

ESTUDO COMPARATIVO DA CONSERVAÇÃO DE CASTANHA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa*) SECA POR MICROONDAS E CONVENTIONALMENTE

FLÁVIO ALVES DA SILVA *
ANTONIO MARSAIOLI JUNIOR **

Estudou-se comparativamente a conservação de amêndoas de castanha-do-Brasil secas por microondas e por processo convencional. Os dois procedimentos de secagem foram desenvolvidos em fornos domésticos, adaptados com sistema externo de provisão de ar quente. Testes foram estabelecidos a partir de planejamentos experimentais, utilizando combinações de densidade de potência (W/g), temperatura e velocidade do ar. As respostas de ambos os processos foram tempo de secagem, atividade de água (A_w) e níveis de rancificação, dados pelos índices de peróxido (PI) e de estabilidade oxidativa (OSI). Os valores de A_w , PI e OSI foram obtidos ao longo de seis meses de estocagem da amêndoa seca embalada. Os resultados obedeceram os intervalos: $A_w \leq 0,60$; 8,8 meq/1000 g óleo $\leq PI \leq 14,9$ meq/1000 g óleo; 5 h $\leq OSI \leq 7,4$ h, enquadrados nos limites encontrados na literatura e estabelecidos pela legislação brasileira. Concluiu-se que é possível obter produtos com qualidade adequadamente preservada pelo uso de microondas na secagem da castanha-do-Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: CASTANHA-DO-BRASIL-SECAGEM; *Bertholletia excelsa*.

1 INTRODUÇÃO

A castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*), uma das riquezas da floresta Amazônica, representa importante componente na pauta de

* Doutorando, Departamento de Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP (e-mail: flavioas@fea.unicamp.br).

** Professor Associado, Departamento de Engenharia de Alimentos, FEA, UNICAMP, Campinas, SP (e-mail: tonymars@fea.unicamp.br).

exportação da região. Sua exploração desempenha papel fundamental na organização socioeconômica de grandes áreas extrativistas da floresta Amazônica (SILVA, 2002). Alimento grandemente apreciado pelo seu sabor, a castanha-do-Brasil também apresenta qualidades nutritivas. É constituída por 60 a 70% de lipídios e de 15 a 20% de proteína de boa qualidade biológica, além de vitaminas e minerais (CARDARELLI e OLIVEIRA, 2000). A amêndoia da castanha contém óleo de alto valor alimentar, apresentando 13,8% de ácido palmítico, 8,7% de ácido esteárico, 31,4% de ácido oléico e 45,2% de ácido linoléico (TATEO, 1971). De acordo com GUTIERREZ *et al.* (1997), o óleo da castanha também contém pequena quantidade dos ácidos mirístico e palmitoléico. Quanto aos minerais pode ser citada a presença de Ba, Br, Ca, Co, Cs, Mg, Ni, Rb, Sr e Se, sendo esse último elemento o de maior destaque. Em relação ao teor vitamínico sobressaem-se as vitaminas do grupo B, principalmente, B1 e B3, pró-vitamina A e vitamina E (ROGEZ, 1995).

GLÓRIA e REGITANO-D'ARCE (2000) afirmaram que a população nacional desconhece o potencial nutricional e industrial da castanha-do-Brasil. Isto, somado ao seu elevado valor comercial, faz com que mais da metade da produção seja destinada ao mercado internacional, que reconhece seu valor.

A importância da castanha-do-Brasil, fonte de divisas para o País, torna necessária a realização de pesquisas para aperfeiçoamento do seu processo de secagem , visando a obtenção de produto desidratado de melhor qualidade.

A energia de microondas, associada ao ar quente vem sendo bastante utilizada em processos de secagem. SOUSA *et al.* (2001) estudaram a secagem de bananas da variedade *nanicão*. Obtiveram níveis de aceitação sensorial das amostras processadas por microondas superiores aos das amostras comerciais (nacionais e importadas) e das amostras secas por processo convencional. BERTELI e MARSAIOLI (2002) relataram que o tempo de secagem de macarrão curto pela combinação de ar quente e microondas mostrou-se treze vezes menor que o processo convencional de secagem. Para MARSAIOLI *et al.* (2003), o uso de microondas e ar quente na secagem de café cereja descascado promoveu redução substancial no tempo de secagem. Além disso, possibilitou melhor qualidade do produto

pelo aumento no controle dos parâmetros do processo (tais como a uniformidade e a estrutura dos grãos).

Este trabalho teve por objetivo estudar, comparativamente, a conservação de amêndoas de castanha-do-Brasil, secas por microondas e por processo convencional, mediante determinação da atividade de água (A_w), e dos índices de peróxidos (PI) e de estabilidade oxidativa (OSI).

2 MATERIAL E MÉTODOS

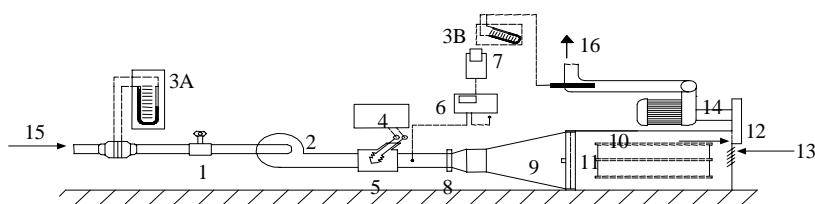
A matéria-prima utilizada foi a amêndoa da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.), com intervalo de umidade entre 6 e 10% (b.u), procedente do Estado do Pará e fornecida pela Exportadora MUTRAN Ltda. (sediada em Belém – PA). Para evitar a perda de umidade durante o transporte, a amêndoa foi embalada em sacos plásticos laminados (capacidade para 20 kg) selados em máquina com aplicação de vácuo, seguido de nitrogênio para substituir o ar. Assim acondicionadas, as amêndoas foram despachadas via aérea de Belém-PA para Campinas-SP, chegando num prazo máximo de 24 h. Logo após a chegada o material foi submetido aos dois processos de secagem até atingir umidade em torno de 3% (b.u.), valor fixado com base na baixa atividade de água da amêndoa ($a_w \leq 0,6$) (LABUZA, 1980).

Efetuou-se adaptação de forno doméstico Brastemp, “Double Emission System”, cavidade com volume de 38 litros, modelo BMV38-A, potência ajustável até o máximo nominal de 900 W e ajuste de tempo para permitir operação com controle das condições do ar interior e remover a umidade gerada pela secagem (Figura 1). Para a secagem convencional adaptou-se forno doméstico elétrico (Layr - modelo *Ônix Economic 1.75*), do qual foi eliminada toda a parte elétrica e aproveitada somente a caixa metálica e os acessórios internos. O mesmo sistema de provisão de ar quente, utilizado no forno de microondas, foi acoplado a esse forno para fornecer ar quente em fluxo paralelo ao produto. O equipamento, dotado de duas bandejas de 35 cm x 40 cm cada uma, foi utilizado para a secagem das amêndoas por ar quente, visando confirmação dos parâmetros do processo convencional.

No processo convencional variaram-se a temperatura do ar de secagem

(55 – 65 °C) e a velocidade do ar (1,5 – 2,5 m/s). A massa inicial da amêndoia foi fixada em 1,2 kg durante todos os ciclos de secagem realizados. Na secagem por microondas e ar quente variaram-se a potência (44 – 104 W) e a temperatura do ar de secagem (50 – 60°C), sendo a massa inicial da amêndoia fixada em 1,7 kg durante os ensaios. Nesse caso, a vazão e a velocidade do ar, também foram mantidas fixas em 2,3 m³/min e 0,8 m/s, respectivamente.

FIGURA 1 – ADAPTAÇÃO DE FORNO DE MICROONDAS DOMÉSTICO



(1) válvula; (2) ventilador nº1; (3) manômetro: A - entrada, B - saída; (4) controlador da temperatura; (5) aquecedor elétrico; (6) indicador de temperatura – 2 canais; (7) registrador de temperatura – 2 canais; (8) conector rápido; (9) difusor de ar; (10) cavidade de microondas; (11) cestos de produto; (12) janela de exaustão; (13) ar de resfriamento do gerador de microondas; (14) ventilador nº2; (15) entrada de ar; (16) saída de ar.

Ao término de cada processo de secagem, porções de 180 g de amêndoas com 3% (b.u) foram colocadas em sacos transparentes de polietileno de baixa densidade (PEBD) e embaladas em máquina seladora a vácuo [Selovac]. As amostras foram armazenadas em sala com temperatura ambiente (oscilou entre 18 e 32°C) durante seis meses, procedendo-se as análises das amostras secas a cada 45 dias (CEPAGRI, 2003).

Para a determinação da umidade nas amostras de amêndoas foi utilizado o método oficial 925.40 da AOAC (1997). O óleo para análise durante o armazenamento da amêndoas foi obtido mediante extração mecânica, a frio, utilizando-se prensa hidráulica manual (Charlott Prensas

Hidráulicas LTDA) com 60 toneladas de força. O óleo obtido da prensagem de 180 g de amêndoas moídas foi analisado quanto ao seu índice de peróxidos pelo método Cd 8b-90 da AOCS (1997), com duas repetições para cada amostra. Para a determinação do índice de estabilidade oxidativa (OSI), durante o armazenamento da amêndoa, utilizou-se o método Cd 12b-92 da AOCS (1997). Foram efetivadas 3 repetições com 5 g de óleo em cada uma, a 110°C, com fluxo de ar de 9 Lh⁻¹. A amostra controle foi preparada com a amêndoa "in natura", embalada nas mesmas condições das amostras secas, e conservada a -18°C na ausência de luz. Em todos os testes de extração, a amostra controle representou o estado do óleo no tempo zero. Efetuou-se a extração do óleo de todas as amostras no dia da determinação.

Com o intuito de estudar a influência de algumas variáveis, bem como o comportamento da amêndoa da castanha-do-Brasil diante dos tratamentos de secagem realizados (processo convencional e microondas), foi utilizada a técnica de planejamento experimental do tipo Fatorial Completo 2² com Três Pontos Centrais (BARROS NETO *et al.*, 1996). As análises dos planejamentos experimentais foram realizadas mediante tratamento estatístico dos dados obtidos pelo programa STATISTICA, versão 5.0 (STATSOFT, 2000).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados obtidos nos ensaios de secagem pelos processos utilizados. Os valores de temperaturas do produto referem-se ao intervalo de operação em cada ciclo. As densidades de potência (DP, em W/g) foram calculadas dividindo-se a potência aplicada em cada ciclo de secagem pela média da massa de amostra durante o ciclo. Os valores das umidades iniciais e finais (U_i e U_f) das amostras (em base úmida) dos dois processos são diferentes (respectivamente, próximos de 6,5 e 10%) por tratar-se de matéria-prima recebida em épocas diferentes. Os processos de secagem foram conduzidos de modo a aproximar de 3,0% os valores de U_f em ambos os processos. Para se dispor de referencial seguro de comparação dos tempos de secagem foi necessário considerar a umidade dos processos (microondas e ar quente) a partir do mesmo valor (6,58% b.u.), equivalente à média do ponto central do processo a ar quente convencional. Assim sendo, pode ser observado pelas curvas de

secagem da Figura 2, que o tempo de secagem para a condição (EC6) do ponto central do planejamento do processo convencional foi de 720 minutos (12 horas) para a redução de cerca de 7,04 % b.s. [$MR_0 = 1$] para aproximadamente 3,09 % b.s. [$MR_f = 0,439$]. Por outro lado, redução similar de umidade foi obtida para o ponto central (EM6) do processo por microondas em 380 minutos, ou seja, 47,2% menos tempo que a o processo por ar quente convencional. Vale considerar que o valor de X_e foi assumido em ambos os casos como zero.

TABELA 1 – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE SECAGEM CONVENCIONAL DE AMÊndoAS DE CASTANHA-DO-BRASIL (*B. excelsa*)

Ensaio	T_{ar} (°C)	v_{ar} (m/s)	Tempo (min)	$T_{produto}$ (°C)	U_i (%)	U_f (%)
EC1	55±0,5	1,5	960	52 - 55	6,58	3,01
EC2	55±0,5	2,5	840	52 - 55	6,50	3,03
EC3	65±0,5	1,5	600	62 - 65	6,58	2,99
EC4	65±0,5	2,5	600	62 - 65	6,50	2,98
EC5	60±0,5	2,0	720	57 - 60	6,60	3,01
EC6	60±0,5	2,0	720	57 - 60	6,58	3,00
EC7	60±0,5	2,0	720	57 - 60	6,56	2,98

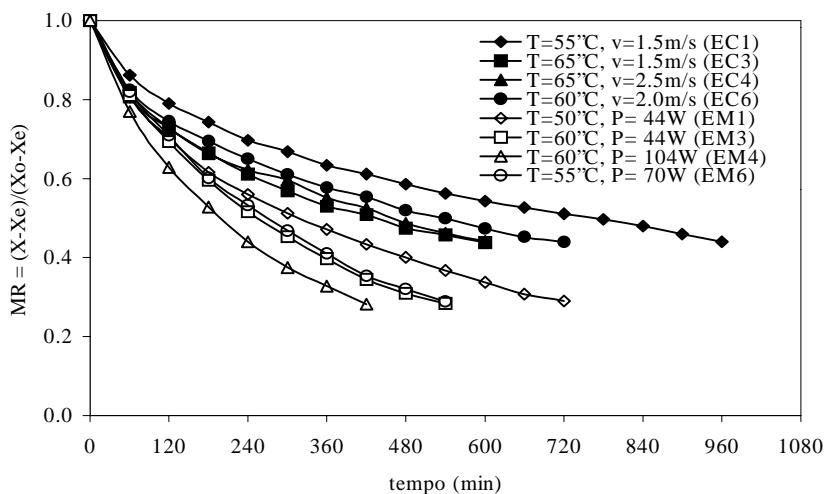
T_{ar} = temperatura do ar; v_{ar} = velocidade do ar; $T_{produto}$ = temperatura de saída do produto; U_i = umidade inicial; U_f = umidade final.

TABELA 2 – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE SECAGEM POR MICROONDAS E AR QUENTE DE AMÊndoAS DE CASTANHA-DO-BRASIL (*B. excelsa*)

Ensaio	Potência (W)	DP (W/g)	T_{ar} (°C)	Tempo (min)	$T_{produto}$ (°C)	U_i (%)	U_f (%)
EM1	44	0,0268	50±0,5	720	56 - 76	9,90	3,01
EM2	104	0,0634	50±0,5	480	58 - 83	9,95	3,04
EM3	44	0,0268	60±0,5	540	57 - 80	9,86	3,01
EM4	104	0,0634	60±0,5	420	63 - 87	9,98	3,03
EM5	70	0,0427	55±0,5	540	58 - 84	9,80	3,00
EM6	70	0,0427	55±0,5	540	57 - 87	9,83	2,99
EM7	70	0,0427	55±0,5	540	58 - 87	9,90	3,04

T_{ar} = temperatura do ar; DP = densidade de potência; $T_{produto}$ = temperatura de saída do produto; U_i = umidade inicial; U_f = umidade final.

FIGURA 2 – CURVAS DE SECAGEM DA AMÊNDOA DE CASTANHA-DO-BRASIL PELO PROCESSO CONVENCIONAL E POR MICROONDAS E AR QUENTE



As Tabelas 3 e 4 mostram os índices de peróxido da fração lipídica de amêndoas secas pelos dois processos em função do tempo de armazenamento. A análise de regressão linear dos valores de índice de peróxido evidenciaram correlação linear significativa ($p \leq 0,05$) para ambos os processos, pois o tempo de armazenamento alterou tais índices em todos os ensaios. Os valores de índice de peróxido aumentaram durante o tempo de armazenamento, permanecendo constantes somente nos 3 últimos meses nos ensaios EC4 e EM2. Apesar do aumento desses valores, os índices de peróxido obtidos não alcançaram o limite máximo ($20 \text{ meq O}_2 \text{ kg}^{-1}$) permitido para óleos brutos pela legislação brasileira (BRASIL, 2000). O aumento desse índice durante o armazenamento evidencia o início de reações oxidativas nas amostras armazenadas. A oscilação dos valores dos índices de peróxido pode ser devida aos diferentes tratamentos aplicados durante os dois processos de secagem, já que os índices iniciais (CC e CM) apresentaram baixas concentrações durante todo o tempo de armazenamento.

TABELA 3 – ÍNDICE DE PERÓXIDO DE AMÊNDOAS DE CASTANHA-DO-BRASIL (*B. excelsa*) SECAS PELO PROCESSO CONVENCIONAL

Estocagem (dias)	ÍNDICE DE PERÓXIDO (meq de O ₂ / 1000 g de leite)							
	EC1	EC2	EC3	EC4	EC5	EC6	EC7	*CC
0	2,81 ^d	2,74 ^d	2,78 ^d	2,98 ^d	3,10 ^d	2,85 ^d	3,15 ^d	2,50 ^a
45	3,83 ^c	3,90 ^c	4,20 ^c	4,47 ^c	4,67 ^d	4,09 ^c	3,29 ^d	2,50 ^a
90	7,50 ^b	6,60 ^{bc}	6,43 ^b	5,55 ^b	5,15 ^c	4,48 ^b	5,49 ^c	2,52 ^a
135	7,18 ^b	8,95 ^b	8,75 ^{ab}	10,75 ^a	9,40 ^b	6,95 ^{ab}	9,80 ^b	2,48 ^a
180	12,74 ^a	10,14 ^a	10,24 ^a	10,81 ^a	11,71 ^a	8,76 ^a	13,15 ^a	2,45 ^a

Valores seguidos pela mesma letra em cada coluna não são significativamente diferentes (5%/Tukey).

*CC = Amostra controle do processo de secagem convencional.

TABELA 4 – ÍNDICE DE PERÓXIDO DE AMÊNDOAS DE CASTANHA-DO-BRASIL (*B. excelsa*) SECAS POR MICROONDAS E AR QUENTE

Estocagem (dias)	ÍNDICE DE PERÓXIDO (meq de O ₂ /1000 g de leite)							
	EM1	EM2	EM3	EM4	EM5	EM6	EM7	*CM
0	2,88 ^e	2,71 ^d	2,66 ^e	3,25 ^d	3,44 ^d	3,03 ^e	2,97 ^e	0,90 ^a
45	3,79 ^d	3,27 ^c	3,31 ^d	4,14 ^c	4,68 ^c	3,53 ^d	3,68 ^d	0,89 ^a
90	6,16 ^c	7,32 ^b	6,24 ^c	7,40 ^b	6,74 ^b	6,53 ^c	7,12 ^c	0,92 ^a
135	11,90 ^b	12,58 ^a	8,12 ^b	8,87 ^{ab}	10,09 ^{ab}	8,65 ^b	12,60 ^b	0,88 ^a
180	14,58 ^a	13,06 ^a	11,20 ^a	11,09 ^a	13,47 ^a	13,16 ^a	14,90 ^a	0,90 ^a

Valores seguidos pela mesma letra em cada coluna não são significativamente diferentes (5%/Tukey).

*CM = Amostra controle do processo de secagem por microondas.

Pelo teste de Tukey a primeira diferença significativa no nível de peróxido ocorreu aos 45 dias de armazenamento para todos os ensaios, enquanto que para as amostras controle (CC e CM) o valor inicial foi mantido.

As Tabelas 5 e 6 mostram os índices de estabilidade oxidativa (OSI-110°C) da fração lipídica das amêndoas secas em função do tempo de

armazenamento. O inicio do processo de deterioração oxidativa é denominado de período de indução, no qual ocorre baixa velocidade de reação. Assim, o óleo será mais estável quanto maior for o período de indução. Com o tempo de armazenamento, o período de indução tende a diminuir (RAUEN-MIGUEL *et al.*, 1992).

TABELA 5 – ÍNDICE DE ESTABILIDADE OXIDATIVA (PERÍODO DE INDUÇÃO) DO ÓLEO OBTIDO DE AMÊndoAS DE CASTANHA-DO-BRASIL (*B. excelsa*) SECAS CONVENCIONALMENTE

Estocagem (dias)	ÍNDICE DE ESTABILIDADE OXIDATIVA (110°C) (h)							
	EC1	EC2	EC3	EC4	EC5	EC6	EC7	*CC
0	6,51 ^a	6,98 ^a	7,05 ^a	6,71 ^a	7,11 ^a	6,32 ^a	6,41 ^a	7,95 ^a
45	6,47 ^a	6,87 ^a	6,95 ^a	6,52 ^a	6,94 ^a	6,30 ^a	6,30 ^a	7,82 ^a
90	5,35 ^b	5,37 ^b	5,28 ^{bc}	5,72 ^{ab}	5,77 ^{ab}	6,30 ^a	6,30 ^a	7,60 ^a
135	4,65 ^c	5,38 ^b	5,72 ^b	5,03 ^b	5,05 ^b	5,75 ^b	5,60 ^b	7,59 ^a
180	5,05 ^b	5,57 ^b	5,17 ^c	5,00 ^b	5,18 ^b	5,95 ^{ab}	5,52 ^b	7,70 ^a

Valores seguidos pela mesma letra em cada coluna não são significativamente diferentes (5%/Tukey).

*CC = Amostra controle do processo de secagem convencional.

TABELA 6 – ÍNDICE DE ESTABILIDADE OXIDATIVA (PERÍODO DE INDUÇÃO) DO ÓLEO OBTIDO DE AMÊndoAS DE CASTANHA-DO-BRASIL (*B. excelsa*) SECAS POR MICROONDAS E AR QUENTE

Estocagem (dias)	ÍNDICE DE ESTABILIDADE OXIDATIVA (110°C) (h)							
	EM1	EM2	EM3	EM4	EM5	EM6	EM7	CM
0	6,98 ^a	7,44 ^a	7,09 ^a	7,18 ^a	6,90 ^a	7,11 ^a	7,29 ^a	7,35
45	6,77 ^a	7,25 ^a	6,97 ^a	7,15 ^a	6,67 ^a	7,03 ^a	7,22 ^a	7,40
90	6,15 ^{ab}	6,02 ^{ab}	6,70 ^a	6,17 ^b	6,32 ^b	6,62 ^b	6,21 ^b	7,30
135	4,45 ^c	4,77 ^b	5,50 ^b	5,95 ^{bc}	4,80 ^c	5,80 ^c	5,70 ^{bc}	7,28
180	5,15 ^b	5,01 ^b	5,40 ^b	5,25 ^c	6,00 ^b	5,55 ^c	5,27 ^c	7,35

Valores seguidos pela mesma letra em cada coluna não são significativamente diferentes (5%/Tukey).

*CM = Amostra controle do processo de secagem assistido por microondas.

Constatou-se correlação linear significativa ($p \leq 0,05$) para ambos os processos, pois em todos os ensaios ocorreram alterações dos índices de estabilidade oxidativa em função do tempo de armazenamento. Comparando esses dados com os índices de peróxidos (Tabelas 3 e 4) observa-se que os tratamentos que apresentaram os maiores valores de índice de peróxido tiveram menor período de indução.

Pelo teste de Tukey, a primeira diferença significativa no índice de estabilidade oxidativa ocorreu aos 90 dias de armazenamento para quase todos os ensaios. Somente nos ensaios EC6, EC7 e EM3, os valores dos primeiros 90 dias permaneceram constantes. Para as amostras de controle (CC e CM), o índice de estabilidade oxidativa manteve seu valor inicial.

Os resultados de atividade de água (Tabelas 7 e 8) não apresentaram correlação linear significativa em relação ao tempo de armazenamento (ao nível de significância de $p \leq 0,05$).

TABELA 7 – ATIVIDADE DE ÁGUA DE AMÊndoAS DE CASTANHA-DO-BRASIL (*B. excelsa*) SECAS PELO PROCESSO CONVENCIONAL

Estocagem (dias)	ATIVIDADE DE ÁGUA (a_w)						
	EC1	EC2	EC3	EC4	EC5	EC6	EC7
0	0,526 ^b	0,513 ^b	0,496 ^b	0,505 ^b	0,533 ^b	0,529 ^b	0,518 ^b
60	0,533 ^{ab}	0,528 ^{ab}	0,508 ^{ab}	0,517 ^{ab}	0,538 ^{ab}	0,536 ^{ab}	0,522 ^{ab}
120	0,550 ^{ab}	0,544 ^{ab}	0,530 ^a	0,535 ^{ab}	0,549 ^{ab}	0,546 ^{ab}	0,533 ^a
180	0,580 ^a	0,585 ^a	0,539 ^a	0,568 ^a	0,588 ^a	0,577 ^a	0,555 ^a

Valores seguidos pela mesma letra em cada coluna não são significativamente diferentes (5%/Tukey).

O teste de Tukey mostrou pequena oscilação dos valores de atividade de água em todos os ensaios durante o armazenamento, os quais podem ser considerados como praticamente constantes. Todos os valores de atividade de água (Tabelas 7 e 8) enquadraram-se nos limites considerados seguros em relação ao crescimento de microrganismos. Segundo LABUZA (1980), a atividade de água constitui parâmetro importante na degradação de alimentos. Valores inferiores a 0,60 indicam alimentos altamente estáveis sob o ponto de vista microbiológico.

TABELA 8 – ATIVIDADE DE ÁGUA DE AMÊNDOAS DE CASTANHA-DO-BRASIL (*B. excelsa*) SECAS POR MICROONDAS E AR QUENTE

Estocagem (dias)	ATIVIDADE DE ÁGUA (a_w)						
	EM1	EM2	EM3	EM4	EM5	EM6	EM7
0	0,529 ^b	0,533 ^b	0,508 ^b	0,515 ^b	0,532 ^b	0,521 ^{ab}	0,518 ^b
60	0,536 ^{ab}	0,540 ^{ab}	0,518 ^{ab}	0,523 ^{ab}	0,537 ^{ab}	0,539 ^a	0,527 ^{ab}
120	0,545 ^{ab}	0,574 ^a	0,559 ^a	0,527 ^{ab}	0,547 ^{ab}	0,545 ^a	0,534 ^{ab}
180	0,581 ^a	0,590 ^a	0,577 ^a	0,569 ^a	0,588 ^a	0,563 ^a	0,572 ^a

Valores seguidos pela mesma letra em cada coluna não são significativamente diferentes (5%/Tukey).

A amêndoas “in natura” utilizada no processo de secagem a ar quente convencional estava inicialmente com atividade de água de 0,79 e a utilizada na secagem por microondas e ar quente de 0,91. A diferença nesses valores se deve ao fato da matéria-prima ter chegado em épocas diferentes, no entanto, não afetou a interpretação dos resultados desta pesquisa porque a análise gráfica foi feita a partir do mesmo referencial inicial de umidade do produto.

A Tabela 9 traz os valores dos níveis das variáveis utilizadas durante os processos de secagem. Os valores dos índices de peróxido e de estabilidade oxidativa, bem como os da atividade de água analisados no tratamento estatístico foram obtidos quando se completaram 180 dias de armazenamento.

TABELA 9 – NÍVEIS DAS VARIÁVEIS UTILIZADAS NO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL DURANTE A SECAGEM CONVENCIONAL E POR MICROONDAS E AR QUENTE

Nível	Convencional (C)			Microondas (M)	
	Velocidade do ar (m/s)	Temperatura do ar (°C)	Potência (W)	Temperatura do ar (°C)	
-1	1,5	55	44	50	
0	2,0	60	70	55	
+1	2,5	65	104	60	

A Tabela 10 mostra os efeitos das variáveis utilizadas em cada planejamento, bem como a interação entre elas sobre o tempo de secagem da amêndoia de castanha-do-Brasil (seca convencionalmente e por microondas e ar quente) armazenadas durante seis meses.

TABELA 10 – EFEITOS DAS VARIÁVEIS SOBRE O TEMPO DE SECAGEM PARA AS AMÊNDOAS DE CASTANHA-DO-BRASIL (*B. excelsa*) SECAS PELOS DOIS PROCESSOS

		Coef. Regres.	Desvio-Padrão	t (2)	p	Coef. Correlação
C	Média	737,14	0,00	-	-	0,9975
	(1) v_{ar} (L)	-60	0,00	-	-	
	(2) T_{ar} (L)	-300	0,00	-	-	
	1L x 2L	60	0,00	-	-	
M	Média	545,09	0,00	-	-	0,9921
	(1) Potência (L)	-178,65	0,00	-	-	
	(2) T_{ar} (L)	-120	0,00	-	-	
	1L x 2L	60	0,00	-	-	

* p<0,05 (estatisticamente significativo a 95% de confiança).

C = Convencional.

M = Microonda.

Pela Tabela 10 observa-se que as duas variáveis utilizadas na secagem convencional, velocidade do ar e temperatura do ar, não foram estatisticamente significativas. Entretanto, ambas apresentaram efeito positivo. A temperatura do ar destacou-se levemente, pois (Tabela 1) o tempo de secagem foi bem menor a 65°C, independente do valor da velocidade do ar (o tempo de secagem foi o mesmo para as velocidades 1,5 e 2,5 m/s).

Constatou-se que as duas variáveis utilizadas na secagem com microondas (potência e temperatura do ar) também não foram estatisticamente significativas, embora com grande efeito. Quando se utilizou potência de 104 W e temperatura de 60°C obteve-se tempo de secagem bem menor.

O valor do desvio-padrão em ambas as análises (Tabela 10) foi zero já

que não houve resposta diferente nas replicatas do ponto central, portanto não há como calcular os valores de t, de p e dos limites de confiança.

A Tabela 11 apresenta os efeitos das variáveis utilizadas em cada planejamento e da interação entre elas sobre o índice de peróxido na fração lipídica de amêndoas de castanha-do-Brasil, armazenadas por seis meses.

TABELA 11 – EFEITOS DAS VARIÁVEIS SOBRE O ÍNDICE DE PERÓXIDO PARA AS AMÊNDOAS DE CASTANHA-DO-BRASIL (*B. excelsa*) SECAS POR PROCESSO CONVENCIONAL E POR MICROONDAS E AR QUENTE

		Coef. Regres.	Desvio- Padr ^a o	t (2)	p	Coef. Correla ^a o
C	M ^b dia	11,08	0,85	13,10	0,0058	0,5499
	(1) v _{ar} (L)	-1,01	2,24	-0,45	0,6946	
	(2) T _{ar} (L)	-0,91	2,24	-0,41	0,7222	
	1L x 2L	1,58	2,24	0,71	0,5522	
M	M ^b dia	13,08	0,35	37,19	0,0007	0,7821
	(1) Pot _{encia} (L)	-0,65	0,92	-0,71	0,5521	
	(2) T _{ar} (L)	-2,68	0,93	-2,88	0,1022	
	1L x 2L	0,71	0,93	0,76	0,5268	

* p<0,05 (estatisticamente significativo a 95% de confiança).

C = Convencional.

M = Microonda.

As duas variáveis utilizadas na secagem convencional (velocidade do ar e temperatura do ar) não foram estatisticamente significativas (Tabela 11), mas apresentaram efeito positivo. Os índices de peróxidos obtidos mantiveram-se abaixo do limite máximo tolerado durante todo o tempo de armazenamento da amêndoa. As duas variáveis usadas na secagem com microondas (potência e temperatura do ar) também não foram estatisticamente significativas, mas apresentaram ótimo resultado. Os índices de peróxido obtidos também se mantiveram abaixo do valor estipulado pela legislação brasileira.

O baixo valor do desvio-padrão obtido (Tabela 11) indicou que as replicatas no ponto central foram satisfatórias. Os baixos valores do

coeficiente de correlação revelaram comportamento particular do produto, diferente do modelo linear utilizado no tratamento estatístico. Segundo BARROS NETO, SCARMINO e BRUNS (1996) se o modelo linear não se adequar ao tratamento deve-se tentar o modelo quadrático. Esse requer pontos axiais, ou seja, pontos abaixo do nível -1 e acima do nível +1, cujos valores seriam de -1,41 e +1,41 no planejamento fatorial 2², o que não foi possível devido às condições do equipamento utilizado. O planejamento aqui desenvolvido teve como objetivo conhecer e estudar a influência de algumas variáveis no processo e o comportamento da amêndoas perante o tratamento aplicado e não de se obter modelo matemático que descrevesse esse comportamento. Isto foi possível por meio do tratamento linear.

As Tabelas 12 e 13 apresentam os efeitos das variáveis utilizadas em cada um dos planejamentos e das interações entre elas sobre o índice de estabilidade oxidativa na fração lipídica de amêndoas de castanha-do-Brasil, bem como sobre a atividade de água das amêndoas armazenadas durante seis meses.

TABELA 12 – EFEITOS DAS VARIÁVEIS SOBRE O ÍNDICE DE ESTABILIDADE OXIDATIVA PARA AS AMÊNDOAS DE CASTANHA-DO-BRASIL (*B. excelsa*) SECAS POR PROCESSO CONVENCIONAL E POR MICROONDAS E AR QUENTE

		Coef. Regres.	Desvio- Padr ^a o	t (2)	p	Coef. Correla ^a o
C	M ^b dia	5,35	0,15	36,67	0,0007	0,5307
	(1) v _{ar} (L)	0,18	0,39	0,45	0,6946	
	(2) T _{ar} (L)	-0,23	0,39	-0,58	0,6188	
	1L x 2L	-0,35	0,39	-0,89	0,4656	
M	M ^b dia	5,38	0,14	38,53	0,0006	0,3321
	(1) Pot ^c encia (L)	-0,10	0,37	-0,27	0,8140	
	(2) T _{ar} (L)	0,25	0,37	0,67	0,5743	
	1L x 2L	-0,01	0,37	-0,01	0,9904	

*p<0,05 (estatisticamente significativo a 95% de confiança).

C = Convencional.

M = Microonda.

As duas variáveis, velocidade e temperatura do ar (Tabela 12 e 13),

não foram estatisticamente significativas, porém, apresentaram efeito positivo. De acordo com a Tabela 5, os índices de estabilidade oxidativa obtidos mantiveram-se estáveis e os valores de atividade de água (Tabela 7) ficaram abaixo de 0,6. As variáveis potência e temperatura do ar (Tabela 12 e 13) também não se mostraram estatisticamente significativas, mas apresentaram ótimo efeito. Os índices de estabilidade oxidativa (Tabela 6) e a atividade de água (Tabela 8) enquadraram-se nos mesmos padrões das amêndoas secas convencionalmente. O baixo valor do desvio-padrão para ambas as análises indicou que as replicatas no ponto central foram satisfatórias. Os baixos valores do coeficiente de correlação obtidos nessas análises também revelaram comportamento particular do produto, diferente do modelo linear utilizado no tratamento estatístico.

TABELA 13 – EFEITOS DAS VARIÁVEIS SOBRE A ATIVIDADE DE ÁGUA PARA AS AMÊNDOAS DE CASTANHA-DO-BRASIL (*B. excelsa*) SECAS POR PROCESSO CONVENCIONAL E POR MICROONDAS E AR QUENTE

		Coef. Regres.	Desvio- Padr ^a o	t (2)	p	Coef. Correla ^a o
C	M \bar{d} ia	0,570	0,0064	89,80	0,0001	0,8215
	(1) v_{ar} (L)	0,017	0,0168	1,01	0,4181	
	(2) T_{ar} (L)	-0,029	0,0168	-1,73	0,2265	
	1L x 2L	0,012	0,0168	0,71	0,5492	
M	M \bar{d} ia	0,58	0,00	120,25	0,0000	0,6218
	(1) Pot \ddot{o} ncia (L)	0,00	0,01	0,00	0,9966	
	(2) T_{ar} (L)	-0,012	0,01	-0,99	0,4276	
	1L x 2L	-0,008	0,01	-0,67	0,5711	

* p<0,05 (estatisticamente significativo a 95% de confiança).

C = Convencional.

M = Microonda.

4 CONCLUSÃO

Os tempos de secagem obtidos nos processos a ar quente convencional e por microondas e ar quente foram diferentes. A amêndoa de castanha-do-Brasil com umidade entre 3 e 6,5% (b.u.) teve o seu tempo de secagem reduzido de 720 minutos pelo processo a ar quente convencional para 380 minutos com a aplicação de microondas.

Ambos os processos de secagem mostraram-se bastante satisfatórios, conforme o objetivos visados neste trabalho. A conservação dos produtos finais obtidos manteve-se estável durante todo o período de armazenamento estudado, enquadrando-se nos limites recomendados pela literatura e estipulados pela legislação brasileira.

ABSTRACT

COMPARATIVE STUDY OF BRAZIL NUTS (*Bertholletia excelsa*) CONSERVATION DRIED CONVENTIONALLY AND BY MICROWAVE

The conservation of Brazil nuts kernels dried by microwave and by conventional process was comparatively studied. Two drying procedures were developed in domestic ovens, adapted with an external air supply system. Tests were established from experimental designs, utilizing combinations of potence density (W/g), temperature and air velocity. The reponses of both processes were drying time, water activity (A_w) and rancidity levels, given by peroxide indexes (PI) and oxidative stability (OSI). The values of A_w , PI and OSI were obtained during six months of storage of the packed dried kernels. The results were within the ranges $A_w \leq 0.60$; 8.8 meq/1000 g oil, PI ≤ 14.9 meq/ 1000 g oil; 5 h OSI ≤ 7.4 h, following the limits found in literature and established by Brazilian legislation. It was concluded that is possible to obtain products with quality adequately preserved by the use of microwave in the drying of Brazil nuts.

KEY-WORDS: BRAZIL-NUTS-DRYING; *Bertholletia excelsa*.

REFERÊNCIAS

- 1 AOAC. Association of Official Analytical Chemists'. **Nuts and nut products.** 16th ed. Gaithersburg, 1997. Cap. 40, p.40.
- 2 AOCS. American Oil Chemist's Society. **Official methods and recommended practices of the AOCS.** Champaign, 1997.
- 3 BARROS NETO, B.; SCARMINO, I.S.; BRUNS, R.E. **Planejamento e otimização de experimentos.** Campinas: UNICAMP, 1996.
- 4 BERTELI, M.N.; MARSAIOLI JR., A. Evaluation of a continuous rotary air dryer assisted by microwaves in comparison with the conventional air dryer in the short cut pasta production. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM, 13., Beijing, China, 2002. **Proceedings...** Beijing, China: [s.n.], 2002. v. B, p.874-881.

- 5 BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução n. 482, de 23 de setembro de 1999. Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de óleos e gorduras vegetais. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, republicada em 20/06/2000.
- 6 CARDARELLI, H. R.; OLIVEIRA, A. J. Conservação do leite de castanha-do-Pará. **Sci. Agric.**, v. 57, n. 4, p.617-622, dez. 2000
- 7 CEPAGRI. Centro de Pesquisas Agrícola. Disponível em: <<http://orion.cpa.unicamp.br/portal/index.php>>. Acessado em: 13/12/2003.
- 8 GLÓRIA, M.M.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B. Concentrado e isolado protéico de torta de castanha do Pará: obtenção e caracterização química e funcional. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 240-245, 2000.
- 9 GUTIERREZ, E. M. R.; REGITANO D'ARCE, M. A. B.; RAUEN-MIGUEL, A. M. Estabilidade oxidativa de óleo bruto de castanha do Pará. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 22-27, 1997.
- 10 LABUZA, T.P. The effect of water activity on kinetics of food deterioration. **Food Technology**, v.39, n.4, p. 36-41, 1980.
- 11 MARSAIOLI JR., A.; CUNHA, M.L.; CANTO, M.W. Secagem de café cereja descascado por ar quente e microondas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, Brasil, v. 23, n. 3, p. 381-385, 2003.
- 12 RAUEN-MIGUEL, A.M.O.; ESTEVES, W.; BARRELA-ARELLAMO, D. Determinación del período de inducción de aceite de soja: correlación entre el Rancimat y otros índices. **Grasas y Aceites**, Sevilha, v. 43, n. 3, p. 119-122, 1992.
- 13 ROGEZ, H. Primeiro Seminário do Projeto “Estudo pluridisciplinar sobre a valorização de frutas Amazônicas e de seus derivados”. **VII Castanha do Pará**, Belém, Brasil, janeiro, 1995.
- 14 SILVA, F.A. **Aplicação de microondas no processo de beneficiamento de castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*)**. Campinas, 2002. Tese (Mestrado), Departamento de Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP.
- 15 SOUSA, W.A.; PITOMBO. R.N.M.; DA SILVA, M.A.A.P.; MARSAIOLI JR., A. Sensory evaluation of dried bananas obtained from air dehydration assisted by microwaves. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICROWAVE AND HIGH FREQUENCY HEATING, 8., Bayreuth, Germany, Sept. 3-7, 2001. **Advances in microwave and radio frequency processing**. Bayreuth, Germany: Springer Verlag, 2001. p. 289-302.

- 16 STATSOFT INC. **Statistica versão 5.0**. Cary, 2000.
- 17 TATEO, F. La composizione acidica della materia gresta estratte daí semi di *Bertholletia excelsa*. **Industrie Alimentari**, Pinerolo, v. 10, n. 2, p. 68-70, 1971.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO – FAPESP (Processo Nº 00/02610-0) pela Bolsa de Mestrado associada a este trabalho.