

EFEITO DO PRÉ-TRATAMENTO COM ÁGUA A 93°C NA TAXA DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DA ACEROLA

J. S. NASCIMENTO¹, V. A. SILVA¹, R. F. DE OLIVEIRA¹ e SILVA. A. A. R.¹

¹ Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Química
E-mail para contato: verusckaaraujo@gmail.com

RESUMO – O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas. Porém, durante o período de safra, parte da produção é perdida devido aos baixos preços, o transporte e armazenamento realizados de maneira inadequada. A acerola, cujo nome científico é *Malpighia emarginata* DC, têm sido uma fruta largamente cultivada nos últimos anos na região nordestina. As frutas *in natura* com o passar do tempo se decompõe naturalmente e a desidratação osmótica é uma alternativa rentável a esta decomposição. A desidratação osmótica permite uma redução parcial da água do fruto, por imersão em solução de sacarose. No presente trabalho foi estudado o efeito do pré-tratamento térmico com água a 93 °C durante 5 segundos, seguindo para a desidratação osmótica em soluções de sacarose com concentrações de 40 a 70 °Brix, durante 180 a 270 minutos. Foi observado que a solução de 40 °Brix proporcionou maior perda do conteúdo de água comparado com as concentrações de 55 e 70 °Brix. O modelo difusional proposto apresentou um bom ajuste aos dados experimentais, com coeficiente de difusão em torno de $5,02 \times 10^{-11}$ a $1,10 \times 10^{-9}$ m²/s e coeficiente de correlação de 0,90.

1. INTRODUÇÃO

A acerola, cujo nome científico é *Malpighia emarginata* DC, têm sido uma fruta largamente cultivada nos últimos anos na região nordestina do Brasil. Também conhecida como cereja das Antilhas, por sua origem, é um pequeno fruto de cor vermelha de sabor ácido e levemente doce, que tem assumido grande importância pelo seu valor nutricional, pois é uma fonte natural de vitamina C ácido ascórbico (Silva, 2004).

A desidratação de produtos agrícolas tem a finalidade de preservar, reduzir os custos de embalagem e de transporte, como resultado da diminuição do peso e volume, e aumentar a diversificação do produto no mercado. A desidratação osmótica tem atraído a atenção de muitos desenvolvedores de produtos alimentares, devido à sua boa conservação. Pode ser realizada para se obter diversos tipos de produtos, tais como minimamente processado, produtos intermédios de umidade, ou como um pré-tratamento antes da secagem ou congelamento (Oliver *et al.*, 2012).

Segundo Bellary *et al.* (2011) a desidratação osmótica é uma tecnologia viável para a impregnação de ingredientes bioativos em alimentos sem alterar a sua estrutura. Aguiar *et al.* (2002) estudaram desidratação osmótica da banana nanica em solução osmótica de 50 °Brix, temperatura de imersão de 50 a 70 °C, tempo de imersão de 1 a 4 horas seguida da secagem em estufa a 60 °C, por tempos de 4 a 6 h. Observaram que a desidratação osmótica tem baixos custos energéticos comparando a outros métodos desidratação, adapta-se aos pequenos e médios produtores, sendo uma opção tecnológica para a redução das perdas no período entre safras. Além

disso, a desidratação osmótica   uma técnica rentável para os produtores com a finalidade de mantê-los no meio rural (Vasconcelos, 2010).

A desidratação osmótica consiste em mergulhar o tecido vegetal em soluções hipert nicas, gerando uma troca de massa em dois sentidos: o fluxo de água que difunde do interior da amostra para a solução circunvizinha, e no sentido oposto, um fluxo concomitante da substância osmótica que difunde da solução no tecido desidratado. O terceiro fluxo consiste na perda de alguns sólidos naturais da substância desidratada, como a c ares, ácidos orgânicos, sais minerais, entre outro nutritivo. Este fluxo não apresenta nenhum significado na troca de massa, mas tem uma influência nos valores nutritivos finais (vitamina C e mineral) e propriedades organolepticas do alimento (sabor, cor e textura). O resultado da troca de massa é uma redução da água do alimento com um aumento simultâneo do ganho dos sólidos e uma mudança da constituição química do alimento desidratado, resultando em um novo produto. A preservação por meio do método osmoconvectivo reduz o consumo de energia em uma faixa de 20   30% quando comparada à secagem convectiva (Lenart, 1996).

Segundo Corrêa *et al.* (2008), o uso de soluções de sacarose em desidratação osmótica contribuiu para uma redução do teor de umidade, como também um aumento do ganho de sólidos. Gonç lves e Blume (2008) no estudo da desidratação osmótica como tratamento preliminar na secagem de abacaxi observaram, através da análise sensorial, que as características nutricional e sensorial foram preservadas, resultando em um produto com uma grande aceitabilidade na compra e estabilidade no armazenamento.

Segundo Silva *et al.* (2012) no estudo da transferência de massa durante a desidratação osmótica da acerola observaram que os valores de ganho de sólidos foram muito menores do que os da perda de  gua.

1.1. Equa o Teórica do Modelo Difusional

A difusão de água permite a aplicação da Lei de Fick que é expressa em termos do gradiente de umidade. Lewis (1921) sugeriu em seus primeiros estudos que o processo de secagem dos materiais sólidos era difusional. Para geometrias simples e transferência unidirecional, a Lei de Fick pode ser expressa por:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{1}{r^q} \frac{\partial}{\partial r} \left(D r^q \frac{\partial X}{\partial r} \right) \quad (1)$$

Onde: D   o coeficiente de difusão; $q = 0$, para placa plana; $q = 1$, para cilindro; $q = 2$, para esfera; r é a coordenada espacial; r representa o raio da esfera; t o tempo e X é o conteúdo de umidade do material.

A Equa o (1) tem sido usada para diversas formas de sólidos na secagem de vários materiais. Crank (1975) e Keey (1997) apresentam as soluções an ticas da Equa o (1) para as três formas geométricas. No caso de esfera, a integração desta Equa o (1) leva à seguinte equa o para a umidade média Equa o (2):

$$X^* = \left(\frac{\bar{X} - X_{eq}}{X_i - X_{eq}} \right) = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(\frac{-D n^2 \pi^2 t}{r^2} \right) \quad (2)$$

Onde: D é o coeficiente de difusão; n é o número de termos da série; r representa o raio da esfera; t é o tempo; X_i conteúdo de umidade inicial (b.s.) (g H₂O/g ms); X^* conteúdo de umidade do material; X_{eq} é conteúdo de umidade de equilíbrio, (base seca) (g H₂O/g ms); X_i conteúdo de umidade inicial (b.s.) (g H₂O/g ms) e \bar{X} conteúdo de umidade do material no instante t (g H₂O/g ms).

A quantidade total de substância que incorpora ou difunde na esfera é determinada pelo modelo difusional de Fick, apresentado analiticamente por Crank (1975). Esta equação (3) é válida tanto para tempos curtos quanto para tempos longos e é dada por:

$$\frac{M_t}{M_{\infty}} = 1 - \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(\frac{-D n^2 \pi^2 t}{r^2} \right) \quad (3)$$

Onde: Designamos que $A=(6/\pi^2)$ é o parâmetro do modelo difusional de uma esfera; D é o coeficiente de difusão; M_t é a quantidade de água difundida com o tempo; M_{∞} é a quantidade de água difundida no tempo infinito; n é o número de termos da série; r representa o raio da esfera e t o tempo.

Segundo Silva (2004) mediante o método de tentativas foi determinado que nove termos da série da Equação (3) eram suficientes para atingir a convergência. Verificou-se que o parâmetro (A) aproxima-se de $(6/\pi^2)$ na medida em que se aumentava o número de termos, apresentando uma diferença entre o valor teórico e experimental em torno de 8,63%.

O objetivo do presente trabalho é verificar o efeito do pré-tratamento com água a 93°C na taxa de desidratação osmótica da acerola em soluções de sacarose de 40, 55 e 70° Brix e modelar a cinética de desidratação osmótica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As frutas foram selecionadas com base no grau de maturidade semelhante, consistência mais firme, tamanho e cores semelhantes, cascas sem fissuras ou manchas. O branqueamento precedeu os experimentos de desidratação osmótica no qual consistiu na imersão da fruta em um banho de água a 93 °C por um tempo de 5 segundos, em seguida as frutas foram retiradas e o excesso de água removido com papel absorvente gramatura 28 g.m² e pesada em balança semi-analítica Bel Engineering SSR-600. Os experimentos foram realizados à temperatura ambiente (aproximadamente 28 °C). A solução osmótica foi preparada utilizando água destilada e sacarose comercial (açúcar refinado), adquirida no supermercado de João Pessoa-PB, nas concentrações desejada de 40, 55 e 70 °Brix. As concentrações das soluções foram determinadas através de um refratômetro manual portátil - Atago N2 e N3.

Inicialmente foi confeccionada uma cesta cilíndrica em tela de alumínio com altura 9 cm e diâmetro 8 cm, capacidade para 200 g de frutas, as acerolas foram colocadas na cesta, com um suporte cuja finalidade era mantê-las totalmente imersas em 500 ml de solução osmótica para uma determinada concentração e tempo de imersão.

Em intervalos regulares de tempo, as frutas foram retiradas da cesta, drenada, enxaguada com água destilada para retirar o excesso da solução, e a água removida suavemente com papel absorvente. Posteriormente foi pesada em balança semi-analítica e imediatamente retornava a solução de sacarose.

Depois do tratamento osmótico, as frutas foram secas com papel absorvente. O teor de umidade foi determinado pela pesagem de amostras de acerola antes e depois de um período de 24 h a 70 °C em uma estufa, segundo (AOAC, 1997).

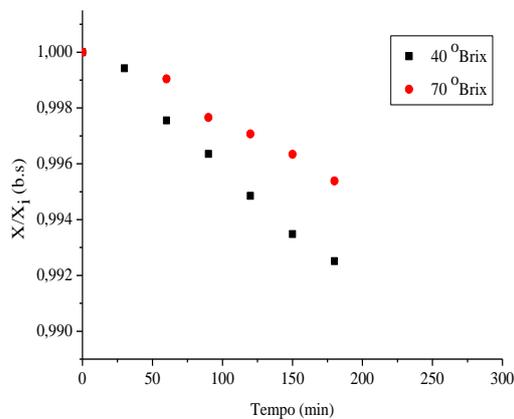
A difusividade efetiva da água (D), os valores do parâmetro (A) e os coeficientes de correlação (R^2) foram estimados mediante ajustes dos dados experimentais utilizando o modelo difusional de Fick Equação (3), por regressão não-linear. Onde o valor ($6/\pi^2 = 0,6079$) corresponde à geometria esférica e foi substituído por um parâmetro ajustável (A). O número de termos da série necessário para atingir a convergência foi determinado por tentativas apresentando uma aproximação do parâmetro A (Silva, 2004).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

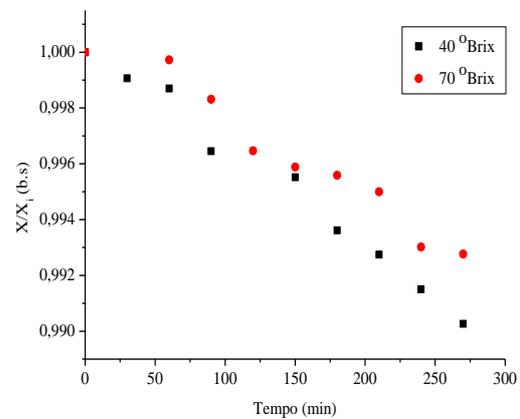
A Figura 1 (a), (b) e (c) ilustram as curvas do conteúdo de umidade sobre o conteúdo de umidade inicial da acerola desidratada na solução osmótica em função do tempo para as concentrações, 40, 55 e 70 °Brix. As soluções a 40 °Brix proporcionaram perdas do conteúdo de água de 0,9924 e 0,9902, que são maiores comparados com as soluções a 70 °Brix de 0,9953 e 0,9927 para as desidratações de 180 e 270 minutos, respectivamente. Oliver *et al.* (2012) no estudo da desidratação osmótica de fatias de maçã observaram uma perda do teor de água e a absorção de sólidos solúveis.

Comparando os valores finais do conteúdo de umidade sobre o conteúdo de umidade inicial, na Figura 1 (a) e (b), podemos observar que o maior tempo de imersão levou a valores mais baixos de umidade no final do processo. O mesmo foi observado por Silva *et al.* (2011b) na desidratação osmótica da acerola em que o aumento do tempo da desidratação osmótica de 4 para 12 horas resultou em valores mais baixos de umidade.

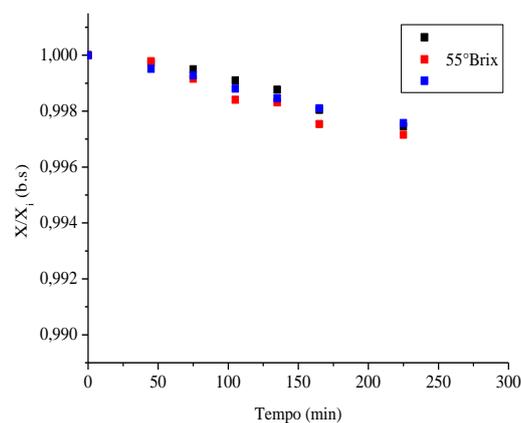
Pode-se observar que no final da desidratação osmótica na Figura 1(a), as concentrações de 40 e 70 °Brix apresentaram um conteúdo de umidade sobre o conteúdo de umidade inicial 0,9924 e 0,9953, respectivamente. Na Figura 1(b) para as concentrações de 40 e 70 °Brix proporcionaram um conteúdo de umidade sobre o conteúdo de umidade inicial de 0,9902 e 0,9927, respectivamente. Porém, observa-se que a concentração a 40 °Brix obteve um resultado mais satisfatório comparando com a concentração a 70 °Brix. Em um estudo realizado na desidratação osmótica da manga, Souza Neto *et al.* (2004) observaram que a transferência de massa foi favorecida pelo uso de concentrações mais elevadas. Lima *et al.* (2004) observaram na cinética de desidratação osmótica do melão que o aumento da concentração da solução favoreceu a uma maior perda de peso do fruto. Nos estudos dos autores acima citados foram avaliados os frutos sem a pele que o reveste e neste, decidiu-se por conserva-la.



(a)



(b)



(c)

Figura 1 – Curvas da desidratção osmótica da acerola, após tratamento térmico obtidas em solução de sacarose: (a) Concentrações de 40 e 70 °Brix durante o tempo de imersão 180 minutos, (b) Concentrações de 40 e 70 °Brix durante o tempo de imersão 270 minutos e (c) Repetições referente ao ponto central na concentração de 55 °Brix durante o tempo de imersão 225 minutos.

Foram realizados três repetições da desidratção osmótica para a concentração de 55 °Brix durante 255 min. Na Figura 1(c) observa-se que no tempo final da desidratção osmótica os experimentos apresentaram o conteúdo de umidade sobre o conteúdo de umidade inicial em torno de 0,9972; 0,9975 e 0,9976. Observa-se que as perdas de água seguiram uma mesma tendência para os três experimentos.

Segundo Silva *et al.* (2011b) verificaram as influências dos branqueamentos das abóboras descascadas nas concentrações de sacarose 50 e 65 ° Brix durante 0,5; 1; 2 e 3 horas. Observaram que os branqueamentos causaram danos às membranas celulares, resultando em mais espaço para a difusão de sacarose, quando estas membranas são alteradas, parte do conteúdo da célula difunde para a solução osmótica, o que resulta em uma maior impregnação do tecido com solutos a partir

da solução, neste caso, a sacarose. Nota-se através da Figura 1(a) e (b) que o tratamento térmico pode ter ocasionado danos na película da acerola. Assim, para a solução mais concentrada de 70° Brix provavelmente causou uma maior impregnação do soluto para o interior e película da acerola em comparação a solução menos concentrada de 40° Brix, resultando em uma menor perda de água na concentração de 70 °Brix e maior perda de água na concentração de 40 °Brix. Silva *et al.* (2012) estudaram a desidratação osmótica das acerolas em solução de 65 °Brix a temperatura de 27 °C durante 12 horas, verificaram a formação de uma camada de sacarose sobre a superfície do fruto.

4. MODELO DIFUSIONAL PARA A CINÉTICA DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

Com o objetivo de modelar a cinética de desidratação osmótica da acerola e calcular o coeficiente de difusividade efetiva foi utilizado o modelo difusional de Fick Equação (3). Utilizando o método de tentativa, citado por (Silva, 2004), foi determinado que quatro termos da série foram suficientes para atingir a convergência. A Figura 2 (a) e (b) apresenta a modelagem da cinética da desidratação osmótica da acerola submetida ao pré-tratamento térmico de 5 segundos.

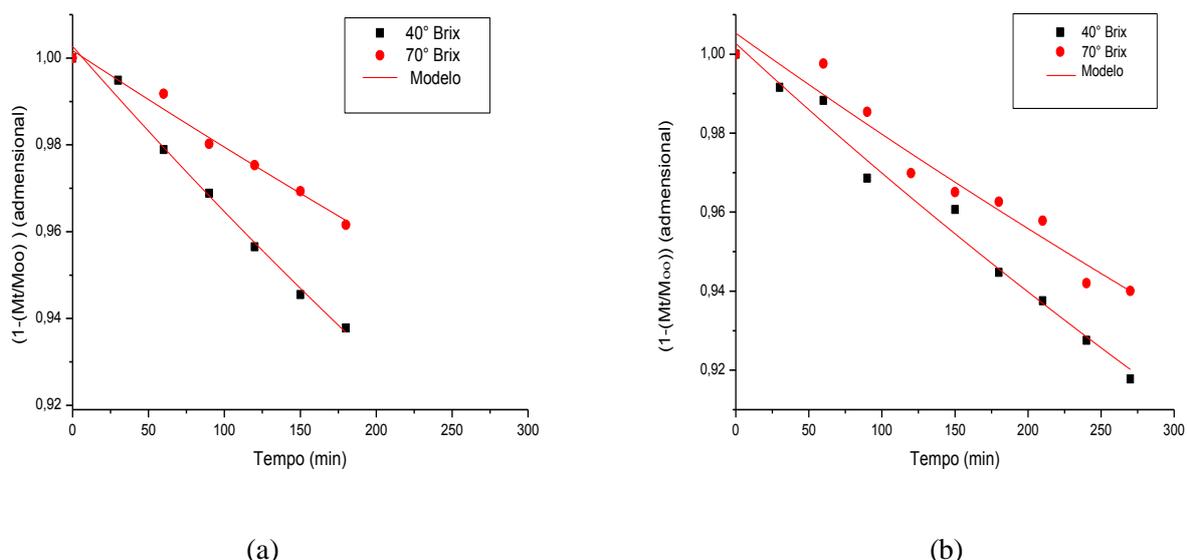


Figura 2 – Comparação entre os dados experimentais e o modelo difusional para a acerola desidratada em solução osmótica de 40 e 70 °Brix durante um tempo de imersão: (a) 180 minutos e (b) 270 minutos.

A Figura 2 (a) e (b) mostram os ajustes do modelo difusional para a desidratação osmótica nas concentrações de 40 e 70 °Brix. Apesar de alguma oscilação nos pontos experimentais, nota-se que o modelo apresentou em geral um bom ajuste. Observa-se ainda na Tabela 1 que os coeficientes de correlação foram superior a 0,90 salvo no experimento 5 onde foi de 0,86.

A Tabela 1 mostra os valores do coeficiente de difusividade efetiva da água (D), bem como os respectivos erros da difusão efetiva, os valores do parâmetro (A) e os coeficientes de correlação (R^2), obtidos através da Equação (3), para diferentes combinações de tempo e concentração da

solução osmótica. Observa-se, através da Tabela 1, que o valor médio obtido para o parâmetro A é 0,7134, nas tentativas com quatro números de termos da série. Verificou-se que o valor de A aproxima-se de ($A=6/\pi^2=0,6079$) na medida em que se aumentava o número de termos. Os melhores ajustes foram para as soluções de 40 °Brix, uma vez que os coeficientes de correlação são superiores a 0,982. É possível perceber que os valores obtidos da difusividade efetiva da água ficaram na faixa de $5,02 \times 10^{-11}$ a $1,10 \times 10^{-9} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$. Silva (2004) estudou a influência do pré-tratamento osmótico de 40, 55 e 70 °Brix da acerola, nas temperaturas de 30, 35 e 45 °C, durante o tempo de 240 minutos obtendo os coeficientes de difusão entre $0,8 \times 10^{-11}$ a $1,33 \times 10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$.

Tabela 1. Valores do coeficiente de difusividade efetiva e do parâmetro A para diferentes concentrações da solução osmótica em função do tempo.

Experimento (N°)	Tempo (min)	Concentração (°Brix)	$A=6/\pi^2$	D (m^2/s)	Erro D (\pm)	R^2
1	180	40	0,7044	$8,78 \times 10^{-11}$	0,00118	0,99007
2	180	70	0,70371	$5,02 \times 10^{-11}$	0,00125	0,97663
3	270	40	0,7044	$1,08 \times 10^{-10}$	0,00171	0,98298
4	270	70	0,70622	$8,30 \times 10^{-11}$	0,00248	0,94709
5	225	55	0,74361	$1,10 \times 10^{-9}$	0,03649	0,85536
6	225	55	0,71983	$6,25 \times 10^{-10}$	0,01893	0,89153
7	225	55	0,71123	$5,06 \times 10^{-10}$	0,00623	0,98293

Nota-se através da Tabela 1, que nos três experimentos com concentração de 55 °Brix, o maior valor da difusividade mássica efetiva da água foi $1,10 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ em comparação com os outros dois experimentos. O que pode ter diferenciado o resultado foi a utilização de diversas remessas de frutas, as quais possuem diferenças de umidade inicial.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados e discutidos, pode-se concluir que a utilização do pré-tratamento a 93 °C durante cinco segundos antes da desidratação osmótica foi eficaz por ter ocasionado danos na película da acerola. A utilização deste procedimento para a concentração de 70 °Brix provavelmente causou uma maior impregnação de soluto para o interior e película da acerola em comparação a solução menos concentrada de 40° Brix, resultando em uma menor perda de água na concentração de 70 °Brix e maior perda de água na concentração de 40 °Brix. O modelo difusional de Fick com quatro termos da série foi adequado para representar o coeficiente de difusão da água, ajustando-se muito bem aos dados experimentais, com coeficiente de correlação variando de 0,891 a 0,990.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. Official Methods of Analysis: AOAC: Official methods of analysis. Washington, DC, v. 1, 1990.

AGUIAR, S. F.; GASPARETO, O. C. P.; MAGALHÃES, M. M. A.; OLIVEIRA, G. L. Estudo da desidratação osmótica da banana nanica. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 2002, Natal. Anais. Natal: COBEQ, 2002, (CD Rom).

BELLARY, A. N.; SOWBHAGYA, H. B.; RASTOGI, N. K. Osmotic dehydration assisted impregnation of curcuminoids in coconut slices. *J. Food Eng.*, India, v. 105, 3, p. 453-459, 2011.

CORRÊA, J. L. G.; CACCIATORE, F. A.; SILVA, Z. E.; ARAKAKI, T. Desidratação osmótica de acerola (*Malpighia emarginata D.C*) – Cinética de transferência de massa. *Rev. Ci. Agron.*, v.39, n.3, p.403-409, 2008.

CRANK, J.A. *The mathematics of diffusion*. 2.ed. Oxford: University Press. 1975, 414p.

GOMES, A. T.; GEREDA, M. P.; VILPOUX, O. Desidratação osmótica: uma tecnologia de baixo custo para o desenvolvimento da agricultura familiar. *Rev. Bra. Gestão e des. Regional. G & DR*, v.3, n.3, p.212-226, set-dez/2007.

GONÇALVES, A. A. BLUME, A. R. Efeito da desidratação osmótica como tratamento preliminar na secagem do abacaxi. *Est. tec.*, vol. 4, n° 2:124-134, 2008.

KEEY, R.B. Tópicos em transferência de calor e massa. *Ava. em cinet. sec.*, 1997.

LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. *Drying Tec.*, v.14, n.2, p.391-413, 1996.

LEWIS, W.K. The rate of drying of solids materials. In: The Symposium on Drying. *The J. I. & Eng. Che.*, v.13, n.5, p.427-432, 1921.

LIMA, A. S.; FIGUEIREDO, R. W.; MAIA, G. A.; RIBEIRO, J.; SOUZA NETO, M. A.; SOUZA, A. C. Estudo das variáveis de processo sobre a cinética de desidratação osmótica de melão. *Ci. e Tec. Alim.*, Campinas, v. 24, n. 2, p. 282-286, 2004.

OLIVER, L.; BETORET, N.; FITO, P.; HEINDERS, M. B. J. How to deal with visco-elastic properties of cellular tissues during osmotic dehydration. *J. Food Eng.* v. 110, pp. 278-288, 2012.

SILVA, V. A. *Secagem osmo-convectiva da acerola*. 2004. 176p. Tese (Tese de Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.

SILVA, M. A. C.; CORRÊA, J. L. G.; SILVA, Z. E. Drying kinetics of West Indian Cherry: Influence of osmotic pretreatment. *B.CEPPA*, Curitiba, v. 29, n. 2, p. 193-202, 2011a.

SILVA, K. S.; CAETANO, L. C.; GARCIA, C. C.; ROMERO, J. T.; SANTOS, A. B. and MAURO, M. A. Osmotic dehydration process for low temperature blanched pumpkin. *J. Food Eng.* v. 105, pp. 56-64, 2011b.

SILVA, M. A. C.; SILVA, Z. E.; MARINI, V. C. DARCHE, S. Mass transfer during the osmotic dehydration of West Indian cherry. *LWT - Food Sci. and Tec.*, 45 pp. 246- 252, 2012.

SOUZA NETO, M. A.; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUZA FILHO, M. S. M.; LIMA, A. S. Cinética de desidratação osmótica de manga. *Ci. Agrot.* Lavras, n° 10, v. 2; p. 37-44, 2004.

VASCONCELOS, J. I. L. A. *Desidratação Osmótica de Figo da Índia (Opuntia ficus indica)*. 2010. 76p. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2010.