403 – 407.
- Ferreira A & Candeias M (2005) Secagem solar de frutos e plantas aromáticas. *Revista de Ciências Agrárias* 28 (1), 363-370.
- Fohr JP & Figueiredo AR (1987) Agricultural solar air collectors: Design and permormances. *Solar Energy* 38 (5), 311-321.
- Karathanos VT & Belessiotis (1997) Sun and artificial air drying kinetics of some agricultural products. *Journal of Food Engineering* 31, 35-46.
- Mohamed LA, Kane CSE, Kouhila M, Jamali A, Mahrouz M & Kechaou N (2008) Thin layer modelling of *Gelidium sesquipedale* solar drying process. *Energy Conversion and Management* 49, 940-946.
- Murthy MVR (2009) A review of new technologies, models and experimental investigations of solar driers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 835–844.
- Mwithiga G & Kigo SN (2006) Performance of a solar dryer with limited sun tracking capability. *Journal of Food Engineering* 74, 247-252.
- Nourhène B, Mohammed K & Nabil K (2008) Experimental and mathematical investigations of convective solar drying of four varieties of olive leaves. *Food and Bioproduct Processing* 86, 176-184.
- Sacilik K, Keskin R & Elicin AK (2006) Mathematical modelling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato. *Journal of Food Engineering* 73, 231-238.
- Saleh A & Badran I (2009) Modeling and experimental studies on a domestic solar dryer. *Renewable Energy* 34, 2239-2245.
- Seres I & Farkas I (2007) Determination of air flow pattern during solar drying of fruits using a low range air speed sensor. *Food and bioproducts processing*, 85, 155-162.
- Sharma A, Chen CR & Lan NV (2009) Solar-energy drying systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 1185-1210.