



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Seminário do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química



VII-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ

21, 22 E 23 DE OUTUBRO DE 2008

ESTUDO DA TRANSFERÊNCIA DE MASSA NA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE BANANA (*MUSA SAPIENTUM*, SHUM.)

Giovana Domeneghini Mercali¹, Lígia Damasceno Ferreira Marczak², Caciano Pelayo Zapata Noreña³,
Fernanda Formoso Ghiggi⁴

^{1,2,4} Laboratório de Tecnologia e Processamento de Alimentos
Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
R. Eng. Luis Englert, s/n. Campus Central. CEP: 90040-040 - Porto Alegre - RS - BRASIL,
E-MAIL: {gmercali,ligia@enq.ufrgs.br}

³ Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos
Departamento de Tecnologia dos Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Av. Bento Gonçalves, 9500 - Prédio 43.212. Campus do Vale. CEP: 91540-000 - Bairro Agronomia -
Porto Alegre - RS – BRASIL, E-MAIL: czapatan@ufrgs.br

Palavras Chaves: difusividade mássica efetiva, banana, desidratação osmótica, transferência de massa

Resumo: Muitos estudos têm sido realizados para melhor compreender a transferência interna de massa na desidratação osmótica de alimentos e para modelar o mecanismo do processo. A desidratação osmótica é um processo em que os alimentos são colocados em contato com soluções concentradas de sólidos solúveis que possuem maior pressão osmótica e menor atividade da água. Assim, ocorrem dois fluxos de transferência de massa em contracorrente: perda de água do alimento para a solução e transferência de soluto da solução para o alimento. A taxa de perda de água depende de vários fatores: concentração, composição e temperatura da solução osmótica, nível de agitação da solução, geometria e dimensão da amostra e razão mássica entre solução osmótica e produto. O objetivo deste trabalho foi avaliar a difusividade mássica efetiva, baseado na solução analítica da Segunda Lei de Fick, para a transferência de água durante a desidratação osmótica de bananas em soluções ternárias de sacarose/NaCl/água em diferentes concentrações e temperaturas. Em cada experimento, a temperatura e as concentrações de açúcar e de sal foram determinadas através de um planejamento experimental. Bananas do tipo Prata foram cortadas em cilindros de 1,8 cm de diâmetro e 10 cm de comprimento. O teor de umidade foi determinado através de um método gravimétrico da AOAC. Como as condições de equilíbrio não são completamente alcançadas em 10 h de experimento, utilizou-se o modelo de Peleg para prever o ponto de equilíbrio, obtendo boa performance para perda de água. O modelo de difusão cilíndrico baseado na solução da Segunda Lei de Fick está demonstrando ser adequado para determinar a difusividade efetiva da água em bananas. As variáveis do processo, concentração e temperatura da solução osmótica, apresentaram grande influência nos parâmetros do modelo e no valor de difusividade mássica. O aumento da concentração de sal e de sacarose na solução osmótica, assim como com o aumento da temperatura de processo, resulta em maiores valores de difusividade mássica efetiva, cujos valores encontrados estão na faixa entre $5,17 - 6,30 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$.

1. Introdução

A maioria das frutas tropicais apresenta significativa perda por decomposição pós-colheita porque são extremamente perecíveis e não permitem a utilização de congelamento sua para preservação, implicando em

perdas de mais de 30% da produção. A banana (*Musa spp.*) é uma das frutas mais consumidas no mundo, sendo produzida em quase todos os países tropicais; tem um alto valor nutricional e é uma boa fonte de energia devido ao seu alto nível de amido e açúcar. Além disto, a banana é uma excelente fonte de vitaminas A e C, potássio, cálcio,



VII-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ

21, 22 E 23 DE OUTUBRO DE 2008

magnésio e sódio. Do ponto de vista biológico, a banana é um dos frutos que apresenta as maiores perdas por decomposição pós-colheita. Contudo, frutos como a banana podem ser secos para preservar parte da produção que não será rapidamente consumida ou que será exportada, proporcionando uma extensão do prazo de validade, uma diminuição do peso para transporte e menos espaço para armazenagem.

A desidratação osmótica representa uma alternativa tecnológica para reduzir perdas pós-colheita de frutos. Essa tecnologia tem sido usada, principalmente, como pré-tratamento de alguns processos convencionais, como a liofilização, a secagem a vácuo e a secagem por ar, a fim de melhorar a qualidade final, reduzir custos energéticos ou mesmo para desenvolver novos produtos. Na literatura existem trabalhos que exploram este aspecto da utilização da desidratação como uma etapa prévia destes processos (Fernandes *et al.*, 2006b; Andrade *et al.*, 2007; Rastogi *et al.*, 2002).

A desidratação osmótica é um processo no qual os alimentos são colocados em contato com soluções concentradas de sólidos solúveis que possuem maior pressão osmótica e menor atividade da água. A complexa estrutura celular dos alimentos pode ser considerada uma membrana semipermeável, e a diferença no potencial químico da água entre o alimento e o meio osmótico é a força motriz para a desidratação. Deste modo, ocorrem dois fluxos de transferência de massa em contracorrente: perda de água do alimento para solução e transferência de soluto da solução para o alimento.

A taxa de perda da água depende de vários fatores, tais como concentração, composição e temperatura da solução osmótica, tempo de contato, nível de agitação da solução, geometria e dimensão da amostra e razão mássica entre solução osmótica e produto.

Além de reduzir o requerimento de energia em processos adicionais de secagem de produtos, a remoção osmótica de água de materiais celulares, como frutas e legumes, é freqüentemente realizada como um processo prévio para melhorar a qualidade sensorial dos produtos secos e manter a sua integridade. O sistema de desidratação osmótica utiliza temperaturas de processo moderadas que não afetam as características semipermeáveis das membranas celulares e melhoraram a retenção de cor, sabor e aromas voláteis.

Numerosos estudos têm sido realizados para melhor compreender a transferência interna de massa que ocorre durante a desidratação osmótica de alimentos e para modelar o mecanismo do processo. Um grande número de investigadores utiliza a Segunda Lei de Difusão de Fick para estado transiente para estimar a difusividade da água e do soluto, simulando os experimentos com condições de fronteira e condições iniciais especificadas, atendendo os pressupostos envolvidos nessa lei. No entanto, a comparação das difusividades obtidas nesses estudos é difícil em função da variação da composição e da estrutura física dos alimentos e, também, devido aos diferentes

métodos e modelos empregados para estimar a difusividade (Singh, Kumar & Gupta, 2007).

A influência das principais variáveis de processo (concentração e composição da solução osmótica, temperatura, tempo de imersão, pré-tratamentos, agitação, de natureza do alimento e sua geometria, razão entre solução / amostra) sobre o mecanismo de transferência de massa e sobre a qualidade dos produtos tem sido estudada extensivamente para um grande número de produtos, como a banana (Rastogi, Raghavarao & Niranjana, 1997; Fernandes *et al.*, 2006a), jenipapo (Andrade *et al.*, 2007), abacaxi (Rastogi & Raghavarao, 2004; Lombard *et al.*, 2007; Jena & Das, 2005), maçã (Serenó, Moreira & Martínez, 2000; Kaymak-Ertekin & Sultanoğlu, 2000), cenoura (Singh, Kumar & Gupta, 2007), batata (Khin, Zhou & Perera, 2005), mamão papaya (Fernandes *et al.*, 2006b), tomate (Telis; Murari & Yamashita, 2004; Azoubel & Murr, 2004), entre outros.

Andrade *et al.* (2007) determinaram a difusividade mássica efetiva da sacarose e da água, com base na solução analítica da Segunda Lei de Fick, durante o processo de desidratação osmótica de jenipapo. Foram realizados experimentos de tempos longos (até 60 h), a fim de se determinar as concentrações de equilíbrio, e experimentos de tempos curtos (até 4 h), para fornecer informações detalhadas sobre a cinética da perda de água e do ganho de sólidos no início do tratamento osmótico. Esses pesquisadores verificaram que a máxima perda de umidade e o máximo ganho de solutos ocorreram na maior concentração da solução osmótica. A faixa de valores para a difusividade efetiva da água foi de $4,31 - 7,38 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ e para a difusividade da sacarose foi de $3,99 - 8,35 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$.

Rastogi, Raghavarao e Niranjana (1997) investigaram a transferência de massa durante a desidratação osmótica de bananas. A solução da segunda Lei de Fick para estado transiente e configuração cilíndrica foi usada para calcular a difusividade efetiva da água numa faixa de temperaturas ($25-35^\circ\text{C}$) e concentrações ($40-70^\circ\text{B}$) de solução osmótica. A difusividade efetiva da água foi empiricamente relacionada com a concentração e a temperatura através de uma equação tipo Arrhenius. Um alto grau de correlação ($R^2 = 0,97$) foi obtido entre os valores preditos e os valores experimentais para as difusividades mássicas efetivas que ficaram na faixa de $0,85 - 2,43 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$.

O presente trabalho tem o objetivo de:

- investigar o efeito da concentração, da composição e da temperatura da solução osmótica sobre o mecanismo de transferência de massa durante a desidratação osmótica de banana.
- determinar a difusividade mássica efetiva da água, baseado na solução analítica da Segunda Lei de Fick, em soluções ternárias de sacarose/NaCl/água com diferentes concentrações e temperaturas.



VII-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ

21, 22 E 23 DE OUTUBRO DE 2008

- modelar a cinética da difusão de massa da água nos intervalos de concentrações de solução osmótica e temperaturas estudadas.

2. Metodologia

2.1. Modelo Matemático

O modelo desenvolvido neste estudo, com base na Segunda Lei de Difusão de Fick para estado transiente, prevê a quantidade de água que deixa a fruta em função do tempo. De acordo com Crank (1975), a solução da segunda Lei de Fick em coordenadas cilíndricas, para cilindros longos (difusão na direção radial e concentração (C) como uma função apenas do raio (r) e do tempo (t)), é dada por:

$$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{(a\alpha_n)^2} \exp[-Fo(a\alpha_n)^2] \quad (1)$$

onde $a\alpha_n$ são as raízes da equação $J_0(a\alpha_n) = 0$ e o número de Fourier para a difusão (Fo) é definido como:

$$\frac{D_e t}{a^2} \quad (2)$$

Essa solução é válida para as seguintes condições de contorno:

Para $t = 0$, $C = C_1$, $0 < r < a$

Para $t > 0$, $C = C_0$ em $r = a$

Para $t > 0$, $dC/dt = 0$, em $r = 0$

Os valores de difusividade efetiva (D_e) são deduzidos da inclinação da curva entre o número de Fourier e o tempo de imersão.

A perda de água no equilíbrio é determinada através da equação de Peleg (1988):

$$x_t - x_0 = -\frac{t}{k_1^w + k_2^w t} \quad (3)$$

onde x_t e x_0 são o teor de umidade de uma amostra no tempo t de desidratação e no início, respectivamente; k_1 e k_2 são parâmetros do modelo, obtidos por regressão linear a partir de dados experimentais. Os valores de $1/k_1$ e $x_0 - 1/k_2$ representam a taxa inicial de transferência de massa e a transferência em massa no equilíbrio, respectivamente.

2.2. Planejamento Fatorial

Um planejamento fatorial 2^3 completo com pontos centrais e pontos axiais está sendo conduzido para analisar diferentes condições de processo. As variáveis temperatura (variável A), concentração de sacarose na solução osmótica (variável B) e concentração de NaCl na solução osmótica (variável C) estão sendo avaliadas em cinco níveis.

A variável A está sendo estudada na faixa 25 a 55°C, a variável B está sendo estudada na faixa de concentração de 30-60% (w/w) e a variável C está sendo estudada na faixa de concentração de 0-10% (w/w), conforme a mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Planejamento Fatorial

Exp.	X ₁	X ₂	X ₃	T (°C)	Açúcar (w/w %)	Sal (w/w %)
1	-1	-1	-1	31,08	36,06	2,03
2	-1	-1	1	31,08	36,06	7,97
3	-1	1	-1	31,08	53,92	2,03
4	-1	1	1	31,08	53,92	7,97
5	1	-1	-1	48,92	36,06	2,03
6	1	-1	1	48,92	36,06	7,97
7	1	1	-1	48,92	53,92	2,03
8	1	1	1	48,92	53,92	7,97
9	-1,682	0	0	25,00	45,00	5,00
10	1,682	0	0	55,00	45,00	5,00
11	0	-1,682	0	40,00	30,00	5,00
12	0	1,682	0	40,00	60,00	5,00
13	0	0	-1,682	40,00	45,00	0,00
14	0	0	1,682	40,00	45,00	10,00
15	0	0	0	40,00	45,00	5,00
16	0	0	0	40,00	45,00	5,00

2.3. Desidratação Osmótica

A fruta (banana prata), adquirida em um mercado local, proveniente sempre do mesmo produtor, é descascada e cortada em pedaços com geometria de cilindro longo de 1,8 cm de diâmetro e 10 cm de comprimento. As amostras são mergulhadas na solução osmótica, preparada de acordo com o planejamento experimental. A desidratação osmótica é realizada em um tanque de acrílico que possui uma serpentina conectada a um banho termostático para manutenção da temperatura constante. A razão entre amostra e solução osmótica é de 1:100 (w/w). O sistema possui uma agitação mecânica vigorosa e constante para garantir que a condição de contorno de temperatura especificada na superfície seja satisfeita.



VII-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ

21, 22 E 23 DE OUTUBRO DE 2008

O processo de desidratação osmótica é realizado num período de tempo de 0-10 h sob condições constantes. As amostras são retiradas da solução osmótica em intervalos de tempos determinados, drenadas e secadas com papel filtro para remover a solução aderida.

2.4. Análises Físico-Químicas

A determinação de umidade está sendo realizada através do método gravimétrico, de acordo com AOAC 930.04 (AOAC, 1990).

3. Resultados

Durante a desidratação osmótica da banana, o teor de umidade (x - kg de água/kg de sólidos secos) em diferentes tempos de imersão foi experimentalmente obtido para os experimentos 1, 2, 3, 4, 6, 9, 10, 11, 15 e 16. As condições de processamento de cada experimento estão especificadas na Tabela 1.

Os valores de teor de umidade de cada curva foram normalizados (x_t/x_0) para uma melhor comparação dos resultados experimentais e estão plotados em função do tempo de imersão, conforme a Figura 1.

A análise desta figura mostra que para temperaturas mais elevadas, tem-se um maior decréscimo no teor de umidade. O experimento 10 e o experimento 6, realizados a 55 e 48,92°C, respectivamente, estão entre os experimentos que possuem maior perda de água com o tempo. De acordo com Khoyi & Hesari (2007), esse

comportamento é explicado por duas razões: o aumento da temperatura provoca um decréscimo na viscosidade da solução osmótica e um aumento da difusividade mássica efetiva. Entretanto, existem limitações quanto à utilização de temperaturas superiores a 60°C devido à obtenção de baixas razões entre perda de água/ganho de sólidos e baixa qualidade dos produtos finais.

Tabela 2 – Equação de Peleg para difusão da água

Exp	° Brix	Equação de Peleg				
		a	b	R ²	1/k ₁	x _∞
1	12,0	0,8852	7384,6926	0,981	1,1297	1,1881
2	15,5	0,8431	7360,1238	0,992	1,1860	0,8431
3	13,5	0,6287	5666,4060	0,984	1,5905	0,6287
4	14,0	0,5456	3909,2162	0,995	1,8329	0,5456
6	14,5	0,6072	4067,9342	0,992	1,6468	0,6072
9	15,5	0,7513	6525,1637	0,993	1,3311	0,7513
10	16,5	0,5963	3824,4528	0,995	1,6771	0,5963
11	15,5	0,8676	6427,8252	0,987	1,1526	0,8676
15	15,5	0,6881	4593,6058	0,998	1,4533	0,6881
16	15,5	0,7296	4966,0574	0,993	1,3705	0,7296

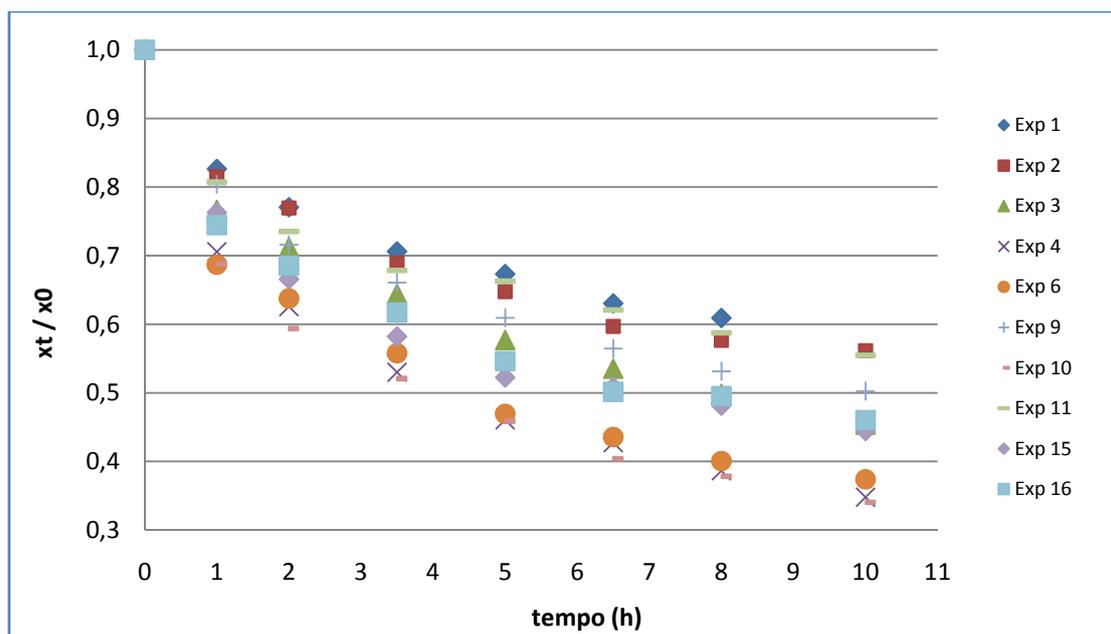


Figura 1 – Variação do conteúdo de umidade com o tempo de imersão durante a desidratação osmótica



VII-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ

21, 22 E 23 DE OUTUBRO DE 2008

Soluções osmóticas mais concentradas também contribuem para uma maior perda de água duante a desidratação. Este efeito é percebido no experimento 4, que foi realizado com uma concentração de sacarose de 53,92%, a maior das concentrações estudadas até então.

Além disto, é possível observar que as condições de equilíbrio não são alcançadas em 10 h de desidratação para as concentrações e temperaturas de solução osmótica estudadas. Portanto, os valores de taxa inicial de transferência de massa ($1/k_i$) e concentração de equilíbrio (x_∞) foram obtidos ajustando os dados experimentais à equação de Peleg (equação 3). Os valores obtidos são apresentados na Tabela 2.

Como o planejamento fatorial não foi totalmente executado até o presente momento, não é possível realizar uma análise estatística mais profunda. Porém, é possível estabelecer algumas conclusões a partir destes resultados parciais. Comparando os experimentos 1, 2, 3 e 4, que foram executados todos na temperatura de 31,08°C, é possível verificar a influência da concentração da solução osmótica na taxa inicial de transferência de massa ($1/k_i$). Verifica-se que quanto maior a concentração de sacarose e de sal na solução, maior a taxa inicial de transferência de massa. A comparação da concentração de equilíbrio entre os diferentes experimentos não é possível, pois esta depende do teor de umidade inicial da banana, que varia de experimento para experimento.

A comparação entre os experimentos 9, 10, 15 e 16, que foram executados numa mesma concentração de sacarose e de NaCl, mostra o efeito da temperatura sobre a taxa inicial de transferência de massa. Com um aumento da temperatura de 25°C para 55°C a taxa inicial de transferência de massa aumenta de 1,3311 para 1,6771 kg de água/(kg de sólidos secos*s).

A Figura 2 mostra a taxa de difusão de água (M_t/M_∞) em função do tempo de imersão. As curvas possuem uma linha de tendência da umidade aumentando exponencialmente com o tempo, o que está de acordo com a equação 1. A partir destes valores de taxa de difusão de água, foram obtidos os correspondentes valores para o número de Fourier, através da equação 1. Uma reta é obtida para cada experimento, plotando-se o número de Fourier versus o tempo de imersão, conforme mostrado na Figura 3.

A difusividade efetiva foi calculada a partir da inclinação das curvas do número de Fourier versus tempo. Os valores das difusividades efetivas para diferentes combinações de temperatura e concentração da solução osmótica são apresentados na Tabela 3.

Conforme pode ser observado, os resultados obtidos encontram-se na faixa de $5,17 - 6,30 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. Rasgoti *et al.* (1997) encontram valores um pouco superiores para a difusividade da água na banana ($8,5 - 8,3 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$) na faixa de temperatura de 25-35°C e concentrações de sacarose de 40-70° Brix.

O aumento da temperatura provoca um aumento da difusividade mássica efetiva. Esse aumento possui uma dependência é do tipo Arrhenius:

$$D_e = D_0 \exp(-E/RT)$$

onde D_0 é a constante da equação; E é a energia de ativação; e R a constante dos gases.

A comparação dos resultados obtidos nos experimentos 9, 10, 15 e 16, exemplifica essa tendência, visto que a difusividade efetiva da água está aumentando de $5,37 \times 10^{-10}$ para $6,30 \times 10^{-10}$, quando a temperatura aumenta de 25 para 55°C.

Tabela 3 – Número de Fourier em função do tempo de imersão

Exp	Equação de Fourier			
	a	b	R ²	D _e
1	6,3786E-06	-2,6667E-03	0,994	5,1667E-10
2	6,5301E-06	1,2826E-03	0,986	5,2894E-10
3	6,5850E-06	-2,5497E-03	0,997	5,3338E-10
4	7,3493E-06	5,5005E-03	0,996	5,9529E-10
6	7,5934E-06	8,1627E-03	0,990	6,1507E-10
9	6,6137E-06	9,8801E-05	0,998	5,3571E-10
10	7,7830E-06	9,0877E-03	0,994	6,3042E-10
11	7,3745E-06	2,5671E-03	0,988	5,9733E-10
15	7,5205E-06	9,9007E-03	0,983	6,0916E-10
16	7,5157E-06	7,9628E-03	0,984	6,0877E-10

Avaliando os resultados dos experimentos 1 e 2, que foram realizados na mesma temperatura e com a mesma concentração de sacarose, verifica-se que a difusividade efetiva da água aumenta com o aumento da concentração de NaCl. Esse comportamento se repete quando comparamos os experimentos 3 e 4.

Comparando os experimentos 1 e 3, que possuem igual concentração de NaCl e mesma temperatura de processo, verifica-se que há um aumento da difusividade com o aumento da concentração de sacarose no meio. Essa tendência se repete quando avaliamos os experimentos 2 e 4.

Durante o tratamento osmótico, a transferência de massa ocorre através de membranas celulares semipermeáveis presentes nos materiais biológicos, que oferecem a resistência dominante para o processo. O estado da membrana celular pode mudar de parcialmente



VII-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ

21, 22 E 23 DE OUTUBRO DE 2008

permeável para totalmente permeável e isso pode ocasionar mudanças significativas na estrutura do tecido. Durante a remoção osmótica de água dos alimentos, a frente de desidratação se desloca da superfície do alimento em contato com a solução osmótica para o centro, o que resulta em desintegração celular, devido ao stress osmótico. A causa mais provável do dano celular pode ser atribuída à redução no tamanho das células, causado pela perda de

água durante o tratamento osmótico, o que resulta na perda de contato entre a membrana celular e parede celular. Essas mudanças nas propriedades físicas dos alimentos (porosidade e permeabilização das células) proporcionam um aumento da difusividade mássica efetiva com o aumento da concentração da solução osmótica (Rastogi, Angersbach, & Knorr, 2000; Rastogi et al., 2002).

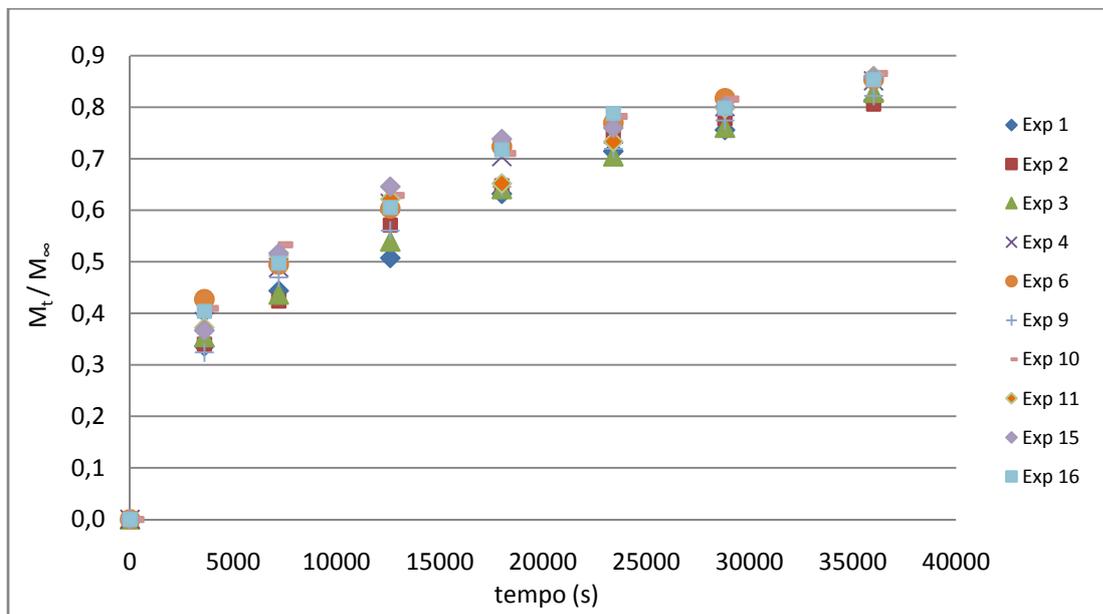


Figura 2 – Variação da taxa de difusão de umidade com o tempo de imersão

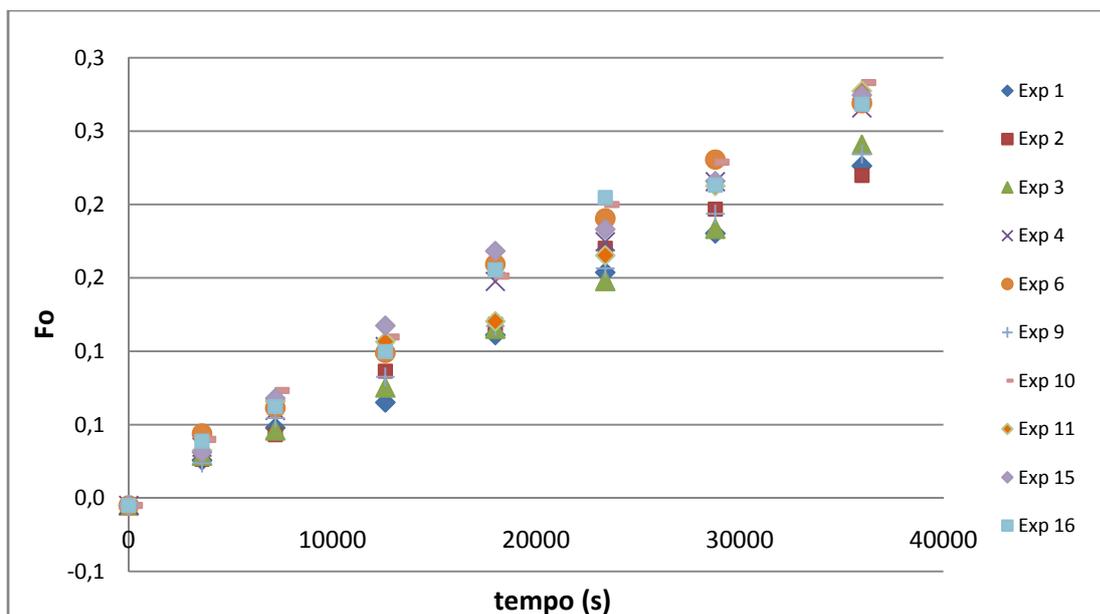


Figura 3- Número de Fourier em função do tempo



VII-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ

21, 22 E 23 DE OUTUBRO DE 2008

4. Conclusões

Neste trabalho está sendo investigado o efeito da concentração, da composição e da temperatura da solução osmótica sobre o mecanismo de transferência de massa durante a desidratação osmótica de banana.

Misturas de NaCl/sacarose estão se mostrando adequadas para o pré-tratamento osmótico de banana. A perda de água é favorecida pelo aumento da concentração de sal e açúcar e pelo aumento da temperatura. As difusividades efetivas da água foram calculadas e valores preliminares na faixa entre $5,17 - 6,30 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ foram encontrados.

A difusividade da água aumentou com o aumento da concentração de sal e de sacarose na solução osmótica, existindo, provavelmente, um caráter interativo entre as concentrações de sal e açúcar no processo de transferência de massa.

O modelo de difusão cilíndrico baseado na solução da Segunda Lei de Fick está demonstrando ser adequado para determinar a difusividade da água em bananas. Quando todo o planejamento fatorial for executado, o teor de umidade em qualquer tempo de imersão durante o processo de desidratação osmótica de bananas poderá ser previsto com precisão a partir de um modelo de equações, se os valores de difusividade forem conhecidos. Esses dados serão importantes para a otimização e para o projeto de processos de desidratação osmótica.

5. Referências

- ANDRADE, S.A.C.; NETO, B.B.; NÓBREGA, A.C.; AZOUBEL, P.M.; GUERRA, N.B. Evaluation of water and sucrose diffusion coefficients during osmotic dehydration of jenipapo (*Genipa americana* L.). **Journal of Food Engineering**, v.78, p.551-555, 2007.
- AOAC (1990). Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of analysis: 930,04. Moisture Content in Plants, 1, p. 949.
- AZOUBEL, P.M.; MURR, F.E.X. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p.291-295, 2004.
- CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2.ed. Oxford: Clarendon, 1975.
- FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; GASPARETO, O. C. P. OLIVEIRA, E. L.; Optimization of osmotic dehydration of bananas followed by air-drying. **Journal of Food Engineering**, v.77, p.188-193, 2006a.
- FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; GASPARETO, O. C. P.; OLIVEIRA, E. L. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. **Food Research International**, v.39, p.492-498, 2006b.
- JENA, S.; DAS, H. Modelling for moisture variation during osmo-concentration in apple and pineapple. **Journal of Food Engineering**, v.66, p.425-432, 2005.
- KAYMAK-ERTEKIN, F.; SULTANOĞLU, M. Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apples. **Journal of Food Engineering**, v.46, p.243-250, 2000.
- KHIN, M.M.; ZHOU, W.; PERERA, C.O. A study of the mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cubes. **Journal of Food Engineering**, v.77, p.84-95, 2006.
- KHOYI, M. R.; HESARI, J. Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution. **Journal of Food Engineering**, v.78, p.1355-1360, 2007.
- LOMBARD, G.E.; OLIVEIRA, J.C.; FITO, P.; ANDRÉS, A. Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. **Journal of Food Engineering**, v.85, p.277-284, 2008.
- PELEG, M. An empirical model for the description of moisture sorption curves. **Journal of Food Science**, v.53, n.4, p.1216-1219, 1988.
- RASTOGI, N. K.; ANGERSBACH, A.; NORR, D. Evaluation of mass transfer mechanisms during osmotic treatment of plant materials. **Journal of Food Science**, v.65, n.6, p.1016-1021, 2000.
- RASTOGI, N.K.; RAGHAVARAO, K.S.M.S. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol.**, v.37, p. 43-47, 2004.
- RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; NIRANJAN, K.; KNORR, D. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. **Trends in Food Science and Technology**, v.13, n.2, p.48-59, 2002.
- RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; NIRANJAN, K.; KNORR, D. Mass transfer during Osmotic Dehydration of Banana: Fickian Diffusion in Cylindrical Configuration. **Journal of Food Engineering**, v.31, p.423-432, 1997.
- SERENO, A. M., MOREIRA, R., & MARTINEZ, E. (2001). Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple single and combined aqueous solution of sugar and salts. **Journal of Food Engineering**, v.47, p.43-49, 2001
- SINGH, B.; KUMAR, A.; GUPTA, A.K. Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Seminário do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química
VII-OKTOBER FÓRUM – PPGEQ



21, 22 E 23 DE OUTUBRO DE 2008

dehydration of carrot cubes. **Journal of Food Engineering**, v.79, p.471-480, 2007.

TELIS, V.R.N.; MURARI, R.C.B.D.L; YAMASHITA, F.
Diffusion coefficients during osmotic dehydration of
tomatoes in ternary solutions. **Journal of Food
Engineering**, v. 61, p.253-259, 2004.