

Estudo da cinética de reidratação do pó da polpa do abacate liofilizado

D. S. Souza¹; J. D. R. Pimentel²; L. G. Marques³; N. Narain¹

¹Laboratório de Análises Cromatográficas e de Flavor, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, São Cristóvão-SE, Brasil

²Laboratório de Tecnologia Animal, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, São Cristóvão-Se, Brasil

³Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, São Cristóvão-Se, Brasil
danilosantos_souza@yahoo.com.br

(Recebido em 26 de agosto de 2010; aceito em 01 de junho de 2011)

O abacate é uma das frutas tropicais de alto valor nutricional caracterizando-se pela elevada quantidade de matéria graxa. O objetivo deste trabalho foi avaliar a reidratação do pó da polpa de abacate, variedade Collinson, liofilizado em diferentes geometrias. As polpas cortadas em formas de disco, cubo, paralelepípedo e batida foram liofilizadas, trituradas e peneiradas para obtenção do pó. A cinética de reidratação foi determinada por meio de um equipamento que possibilitou a determinação de água absorvida em função do tempo. Duas equações semi-empíricas, equação de Peleg e Weibull, foram utilizadas de forma a ajustar aos dados experimentais de reidratação. As equações utilizadas se mostraram eficazes para representar a cinética de reidratação do pó do abacate liofilizado. Embora o pó originário do disco de abacate liofilizado tenha apresentado a menor taxa de reidratação, também apresentou o maior teor de umidade de saturação, aproximadamente, 3,83 g água/g s.s., se aproximando da umidade da polpa *in natura*, 4,23 g água/g s.s.

Palavras-chave: Fruta tropical, transferência de massa, capacidade de absorção.

The avocado is a tropical fruit with the high nutritional value characterized by its high lipid content. The aim of this research was to evaluate the rehydration avocado powder pulp variety Collinson, lyophilized in different geometries. The triturated pulp in the form of pulp beating, hard, cube and parallelepiped which were freeze dried, and then triturated and sieved to obtain powder. The rehydration kinetics was determined through an experimental apparatus that monitored of water absorption versus time Two semi-empirical equations, equation of Peleg and Weibull, were fitted to experimental data of rehydration. Both are efficient to represent the kinetics of rehydration of freeze-dried avocado powder. Although the dust originates in the disk of lyophilized avocado has presented the lowest rate of rehydration, it had the highest content of saturation moisture, about, 3,83g water/ g d.m., of approaching the moisture of the fresh fruit pulp, 4,23 g water/g d.m.

Keywords: Tropical fruit, mass transfer, absorption capacity

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o abacateiro é cultivado em quase todas as regiões tropicais e subtropicais [1]. Trata-se de uma planta frutífera das mais produtivas por unidade de área cultivada [2]. A polpa do abacate é geralmente de cor amarela clara, com tendência ao verde perto da casca, de consistência manteigosa e espessura de 15 a 20 mm ou mais [3]. Esta fruta se caracteriza pela elevada quantidade de matéria graxa na sua composição, principalmente, de ácidos graxos insaturados (10,85%), assim como proteínas (1,7%) e vitaminas lipossolúveis (A, B, C, E, G, K e P), sendo esta última em proporções superiores às das demais frutas.

Desde 1915 inúmeros pesquisadores, em diversos países do mundo, vêm tentando a obtenção de uma polpa estável de abacate, utilizando uma série de métodos de preservação, tais como: pasteurização, secagem, extração de óleo, congelamento, etc [4].

A liofilização é conhecida como o processo de secagem que oferece produtos de elevada qualidade. Devido à ausência de água líquida e às baixas temperaturas requeridas no processo, o encolhimento e a migração de sólidos solúveis no interior do material são minimizados, a

estrutura porosa do material seco facilita a rápida reidratação de componentes aromáticos voláteis que é favorecida e as reações degradativas são minimizadas [5, 6].

A conservação de alimentos por desidratação permite que o produto tenha uma maior vida de prateleira devido à redução da atividade de água, o que é associado à redução no custo de transporte e armazenamento, devido à leveza e compactação, combinadas aos efeitos benéficos da estabilidade microbiológica e química dos alimentos [7].

A reidratação de produtos secos é uma propriedade importante para caracterizar a qualidade de produtos que devem ser reconstituídos antes do seu consumo [9]. A absorção de água deve ser rápida e em maior volume possível, a fim de aumentar o rendimento dos produtos instantâneos [10]. Assim, o conhecimento da cinética de reidratação é importante para otimizar o processo do ponto de vista quantitativo e avaliar as injúrias causadas ao tecido vegetal pelo processo de secagem.

A reidratação é um processo complexo, tendo em vista a restauração das propriedades do produto *in natura*. A reidratação de produtos desidratados, normalmente, é composta de três processos simultâneos: a embebição do material seco em água, o inchaço dos componentes hidrofílicos e a lixiviação de sólidos solúveis. Durante a reidratação a absorção de água é mais rápida durante a fase inicial, nos estágios seguintes a taxa diminui gradualmente, uma vez que o teor de umidade do produto se aproxima do equilíbrio, quando a água preenche quase todos os poros, e as frutas recuperam uma percentagem considerável do seu teor de umidade original [8].

É desconhecido qualquer trabalho realizado com o pó da polpa de abacate desidratado por qualquer processo que estude a avaliação da cinética de reidratação.

O presente trabalho teve como objetivo determinar e avaliar a cinética de reidratação do pó do abacate liofilizado, assim como analisar a influência de diferentes geometrias empregadas no processo de liofilização.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os frutos do abacate, variedade Collinson, utilizados foram adquiridos no Centro de Abastecimento (CEASA) do município de Aracajú/SE. A seleção dos frutos foi realizada visualmente por meio da integridade física, coloração e tamanho, buscando uma maior homogeneidade do ponto de maturação fisiológica. Os frutos em seu estágio de maturação chamados “de vez” foram os escolhidos para a realização dos experimentos, os quais aconteceram no Laboratório de Tecnologia Vegetal do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Sergipe.

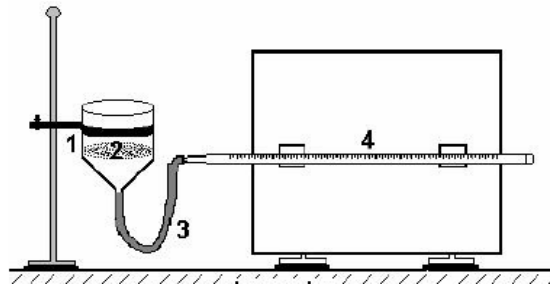
Inicialmente, a fruta foi submetida à pré-lavagem em água corrente à temperatura ambiente, e posteriormente passou pelo processo de sanitização em água clorada, com solução 150 ppm de cloro residual livre, por 15 minutos. Em seguida, a matéria-prima foi lavada em água corrente para retirada do excesso de cloro, e depois foi cortada, manualmente, com faca de aço inoxidável para a remoção do caroço e casca. Amostras foram colhidas para análises de pH em pHmetro, acidez total titulável e umidade em estufa a 105°C por 24 horas.

A fim de avaliar a influência das diferentes geometrias no processo de reidratação as amostras foram cortadas e liofilizadas nas seguintes formas:

- Polpa batida: obtida pela homogeneização em liquidificador doméstico por 1 minuto e disposta em bandeja com espessura de 14 mm;
- Disco: cortados com fôrma padronizada em 10 mm de raio e espessura;
- Cubo: cortados com faca de aço inoxidável, sendo as medidas das arestas de 10 mm realizadas com auxílio de um paquímetro e
- Paralelepípedo: cortados com faca de aço inoxidável, sendo as medidas das arestas de 10, 20 e 30 mm realizadas com o auxílio de um paquímetro.

Após cortadas e padronizadas, as amostras foram acondicionadas em bandejas de aço inoxidável e congeladas em *freezer* doméstico a uma temperatura de -18°C por 24 horas. Posteriormente foram inseridas no liofilizador. A liofilização ocorreu a uma pressão mínima de 128 µHg por 48 horas. Depois de desidratadas, as amostras foram trituradas em liquidificador doméstico por 1 minuto e peneiradas para obtenção de um produto homogêneo.

O equipamento utilizado para a reidratação da polpa liofilizada foi composto de um suporte com garras, no qual se encontra acoplado um funil de vidro. Conectou-se uma mangueira de silicone ligando a extremidade do bico do funil à extremidade de uma pipeta de 5 mL, localizada num outro suporte disposta horizontalmente, conforme ilustra a Figura 1.



Legenda: (1) Funil de vidro, (2) Material seco+papel filtro;
(3) Mangueira; (4) Pipeta graduada;

Figura 1. Aparelho utilizado para reidratação do produto desidratado [11].

No funil de vidro, colocou-se papel de filtro. Adicionou-se, então, água destilada, preenchendo o funil, a mangueira de silicone e até zerar o nível da pipeta. No papel de filtro umedecido colocou-se 1g de material desidratado. À medida que o produto absorvia cada décimo de ml de água, registrava-se o tempo através de um cronômetro. Desta forma, pôde-se construir a curva que representa a cinética de reidratação do pó do abacate liofilizado.

Modelos teóricos, semi-empíricos e empíricos foram utilizados para descrever a cinética de absorção de água. Foram utilizados modelos de Peleg [9, 12, 13, 14, 15, 16] e a distribuição de Weibull [9, 17, 18, 19]. As equações descritas anteriormente estão apresentadas a seguir:

$$X_{b.s.} = X_0 + \left[\frac{t}{k_1 + k_2 \times t} \right] \text{ Modelo de Peleg;} \quad (1)$$

$$X_{b.s.} = X_e + (X_0 - X_e) \exp \left[- \left(\frac{t}{\theta} \right)^\psi \right] \text{ Modelo de Weibull;} \quad (2)$$

Sendo $X_{b.s.}$ a umidade em base seca (g água/g sólido seco); X_0 a umidade inicial do produto a ser reidratado (g água/g sólido seco); X_e a umidade de saturação (g água/g sólido seco); k_1 e k_2 os parâmetros de Peleg; ψ e θ os parâmetros de Weibull.

Para a seleção da equação mais apropriada, o software do programa STATISTICA versão 8.0 para Windows foi utilizado para ajustar as equações dos dados experimentais. Os parâmetros das equações foram estimados utilizando a análise de regressão não-linear através do método dos mínimos quadrados em uma série de passos iterativos.

Dois critérios estatísticos foram utilizados para avaliar o melhor ajuste das equações de cinética de reidratação: o coeficiente de correlação R^2 , e o desvio padrão de estimação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O abacate *in natura* apresentou, em média, teores de umidade, acidez total titulável e pH de 4,23 g água/g sólido seco, 0,486% e 6,77, respectivamente. Tais valores estão de acordo com os encontrados por Maranca (1992) [2]. A umidade dos pós da polpa batida, do disco, do cubo e do paralelepípedo foram de 0,0886; 0,0323; 0,0575 e 0,1096 g água/g s.s., respectivamente.

Nas Figuras 1 e 2 estão mostradas a cinética de reidratação do pó do abacate liofilizado nas diferentes geometrias e os ajustes para as diferentes equações matemáticas. Observa-se nas Figuras 1 e 2 que o pó obtido da geometria em disco alcançou a maior umidade de saturação, chegando a um valor aproximado de 3,830 g água/g s.s., em aproximadamente, 66 minutos, porém, sua velocidade de reidratação foi a menor quando comparada com as outras geometrias, exceto quando se compara com o pó da polpa batida que teve a menor taxa de absorção de água e o menor teor de umidade de saturação (1,710 g água/g s.s.) em aproximadamente, 90 minutos.

Para os pós das geometrias em cubo e paralelepípedo, verificou-se que estes apresentaram um comportamento semelhantes, com as maiores taxas de absorção, nos períodos iniciais da reidratação (Figuras 1 e 2). O pó do cubo alcançou uma umidade de equilíbrio de 3,012 g água/g s.s. em 43,6 minutos, enquanto o pó do paralelepípedo alcançou uma umidade de saturação de 3,204 g água/g s.s. em 59,5 minutos (Figuras 1 e 2).

O fato do pó da polpa batida obter uma taxa de reidratação menor pode estar, relacionado com as alterações estruturais do abacate ocorridas durante a homogeneização da fruta *in natura*, fazendo com que os espaços intercelulares se rompessem depreciando a formação dos poros favoráveis para reidratação.

Dentre os tratamentos, o pó do disco foi o que apresentou maior eficiência no processo de reidratação se aproximando da umidade da polpa *in natura* que foi de 4,23 g água/g s.s., em seguida, o pó do paralelepípedo, o pó do cubo e finalmente o pó da polpa batida (Figura 1 e 2). Verificou-se também que a geometria da polpa no processo de liofilização influenciou na transferência de massa da reidratação (Figuras 1 e 2).

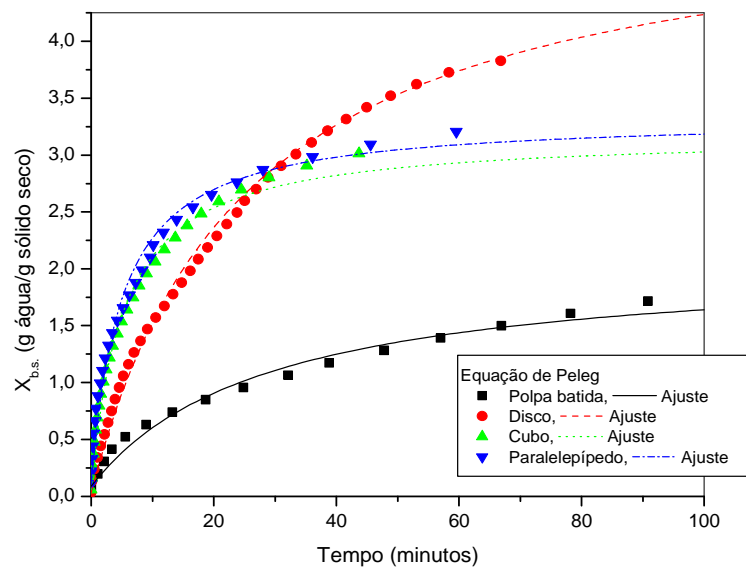


Figura 1. Umidade em base seca do pó do abacate liofilizado em função do tempo e o ajuste da equação de Peleg

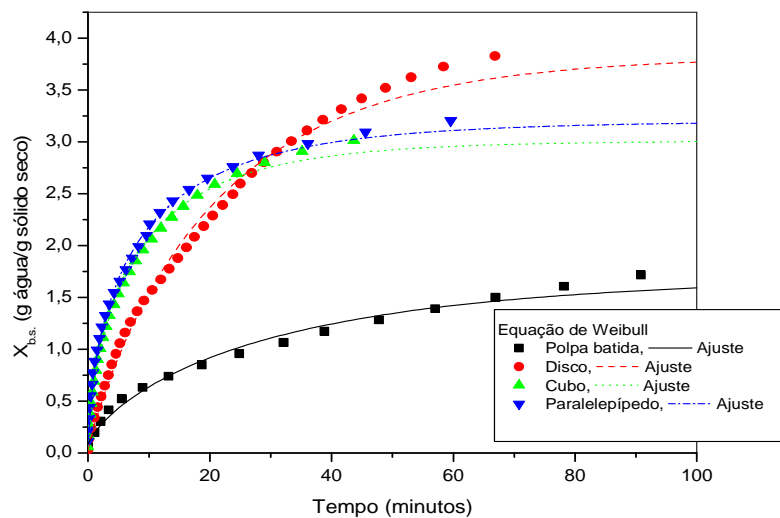


Figura 2. Umidade em base seca do pó do abacate liofilizado em função do tempo e o ajuste da equação de Weibull.

As análises da cinética de reidratação também podem ser complementadas com base nos parâmetros da estimação não linear, encontrados por meio de modelos que avaliam quais os parâmetros mais adequados para descrever o processo de reidratação. Os valores estão apresentados na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1. Valores dos parâmetros para os modelos usados na reidratação dos pós da polpa de abacate liofilizado em diferentes geometrias.

Geometrias	Peleg			Weibull		
	k_1 (min·g s.s./g água)	$k_2 \times 10^{-1}$ (g s.s./g água)	R^2	$\psi \times 10(-)$	θ (min)	R^2
Polpa Batida	14,5(1,28)*	4,95(0,027)	0,982	7,95(1,42)	30,6 (0,045)	0,985
Disco	4,78(0,114)	1,92(0,003)	0,995	9,14(0,345)	21,1(0,021)	0,993
Cubo	1,67(0,073)	3,16(0,006)	0,990	6,93(0,112)	8,22(0,009)	0,998
Paralelepípedo	1,52(0,084)	3,13(0,007)	0,985	6,41(0,123)	8,58(0,009)	0,998

*Os valores entre parênteses representam os desvios padrões.

Verificou-se que tanto o modelo de Peleg (Equação 1), quanto o de Weibull (Equação 2) são apropriados para descrever os dados de reidratação de todas as geometrias liofilizadas, levando em consideração que os valores do coeficiente de correlação (R^2) apresentaram valores iguais ou superiores a 0,982 e desvios padrões foram inferiores a 1,423, o que aumentou o nível de confiança dos ajustes. Alguns autores estudando a cinética de reidratação para diferentes tipos de alimentos obtiveram uma boa qualidade nos ajustes pelo modelo Weibull: [17] em cereais matinais, como por exemplo [18] em cenoura, [20] em frutas tropicais.

Para os ajustes da equação matemática de Peleg, verificou-se que o pó da polpa batida apresentou os maiores valores para k_1 e k_2 que representam a maior resistência do pó em absorver umidade (Tabela 1). O pó do disco apresentou valor de k_2 menor que as demais formas, o que explica sua maior umidade de saturação alcançada (Figura 1 e 2). Os pós do cubo e paralelepípedo apresentaram valores de k_1 inferiores ao demais, justificando a alta taxa de reidratação no início do processo como mostra a Figura 1.

De forma geral, verificou-se com o ajuste de Weibull que o pó da polpa batida se caracterizou com o mais baixo nível de correlação entre as formas estudadas, e entre as equações analisadas.

O parâmetro de forma ψ mede a velocidade de absorção de água no início da reidratação [20]. Assim, o elevado valor de ψ obtido para o pó da polpa do abacate batido indicando que a absorção de água foi lenta, enquanto para o cubo e o paralelepípedo os valores obtidos foram baixos, ou seja, apresentaram maior taxa de reidratação, corroborando os valores experimentais obtidos e apresentados na Figura 2.

O inverso do parâmetro θ é similar ao coeficiente de difusão efetivo de massa [20]. Assim, quanto maior o valor de θ , maior a dificuldade de absorver água. De acordo com os valores apresentados na Tabela 1, verificou-se que o abacate batido e o disco apresentaram os maiores valores, conseqüentemente maior dificuldade em absorver água durante a reidratação, como mostra a Figura 2.

Diante destes resultados, nota-se que o pó do abacate batido apresentou a menor capacidade de reidratação, possivelmente devido as alterações nos tecidos vegetais, enquanto que o pó do disco reidratado foi a amostra que mais se aproximou do teor de umidade do abacate fresco.

4. CONCLUSÃO

A forma geométrica em que o produto foi liofilizado teve influência no tempo do processo de reidratação e principalmente nos parâmetros relacionados à taxa da sua cinética. O pó obtido pela desidratação na forma de disco se apresentou como a mostra que absorveu umidade com mais eficiência durante o processo se aproximando da umidade da polpa *in natura*, seguido do pó do paralelepípedo, pó do cubo e pó da polpa batida.

As duas equações, de Peleg e de Weibull, usadas para ajustar o comportamento da cinética de reidratação foram eficientes e podem descrever o processo de reidratação do abacate liofilizado.

1. TEIXEIRA, C. G. Cultura. In: ABACATE – cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos. Campinas: ITAL, 1992. p. 1.
2. MARANCA, Fruticultura comercial. In: Manga e Abacate. São Paulo - SP, 6ª edição, Nobel, p. 91, 1992.
3. TANGO, J. S.; TURATTI, J. M. Óleo de abacate. In: ABACATE – cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos. Campinas: ITAL, 1992. p. 156-192.
4. MARTIN, Z. J. de, III – Processamento: produtos, características e utilização. In: ABACATE – cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos. Campinas: ITAL, 1992. p. 148.
5. RATTI, C. “Hora ir and freeze-drying of high-value foods: a review”, **Journal of Food Engineering**, 49, pp. 311-319, 2001.
6. GEORGE, J.P. & DATTA, A. K., “Development and validation of heat and mass transfer models for freeze-drying of vegetable slices”, 52, pp. 89-93, 2002.
7. FELLOWS, P. Tecnología del procesado de los alimentos: Principios y prácticas. Zaragoza (España): Editorial Acribia, S.A., 1994. p.549.
8. LEE, K. T.; FARID, M.; NGUANG, S. K.; The mathematical modelling of the rehydration characteristics of fruits. **Journal of Food Engineering**. 72 (2006) 16–23
9. GARCÍA-PASCUAL, P.; SANJUAN N.; MELIS R.; MULET, A.; Morchella esculenta (morel) rehydration process modelling. **Journal of Food Engineering**. 72 (2006) 346–353.
10. PORTO, P. S. S.; Cinética da secagem de cebola (*Allium cepa l.*) em camada delgada. 2001. 103 p. **Dissertação de Mestrado** – Fundação Universidade do Rio Grande. Rio Grande – RS. 2001.
11. MARTINS, P. C. ; PINTO, L. A. A. Caracterização da secagem de cebola (*Allium cepa L*) em camada delgada delgada e da reidratação do produto desidratado. **Brazilian Journal of Food Technology**. Preprint Serie, Campinas -SP, v. 6, n. 3, p. 144-151, 2003.
12. PELEG, M., An empirical model for the description of moisture sorption curves. **Journal of Food Science**, 53(4): 1216–1219. 1988.
13. SANJUÁN, N.; SIMAL, S.; BON, J.; MULET, A., Modeling of broccoli stems rehydration process. **Journal of Food Engineering**, 42(1): 27–31. 1999.
14. RESIO, A.C.; AGUERRE, R.J.; SUÁREZ, C.; Hydration kinetics of amaranth grain. **Journal of Food Engineering**, 72(3): 247–253, 2006.
15. SOLOMON, W.K.; Hydration kinetics of lupin (*Lupinus Albus*) seeds. *J Food Process Eng*, 30(1): 119–130. 2007.
16. MOREIRA, R.; CHELCO, F.; CHAGURI, L.; FERNANDES, C., Water absorption, texture, and color kinetics of air-dried chestnuts during rehydration. **Journal of Food Engineering**, 86(4): 584–594. 2008.
17. MACHADO, M.; OLIVEIRA, F.A.R.; GEKAS, V.; SINGH, R.P., Kinetics of moisture uptake and soluble-solids loss by puffed breakfast cereals immersed in water. *Int Journal Food Science Technology*, 33(3): 225–237. 1998.
18. MARABI, A.; LIVINGS, S.; JACOBSON, M.; SAGUY, I.S., Normalized Weibull distribution for modeling rehydration of food particulates. **Eur Food Res Technol**, 217(4): 311–318. 2003.
19. CUNNINGHAM, S.E.; MCMINN, W.A.M.; MAGEE, T.R.A.; RICHARDSON, P.S.; Modeling water absorption of pasta during soaking. **Journal of Food Engineering**, 82(4): 600–607. 2007.
20. MARQUES, L.G., **Liofilização de frutas tropicais**. 2008. 255f. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR. São Carlos/SP.