

ESTUDO DA CINÉTICA DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE FATIAS DE MANDIOCA

Study of the kinetics of osmotic dehydration of manioc slices

Resumo:

O objetivo deste trabalho foi realizar ensaios de desidratação osmótica de fatias de mandioca para determinar uma região ótima do processo e estudara sua cinética. Os ensaios experimentais foram realizados com soluções aquosas binárias (sacarose ou cloreto de sódio) e ternárias (sacarose/cloreto de sódio). As soluções aquosas ternárias apresentaram melhor Relação de desempenho e maior Perda de umidade em relação às soluções aquosas binárias. As condições operacionais encontradas foram a 50 °C, com solução ternária contendo 35 % de sacarose e 10 % de sal, a 150 min e a 120 rpm de agitação. Nessa condição foi encontrado o maior valor para a Relação de desempenho e a menor incorporação de sólidos, solutos da solução desidratante. O estudo da cinética de desidratação osmótica demonstrou que o teor de sólidos solúveis e a sua incorporação aumentam exponencialmente até 3 horas de operação e depois estabilizam.

Abstract:

The objective of this work was to perform osmotic dehydration tests of manioc slices to determine an optimal region of performance and to study their kinetics of operation. The experimental tests were performed with binary aqueous solutions (sucrose or sodium chloride) and ternary (sucrose/sodium chloride) solutions. The ternary aqueous solutions presented better performance ratio and higher loss of moisture relative to binary aqueous solutions. The operational conditions found were 50 °C, with ternary solution containing 35 % sucrose and 10 % salt, at 150 min and at 120 rpm of agitation. In this condition it was found the highest value for the Performance ratio and the lowest incorporation of solids, solutes of the dehydrating solution. The study of osmotic dehydration kinetics has shown that the soluble solids content and their incorporation increase exponentially up to 3 hours of operation and then stabilize.



**Amanda Silva do Carmo, Thálita
Cristyne de Oliveira Alves, Pierre
Corrêa Martins¹**

¹Universidade Federal da Paraíba
E-mail: amandacarmoufpb@gmail.com

Contato principal
Amanda Silva do Carmo¹



Palavras chave: Tubérculo, Perda de umidade,
Otimização

Keywords: Tuber, Moisture Loss, Optimization



INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) constitui-se em um dos principais alimentos energéticos para milhões de pessoas, sobretudo nos países em desenvolvimento, e o Brasil participa com mais de 15 % da produção mundial (EMBRAPA, 2005). Porém, suas raízes frescas apresentam um limitado tempo de armazenamento para o consumo em relação aos seus produtos processados na forma concentrada, seca entre outras (FILGUEIRA, 2000).

A desidratação osmótica é um processo de remoção de água que envolve imersão de um alimento sólido como um pedaço de fruta ou hortaliça em uma solução concentrada contendo um ou mais solutos. Durante a imersão ocorrem pelo menos dois importantes fluxos simultâneos em contracorrente: um substancial fluxo de água do alimento para a solução e uma menor transferência de soluto da solução para o alimento (SAUREL, 1994).

A literatura destaca as vantagens de submeter frutas a tratamentos prévios em soluções aquosas de açúcares antes da secagem, tendo como resultado a manutenção da cor e dos aromas e a redução da acidez (PONTING, 1973). Entre as principais vantagens da desidratação osmótica da mandioca está à grande redução de peso e volume dos mesmos, a facilidade de transporte e armazenamento, além do aumento de vida de prateleira do produto. O objetivo deste trabalho foi a determinação da faixa de ótima de operação em diferentes condições e o estudo da cinética de desidratação osmótica de fatias de mandioca.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios experimentais foram realizados com a mandioca (*Manihot esculenta Crantz*), açúcar (sacarose) e sal de cozinha (cloreto de sódio) adquiridos no comércio local de João Pessoa/PB. As atividades experimentais foram realizadas no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

Os ensaios de desidratação osmótica foram realizados em incubadora *shaker* de piso refrigerada. As amostras foram condicionadas em recipientes cilíndricos de vidro de 250 mL com tampa de rosca, contendo uma tela de aço galvanizado que divide radialmente o seu volume interno em dois compartimentos. Os tubérculos foram fatiados e recortados manualmente em dimensões constantes de 3 mm de espessura e área retangular de 5,0 x 4,0 cm².

A caracterização física e química das amostras utilizadas nos ensaios foi realizada através de determinação do conteúdo de umidade (método gravimétrico em estufa a vácuo a 70 °C/110 mmHg/massa constante) e de sólidos totais (refratômetro de bancada e expresso em °Brix) e da atividade de água (determinador automático de atividade de água), conforme metodologia da AOAC (1995). A perda de massa do material desidratado foi obtida através de pesagens em balança analítica de quatro casas decimais

de precisão.

Foram realizados sete (7) ensaios experimentais, realizados em duplicata. Os parâmetros de operação pré-fixados nestes ensaios, foram a temperatura do meio (50 °C), a rotação de agitação do meio (120 rpm) e o tempo de imersão das amostras (150 min). Foi avaliada a influência do tipo e concentração de soluto a diferentes condições apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Ensaios experimentais para determinação do melhor tipo e concentração da solução para a desidratação osmótica de fatias de mandioca.

Ensaio	Parâmetros de operação do ensaio a 120 rpm de agitação		
	Temperatura (°C)	Concentração de soluto (% p/p)	Tempo (min)
1	50	0 % sacarose + 10 % sal = 10 %	150
2		23 % sacarose + 0 % sal = 23 %	
3		29 % sacarose + 5 % sal = 34 %	
4		35 % sacarose + 10 % sal = 45 %	
5		41 % sacarose + 15 % sal = 56 %	
6		47 % sacarose + 20 % sal = 67 %	
7		67 % sacarose + 0 % sal = 67 %	

Os parâmetros utilizados para a avaliação da melhor condição de operação foram a Incorporação de sólidos solúveis, a Perda de umidade, a Redução da atividade de água e uma relação de desempenho da operação, expressa pela razão da Perda de umidade/Incorporação de sólidos solúveis.

O estudo da cinética de desidratação osmótica das fatias de mandioca foi realizada na melhor condição de operação obtida anteriormente. Foram realizados ensaios destrutivos de desidratação osmótica com um conjunto de quinze (15) frascos para os seguintes intervalos de tempo:

- Período inicial de 90 min de operação: foram coletadas amostras em intervalos de 15 min. Cada amostra se refere a um frasco contendo 250 mL de solução osmótica e duas fatias de mandioca separadas fisicamente pela tela metálica. Essas amostras representaram os dados cinéticos nos pontos de 15, 30, 45, 60, 75 e 90 min, resultando em seis (06) frascos utilizados;
- Intervalo de 90 a 150 min: foram coletadas amostras em intervalos de 20 min. Essas amostras representaram os dados cinéticos nos pontos de 110, 130 e 150 min, representados pelo uso de três (03) frascos;
- Intervalo de 150 a 300 min: foram coletadas amostras em intervalos de 30 min. Essas amostras representaram os dados cinéticos nos pontos de 180, 210, 240, 270 e 300 min, referentes a utilização de cinco (05) frascos;
- Período final de operação: refere-se a coleta do último frasco que restou para os dados cinéticos de um tempo prolongado de operação, aproximando-o a uma condição de equilíbrio para as taxas de transferência mássica de água e de sólidos solúveis entre a solução osmótica e o material sólido, a fatia de mandioca.

Os ensaios cinéticos foram realizados em duplicata, sendo que, no ensaio 1 o ponto final foi igual a 480 min ou 8

horas e para o ensaio 2 foi de 1200 min ou 20 horas.

O material de cada amostra foi utilizado para as determinações de conteúdo de umidade e de sólidos solúveis totais, massa e atividade de água. Assim, foram obtidos os dados cinéticos de perda de umidade e de massa, incorporação de sólidos, redução de atividade de água e relação de desempenho em função do tempo de operação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os resultados das determinações dos conteúdos de umidade, de sólidos totais, de sólidos solúveis totais e de atividade de água das fatias de mandioca *in natura* utilizadas nos ensaios experimentais de desidratação osmótica.

Tabela 2: Valores médios e desvio padrão das determinações dos conteúdos de sólidos solúveis totais, sólidos totais, de umidade e de atividade de água para a mandioca *in natura*.

Determinações	Mandioca
Sólidos solúveis totais (°Brix)	9,05 ± 0,76
Sólidos totais (%)	43,30 ± 6,41
Conteúdo de umidade, em base úmida (%)	56,70 ± 6,41
Atividade de água	0,9415 ± 0,003

Os resultados da Tabela 2 estão similares aos apresentados pela literatura (TACO, 2004), na qual o conteúdo de umidade em base úmida da mandioca é igual a 61,8 %.

Determinação do melhor tipo e concentração da solução osmótica desidratante

A Figura 1 apresenta os resultados dos ensaios de desidratação osmótica de fatias mandioca para avaliar a influência do tipo e da concentração de soluto da solução osmótica em relação a Perda de massa.

A Figura 1 apresenta os resultados dos ensaios de desidratação osmótica de fatias mandioca a atividade de água (Figura 1a) e redução de atividade de água (Figura 1b).

Verifica-se pela Figura 1(a) que a solução binária de 23 % de sacarose foi a que apresentou maior valor para a atividade de água em torno de 0,90. Enquanto as soluções ternárias de 67 % e 56 % apresentaram os valores mais baixos entre 0,65 e 0,70, respectivamente. Segundo Aguilera e Parada (1992), vegetais desse tipo devem apresentar atividade de água entre 0,65 e 0,95. Estudos apontam que quanto maior a perda de água, menor será a atividade de água.

Na Figura 2(b) observa-se que todas as concentrações utilizadas apresentaram redução do conteúdo de atividade de água do material. Dentre as soluções binárias (soluções aquosas de cloreto de sódio ou sacarose), as soluções com cloreto de sódio apresentaram maior redução da atividade de água do material. A melhor solução para a redução de atividade do material foi a ternária de 67 % (47 % de sacarose + 20 % de sal), com um valor aproximado de 30 % para a redução de atividade de água.

Na Figura 2 estão os resultados para a Relação de desempenho, Perda de umidade e Incorporação de sólidos solúveis dos ensaios experimentais realizados.

Está evidenciado na Figura 2(b) que soluções aquosas binárias de sacarose apresentaram maiores resultados para a perda de umidade do que a solução aquosa de sal. Esse fato deve estar relacionado ao uso de maiores concentrações de soluto dessas soluções de açúcar em relação à salina. Tal comportamento é demonstrado quando se compara a perda de umidade entre os ensaios com as soluções aquosas de sacarose a 23 % e 67 % em peso de soluto. No entanto, a incorporação de sólidos solúveis também aumenta em proporções similares com o aumento da concentração de solutos da solução desidratante. As soluções aquosas ternárias de sacarose com cloreto de sódio apresentaram melhor Relação de desempenho e maior Perda de umidade no material em relação às soluções aquosas binárias de sacarose e de cloreto de sódio para a desidratação osmótica de mandioca.

A solução aquosa contendo 47 % de sacarose e 20 % de sal apresentou o maior valor para incorporação de sólidos solúveis entre as soluções ternárias, cujo resultado positivo é indesejável para a desidratação osmótica. A incorporação de sólidos da solução com 35 % de sacarose e 10 % de sal é menor em relação às soluções ternárias mais concentradas (56 % e 67 % em peso de solutos) e apresenta o maior valor para Relação de desempenho adotada para a operação, conforme mostra a Figura 2(a). A Relação de desempenho adotada para a operação é um dos principais parâmetros para a sua avaliação, pois expressa a razão entre a Perda de umidade do material (desejável) e a Incorporação de sólidos no material (indesejável). Assim, quanto maior o valor da Relação de desempenho adotada, maior será a diferença entre a perda de umidade e o ganho de sólidos. Então, o material deve perder mais umidade (água) do que incorporar sólidos, corroborando para sucesso da desidratação osmótica como agente desidratante. A solução ternária com a melhor concentração para a maior redução de umidade e menor incorporação de sólidos foi aquela contendo 35 % de sacarose e 10 % de sal.

Cinética de desidratação osmótica de fatias de mandioca

A caracterização da cinética de desidratação osmótica foi obtida mediante aos dados experimentais da massa do material em função do tempo de todos os ensaios que foram realizados em duplicata. Os resultados dos parâmetros de avaliação da cinética de desidratação osmótica de fatias de mandioca estão apresentados através de curvas de seus valores em relação ao tempo. As curvas obtidas apresentaram comportamento sigmoidal ou exponencial crescente.

As curvas de perda de massa do material ao longo do tempo de desidratação osmótica estão apresentadas na Figura 3.

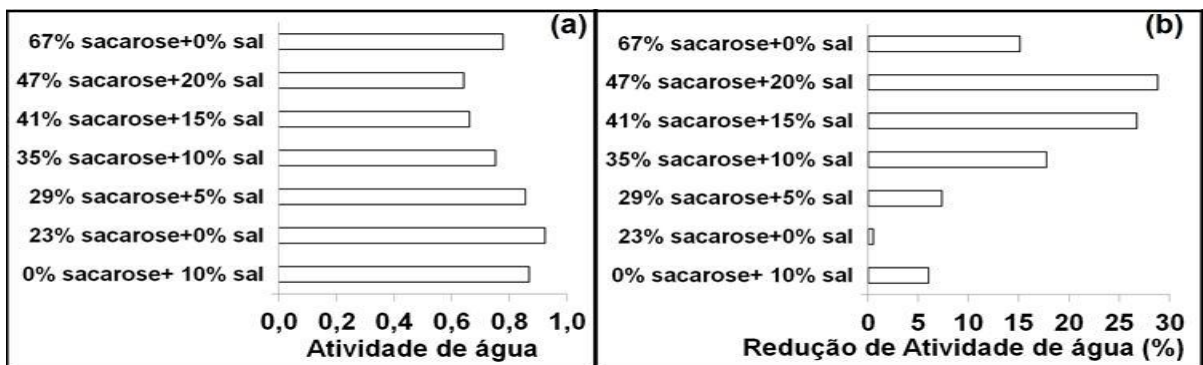


Figura 1 – Resultados de ensaios de desidratação osmótica de fatias de mandioca para os parâmetros: (a) Atividade de água; (b) Redução de atividade de água.

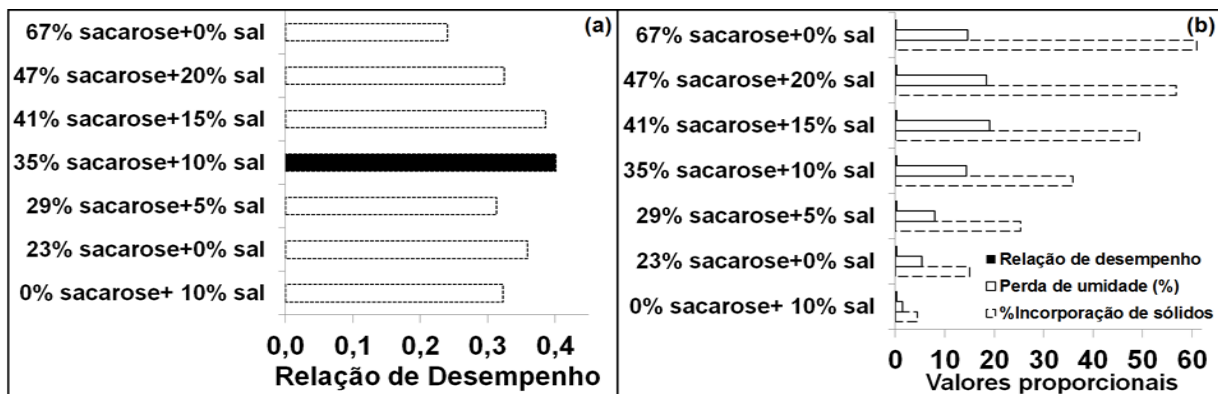


Figura 2–Resultados de ensaios de desidratação osmótica de fatias de mandioca para:(a) Relação de Desempenho; (b) Perda de umidade, Incorporação de sólidos e Relação de Desempenho.

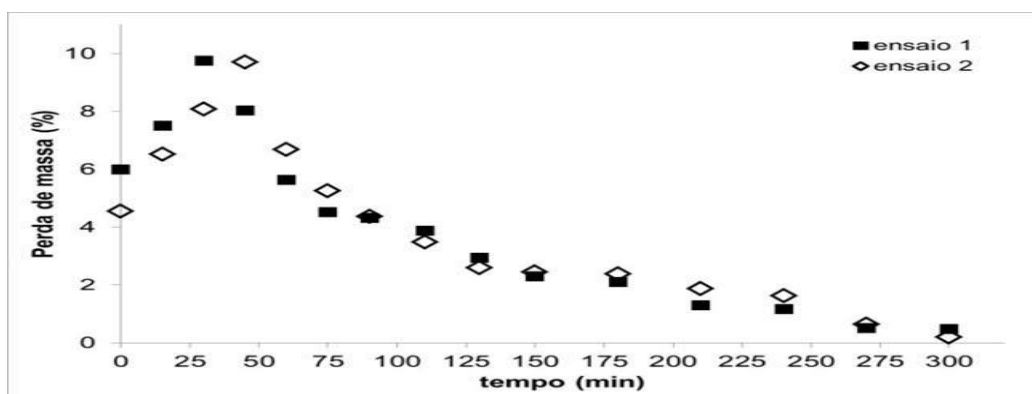


Figura 3 - Curvas da Perda de massa (%) em relação ao tempo (min) de desidratação osmótica de fatias de mandioca.

Observa-se na Figura 3 que não houve diferença significativa do ensaio 1 e 2. Ambos apresentaram um aumento de Perda de massa nos primeiros intervalos de tempo, apresentando um declínio no resto do processo. Portanto, a maior de perda de umidade do material ocorre nos primeiros 60 min de desidratação osmótica.

A Figura 4 apresenta as curvas da Atividade de água e da Redução da Atividade de água em relação ao tempo de desidratação osmótica de fatias de mandioca.

Nas curvas da Figura 4 observou-se que houve um declínio da atividade de água ao longo do tempo, os

ensaios mostraram uma certa similaridade entre si. A partir dos 90 minutos a atividade de água apresentou-se constante no ensaio 1, enquanto que no ensaio 2 a atividade de água apresentou-se constante a partir dos 150 minutos. A atividade de água no ensaio 2 foi menor. As curvas da Figura 4(b) demonstraram que ocorre uma insignificante redução da a_w nos minutos iniciais ao processo, cujo efeito pronunciado pode ser observado a partir dos 50 minutos de operação que começa a diminuir após 120 minutos.

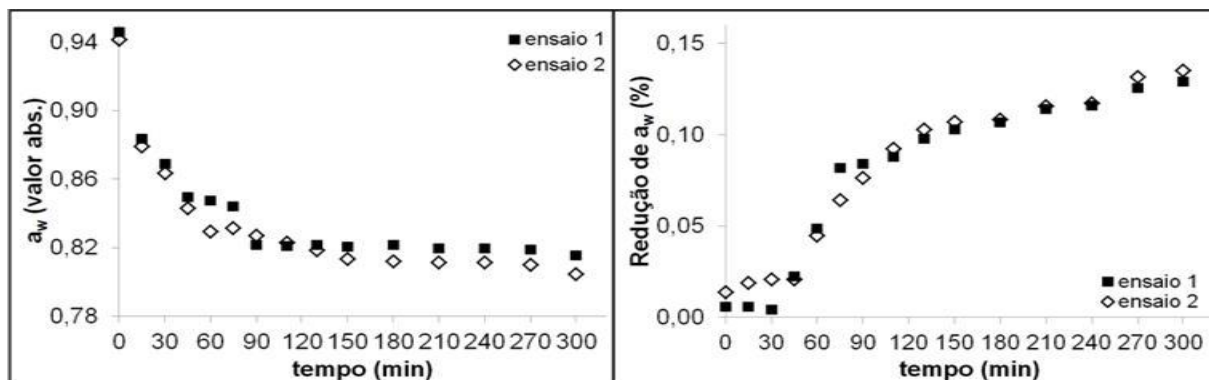


Figura 4 - Curvas da cinética desidratção osmótica de mandioca para: a) a atividade de água (a_w); b) Redução de atividade de água (Redução de a_w)

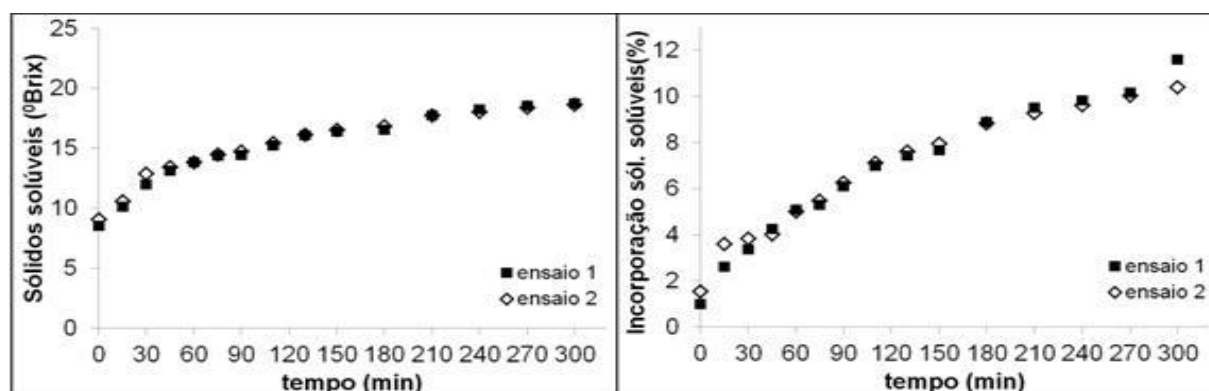


Figura 5 - Curvas da cinética desidratção osmótica de mandioca para:
a) Conteúdo de sólidos solúveis; b) Incorporação de sólidos solúveis.

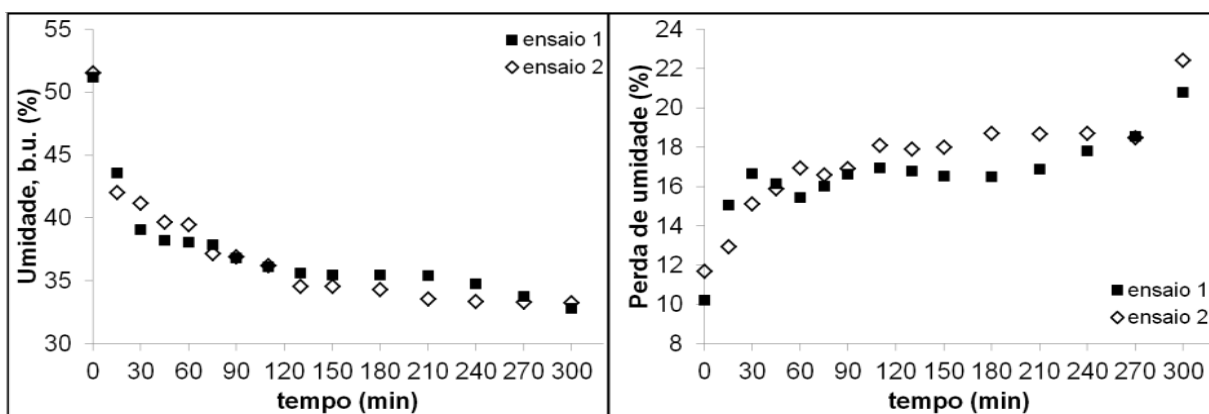


Figura 6 - Curvas da cinética desidratção osmótica de mandioca para:
a) Conteúdo de umidade; b) Perda de umidade.

A Figura 5 apresenta as curvas do conteúdo de sólidos solúveis e de incorporação de sólidos (%) em relação ao tempo de desidratção osmótica das fatias de mandioca.

As curvas da Figura 5 mostraram que no início do processo a presença de uma elevada concentração de açúcares faz com que ocorra uma rápida transferência de massa (água sai, solutos entram). Essa transferência vai se acomodando para um mecanismo final, até eventualmente atingir-se um equilíbrio para o conteúdo de sólidos no material, conforme a Figura 5(a) Para a incorporação de sólidos, apresentada na Figura 5(b), observa-se que inicialmente ocorre um maior ganho de sólidos a partir de

200 minutos ela começa a diminuir. O ponto final das curvas de incorporação do ensaio 1 indicam um aumento súbito desse parâmetro, o qual pode estar relacionado a algum erro experimental (coleta de dados, etc.).

A Figura 6 apresenta as curvas do conteúdo de umidade e perda de Umidade em relação ao tempo de desidratção osmótica das fatias de mandioca.

Observa-se na Figura 6(a) que as fatias de mandioca desidratada osmoticamente nos ensaios apresentaram uma diminuição do seu conteúdo de umidade nos primeiros 30 minutos de operação. A partir desse momento, a diminuição é menos pronunciada e se estabiliza após 200

minutos. O ensaio 1 apresentou um comportamento anômalo na etapa final da operação, diminuindo acentuadamente o conteúdo de umidade do material após um período estável, o qual pode estar relacionado a erros experimentais.

Para a perda de umidade apresentada na Figura 6(b), observa-se que existe uma dificuldade de remoção de umidade do material desidratado osmoticamente após os

100 minutos, o qual pode estar relacionado com a barreira física formada pelos solutos incorporados nas fatias de mandioca, principalmente pela sacarose que estava em maior proporção na solução osmótica.

A Figura 7 apresenta as curvas da Relação de desempenho em relação ao tempo de desidratação osmótica das fatias de mandioca.

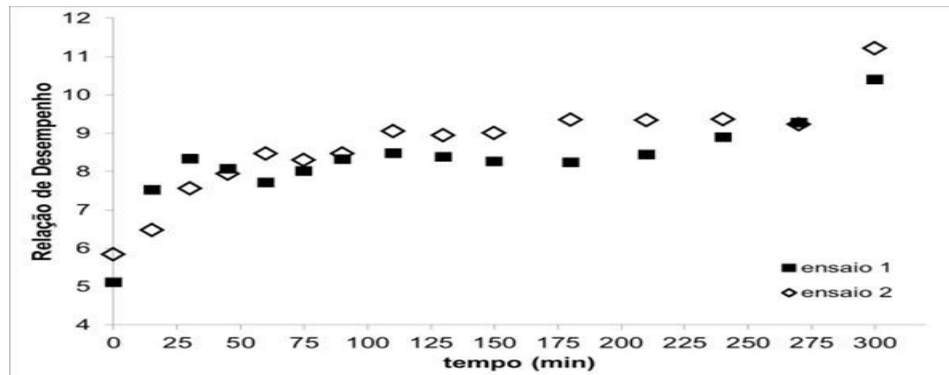


Figura 7 - Curvas da Relação de desempenho em relação ao tempo de desidratação osmótica das fatias de mandioca.

Observa-se nas curvas da Figura 7 que o comportamento da Relação de Desempenho em relação ao tempo apresenta característica sigmoidal. Ela apresenta valores acentuados no início e no final da desidratação osmótica das fatias de mandioca. Isso deve estar relacionado ao comportamento parabólico da perda de massa e aproximadamente sigmoidal da perda de umidade. É um fato novo e inesperado, pois geralmente a literatura apresenta comportamentos exponenciais para outras relações de desempenho de desidratação osmótica, tais como, as razões entre a o ganho de sólidos e a perda de massa e a perda de umidade e a perda de massa. Portanto, deve-se realizar outros experimentos para confirmar, esclarecer esse comportamento sigmoidal da relação de desempenho e da perda de umidade e parabólico da perda de massa.

CONCLUSÃO

As soluções aquosas ternárias de sacarose com cloreto de sódio apresentaram melhor Relação de desempenho e maior Perda de umidade no material em relação às soluções aquosas binárias de sacarose e de cloreto de sódio para a desidratação osmótica de mandioca.

A desidratação osmótica da mandioca em fatias apresentou uma faixa ótima de operação para o processo na condição de 50 °C, 35 % de sacarose e 10 % de sal e 150 min, a 120 rpm de agitação, com melhor relação de desempenho e menor incorporação de sólidos.

Na cinética de desidratação osmótica o comportamento das curvas de perda de umidade e da relação de desempenho ao longo do tempo de operação foi sigmoidal.

As curvas de perda de massa em relação ao tempo da

cinética de desidratação osmótica de fatias de mandioca apresentaram um comportamento parabólico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis**. 16th ed. Washington; 2005.
- AGUILERA, J. M.; PARADA, E. **CYTED-D AHI. IberoAmerican project on intermediate moisture foods and combined methods technology**. Food Research International, Oxford, v. 25, n. 1, p. 159-165, 1992.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Mandioca** (2005). Disponível em: <www.embrapa.br>. Acesso em 25 de agosto de 2016.
- FALCONE, M.A.; SUAZO, C.A.T. **Desidratação osmótica do abacaxi (*Ananás comonos L.Merril*. Parte I: Influência da temperatura sobre a velocidade de secagem**. Boletim SBCTA. Campinas, V.22, n.1/2,p.17-35, 1998.
- FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa UFV, 2000. 402 p.
- PORTER, H. F., SCHURR, G. A., WELLS, D. F., SEMRAU, T. K. Solids drying and gas-solid **In: PERRY, R. H. and CHILTON, C. H., Chemical Engineer's Handbook**. McGraw-Hill Co. 6 ed. Sec. 20-4, 1984.

PONTING, J. D. **Osmotic dehydration of fruits: recent modification and applications.** Process Biochemistry, Oxford, v. 8, p. 18–20, 1973.

SAUREL, R.; RAOULT-WACK, A.; RIOS, G. AND GUILBERT, S. **Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple I. Fresh plant tissue.** *International J. of Food Sci. and Technology*, **29**, 531-542. (1994).

TONON, R.V.; BARONI, A.F.; HUBINGR, M.D. **Estudo da desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias pela metodologia de superfície de resposta.** *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, V. 26 n. 3p. 715 – 723, 2005.