

ESTUDO DA CINÉTICA DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE BANANA MAÇÃ (*Musa acuminata* Colla x *Musa balbisiana* Colla, Grupo AAB)

Joyce Louise Cruz Xavier de GÓIS (1); Amanda Karolynne Luciano da COSTA (2); Ronaldo dos Santos FALCÃO FILHO (3)

(1) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Rua Manoel Lopes Filho, 773 – Valfredo Galvão – Currais Novos/RN – (84) 3412-2018 – joyce.louise@hotmail.com

(2) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – amandinha_wm@hotmail.com

(3) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – ronaldo.falcao@ifrn.edu.br

RESUMO

O presente trabalho objetivou estudar a cinética de desidratação osmótica da banana maçã, avaliar comportamento do desidratante quanto ao potencial de desidratação, determinar a difusividade efetiva média dos processos de perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS), além dos valores de PA e GS no equilíbrio. Os métodos utilizados foram os seguintes: a solução de desidratação a 55°Brix foi preparada com água destilada e açúcar cristal comercial, as bananas foram lavadas em água corrente e sanitizadas em solução de NaClO 50 ppm, depois foram cortadas em rodela de 5 mm de espessura e submetidas à desidratação na solução de açúcar a 60°C na proporção fruta-xarope 1:10 por 300 minutos. Os resultados encontrados na cinética após 300 min. de processo foram: PA de 31,84%, PP de 27,96% e GS de 3,88%, a concentração do desidratante, praticamente, não variou. Os D_{ef} (médio) encontrados foram $4,58 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ para PA e $4,34 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ para GS, além dos valores no equilíbrio de PA e GS de, respectivamente, 38,76% e 5,24%. As altas temperatura e concentração do desidratante utilizadas levaram à alta PA e baixo GS, levando a uma boa PP; constatou-se que a proporção fruta-xarope de 1:10 manteve o potencial de transferência de massa do desidratante, praticamente, constante durante todo o processo; os altos D_{ef} (médio) encontrados podem ser decorrentes das altas temperaturas e concentrações utilizadas no processo e, finalmente, os valores de PA e GS estimados no equilíbrio mostraram que os fluxos de PA e GS foram mais efetivos nas primeiras horas da desidratação.

Palavras-chave: banana maçã, desidratação osmótica, modelagem matemática, transferência de massa.

1. INTRODUÇÃO

A banana pode ser considerada a fruta mais barata, nutritiva e abundante entre todas, ela é uma excelente fonte de energia, sais minerais e vitaminas. A banana maçã, especificamente, apresenta na sua composição por 100g um valor calórico de 363 kJ, 264 mg de potássio, além de vitaminas como a piridoxina (0,14 mg) e a vitamina C (10,5 mg) (BITTENCOURT, 2001; UNICAMP, 2006).

A produção nacional de banana no ano de 2010 deve ser maior do que a de 2009 em aproximadamente 3,6%, com o total passando de 7.193.189 toneladas para 7.451.972 toneladas. A região Nordeste continua sendo a maior produtora nacional com uma produção maior que três milhões de toneladas por ano (BRASIL, 2010).

Segundo Gondim et al. (2005) dois graves problemas que o Brasil enfrenta são a fome e o desperdício, o que chega a ser uma questão paradoxal, pois o país é um dos maiores produtores e exportadores mundiais de produtos agrícolas e ao mesmo tempo milhões de pessoas passam fome. Por isso, é muito importante o desenvolvimento de tecnologias que visem à redução do problema do desperdício, uma boa alternativa tecnológica é a produção de frutas secas que podem ser obtidas por um processo combinado de desidratação osmótica seguido de secagem convectiva.

É importante salientar que a desidratação osmótica é descrita como um processo parcial na desidratação de frutas. Após a desidratação por osmose, um método complementar como secagem convencional, congelamento ou pasteurização, por exemplo, deve ser utilizado a fim de se obter um produto com boas características de conservação no que diz respeito a sua estabilidade química e microbiológica (EL-AOUAR, 2005).

A desidratação osmótica é um método de remoção parcial de água dos alimentos. Baseia-se na imersão dos alimentos em soluções hipertônicas de um ou mais solutos, originando dois fluxos principais, simultâneos e opostos: uma saída de água do produto para a solução e uma migração de solutos da solução para o produto. A saída de sólidos naturais do alimento é quantitativamente desprezível, embora possa ser importante no que diz respeito às características sensoriais e nutricionais (TONON; BARONI e HUBINGER, 2006).

Os objetivos deste trabalho foram estudar a cinética de desidratação osmótica em rodelas de banana, avaliar se a proporção fruta- solução desidratante utilizada garante o potencial de desidratação durante todo processo de desidratação, estimar os coeficientes de difusão efetivos para a perda de água e ganho de sólidos do produto, além de determinar valores destes dois parâmetros no equilíbrio.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

A matéria-prima utilizada neste estudo foi proveniente de um sítio na zona rural do município de Jardim do Seridó/RN. A banana maçã foi colhida quando a casca se apresentava completamente amarela e foi levada para a realização do estudo no laboratório de processamento de produtos vegetais do IFRN Campus Currais Novos.

Outros materiais utilizados foram potes de vidro de 1 litro de capacidade com tampa rosqueável, para evitar uma provável evaporação da água da solução osmótica, facas de aço inoxidável, balança de precisão de 0,01 g da marca *Quimis*, estufa de secagem de circulação forçada de ar da *Marconi*, açúcar cristal, água destilada, um paquímetro de plástico da *Tramontina*, um refratômetro de bancada para medir o Brix da solução de desidratação e o programa *BROffice Calc* para modelagem matemática.

2.2. Métodos

2.2.1. Etapas Preliminares ao Processo de Desidratação Osmótica

A solução de desidratação osmótica foi preparada a 55°Brix, que é um valor próximo aos utilizados por Almeida et al. (2005) que utilizaram valores entre 40 e 60° Brix no planejamento experimental de desidratação de manga Tommy Atkins. O preparo foi realizado diluindo-se 2200 g de açúcar cristal em água destilada até completar um volume de solução de 4 L.

As bananas assim que chegaram à unidade de processamento passaram por uma higienização, primeiro realizou-se uma lavagem com detergente neutro e água potável corrente e após esta etapa procedeu-se uma

sanitização por imersão em solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm por 10 minutos, passado este tempo, retirou-se o excesso de hipoclorito com água corrente.

A próxima etapa do processo foi o corte das bananas em rodela de aproximadamente 5 mm de espessura, medidas com auxílio de um paquímetro.

Após o corte, as rodela de banana foram pesadas e colocadas três em cada pote, então se adicionou ao pote uma massa de solução de desidratação (pré-aquecida a 60°C para garantir que todo o processo se realizasse a esta temperatura) equivalente a dez vezes a massa de banana, para garantir a proporção 1:10 entre fruta e solução.

2.2.2. Acompanhamento da Cinética de Desidratação Osmótica

Os potes contendo as rodela de banana e a solução de desidratação foram fechados e levados à estufa de secagem com circulação ar estabilizada a 60°C para realização do processo de desidratação.

O acompanhamento da cinética da desidratação foi realizado em triplicata em cada tempo (três potes contendo banana e solução) e as leituras foram feitas nos instantes: 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 e 300 minutos.

As variáveis estudadas foram: PA – perda de água, PP – perda de peso e GS – ganho de sólidos. Estas puderam ser calculadas a partir de dos pesos iniciais, finais das rodela, da umidade inicial da banana e das umidades finais médias das rodela desidratadas em cada um dos tempos estudados.

As análises de umidade foram realizadas em estufa de secagem a 105°C até peso constante (IAL, 2008).

2.2.3. Tratamento dos dados e modelagem matemática

Os parâmetros PA, PP e GS foram calculados usando as equações abaixo relacionadas:

$$PA = [(M_0 - M_t)/W_0].100 \quad [\text{Eq. 1}]$$

$$GS = [(MS_t - MS_0)/W_0].100 \quad [\text{Eq. 2}]$$

$$PP = PA - GS \quad [\text{Eq. 3}]$$

Onde para as equações 1, 2 e 3:

PA – Perda de água (%)

GS – Ganho de sólidos (%)

PP – Perda de peso (%)

M₀ – Massa inicial de água da amostra (g)

M_t – Massa de água na amostra no instante t (g)

MS₀ – Massa inicial de matéria seca na amostra (g)

MS_t – Massa de matéria seca na amostra no instante t (g)

W₀ – Massa inicial da amostra (%)

Para estimação dos coeficientes de difusão efetivos médios de PA e GS e seus valores no equilíbrio foi utilizado o modelo proposto por Azuara, Beristian e Garcia (1992). Os autores partiram de um balanço de massa e chegaram à seguinte equação:

$$PA = (S_{PA} \cdot t \cdot PA_{\infty}) / (1 + S_{PA} \cdot t) \quad [\text{Eq. 4}]$$

Onde,

PA – Perda de água (%)

S_{PA} – Constante experimental

t – tempo de processo (s)

PA_{∞} - Perda de água estimada para o equilíbrio (%)

Rearranjando a equação 4 obtivesse a uma nova equação na forma linear,

$$t/PA = 1/S_{PA} \cdot PA_{\infty} + t/PA_{\infty} \quad [\text{Eq. 5}]$$

A partir da equação 5 estimou-se S_{PA} e PA_{∞} .

Os coeficientes de difusão foram estimados partindo de uma simplificação de segunda lei de Fick proposta por Crank (1975) para a geometria de placa plana infinita. Esta é a equação:

$$PA_t/PA_{\infty} = 2 \cdot (D_{ef} \cdot t / \pi \cdot L^2)^{1/2} \quad [\text{Eq. 6}]$$

A equação 6 mostra que a perda de água é diretamente proporcional a raiz quadrada do tempo de processo, sendo D_{ef} o coeficiente de difusão médio durante a desidratação.

Para a estimação de D_{ef} foram combinadas as equações 4 e 6 que resultou em:

$$D_{ef}(t) = (\pi \cdot t / 4) \cdot [(S_{PA} \cdot L / (1 + S_{PA} \cdot t)) \cdot (PA_{\infty}^{MOD} / PA_{\infty}^{EXP})]^2 \quad [\text{Eq. 7}]$$

Onde,

$D_{ef}(t)$ – Difusividade efetiva no tempo t (m^2/s)

PA_{∞}^{MOD} – Perda de água estimada pelo modelo no equilíbrio (%)

PA_{∞}^{EXP} – Perda de água experimental no equilíbrio (%)

Quando não se conhece PA_{∞}^{EXP} se considera $PA_{\infty}^{EXP} = PA_{\infty}^{MOD}$ para que sejam obtidas as estimativas de $D_{ef}(t)$, isto pode ser feito quando o modelo linear da equação 5 fica bem ajustado.

A difusividade efetiva média foi obtida pela média aritmética de todos os coeficientes os obtidos para os n tempos, então:

$$D_{ef}(\text{médio}) = \sum D_{ef}(t) / n \quad [\text{Eq. 8}]$$

Para avaliar a qualidade do ajuste do modelo foram utilizados dois parâmetros o coeficiente de determinação (r^2) e o erro relativo médio (η (%)) que é dado por:

$$\eta(\%) = (100/n) \cdot \sum (V_{exp} - V_{mod} / V_{exp}) \quad [\text{Eq. 9}]$$

Onde,

V_{exp} – Valor obtido experimentalmente

V_{mod} – Valor estimado pelo modelo

Todas as equações da modelagem são válidas também para o estudo de GS.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 1 mostra a cinética de desidratação da banana maçã submetida à desidratação por 300 minutos a 60°C , observou-se que os três parâmetros estudados praticamente se estabilizaram após 240 minutos de processo concordando com Sousa (2008) que afirma que a maior transferência de massa ocorre no início do processo.

Apesar do processo de desidratação ter ocorrido sem agitação, que é uma variável de fundamental importância no processo segundo Roult-Wack et al.(1989) citados por Alves (2003) que justificam a importância da agitação pelo fato da solução desidratante se tornar diluída nas proximidades da superfície do produto perdendo parte do seu potencial de desidratação e necessitando de agitação para garantir na medida do possível o mesmo potencial durante todo o processo, a desidratação foi bastante efetiva para a $PA(\%)$ que chegou a 31,84% e para a $PP(\%)$ a 27,96% decorridos os 300 minutos, acredita-se que isto se deveu as altas temperatura e concentração da solução desidratante o que eleva a o potencial de transferência de massa do meio, Sousa (2008) trabalhando com desidratação de figos percebeu que o aumento da temperatura e da

concentração do desidratante reduz a atividade de água do produto, o conteúdo de umidade, sendo a concentração um fator mais influente do que a temperatura.

Quanto ao ganho de sólidos foram encontrados baixos valores durante todo processo de desidratação da banana com o valor no instante 300 minutos de 3,88%, segundo Ferrari (2005) este baixo valor se deve a alta concentração da solução de desidratação que forma uma película protetora em torno do material impedindo parcialmente a transferência de soluto da solução para o produto.

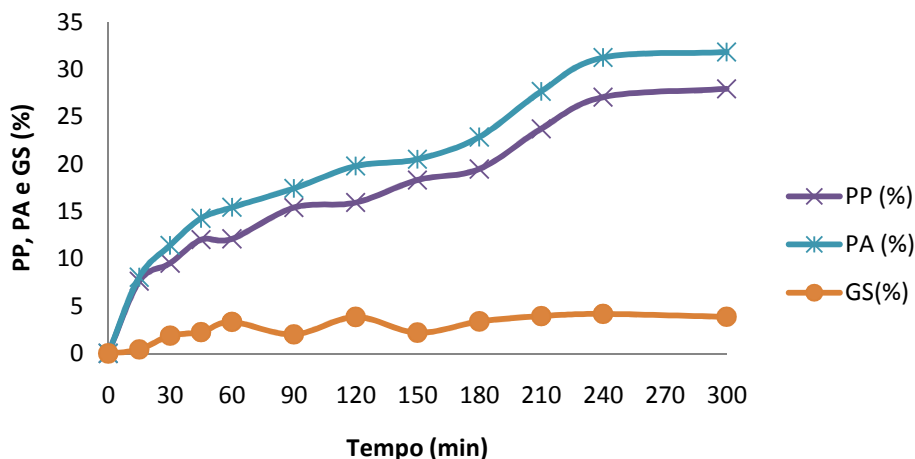


Figura 1. Gráfico da variação de PP, PA e GS com o tempo de desidratação.

Autores como Almeida et al. (2005), Córdova (2006) e Valente (2007) utilizam em seus trabalhos uma proporção fruta-xarope de 1:10, pois afirmam que esta proporção garante o potencial de desidratação do produto durante o tempo do processo de desidratação e os valores encontrados neste trabalho e expostos na figura 2 concordam com estas afirmações, foi percebido que os valores de sólidos solúveis da solução de desidratação da banana maçã ficam em torno da concentração inicial de 55°Brix durante todo o processo sofrendo variações para mais e para menos não superiores a 0,25°Brix.

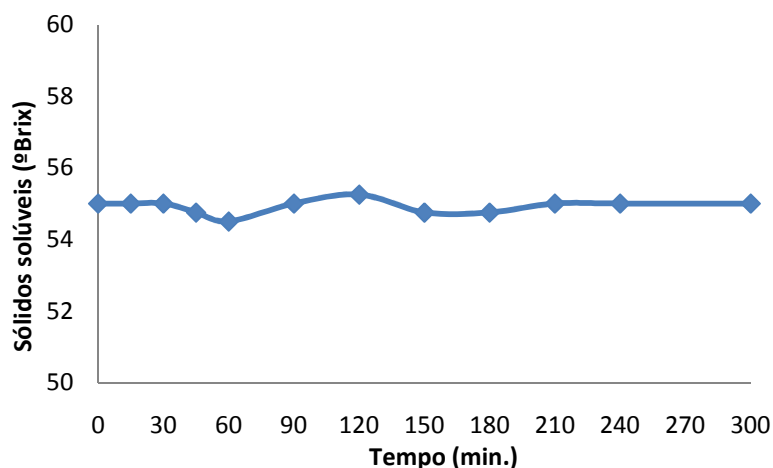


Figura 2. Gráfico da variação do teor de sólidos solúveis da solução desidratante com o tempo.

A equação 10 foi obtida pelo ajuste do modelo linear explicitado na equação 5, a partir da equação obtida pelo ajuste foram determinados os valores de S_{PA} , PA_{∞} e r^2 estes três resultados foram úteis para o cálculo da difusividade média da PA e para a avaliação da qualidade do ajuste.

$$t/PA = 2,3175 + 0,0258.t ; r^2 = 0,9218 \quad [Eq.10]$$

A equação 11 foi a obtida do ajuste do modelo linear para GS, os valores obtidos pelo modelo juntamente com os parâmetros estimados serviram para os cálculos relativos à GS, da mesma forma que o ajuste anterior serviu para PA.

$$t/GS = 18,114 + 0,1907.t ; r^2 = 0,7342 \quad [\text{Eq. 11}]$$

A tabela 1 reúne os valores de D_{ef} (médio), r^2 , η (%), PA_{∞} e GS_{∞} do processo de desidratação osmótica de banana maçã submetida a 300 minutos de processo a 60°C.

As difusividades efetivas médias para obtidas pelo modelo para PA e GS foram da ordem de $10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ diferindo das ordens de valores encontrados por Ferrari et al. (2005) que trabalhando com desidratação de melão e utilizando sacarose e maltose como agentes de desidratação e uma geometria cúbica encontram, para várias concentrações, valores de difusividade na ordem de $10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ utilizando temperaturas até 40°C. Azoubel e Murr (2000), usando o modelo de Fick para a geometria esférica, encontraram valores da ordem de $10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ a $10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ trabalhando com desidratação de tomate cereja e como agentes desidratantes soluções de sal, açúcar e a combinação dos dois solutos a concentração máxima de 25% e a temperatura de 25°C. Provavelmente, a diferença entre as difusividades encontrada neste trabalho e as encontradas nos trabalhos citados, de uma ou até duas ordens de grandeza, deva-se às condições de temperatura (60°C), concentração (55°Brix) e geometria (placa plana ifinita) em que este estudo foi realizado que são superiores às descritas pela literatura.

O modelo utilizado se mostrou preditivo estando bem ajustado aos dados experimentais, isto pode ser verificando analisando os valores de r^2 e η (%), que foram de 0,9218 e -4,03% para PA e 0,7342 e 0,23% para GS, Azoubel e Murr (2000) afirmam que valores de η (%) inferiores a 10% mostram que o modelo está bem ajustado aos dados, apesar da modelagem para GS ter apresentado um baixo valor de r^2 , este pode ser compensado pelo baixíssimo erro relativo médio. O modelo sendo bem ajustado, nos dois casos, confirmou que a simplificação da equação 7, considerando os valores de PA e GS estimados no equilíbrio iguais aos seus valores de equilíbrio experimental, pôde ser utilizada sem problema de perda acentuada de precisão.

Os valores de PA e GS no equilíbrio mostraram que um tempo muito grande de desidratação pouco contribuiria para uma maior remoção de água, também mostrou que o ganho de sólidos seria de apenas 5,24% em um tempo exagerado de exposição do produto à solução de desidratação, isso mostra que a combinação de concentração e temperatura utilizada é boa para o processo, pois em um tempo relativamente curto consegue remover uma quantidade considerável de água sem precisar de agitação e sem ganhar uma quantidade grande de solutos.

Tabela 1. Difusividade efetiva média, coeficiente de determinação, erro relativo médio e valores no equilíbrio para PA e GS.

Parâmetro	PA	GS
$D_{ef}(\text{médio}) (\text{m}^2/\text{s})$	4,58E-08	4,34E-08
r^2	0,9218	0,7342
η (%)	-4,03	0,23
Valor estimado no equilíbrio (%)	38,76	5,24

4. CONCLUSÕES

A combinação de alta temperatura e alta concentração da solução de desidratação levou a uma boa perda de água, um baixo ganho de sólidos, consequentemente levando a uma boa perda de peso.

Constatou-se que uma proporção fruta-solução de 1:10 realmente mantém o potencial de transferência de massa da solução, isso foi mostrado pelo teor de sólidos solúveis que se manteve praticamente constante durante os 300 minutos do processo de desidratação.

As difusividades efetivas médias estimadas ficaram na ordem de 10^{-8} m²/s mostrando que apesar do processo ter sido realizado sem agitação, temperatura e concentração da solução elevadas foram fatores determinantes para as altas velocidades de transferência de massa.

Os valores de PA e GS no equilíbrio próximos aos encontrados em 300 minutos de processo confirmaram que os fluxos de perda de água e ganho de sólidos se dão nas primeiras horas do processo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Francisco de et al. Otimização do processo de secagem osmótica na obtenção de produtos secos da manga Tommy Atikns. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, n. 4, p.576-584, 2005.

ALVES, Denise Gomes. **Obtenção de acerola (*Malpighia puniceifolia* L.) em passas utilizando processos combinados de desidratação osmótica e secagem**. 2003. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Alimentos, Unicamp, Campinas, 2003.

AZOUBEL, Patrícia Moreira; MURR, Fernanda E. Xidieh. Mathematical modelling of the osmotic dehydration of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* var. cerasiforme). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 2, Ago. 2000. Disponível em <<http://www.scielo.br/scielo>>. Acessado em 15 julho de 2010.

AZUARA, Severina; BERISTIAN, Francisco; GARCIA, Ronaldo. Development of a mathematical model of predict kinetics of osmotic dehydration. **Journal Of Food Science And Technology**, Currais Novos, v. 29, n. , p.239-242, 01 jan. 1992.

BITTENCOURT, Jefferson. **Avaliação de um secador de bandejas tipo cabine**. 2001. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Agrícola, Unicamp, Campinas, 2001.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. NEPA. **Tabela brasileira de composição de alimentos – TACO**: versão 2. 2. ed. Campinas: UNICAMP, 2006.

BRASIL (Brasil). Ibge. **Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA**. Disponível em: <www.sidra.ibge.br>. Acesso em: 23 abr. 2010.

CORDEIRO, Zilton José Maciel. Cultivo da Banana para o Pólo Petrolina Juazeiro. **Embrapa Mandioca e Fruticultura**: Sistema de produção, Cruz das Almas - BA, jan. 2003. Disponível em:<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/BananaJuazeiro/cultivares.htm>>. Acesso em: 12 jul. 2010.

CÓRDOVA, K. R. V. Desidratação osmótica e secagem convectiva de maçã Fuji comercial e industrial. Tese de Doutorado. UFPR, Curitiba – 2006.

CRANK, John. **Mathematics of diffusion**. Clarendon: Oxford Press, 1975.

EL-AOUAR, Ânoar Abbas. **Estudo do processo de secagem de mamão formosa (*Carica papaya*) fresco e pré-tratado osmoticamente**. 2005. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Alimentos, Unicamp, Campinas, 2005.

FERRARI, C.C. et al. Cinética de Transferência de Massa de melão Desidratado osmoticamente em Soluções de sacarose e maltose. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 3, setembro 2005 . Disponível a partir do <<http://www.scielo.br>>. Acesso em 14 de julho de 2010.

GONDIM, Jussara A. Melo et al . Composição centesimal e de minerais em cascas de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, Dez. 2005. Disponível em <<http://www.scielo.br>>. Acessado em 12 Julho de 2010.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

SOUSA, Severina de. **Obtenção de Figos Secos por Desidratação Osmótica e Secagem Convectiva**. 2008. 183 f. Tese (Doutorado) - Unicamp, Campinas, 2008.

TONON, Renata Valeriano; BARONI, Alessandra Faria; HUBINGER, Míriam Dupas. Estudo da desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias pela metodologia de superfície de resposta. *Ciência Tecnologia Alimentos*, Campinas, v. 26, n. 3, set. 2006.

VALENTE, Pedro Paulo Sanches da Silva. Desidratação osmótica e secagem de abacaxi (*Ananás Comosus* (L.)Merril), variedade pérola / Pedro Paulo Sanches da Silva Valente. Campinas, SP: [s.n.], 2007.