

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE CÁCERES JANE VANINI
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E BIOLÓGICAS- FACAB
CURSO DE AGRONOMIA**

ROSANE LUIZA GARCIA DA SILVA

**DESIDRATAÇÃO DE POLPA DE MARACUJÁ AZEDO
EM LEITO DE ESPUMA**

**CÁCERES - MT
2015**

ROSANE LUIZA GARCIA DA SILVA

**DESIDRATAÇÃO DE POLPA DE MARACUJÁ AZEDO
EM LEITO DE ESPUMA**

Monografia apresentada como requisito obrigatório para obtenção do título de Engenheira Agrônomo a Universidade do Estado de Mato Grosso – Campus Cáceres.

Orientador

Prof. Dr. Eder Pedroza Isquierdo

**CÁCERES - MT
2015**

ROSANE LUIZA GARCIA DA SILVA

**DESIDRATAÇÃO DE POLPA DE MARACUJÁ AZEDO
EM LEITO DE ESPUMA**

Esta monografia foi julgada e aprovada como requisito para obtenção do Diploma de Engenheira Agrônoma no Curso de Agronomia da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT.

Cáceres, 16 de Dezembro de 2015

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Andréa dos Santos de Oliveira – (UNEMAT)

Prof. Dr. Severino de Paiva Sobrinho – (UNEMAT)

Prof. Dr. Eder Pedroza Isquierdo – (UNEMAT)

Orientador

A todos que estiveram ao meu lado me acompanhando e principalmente acreditando em mim para que eu pudesse realizar esse sonho. Ao meu pai Jasom e Minha mãe Elizete (in memoriam) que sempre foi um exemplo de caráter e dignidade. Em especial a minha irmã Aline que sempre foi exemplo de mulher em minha vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me deu força me amparou ao longo deste trabalho, obrigado pois sem sua ajuda não seria quem sou. Sou-lhe grato, Pai Eterno!

Ao meu orientador Eder Pedroza Isquierdo que tanto admiro, agradeço pela dedicação, apoio, e principalmente paciência, sempre será lembrado por mim com muito carinho meu especial agradecimento.

Ao professor Severino de Paiva Sobrinho que tenho um enorme carinho, que cativas todas as pessoas por seu jeito alegre de ser.

A minha amiga e companheira Aline Ellen e irmã na amizade, que fez parte da minha formação e continuara presente em minha vida.

Ao professor Petterson Baptista por ceder o laboratório de Sementes e plantas Ornamentais para condução do experimento

Ao mestrando Fabiano Silva Soares que ajudou na condução do experimento.

RESUMO

As frutas tropicais, entre elas o maracujá, deterioram com muita facilidade, por apresentarem alto teor de água. Diante dessa alta perecibilidade, torna-se necessário a aplicação de algumas técnicas pós-colheita ou processos que possibilitem o armazenamento e comercialização das frutas por um longo período. Dentre as técnicas de conservação, a secagem é um método importante para conservação pós-colheita, destacando-se a em leito de espuma (*foam mat*), por ser um método relativamente simples, possuir baixo custo e produzir um produto de alta qualidade oferecendo grande possibilidade comercial. Diante da importância de reduzir as perdas, prolongar a vida útil da fruta e o tempo de armazenamento da polpa, objetivou-se com esse trabalho avaliar a cinética de secagem e as características químicas da polpa de *Passiflora edulis* Sims em pó, submetida à secagem em leito de espuma, em função da temperatura do ar e do uso de diferentes concentrações de albumina. Para produção de espuma da polpa de maracujá foram testadas duas concentrações (10 e 20%) do aditivo albumina. As espumas formadas foram espalhadas em placas de petri, em camada de 5 mm de espessura e submetidas à secagem em estufa com convecção natural de ar nas temperaturas 50, 60 e 70 °C. Para a determinação da cinética de secagem, os modelos matemáticos de Page, Page modificado, Dois termos, Wang e Singh, Aproximação e Difusão, Verma e Shukla, e Henderson e Pabis modificado foram ajustados aos dados experimentais de secagem. Para caracterização das espumas foram realizadas análises de densidade, pH, acidez titulável, teor de sólidos solúveis totais. No que se refere à cinética de secagem, a concentração de albumina a 20% proporcionou a redução tanto do tempo de secagem, quanto do teor de água de equilíbrio da polpa; para ambas as concentrações de albumina a secagem à 60° C proporcionou os menores tempos de secagem. O aumento da concentração do aditivo para 20% resultou na diminuição da densidade e da acidez titulável, e aumentou o pH e teor de sólidos solúveis totais. Já temperatura de secagem não apresentou influência significativa nas características químicas da polpa. Dos modelos utilizados para o ajuste da cinética de secagem da polpa formulada, os modelos de Page, Wang e Singh, Aproximação de Difusão, e Verma e Shukla, se são adequados para a predição das curvas de secagem.

Palavra Chave: cinética de secagem, temperatura, aditivo, *Passiflora edulis* Sims

SUMÁRIO

ARTIGO

RESUMO

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	8
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
3 CONCLUSÃO.....	20
4 LITERATURAS CITADAS	21

DESIDRATAÇÃO DE POLPA DE MARACUJÁ AZEDO EM LEITO DE ESPUMA

Preparado de acordo com a Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental- Versão Preliminar

RESUMO- Objetivou-se com este trabalho avaliar a cinética de secagem e a qualidade da polpa de *Passiflora edulis* Sims em pó submetida à secagem em leito de espuma, em função da temperatura do ar e da concentração de albumina (agente espumante). Para formação de espuma adicionou-se à polpa de maracujá o aditivo albumina nas concentrações de 10 e 20 %, em massa, e submeteu-se essa mistura à agitação em batedeira doméstica, durante 30 min; em seguida, espuma foi espalhada sobre placa de petri formando uma camada fina, de cerca de 5,0 mm de espessura cujas condições de secagem foram: de 50, 60 e 70° C. Para a determinação da cinética de secagem os modelos matemáticos de Page, Page modificado, Dois termos, Wang e Singh, Aproximação e Difusão, Verma e Shukla, e Henderson e Pabis modificado foram ajustados aos dados experimentais de secagem. Para caracterização da espuma foram realizadas análise de densidade, pH, acidez titulável e sólidos solúveis totais. No que se refere à cinética de secagem, para ambas as concentrações de albumina a secagem à 60 °C proporcionou os menores tempos de secagem. O aumento da concentração de 10 para 20% resultou diminuição da densidade e acidez titulável, e aumentou o pH e teor de sólidos solúveis totais. Dos modelos utilizados para o ajuste da cinética de secagem da polpa formulada, os modelos de Page, Wang e Singh, Aproximação de Difusão, e Verma e Shukla, se são adequados para a predição das curvas de secagem em camada de espuma da polpa de maracujá.

Palavra Chave: cinética de secagem, temperatura, aditivo *Passiflora edulis* Sims

DEHYDRATION OF PASSION FRUIT PULP SOUR IN FOAM BED

ABSTRACT- The objective of this study was to evaluate the drying kinetics and quality of *Passiflora edulis* Sims pulp in powder subjected to foam mat drying process, depending on the air temperature and the albumin concentration. For formation of foam added to the passion fruit pulp additive albumin at concentrations of 10 and 20% by weight, and this mixture was subjected to agitation in home mixer for 30 min; then foam was spread on a petri dish to form a thin layer about 5.0 mm thick whose drying conditions were: 50, 60 and 70 °C. For the

determination of the drying kinetics, mathematical models Page, Modified Page, Two terms, Wang and Singh, Diffusion Approach and, Verma and Shukla, and Henderson and modified Pabis were adjusted to the experimental data of drying. To characterize the foam were made analysis of density, pH, titratable acidity and total soluble solids. As regards the drying kinetics for both albumin concentrations drying at 60 ° C gave smaller drying times. Increased concentration of 10 to 20% resulted decrease in density and acidity, and increased the pH and total soluble solids content. The models used for the adjustment of the formulated pulp drying kinetics, models Page Wang and Singh, Diffusion Approach and Verma and Shukla, whether they are suitable for predicting the drying curves foam layer of passion fruit pulp.

Keyword: drying kinetics, temperature, additive, *Passiflora edulis* Sims

INTRODUÇÃO

O maracujazeiro é uma frutífera pertencente à família *Passifloraceae*, a qual compreende mais de 500 espécies, cultivado abundantemente em países tropicais e subtropicais, trazendo um bom retorno econômico para aos países. A América do Sul possui uma grande diversidade de espécies, com destaque para o maracujá-azedo (*Passiflora edulis* Sims), sendo esta a espécie de maior importância comercial, destacando-se o Brasil um dos maiores produtores da fruta (SANTOS et al., 2013).

Esse fruto tem grande importância social, uma vez que seu cultivo é encontrado em pequenas áreas de pomares, possibilitando a geração de empregos, absorção e fixação de mão-de-obra no meio rural. Além disso, possui grande importância econômica para produção de alimentos, medicamentos, e algumas espécies apresentarem potencial ornamental (WAGNER JUNIOR et al., 2011).

No geral, as frutas tropicais sofrem deterioração com muita facilidade, por apresentam alto teor de água, portanto são altamente perecíveis, e a falta de técnicas adequada pós-colheita, transporte e armazenamento destes produtos é uma das grandes causas do alto índice de perdas (BARRETO, 2011). Dessa forma, ao mesmo tempo em que a produção brasileira cresce diante do mercado mundial, cresce também o desperdício dos alimentos produzidos.

Diante dessa alta perecibilidade, torna-se necessário a aplicação de algumas técnicas pós-colheita ou processos que possibilitem o armazenamento e comercialização das frutas por um longo período, bem como obtenção de produtos derivados. O processamento de frutos é uma alternativa para redução de perdas, com o principal objetivo agregar valor ao produto, principalmente de frutas que não estão disponíveis o ano inteiro (OLIVEIRA, 2012).

Dentre as técnicas de conservação a secagem é um método importante para conservação pós colheita, destacando-se a em leito de espuma (*foam mat*), por ser um método relativamente simples e possuir baixo custo, quando comparado a outros métodos convencionais, como a secagem pulverizada (*spray dryer*) ou a liofilização, que apresentam alto custo; além disso, produz um produto de alta qualidade, oferecendo grande possibilidade comercial (DANTAS, 2010).

O processo *foam-mat* é aplicado em alimentos líquidos ou semi-líquido, sendo convertido em espuma estável, com adição de espumantes e pela incorporação de ar em sua estrutura, com o auxílio de batedeira ou outros equipamentos geradores de espuma. Logo após a espuma obtida é espalhada em bandeja e submetida à secagem com ar aquecido até o ponto que impeça a proliferação e o crescimento de microrganismo e reações enzimáticas. A secagem resulta em um produto poroso de fácil moagem e transformado em pó com boas propriedades de reidratação (MARQUES, 2009).

Diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever o processo de secagem de produtos agrícola. É de fundamental importância à simulação e a obtenção de informações teóricas a respeito do comportamento de cada produto durante a remoção de água, para desenvolvimento e aperfeiçoamento de equipamentos utilizados na secagem. Para a simulação utilizam-se modelos matemáticos que representam satisfatoriamente, sua perda de água durante o período de secagem (BERBERT et al., 1995).

Embora na literatura pesquisada se encontrem muitos trabalhos sobre desidratação em leito de espuma (MEDEIROS, 2007; DANTAS, 2007; MARQUE, 2009) a maioria dos trabalhos se detém aos aspectos relativos à qualidade do produto, conhecendo-se muito pouco sobre os mecanismos e cinética de secagem, essenciais para modelagem, e simulação e otimização do processo.

Diante da importância de reduzir as perdas, prolongar a vida útil da fruta e o tempo de armazenamento da polpa o objetivo do trabalho foi avaliar a cinética de secagem e a qualidade da polpa de *Passiflora edulis* Sims em pó submetida à secagem em leito de espuma, em função da temperatura do ar e do uso de diferente concentração de albumina.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no laboratório de sementes e plantas ornamentais do Departamento de Agronomia da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), campus de Cáceres, MT.

Para o desenvolvimento do presente trabalho foi utilizada a polpa de maracujá congelada, adquirida no mercado local, em embalagens plástica de 100 g. As polpas foram trazidas para o laboratório e mantidas sob congelamento até utilização.

Para a formação das espumas, inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre os aditivos formadores de espuma descritos na literatura. A partir das informações obtidas nessa etapa optou-se por utilizar como aditivo a albumina (produto à base da proteína do ovo), nas proporções de 10 e 20% em massa.

No preparo das espumas, a polpa foi previamente descongelada e pesada 100g e, em seguida, o aditivo foi adicionado à polpa de maracujá azedo na concentração de 10 e 20% e foi submetida à agitação, em uma batedeira domestica, por 30 minutos para a obtenção da espuma. Ao final da agitação foi determinada a densidade da espuma pelo método do balão volumétrico de 100 ml. As análises foram realizadas em triplicata.

Para o cálculo da densidade das espumas foi utilizada a Equação 1:

$$\rho_{amostra} = \frac{m_{amostra}}{V_{bal\tilde{a}o\ volum\tilde{e}trico}} \quad (1)$$

Onde:

$\rho_{amostra}$ = densidade da amostra (g cm⁻³)

$m_{amostra}$ = massa da amostra (g)

$V_{bal\tilde{a}o\ volum\tilde{e}trico}$ = volume do balão volumétrico (cm³)

Segundo Van Arsdel (1964) a densidade da espuma deve estar compreendida numa faixa de 0,1 a 0,6 g cm⁻³. As formulações com densidades fora dessa faixa foram descartadas.

A secagem da espuma, foi espalhada sobre placa de petri de 12 cm de diâmetro, formando uma fina camada com cerca de 5,0 mm de espessura e submetidas à secagem em estufa.

Em temperatura de 50, 60 e 70°C. Os tratamentos consistiram na combinação e temperatura de secagem, totalizando 6 tratamentos, com quatro repetições cada.

O experimento foi desenvolvido em delineamento inteiramente casualizados (DIC), em esquema fatorial 3 x 2, sendo 3 temperaturas de secagem (50, 60, e 70 °C) e 2 formulações da polpa (aditivo x concentração), com 4 repetições.

Para a determinação da cinética de secagem, as amostras foram retiradas da estufa a cada 30 minutos e pesadas em uma balança analítica, com resolução de 0,0001 g, até que atingissem o teor de água de equilíbrio higroscópico para aquela temperatura. Esse momento era definido quando a massa da amostra mantinha-se invariável após duas pesagens consecutivas.

Na análise de dados de secagem em camada fina, a razão de umidade (RU) é essencial para descrever diferentes modelos de secagem em camada fina. A razão de umidade durante a secagem, em função das variáveis avaliadas, foi determinada pela Equação 2. A cada tempo de secagem, um teor de água foi correlacionado com o teor de água inicial e o teor de água de equilíbrio, para condições específicas de secagem. Dessa forma, em todas as condições testadas, os valores de razão de umidade em função do tempo de secagem foram ajustados aos modelos utilizados para descrever a cinética de secagem das polpas de maracujá apresentados na Tabela 1.

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (2)$$

Onde: RU - razão de umidade (adimensional); U - teor de água do produto no tempo t (g.g⁻¹, b.s.); U_e - teor de água de equilíbrio do produto (g.g⁻¹, b.s.); U_i - teor de água inicial do produto (g.g⁻¹, b.s.);

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para descrever cinética de secagem da polpa de maracujá em espuma.

Modelo	Equação	Referência
Page	$RU = e^{-kt^n}$	Page (1949)
Page modificado	$RU = e^{-(kt)^n}$	Overhults et al., (1973)
Dois termos	$RU = ae^{(-k_0t)} + be^{(k_1t)}$	Madhiyanon et al., (2009)
Wang e Singh	$RU = 1 + at + bt^2$	Wang e Singh, (1978)
Aproximação de difusão	$RU = ae^{(-kt)} + (1 - a)e^{(-kbt)}$	Yaldiz e Ertekin, (2001)
Verma e Shukla	$RU = ae^{(-kt)} + (1 - a)e^{(-k_1t)}$	Verma e Shukla (2000)
Henderson e Pabis modificado	$RU = a \exp[-kt] + b \exp[-gt] + c \exp[-ht]$	Karathanos (1999)

Onde: RU = razão de umidade; t = tempo de secagem (h); T = temperatura de secagem (° C); k, k₀ e k₁ = constantes de secagem; a, b, c, d, e, f, n = coeficientes dos modelos.

Para o ajuste dos modelos matemáticos, foram realizadas análises de regressão não-linear pelo método Gauss-Newton, utilizando-se o software STATISTICA 7.0® (Statsoft, Tulsa, USA).

Afim de verificar o grau de ajuste dos modelos matemáticos aos dados de secagem da polpa do maracujá em espuma, foram utilizados os seguintes critérios: coeficiente de determinação (R^2); a estatística qui-quadrado (χ^2), calculada pela Equação 3 ; e o erro médio estimado (SE), calculado pela Equação 4. Foram eliminados os modelos que apresentaram valores de R^2 menores ou iguais a 0,95; e valores de χ^2 maiores que 0,01. No que se refere ao erro médio estimado (SE), quanto menor o seu valor, melhor foi o ajuste do modelo aos dados experimentais. O modelo como um todo, foi retirado ainda que o critério de eliminação tenha ocorrido em apenas uma temperatura ou concentração do agente espumante, entendendo-se que o modelo deve se ajustar a toda a base de dados.(SOARES, 2009).

$$\chi^2 = \sum \frac{(Y-Y^{\wedge})}{GLR} \quad (3)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum(Y-Y^{\wedge})}{GLR}} \quad (4)$$

Onde:

Y - valor observado experimentalmente

Y[^]- valor calculado pelo modelo

n - número de observações experimentais

GLR - graus de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo)

O produto obtido na secagem foi retirado das placas de petri com auxílio de colheres de inox e triturado em liquidificador doméstico até ser obtido um pó homogêneo e finamente pulverizado. Após a homogeneização o pó foi acondicionado em sacos plásticos, devidamente identificados e mantidos sob congelamento até a realização das análises químicas.

Após a secagem procederam-se algumas análises químicas da polpa de maracujá em pó. Os dados obtidos nessas análises foram submetidos à análise de variância e quando houve diferenças significativas as médias foram comparados através do teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando o software Sisvar 5.3 Build 77 (FERREIRA, 2011)

As polpas de maracujá em pó foram submetidas à determinação de umidade, pH, acidez titulável total (ATT) e sólidos solúveis totais (SST). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

O teor de água foi quantificado pela diferença de massa da amostra inicial e final após a secagem em estufa a 105°C por 24 horas, de acordo com técnicas descritas pelo Instituto

Adolfo Lutz (1985) sendo, calculada pela Equação 5 e expressa em base seca (b.s.):

$$Umidade (b.s.) = \frac{mi-mf}{ms} \times 100 \quad (5)$$

onde: mi = massa de polpa inicial (kg); mf = massa de polpa final (kg); ms = massa de matéria seca.

A acidez titulável total (ATT) foi determinada conforme as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1985). Foram pesadas amostras de 5 g da polpa em pó e transferida para o frasco Erlenmeyer. Adicionou-se 50 mL de água destilada e 2 a 4 gotas de fenolftaleína. Procedeu-se a titulações com solução de hidróxido de sódio 0,1 N. A ATT foi calculada pela Equação 6 e o resultado expresso em % de ácido cítrico.

$$ATT = \frac{V \times F \times M \times PM}{10 \times P \times n} \quad (6)$$

onde: V = volume da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação em mL; M = molaridade da solução de hidróxido de sódio = 0,0991; P = massa da amostra em g; PM = peso molecular do ácido cítrico = 192 g; n = número de hidrogênios ionizáveis do ácido cítrico = 3; F = fator de correção da solução de hidróxido de sódio = 0,991

O pH foi determinado usando-se cerca de 5 g da amostra diluída em 50 mL de água destilada, até obtenção de uma mistura homogênea, com medição diretamente em pHmetro de bancada do modelo Tec-2, devidamente calibrado com solução tampão de pH 4,0 e 7,0.

Para a determinação do teor de sólidos solúveis totais, pesaram-se 2 g do pó da polpa de maracujá em um béquer, em seguida, adicionou-se 10 mL de água destilada, homogeneizou-se a solução e transferiu-se 2 gotas para um refratômetro portátil da marca Reichert. O teor de sólidos solúveis foi calculado conforme a equação 7 e os resultados foram expressos em porcentagem.

$$SST = \frac{(m_{amostra} + V)}{P} \times L \quad (7)$$

onde: m_{amostra} = massa da amostra (g); V = volume usado na diluição (mL); P = proporção da diluição; L = leitura do equipamentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as espuma de maracujá preparada apresentaram densidade compreendida dentro da faixa recomendada para secagem em camada de espuma (0,1 a 0,6 g cm³, conforme VAN ASDEL, 1964). As concentrações de albumina de 10 e 20 % resultaram numa espuma com densidade 0,381 e 0,199 g cm³, respectivamente, indicando que quanto maior a concentração do agente espumante menor será a densidade.

Na Tabela 2 são apresentados os tempos totais de secagem e as umidades de equilíbrio higroscópico da polpa de maracujá em espuma para as diferentes temperaturas de secagem e concentrações de albumina.

Tabela 2. Tempo total de secagem, umidade inicial e umidade de equilíbrio higroscópico da polpa de maracujá para diferentes temperaturaa e concentrações de albumina.

Temperatura (°C)	CONC. (%)	Temp. Total (min)	Umid.Inicial (g g ⁻¹)	Umid. Equilíbrio (g g ⁻¹)
50°	10	420	5,2344	0,1233
	20	360	3,0842	0,0894
60°	10	300	5,5353	0,0995
	20	180	3,3885	0,0721
70°	10	330	5,3634	0,0870
	20	240	3,3279	0,0608

Constata-se (Tabela 2), que para uma mesma temperatura, o aumento da concentração de 10 % para 20% de albumina, causa a redução do tempo de secagem e da umidade de equilíbrio. No que diz respeito à temperatura de secagem, observa-se que, o aumento da temperatura de 50 °C para 60° C causou redução no tempo de secagem e na umidade de equilíbrio. No entanto, para a temperatura 70 °C observou-se um maior tempo de secagem em relação a temperatura de 60° C.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos ajustes dos modelos aos dados experimentais encontrados para equação de cada um dos modelos de cinética e secagem testado, com seus respectivos coeficientes de determinação (R²), valor de qui-quadrado (χ^2) e erro médio estimado (SE).

Tabela 3. Parâmetros e coeficiente de determinação (R²), valores de qui-quadrado (χ^2) e erro médio estimado (SE) dos modelos ajustados para razão de umidade em função da temperatura de secagem e da concentração de albumina

MODELO	TEMP °C	Conc. (%)	PARÂMETRO	R ²	χ^2	SE
PAGE $RU = e^{-kt^n}$	50°	10	K= 0,0023 n= 1,2491	0,9933	0,0015	0,04565
		20	K= 0,0004 n= 1,5182	0,9922	0,0022	0,1552
	60°	10	K= 0,0006 n= 1,5807	0,9954	0,0014	0,1139
		20	K= 0,0058 n= 1,2803	0,9981	0,0006	0,0568
	70°	10	K= 0,001 n= 1,4341	0,9990	0,0002	0,0505
		20	K= 0,0021 n= 1,5111	0,9987	0,0004	0,0497
PAGE MODIFICADO $RU = e^{-(kt)^n}$	50°	10	K= 0,0001 n= 0,00003	0,4457	0,0917	0,262
		20	K= 0,0059 n= 1,77005	0,9948	0,0014	0,1262
	60°	10	K= 0,0001 n= 0,00002	0,5173	0,117	1,0265
		20	K= 0,0011 n= 0,00001	0,6661	0,0947	0,6881
	70°	10	K= 0,000121 n= 0,000020	0,5318	0,1081	0,9859
		20	K= 0,5906 n= 0,00003	0,3246	0,3246	1,3955
DOIS TERMOS $RU = ae^{(-k_0t)} + be^{(k_1t)}$	50°	10	a= 0,5211 k ₀ = 0,0085 b= 0,515 k ₁ = 0,0032	0,9881	0,0032	0,108
		20	a= 0,5573 k ₀ = 0,0069 b= 0,5537 k ₁ = 0,0069	0,967	0,0113	0,1837
	60°	10	a= 0,5611 k ₀ = 0,0111 b= 0,5611 k ₁ = 0,0111	0,9773	0,0092	0,1465
		20	a= 0,5117 k ₀ = 0,0194 b= 0,5117 k ₁ = 0,0194	0,9934	0,0037	0,0609
	70°	10	a= 0,539 k ₀ = 0,0097 b= 0,5385	0,987	0,0049	0,1077

Tabela 3. Continuação

MODELO	TEMP °C	Conc. (%)	PARÂMETRO	R ²	χ ²	SE		
WANG e SINGH $RU = 1 + at + bt^2$	20	20	k ₁ = 0,0097	0,9885	0,0055	0,0863		
			a= 0,5204					
			k ₀ = 0,0188 b= 0,5208 k ₁ = 0,0188					
	50°	10	10	a= 0,9957	0,9957	0,001	0,1125	
				b= 0,000008				
		20	20	a= -0,0041	0,9932	0,0019	0,145	
				b= 0,000003				
		60°	10	10	a= 0,9888	0,9888	0,0035	0,1787
					b= 0,000013			
	20	20	20	a= 0,9989	0,9989	0,0004	0,0428	
				b= 0,000043				
	70°	10	10	a= 0,9989	0,9989	0,0005	0,0731	
b= 0,00001								
20		20	a= 0,9914	0,9914	0,0027	0,1294		
			b= 0,000034					
APROXIMAÇÃO DE DIFUSÃO $RU = ae^{(-kt)} + (1-a)e^{(-kbt)}$		50°	10	a= -134,473	0,9934	0,0016	0,0983	
				k= 0,014				
	b= 0,9952							
	20	20	a= -0,2544	0,9761	0,0074	0,1917		
			k= 0,5995					
			b= 0,0129					
60°	10	10	a= -0,4994	0,9971	0,0010	0,0642		
			k= 0,5488					
			b= 0,0262					
20	20	20	a= -221,935	0,9979	0,0008	0,0420		
			k= 0,033					
			b= 0,9968					
70°	10	10	a= -0,2508	0,994	0,0020	0,0896		
			k= 0,5494					
	20	20	a= -274,43	0,9982	0,0006	0,0415		
			k= 0,0377					
	b= 0,9963							
		VERMA E SHUKLA $RU = ae^{(-kt)} + (1-a)e^{(-k_1t)}$	50°	10	a= -0,5696	0,9947	0,0013	0,0885
k= 0,0026								
k ₁ = 0,0054								
20	20		a= -1,4218	0,9923	0,0024	0,109		
			k= 0,0002					
			k ₁ = 0,0019					
60°	10	10	a= -2,1342	0,9842	0,0056	0,151		

Tabela 3. Continuação

MODELO	TEMP °C	Conc. (%)	PARÂMETRO	R ²	χ ²	SE	
HENDERSON E PABIS MODIFICADO $RU = a \exp[-kt] +$ $b \exp[-gt] + c$ $\exp[-ht]$	20	20	k= 0,0032	0,9986	0,0006	0,0344	
			k1= 0,0047				
			a= -1,9394				
			k= 0,0084				
	70°	10	20	k1= 0,011	0,995	0,0016	0,0821
				a= -0,5004			
				k= 0,0016			
				k1= 0,0054			
	50°	10	20	a= -1,2876	0,9915	0,0032	0,0906
				k= 0,009			
				k1= 0,0122			
				a= 0,3449			
k= 0,0085							
b= 0,3449							
g= 0,0085							
60°	10	20	c= 0,3463	0,967	0,0145	0,1423	
			h= 0,0085				
			a= 0,3694				
			k= 0,0068				
70°	10	20	b= 0,3694	0,9773	0,0128	0,1135	
			g= 0,0068				
			c= 0,3694				
			h= 0,0068				
60°	10	20	a= 0,3741	0,9934	0,011	0,0471	
			k= 0,0111				
			b= 0,3741				
			g= 0,0111				
70°	10	20	c= 0,3741	0,987	0,0013	0,0834	
			h= 0,0111				
			a= 0,3258				
			k= 0,0194				
70°	10	20	b= 0,3258	0,9885	0,0111	0,1058	
			g= 0,0194				
			c= 0,3717				
			h= 0,0194				
70°	10	20	a= 0,363	0,9885	0,0111	0,1058	
			k= 0,0097				
			b= 0,3594				
			g= 0,0097				
70°	10	20	c= 0,3594	0,9885	0,0111	0,1058	
			h= 0,0097				
			a= 0,347				
			k= 0,0188				
70°	10	20	b= 0,347	0,9885	0,0111	0,1058	
			g= 0,0188				
			c= 0,347				
			h= 0,0188				

De acordo com os critérios estabelecidos de $R^2 \leq 0,95$ e $\chi^2 \geq 0,01$ foi eliminados o modelo Page modificado, por não atender aos dois critérios. Os modelos de Dois termos e Handerson e Pabis modificado foram eliminados por não atender ao critério de χ^2 .

Para as condições estudadas, os modelos de Page, Wang e Singh, Aproximação de Difusão, e Verma & Shukla ajustaram bem aos dados apresentando coeficiente de determinação superior 0,97, podendo ser usado qualquer um dos quatro modelos na estimativa de secagem da polpa de maracujá formulada. Dessa forma a seleção e a recomendação do melhor modelo fundamentaram-se na simplicidade e no número de coeficientes. Dentre os modelos que apresentaram bons ajustes aos dados experimentais, o modelo de Page foi selecionado para representar o fenômeno de secagem de polpa de maracujá devido a sua simplicidade de aplicação e por ser, tradicionalmente, recomendado e aplicado para prever o fenômeno de secagem de diversos produtos agrícolas.

Na Figura 1 estão apresentados os dados da cinética de secagem da espuma de polpa de maracujá, observados em função de diferentes temperaturas e concentrações de albumina, bem como a curva obtida pela aplicação do modelo de Page, considerado aquele que melhor descreve a curva de secagem da polpa de maracujá em espuma para as condições estudadas nesse trabalho.

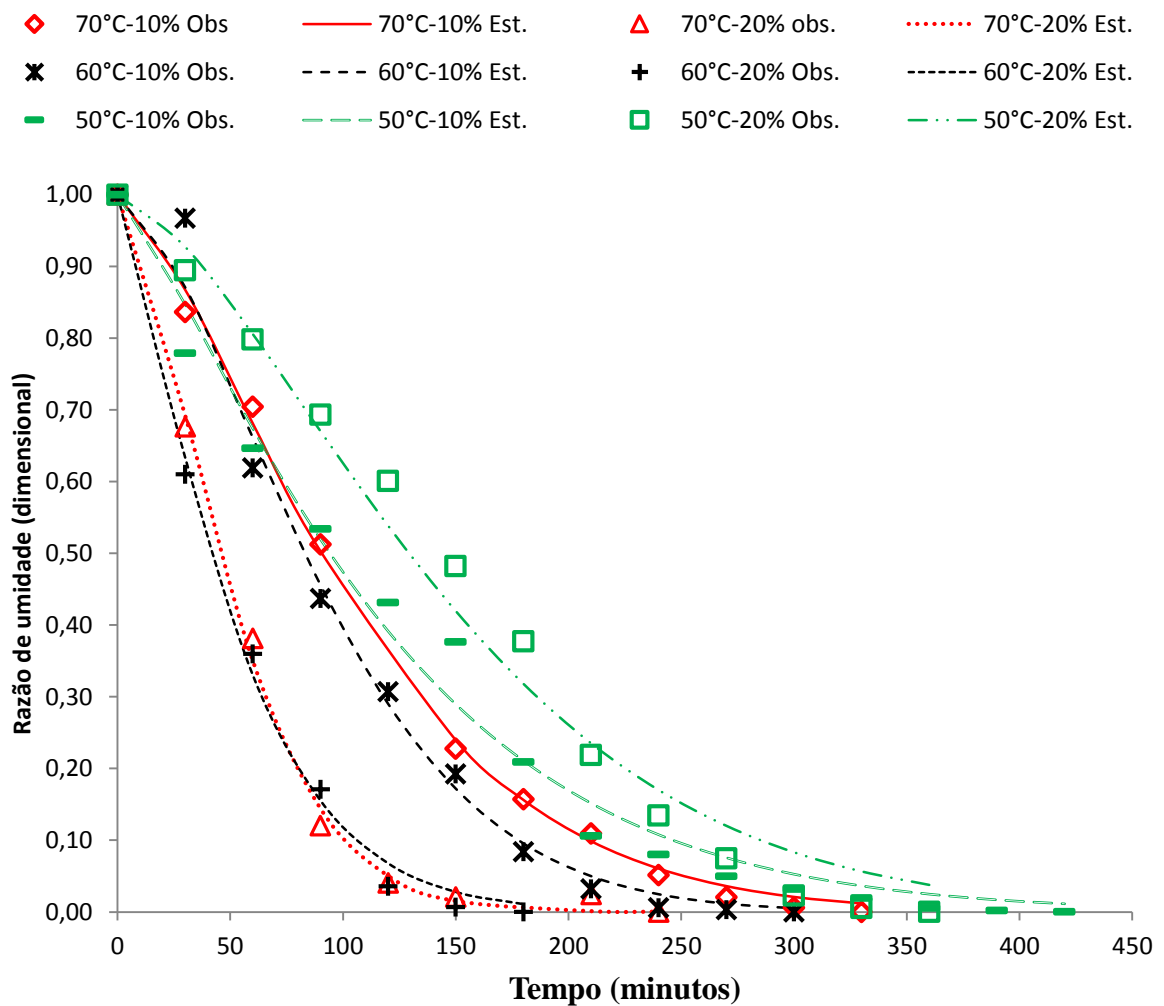


Figura1. Valores experimentais das curvas de razão de umidade (RU) de espuma de maracujá para a faixa de temperatura de 50° a 70 °C

Observou-se para todas as temperaturas, que a taxa de secagem é bem maior no início do processo de secagem, no período final a taxa de secagem reduz drasticamente, até atingir um valor constante.

Em geral, a secagem de materiais espumados é mais rápida quando comparado com aqueles que não ocorre o processo de espuma. Além disso, a redução da densidade, pelo aumento da concentração de albumina de 10 para 20% diminuiu o tempo de secagem em todas as temperaturas. Essa redução no tempo de secagem e na umidade de equilíbrio higroscópico (Tabela 2) ocorre, por que o aumento da concentração do aditivo proporciona maior expansão da espuma e conseqüentemente do diâmetro dos poros, o que reduz a resistência à remoção da água, quando a espuma é exposta ao fluxo de ar aquecido. Estes resultados estão de acordo com Thuwapanichavan et al. (2008), que afirmam que quanto

menor a densidade da espuma mais fácil e rápido a difusão da água através da espuma e consequentemente menores são o tempo de secagem e a umidade de equilíbrio.

No que diz respeito à temperatura de secagem, observa-se que, a temperatura de 50 °C foi aquela que proporcionou os maiores tempos de secagem e as maiores umidades de equilíbrio higroscópico, independente da concentração de albumina. Esse resultado era esperado, pois a temperatura é o principal fator que influencia a taxa de secagem, sendo que maiores temperatura causam maiores temperatura de secagem. Quando se compara as polpas em espuma submetidas à secagem com as temperaturas de 60 e 70 °C observa-se que, a umidade de equilíbrio da espuma seca à 70 °C apresenta valores inferiores em comparação a espuma seca à 60 °C, o que está de acordo com a teoria de secagem. No entanto, ao comparar-se o tempo de secagem até o equilíbrio observou-se que a temperatura de 60 °C proporcionou menores tempos de secagem em comparação a temperatura de 70 °C. Uma possível explicação para esse aumento do tempo de secagem para a temperatura de 70°C é que essa temperatura ocasionou uma elevada taxa de secagem nos instantes iniciais da secagem, reduzindo drasticamente o diâmetro dos poros da camada superficial da espuma e isso pode ter impedido o fluxo normal de água das camadas mais internas da espuma para a periferia, reduzindo a taxa de secagem. Esse fenômeno é verificado com certa frequência na secagem de milho com elevadas temperaturas e é chamado, na prática, de envidramento.

A caracterização química das polpas de maracujá submetidas à secagem em espuma foi realizada, determinando-se pH, acidez total titulável e teor de sólidos solúveis, os resultados dessas análises estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4. Caracterização química da polpa de maracujá submetido a secagem à 50, 60 e 70°C

Temperatura °C	Concentração					
	10%	20%	10%	20%	10%	20%
	Albumina ATT (%)	Albumina Ácido Cítrico	Albumina pH	Albumina pH	Albumina SST (%)	Albumina SST (%)
50 °C	5.1593 aA	4.8180 aA	3.9933 aB	4.3167 aA	6.1861 aB	8.9746 Aa
60 °C	5.9922 aA	3.4480 bB	3.9333 aB	4.4067 aA	6.2879 aB	9.3516 Aa
70 °C	5.8300 aA	3.3158 bB	3.8567 aB	4.6033 aA	6.0927 aB	9.2963 Aa
Média Geral	4.76056		4.18500		7,69	
CV (%)	9,92		1,18		13,85	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e pela mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Constatou-se (Tabela 4) que a interferência da temperatura de secagem foi pequena, tanto para acidez, pH e sólido solúveis. Por outro lado, com o aumento da concentração de albumina houve redução da acidez e aumento do pH e do teor de sólidos solúveis total.

Em estudos relacionados a desidratação de polpa de tamarindo pelo método em camada de espuma, Silva et al. (2008) verificaram que com adição do agente promotor de espuma albumina, reduziu a acidez titulável dos produtos seco obtidos, o comportamento segundo os autores pode estar relacionado a alcalinidade do agente.

O pH das espuma aumentou com uso de agente espumante, sendo quanto maior a concentração maior o valor do pH das espuma. Soares (2009) também observou esse comportamento na secagem de espuma de araçá-boi com adição da albumina, indicando que o uso do aditivo alterou a composição físico-química do produto. Pode-se observar que com o aumento da concentração de albumina de 10 para 20% houve acréscimo no teor de sólidos solúveis. O aumento dos sólidos solúveis torna-se importante, pois pode promover alterações sensoriais e nutricionais no produto final.

CONCLUSÃO

A massa específica diminui em função do aumento da concentração de albumina.

O aumento da concentração de albumina causa a diminuição da acidez titulável, e o aumento do pH e da porcentagem sólido solúveis;

A secagem à 60° C proporciona os menores tempos de secagem.

O aumento da concentração de albumina proporciona menores tempos de secagem em todas as temperaturas.

Os modelos de Page, Wang e Singh, Aproximação e Difusão, e Verma e Shukla, se são adequados para a predição das curvas de secagem em camada de espuma da polpa de maracujá.

LITERATURAS CITADAS

BARRETO, I. M. Caracterização de polpa de pitanga roxa (*Eugenia uniflora*) desidratada em leito de espuma. Itapetininga: UESB, 2011.68p Dissertação

Berbert, P.A.; Queiroz, D.M.; Silva, J.S.; Pinheiro Filho, J.B. Simulation of coffee drying in a fixed bed with periodic airflow reversal. Journal of Agricultural Engineering Research, London, v.60, p.167-173, 1995.

DANTAS, S. C. Desidratação de polpa de fruta pelo método *foam-mat*. Rio Grande do Norte: UFRN, 2010. 100 p. Dissertação Mestrado

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia (UFLA), v. 35, p. 1039-1042, 2011.

Instituto Adolfo Lutz. Normas analíticas: métodos químicos e físicos para análises de alimentos. 3.ed. São Paulo, 1985. v1, 533p.

Marques, G. M. R. Secagem de caldo de cana em leito de espuma e avaliação sensorial do produto. Itapetininga: UESB, 2009. 84p. Dissertação Mestrado

MEDEIROS, J. Secagem e armazenamento de polpa de mangaba. 2007. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –Universidade Federal de Campina Grande.- Paraíba. 2007.

OLIVEIRA, G.S. Aplicação do processo de liofilização na obtenção de cajá em pó: avaliação das características físicas, físico-química e higroscópicas. Fortaleza: UFC, 2012. 185 p. Dissertação Mestrado

Santos, J. V. de; Resende, E.D.de; Martins, D. R; GRAVINA, G. de A; Ceni, Sergio A; Maldonado, J.F. M. Determinação do ponto de colheita de diferentes cultivares de maracujá. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17,p.750-755, 2013.

Silva, A. S.; Guarjão, K. C. O.; Almeida, F. A. C.; Bruno, R. L. A.; Pereira, W. E. Desidratação da polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 32, p. 1899- 1905, 2008.

Soares, E. C. Caracterização de aditivos para secagem de aração-boi (*eugenia stipitata* mc vaugh) em leito de espuma. Itapetininga: UESB, 2009. 89 p. Dissertação Mestrado

Thuwapanichayanaa, R.; Prachayawarakorn, S.; Soponronnarit, S. Effects of foaming agents and foam density on drying characteristics and textural property of banana foams. LWT – Food Science and Technology, Oxford, v. 47, p. 348-357, 2012.

Van Arsdel; Copley. Food dehydration. Westport, Connecticut: The Avi Publishing Company, 1964. v.2, 721 p, 1964

Wagner Júnior, A; Santos, E.M.dos; Silva, J.O.da C; Pimentel, L.D; Bruckner,C.H; Mazaro,S.M. Densidade de sementes de três espécies de maracujazeiro na emergência e desenvolvimento inicial das plântulas. Revista Brasileira Agrociência, v.17, p.359-364,20011.