

Estudo da da desidratação osmótica de peras por meio de modelos difusivos tridimensionais

Paloma Gomes Lourenço Valentim (IFPB, Campus João Pessoa), João Neto Silva de Lima (IFPB, Campus João Pessoa), Gabriel França Wanderley (IFPB, Campus João Pessoa), Gabriel de Souza Vasconcelos (IFPB, campus João Pessoa), Juarez Everton de Farias Aires (IFPB, Campus João Pessoa), Kalina Lígia Cavalcante de Almeida Farias Aires (IFPB, Campus João Pessoa).

E-mails: lourenco.paloma@academico.ifpb.edu.br, joao.neto.4@academico.ifpb.edu.br, gabriel.wanderley@academico.ifpb.edu.br, vasconcelos.gabriel@academico.ifpb.edu.br, juarez.aires@ifpb.edu.br, kalina.aires@ifpb.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 1.01.04.01-1

Palavras-chave: Equação de difusão, coordenadas retangulares, volumes finitos.

1. Introdução

As perdas pós-colheita de produtos agrícolas e os problemas enfrentados com o armazenamento desses produtos, demandam por técnicas alternativas que lhes propiciem um maior tempo de conservação. A desidratação osmótica justifica-se como uma opção viável, tendo em vista que propociona uma remoção parcial de água sem mudança de fase. Nesse sentido, a modelagem matemática desse processo com o objetivo de prever as cinéticas de perda de água e ganho de sacarose para fins de aprimoramento, encontra pertinência. Os modelos de difusão são largamente utilizados na literatura e apresentam a peculiaridade de possibilitar a distribuição de água e de sacarose no produto em tempos específicos (Zúñiga e Pedreschi, 2012, Silva et al., 2014, Aires et al., 2016).

A presente pesquisa tem como objetivo o estudo da desidratação osmótica de paralelepípedos de pera, por meio de modelos difusivos tridimensionais, usando-se o método dos volumes finitos, visando uma análise detalhada desse processo.

2. Materiais e métodos

Foram implementados experimentos de desidratação osmótica de amostras de pera em soluções de sacarose com concentrações de 40°Brix e 60°Brix, com uma temperatura de operação de 40°C. A matéria-prima utilizada foi a pera (*Pyrus Communis L*) da variedade D'Anjou, adquirida em um supermercado da cidade de João Pessoa-PB, Brasil. As peras foram higienizadas e cortadas em forma de paralelepípedos com arestas medindo aproximadamente 1,0 cm, 1,0 cm e 2,0 cm. Foram organizados 36 béqueres, contendo 3 paralelepípedos de pera, para as 13 amostras organizadas em triplicatas. As amostras foram pesadas, em balança analítica, a fim de se obter suas massas iniciais e, posteriormente, colocadas nos béqueres contendo a solução de sacarose.

Para cada período de imersão t_i , dado em minutos, foi fixada uma amostra A_i . Foram considerados os períodos de imersão $t_0 = 0$, $t_1 = 15$, $t_2 = 30$, $t_3 = 60$, $t_4 = 90$, $t_5 = 120$, $t_6 = 150$, $t_7 = 180$, $t_8 = 240$, $t_9 = 360$, $t_{10} = 480$, $t_{11} = 600$ e $t_{12} = 1440$ minutos. Em cada instante fixado, a amostra correspondente foi retirada da solução, lavada com água destilada, enxugada levemente com papel absorvente e sua massa foi aferida em balança digital; Após a retirada da última amostra (A_{12}) da solução, no instante de 1440 minutos, todas as amostras foram levadas para a estufa de secagem e esterilização a 100 °C, onde permaneceram por 24 horas, visando à obtenção de suas massas secas.

Na presente pesquisa, o estudo da desidratação osmótica foi feito usando-se um modelo matemático em que a equação de difusão, em coordenadas cartesianas,

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \Phi \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma \Phi \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\Gamma \Phi \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right), \quad (1)$$

com a condição de contorno de primeiro e de terceiro tipos foi resolvida numericamente usando o método dos volumes finitos. Na Equação 1, $\Gamma \Phi$, é a difusividade efetiva e massa, Φ é a quantidade de água ou de sacarose no produto, t é o tempo e que x , y e z são as variáveis de posição. Para resolver numericamente a Equação (1), usando o método dos volumes finitos, faz-se a discretização do domínio, dividindo-os em volumes de controle. A discretização do paralelepípedo gera vinte e sete tipos distintos de volumes de controle, que são caracterizados por suas localizações na malha. Cada tipo de volume de controle conduz a uma equação discretizada específica, e a cada volume de controle do domínio discretizado, corresponde uma equação. Ao final, tem-se um sistema de equação, na variável de interesse, que pode ser resolvido pelo método de Gauss Seidel. Em Aires et al., (2018) pode-se encontrar detalhes de uma discretização típica. Com essa ideia foi elaborado um código em FORTRAN para a obtenção da solução numérica da equação de difusão que foi acoplada a um otimizador para a determinação dos parâmetros de processo, a saber: a difusividade efetiva de massa (para as condições de contorno de 1º e 3º tipos) e o coeficiente de transferência convectiva de massa (para a condição de contorno do 3º tipo) para a água e para a sacarose, a partir dos dados experimentais. Testes iniciais mostraram que a condição de contorno do 3º tipo foi adequada para a descrição da cinética de quantidade de água, enquanto a de 1º tipo mostrou-se pertinente para a cinética do ganho de sacarose.

3. Resultados e discussão

A Tabela 1 apresenta os parâmetros de processo obtidos por método inverso usando o otimizador.

Tabela 1 – Parâmetros de processo estimados a partir dos dados experimentais.

Condições	Água	Sacarose	Referência
40°Brix40°C	$D_A = 1,22 \times 10^{-8} m^2 \text{ min}^{-1}$	$D_S = 1,00 \times 10^{-8} m^2 \text{ min}^{-1}$	Mundada et al. (2011)
	$h_A = 2,09 \times 10^{-5} m \text{ min}^{-1}$	-	Santos et al. (2011)
60°Brix40°C	$D_A = 0,97 \times 10^{-8} m^2 \text{ min}^{-1}$	$D_S = 0,85 \times 10^{-8} m^2 \text{ min}^{-1}$	Koprivica et al.(2013)
	$h_A = 2,61 \times 10^{-5} m \text{ min}^{-1}$	-	Castro et al.(2014)

Os resultados são condizentes com a literature (Aires et al., 2016). A Figura 1 apresenta a superposição da simulação e dos dados experimentais das cinéticas de quantidade de água e de ganho de sacarose para os experimentos realizados.

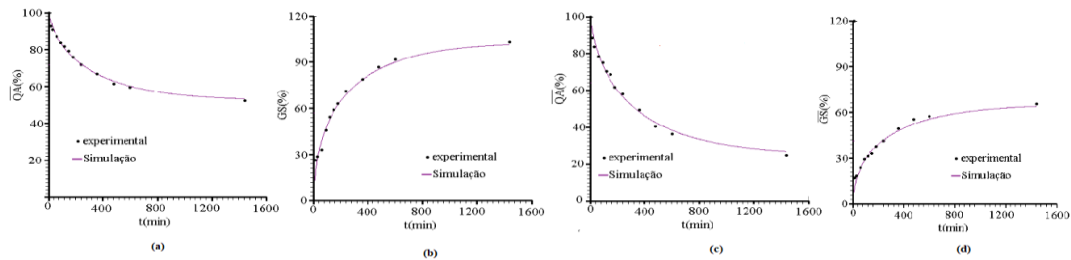


Figura 1: Superposição entre as simulações das cinéticas de QA e de GS e os pontos experimentais.
(a)QA a 40°Brix e 40°C, (b) GS a 40° Brix e 40°C, (c)QA a 60°Brix e 40°C e (d)GS a 60°Brix e 40°C

Percebe-se que, a maior concentração do meio osmótico propiciou uma maior perda de água. Esse resultado encontra ampla ressonância na literatura. A título de exemplo, Aires et al. (2016) e Aires et al. (2018), atestaram uma maior perda de água para uma maior concentração da solução desidratante no estudo da desidratação osmótica de maçãs, inclusive com condições operacionais idênticas a do presente trabalho. No tocante à captação de sólidos, houve um maior ganho no experimento com 40°Brix e 40°C. Neste experimento, o ganho de sacarose no último instante observado ficou em torno de 103,070% em relação à massa seca inicial (da amostra *in natura*), enquanto que no experimento a 60°Brix40°C, a captação ficou em 65,4 %. Nota-se que, em ambos os casos a captação foi significativa. Esse resultado difere do encontrado preponderantemente na literatura. Neste sentido, Aires et al. (2016) e Aires et al. (2018), observaram uma maior captação de sólidos atrelada a uma maior concentração da solução osmótica. Entretanto, Ferrari et al. (2005), verificaram, em experimentos de desidratação osmótica de melão, que a maior captação de sólidos ocorreu nos experimentos com menor concentração. Os mesmos autores citam outros trabalhos com comportamento similar. Giraldo G. et al. (2003), explicam que uma maior concentração do meio desidratante pode criar uma barreira para a incorporação de sólidos, sobretudo em temperaturas relativamente baixas.

As Figuras 2 e 3 mostram a distribuição de quantidade de água (QA) nas amostras no experimento conduzido a 40° Brix e 40°C e a 60° Brix e 40°C, respectivamente, em tempos específicos.

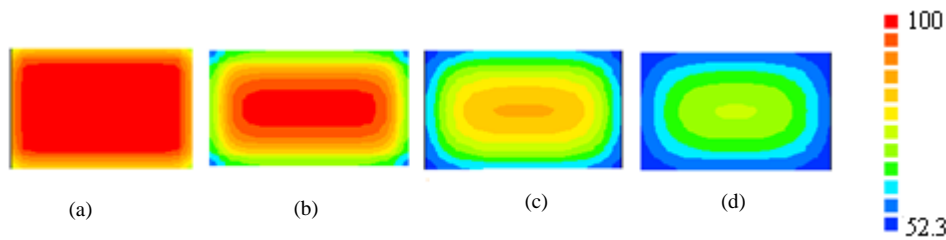


Figura 2: (a) QA em 30 min; (b) QA em 150 min; (c) QA em 380 min;(d) QA em 600 min, a 40° Brix e 40° C.

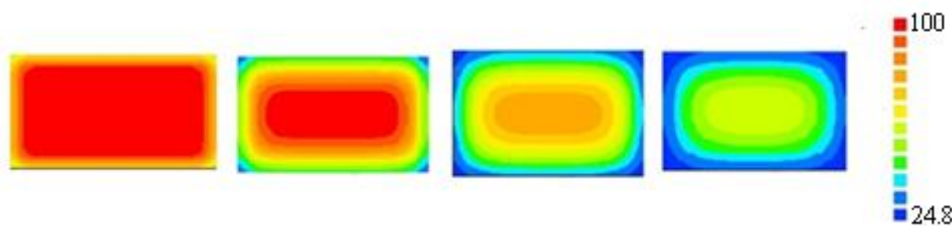


Figura 3: (a) QA em 30 min; (b) QA em 150 min; (c) QA em 380 min;(d) QA em 600 min a 60° Brix e 40°C.

Percebe-se que os níveis mais altos da escala (vermelho) vão diminuindo quando o tempo de imersão aumenta. Isso é coerente com o processo de perda de água. Com efeito, em 30 minutos ainda há um nível alto de água em toda amostra, enquanto que em 600 minutos, já não se vê regiões na amostra com esse nível devido à saída de água. Atente-se que as escalas de cores têm valores diferentes nas duas figuras.

As Figuras 4 e 5 mostram o ganho de sacarose (GS) nas amostras submetidas ao experimento a 40°Brix e 40°C e 60°Brix e 40°C, respectivamente.

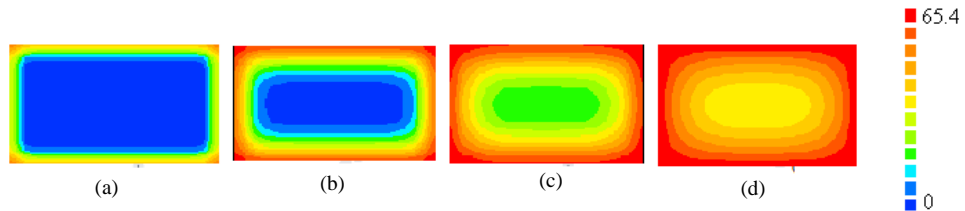


Figura 4: (a) GS em 30 min;(b) GS em 150 min; (c) GS em 380 min; (d) GS em 600 min, a 40° Brix e 40°C.

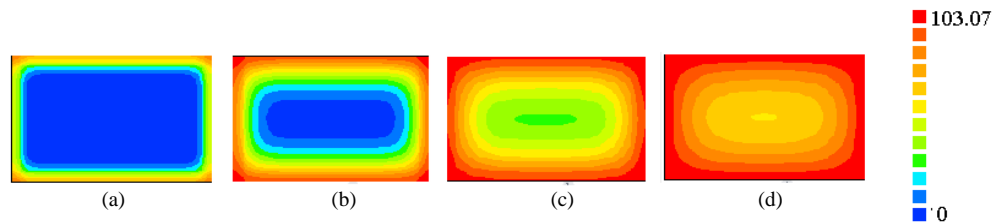


Figura 5: (a) GS em 30 min;(b) GS em 150 min; (c) GS em 380 min; (d) GS em 600 min, a 60° Brix e 40°C.

Nota-se um processo inverso, em relação aos níveis mais alto da escala. De fato, o ganho de sacarose vai ocorrendo com o decorrer do tempo. No instante de 30 minutos, por exemplo, poucas regiões tem o nível mais alto de sacarose, ao passo que, em 600 minutos, já não se vê regiões nas amostras sem a presença de sacarose. Reitere-se que as escalas de cores são distintas nas figuras.

Considerações finais

Os modelos difusivos elaborados mostraram-se eficazes na descrição das cinéticas de desidratação osmótica. A captação de sólido ocorreu para um menor concentração do meio desidratante, o que é menos frequente na literatura, mas apresenta consonância com alguns trabalhos com justificativas plausíveis.

Referências

- AIRES, Juarez E.F.; DA SILVA, W.P.; AIRES, K. L. C. A. F.; DA SILVA JÚNIOR, A.F.; SILVA, C.M.D.P. **Description of osmotic dehydration of apple using two-dimensional diffusion models considering shrinkage and variations in process parameters.** Drying Technology, 2016.
- AIRES, Kalina L. C. A. F.; DA SILVA, W.P.; AIRES, J.E.F.; DA SILVA JÚNIOR, A.F.; SILVA, C.M.D.P. **Apple osmotic dehydration described by three dimensional numerical solution of the diffusion equation.** Drying Technology, 2018.
- FERRARI, C.C.; RODRIGUES, L.; TONON, R.V.; HUBINGER, M.D... **Cinética de transferência de massa de melão desidratado osmoticamente em soluções de sacarose e maltose.** Ciências Tecnologia Alimentos, Campinas, 25(3): 564-570, jul.-set. 2005
- GIRALDO, G.; TALENS, P.; FITO, B.; CHIRALT, A. **Influence of Sucrose Solution Concentration on Kinetics and Yield during Osmotic Dehydration of Mango.** , v. 58, p. 33-43, 2003.
- SILVA, W. P.; Silva, C. M. D. P. S.; Lins, M.A.A.; Gomes, J.P. . **Osmotic dehydration of pineapple (Ananas comosus) pieces in cubical shape described by diffusion models.** Food Science and Technology 55, 1–8, 2014.
- ZÚÑIGA, R.N.; Pedreschi, F. **Study of the pseudo-equilibrium during osmotic dehydration of apples and its effect on the estimation of water and sucrose effective diffusivity coefficients.** Food and Bioprocess Technology 5, 7, 2717-2727, 201