

SECAGENS CONVECTIVAS DE PÊRA SÃO BARTOLOMEU EM TÚNEL

Vítor Silva, Rui Figueiredo, José Costa, Raquel Guiné,
Dulcineia Ferreira, João Gonçalves

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

Pode afirmar-se que 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, foram surgindo nos últimos anos algumas 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: Nestes sistemas existe exposição solar directa, incidindo a radiação na superfície exterior dos mesmos. A circulação do ar é garantida por aberturas, onde se processa ventilação por acção do vento ou ventiladores estrategicamente colocados. São exemplos comuns as estufas, ou túneis, de maior ou menor dimensão, cobertos por plástico ou vidro (entre 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 colector solar à câmara de secagem, sendo que o produto não contacta directamente com a radiação solar. No colector o ar é aquecido e posteriormente 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. Desta forma a secagem por convecção forçada em túnel surge como alternativa, permitindo um total controlo do processo e das condições impostas ao mesmo, sem as componentes limitantes das condições meteorológicas (Ferreira & Candeias, 2005; Karathanos & Belessiotis, 1997).

Como este processo apresenta geralmente maiores gastos energéticos, têm sido ultimamente desenvolvidos colectores solares híbridos que conjugam a utilização de colectores solares a meios auxiliares, que permitam também a laboração em regime contínuo (Ferreira & Candeias, 2005; Sharma *et al.*, 2009; Murthy, 2009).

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

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Câmara de secagem

No ano de 2007 foi utilizada 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 aproximadamente 20 pêras. Em 2008 foi construída uma câmara em polietileno extrudido com capacidade total aproximada de 170 pêras. O ar aquecido é, neste caso, proveniente de fontes de termoventilação, sendo distribuído de forma homogênea pela câmara. Os dois modelos descritos encontram-se presentes na Figura 1.

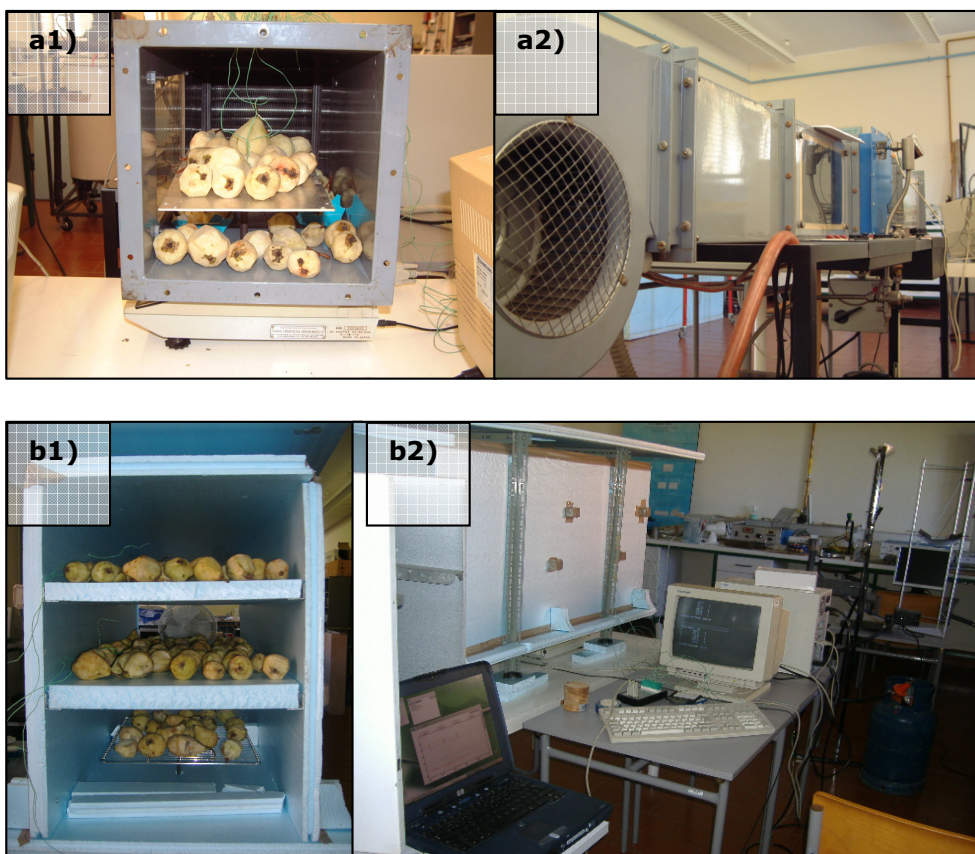


Figura 1 – a) Câmara de secagem usada em 2007: a1) Vista frontal com pêras. a2) Vista lateral; b) Câmara de secagem utilizada em 2008: b₁) Vista frontal (com pêras); b₂) Vista lateral, com hardware de aquisição de temperaturas e massas.

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 directamente sobre a balança electrónica (FX – 3000 (A&D company,

Abingdon – Reino Unido), com uma divisão mínima de 0,01g, utilizada para aquisição em regime contínuo, como é observável na Figura 2. Todos os valores de massa foram registados com o secador em funcionamento em cada ensaio. Assim o valor de massa inicial corresponde ao registado no momento exacto em que foi ligado o secador e que, conseqüentemente, indica o início do ensaio. Do mesmo modo o último valor é registado no momento imediatamente antes de ser desligado o secador. 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.

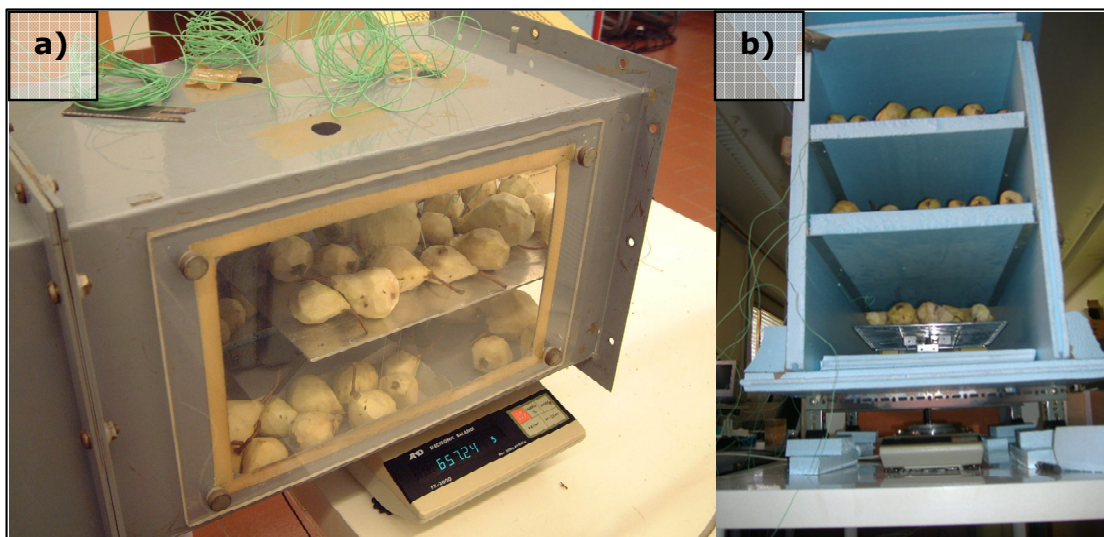


Figura 2 – Balança para aquisição de massas com tabuleiro de pesagem contínua em: a) 2007 e b) 2008.

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). Estes foram colocados 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.

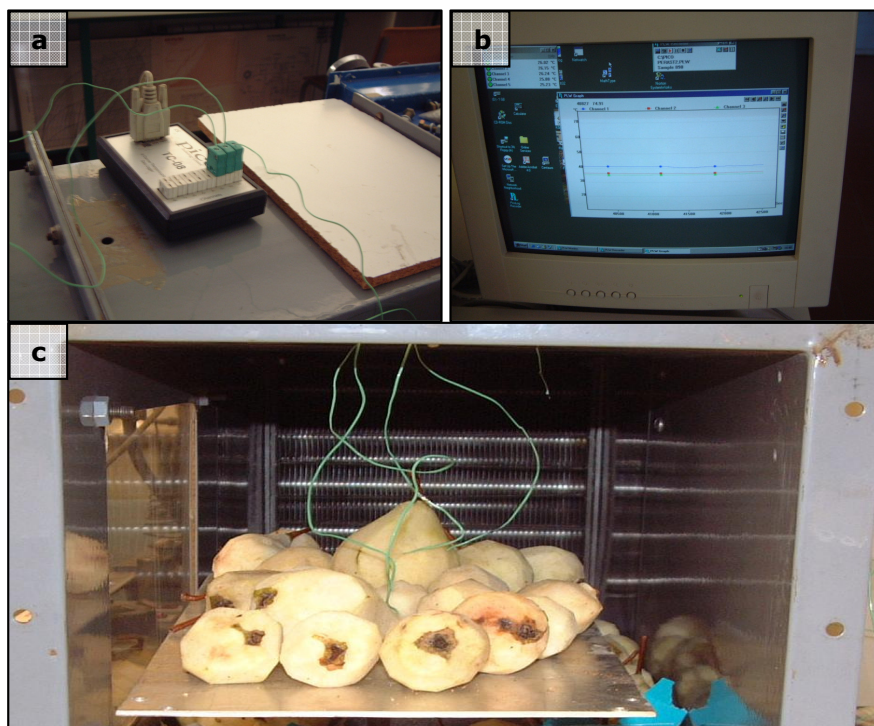


Figura 3 – a) Interface *PICO TC 08*. b) Ecran com software de aquisição *Picolog Recorder* visível, c) Pormenor de termopares colocados em pêras no tabuleiro de secagem contínua (ano de 2007).

2.4. Determinação da humidade das 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. Houve em todos os ensaios a preocupação de colocar as mesmas a

uma distância sensivelmente idêntica uma das outras, permitindo a circulação de ar de forma mais homogênea possível

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.

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 ao longo do ensaio 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 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	

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 o objectivo de 20% de humidade final em base húmida.

De realçar que os teores iniciais de humidade nas pêras em 2007 mostram o avançar do estado de maturação com respectiva diminuição de valores. Em 2008 a humidade das pêras é idêntica, uma vez que se trata de uma análise do mesmo lote, apenas sujeito a variações entre diferentes frutos da amostragem.

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).

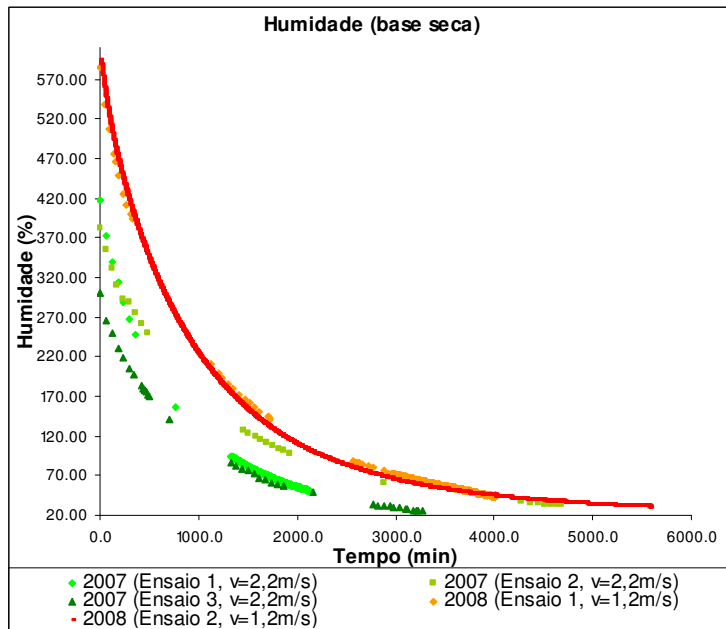


Figura 5 – Variação de humidade (base seca) ao longo dos ensaios.

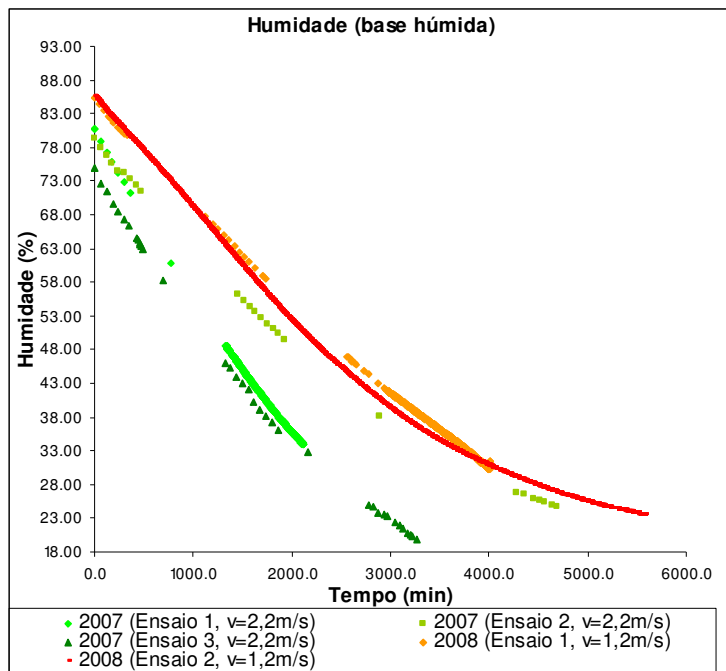


Figura 6 – Variação de humidade (base húmida) ao longo dos ensaios.

Evidencia-se por um lado 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. Esse parâmetro mais elevado, aliado a um prematuro estado de maturação determinou provavelmente o fim abrupto do ensaio 1 do primeiro ano, resultando numa falta de viabilidade do produto obtido (as pêras encontravam-se demasiado duras, com formação de uma crosta enrugada). Verificam-se também perfis de humidade mais harmoniosos para as secagens de 2008 (menor velocidade de ar), 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:

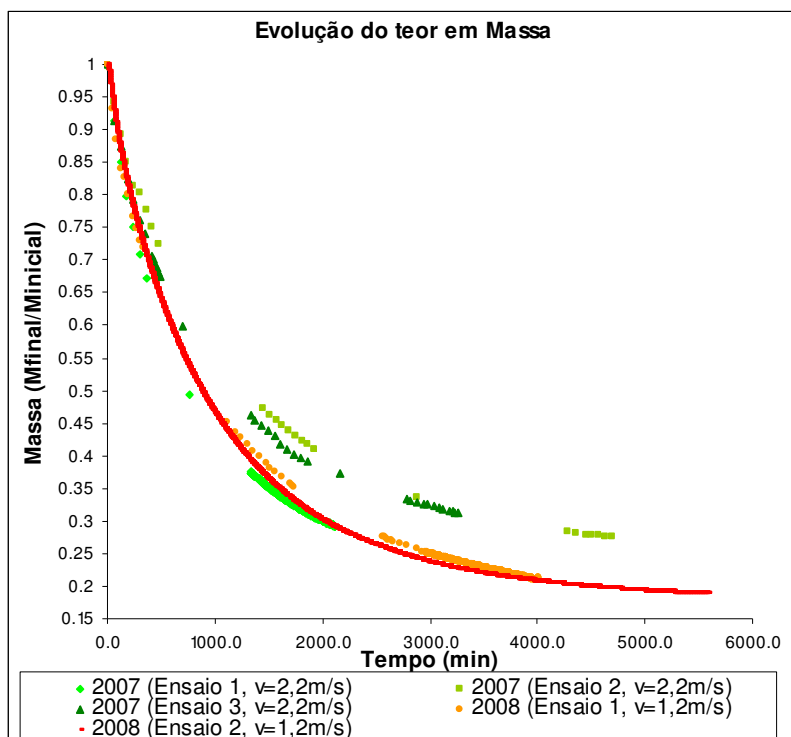


Figura 7 – Evolução da perda de massa ao longo do ensaio

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 variação do teor de massa (derivada com sinal negativo) ao longo do tempo.

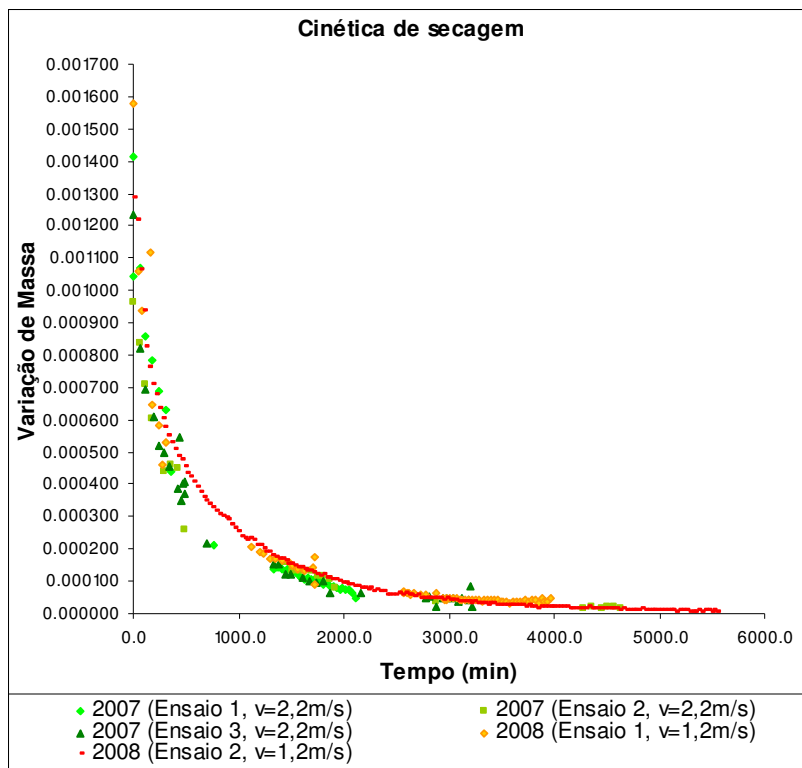


Figura 8 – Variação da massa (derivada de sinal negativo), ao longo do tempo, para os diferentes ensaios

É de notar o comportamento semelhante que se evidencia 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 (neste caso 40°C), e que a temperatura 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 à temperatura de 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 nas duas secagens, 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.

Por análise do gráfico, 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 no ensaio 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 o parâmetro velocidade do ar.

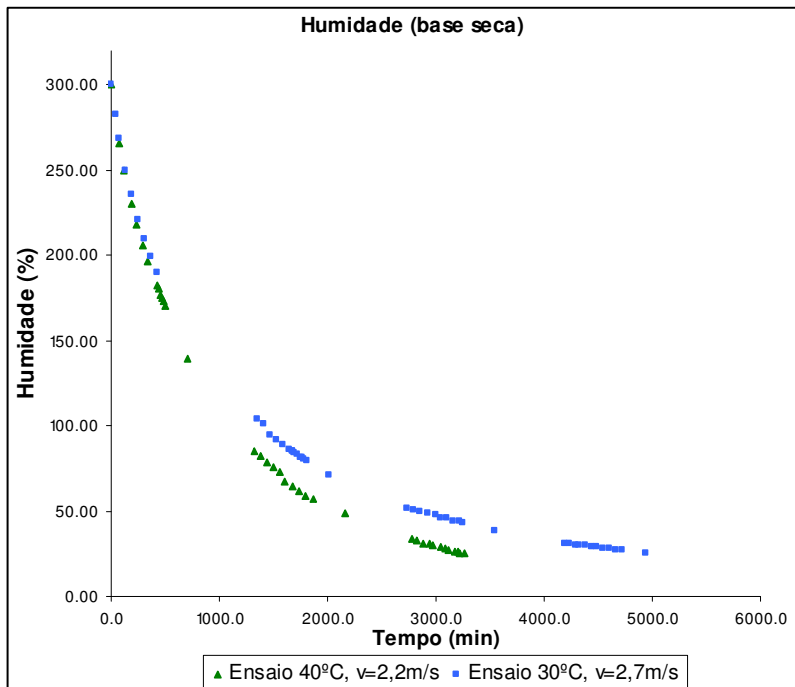


Figura 9 – Humidade em base seca para ensaios a diferentes temperaturas.

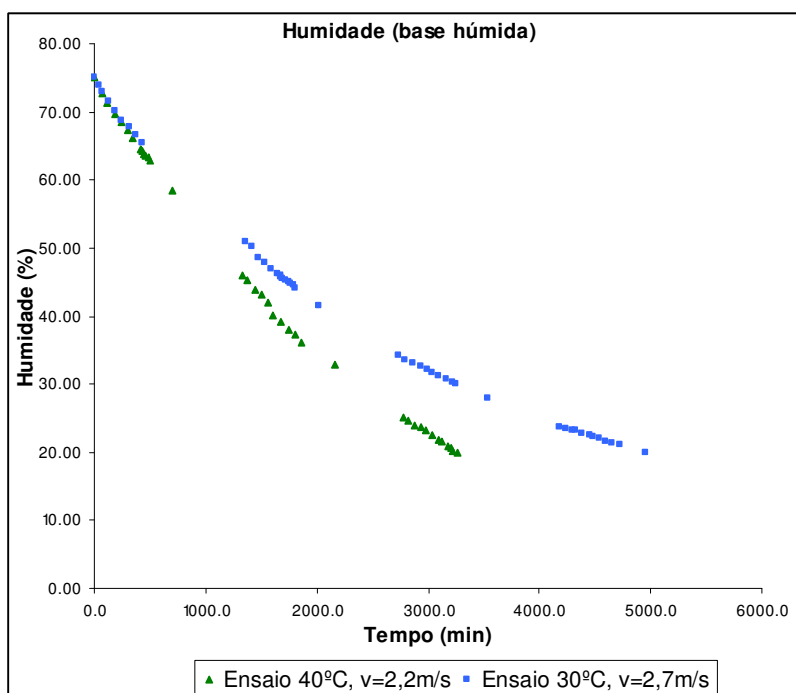


Figura 10 – Humidade em base húmida para ensaios a diferentes temperaturas.

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.

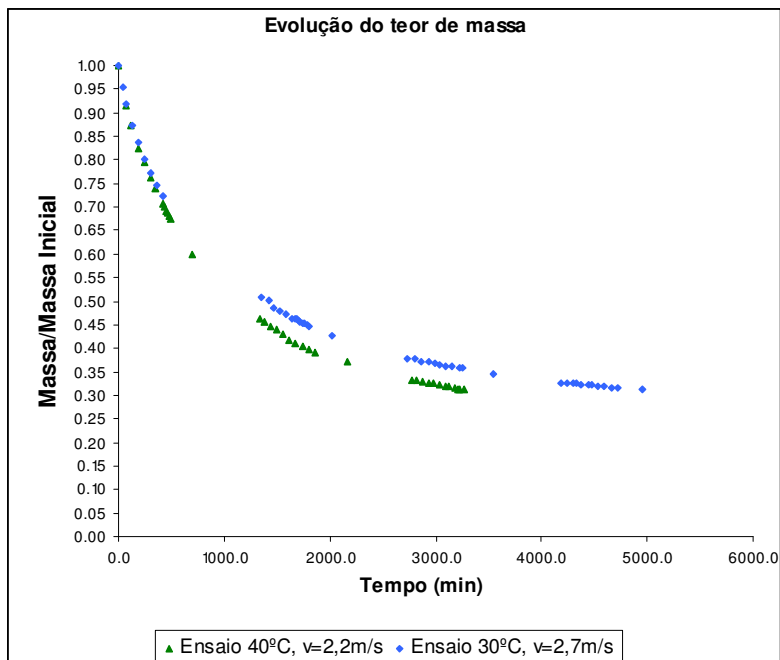


Figura 11 – Evolução da Massa/Massa Inicial, nos ensaios a diferentes temperaturas

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.

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

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

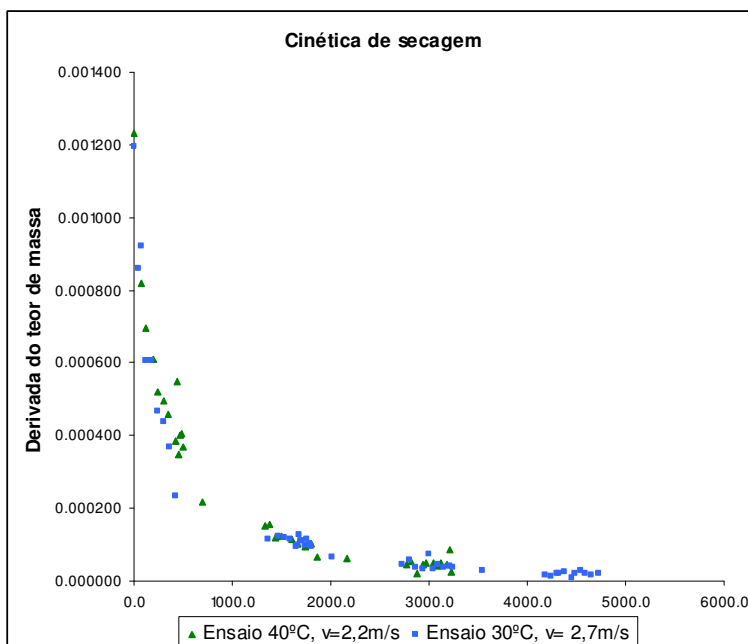


Figura 12 – Derivada do teor de massa ao longo do tempo em ensaios a diferentes temperaturas.

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 registra 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 halogénio.

Os resultados mostraram que apenas com a lâmpada de halogénio 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 perfeitamente notória a diferença verificada ao nível da côr.

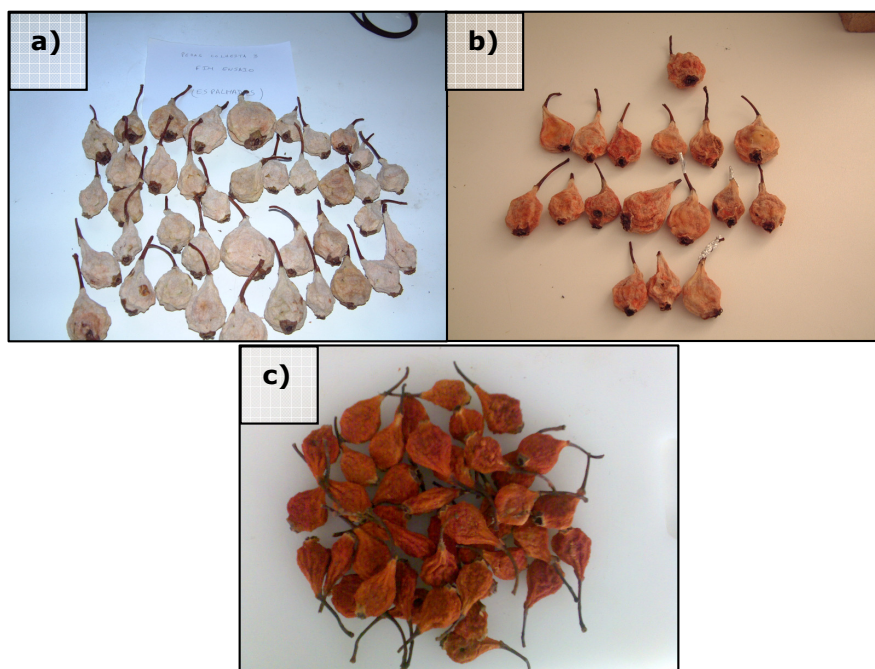


Figura 13 – a) Pêras secadas convectivamente (40°C, velocidade do ar de 2,2 m/s; b) Pêras secadas convectivamente durante 47 horas sob lâmpada de halogéneo (velocidade do ar de 1,7 m/s), c) Aspecto de pêras sujeitas a secagem solar.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que a secagem convectiva apresenta como grandes vantagens relativamente à secagem tradicional, o facto de permitir um maior controlo de operação e a possibilidade de garantir condições de trabalho constantes ao longo da mesma (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.

Os dados obtidos mostram também que existe uma vantagem ao efectuar secagens a 40°C em vez de 30°C, uma vez que se obtém uma maior rapidez do processo e um garante de condições de segurança alimentar do mesmo. Conclui-se também, no conjunto de ensaios, que a temperatura exerce um papel mais decisivo na cinética global do processo de secagem, quando comparada com a velocidade do ar.

Conclui-se também que 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 ao nível da caracterização visual, que precisam ainda de ser resolvidas, surgindo a utilização de lâmpadas de comprimento de onda específico, como uma possível solução a explorar.

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 performances. *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.