

Congresso  
Internacional da  
Agroindústria  
10 e 11 de junho



Inovação,  
Gestão e  
Sustentabilidade  
na Agroindústria

## ESTUDO DA CINÉTICA DE SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE UVAIA EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA

## ESTUDIO CINÉTICO Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL POSTE DE LA UVA Y FUNCIÓN DE TEMPERATURA

## KINETIC STUDY AND PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE GRAPE POLE AND TEMPERATURE FUNCTION

Raquel Aparecida Loss<sup>1</sup>; Carlos Eduardo Fantonelli da Silva Netto <sup>2</sup>; Camila Gabi Flores da Silva<sup>3</sup> Loraine Micheletti Evaristo<sup>4</sup>; Claudinéia Aparecida Queli Geraldi<sup>5</sup>

DOI: <https://doi.org/10.31692/IICIAGRO.0084>

### RESUMO

A uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess) é uma fruta nativa do Brasil, da família Myrtaceae. É encontrada em vários estados brasileiros, seu consumo *in natura* confere qualidades como suculência, aroma e sabor levemente ácido, não obstante, seus frutos abrangem grande potencial de utilização em produtos alimentícios, apresentando-se como uma alternativa para enriquecimento nutricional, possui um teor considerável de vitaminas entre elas a vitamina C. Entretanto, perdas relevantes pós-colheita ocorrem principalmente devido a técnicas inadequadas de conservação. Nesse sentido, a secagem destaca-se por ser um método simples e eficaz no controle da deterioração de alimentos. Assim, objetivou-se, com este trabalho, propor e ajustar modelos matemáticos às curvas de secagem em camada de espuma da polpa de uvaia em diferentes temperaturas, como também, analisar a influência da temperatura de secagem na concentração de vitamina C nas polpas frescas e secas. A secagem foi realizada em estufa de circulação de ar nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C. Observou-se que com o aumento da temperatura houve uma redução significativa no tempo de secagem. Os modelos matemáticos Lewis, Midilli e Kucuk e Page foram ajustados aos resultados experimentais, sendo que, o melhor ajuste foi obtido utilizando o modelo de Page. Os pós de fruta apresentaram pH ácido, bem como a polpa fresca, o teor de vitamina C diminuiu conforme o aumento das temperaturas e o teor de cinzas foi influenciado pela adição de agente emulsificante. Com os resultados obtidos, pode-se concluir que, a polpa de uvaia obtida pela secagem em camada de espuma é uma boa alternativa para o consumidor, com potencial de ser utilizada no preparo de alimentos, por ser fonte de vitamina C, agregando valor nutricional e contribuindo com a redução do desperdício de produtos agroindustriais em épocas de colheita.

**Palavras-Chave:** Modelagem matemática; *Eugenia pyriformis*; conservação.

### RESUMEN

La uva (*Eugenia pyriformis* Cambess) es una fruta originaria de Brasil, de la familia Myrtaceae. Se encuentra en varios estados brasileños, su consumo natural le confiere cualidades como jugosidad, aroma y sabor ligeramente ácido, sin embargo, sus frutos tienen gran potencial para uso en productos alimenticios, presentándose como una alternativa de enriquecimiento nutricional, tiene un alto

<sup>1</sup> Engenharia de Alimentos, Universidade do Estado de Mato Grosso, [raquelloss@unemat.br](mailto:raquelloss@unemat.br)

<sup>2</sup> Engenharia de Alimentos, Universidade do Estado de Mato Grosso, [carlos.netto@unemat.br](mailto:carlos.netto@unemat.br)

<sup>3</sup> Agronomia, Universidade do Estado de Mato Grosso, [gabby.floress@gmail.com](mailto:gabby.floress@gmail.com)

<sup>4</sup> Engenharia de Alimentos, Universidade do Estado de Mato Grosso, [loraine\\_snp@hotmail.com](mailto:loraine_snp@hotmail.com)

<sup>5</sup> Doutorado, Universidade do Estado de Mato Grosso, [claudineia.geraldi@unemat.br](mailto:claudineia.geraldi@unemat.br)

## UMA PARTE DO TÍTULO EM PORTUGUÊS, NEGRITO, CAIXA ALTA

Contenido Considerables vitaminas, incluida la vitamina C. Sin embargo, las pérdidas posteriores a la cosecha se deben principalmente a técnicas de conservación inadecuadas. En este sentido, el secado destaca por ser un método sencillo y eficaz para controlar el deterioro de los alimentos. Así, el objetivo de este trabajo fue proponer y ajustar modelos matemáticos a las curvas de secado en la capa espumosa de la pulpa de uva a diferentes temperaturas, así como analizar la influencia de la temperatura de secado en la concentración de vitamina C en fresco. pulpas y secas. El secado se realizó en un horno de circulación de aire a temperaturas de 60, 70 y 80°C . Se observó que con el aumento de temperatura hubo una reducción significativa en el tiempo de secado. Los modelos matemáticos de Lewis, Midilli y Kucuk y Page se ajustaron a los resultados experimentales y el mejor ajuste se obtuvo utilizando el modelo de Page. Los polvos de frutas mostraron pH ácido, así como la pulpa fresca, el contenido de vitamina C disminuyó a medida que aumentaron las temperaturas y el contenido de cenizas fue influenciado por la adición de agente emulsionante. Con los resultados obtenidos, se puede concluir que la pulpa de uva obtenida por secado en una capa de espuma es una buena alternativa para el consumidor, con potencial para ser utilizada en la preparación de alimentos, ya que es fuente de vitamina C, agregando nutrientes valor y contribuir a la reducción de residuos de productos agroindustriales durante la época de cosecha.

**Palabras Clave:** Modelo matematico; *Eugenia pyriformis*; conservación.

### ABSTRACT

The grape (*Eugenia pyriformis* Cambess) is a fruit native to Brazil, of the Myrtaceae family. It is found in several Brazilian states, its natural consumption gives it qualities such as juiciness, aroma and slightly acid flavor, however, its fruits have great potential for use in food products, presenting itself as an alternative for nutritional enrichment, it has a high content considerable amount of vitamins, including vitamin C. However, significant post-harvest losses occur mainly due to inadequate conservation techniques. In this sense, drying stands out for being a simple and effective method for controlling food spoilage. Thus, the aim of this work was to propose and adjust mathematical models to the drying curves in the foam layer of grape pulp at different temperatures, as well as to analyze the influence of the drying temperature on the concentration of vitamin C in fresh pulps and dry. The drying was carried out in an air circulation oven at temperatures of 60, 70 and 80 °C. It was observed that with the increase of the temperature there was a significant reduction in the drying time. The Lewis, Midilli and Kucuk and Page mathematical models were adjusted to the experimental results, and the best fit was obtained using the Page model. The fruit powders showed acid pH, as well as the fresh pulp, the vitamin C content decreased as temperatures increased and the ash content was influenced by the addition of emulsifying agent. With the results obtained, it can be concluded that the pulp of grape obtained by drying in a foam layer is a good alternative for the consumer, with the potential to be used in food preparation, as it is a source of vitamin C, adding nutritional value and contributing to the reduction of waste from agro-industrial products during harvest times.

**Keywords:** Mathematical modeling; *Eugenia pyriformis*; conservation.

### INTRODUÇÃO

A uvaia (*Eugenia pyriformis*) é uma espécie arbórea que produz frutos comestíveis de sabor agradável, e que possui características adequadas ao uso na arborização urbana. É uma espécie nativa da mata Atlântica no Brasil, é mais encontrada nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo e Mato Grosso. O nome uvaia deriva do tupi ubaia ou ybá e significa “fruto azedo”, Seus frutos são denominados também de ubaia, uvalha, uvaia-do-mato e uvalheira (RUFINO, 2008).

Os frutos de uvaia possui alto teor de vitamina C, e a polpa muito delicada, com a casca bem fina, de um amarelo-ouro ligeiramente aveludado. O aroma é suave e muito agradável. Um

dos grandes problemas desse fruto é que amassa, oxida e resseca com facilidade, por isso não é muito encontrada em supermercados, além de possuir a sazonalidade, dificultando ainda mais o seu comércio (CORADIN e SIMINSKI 2011).

É importante utilizar métodos e procedimentos apropriados, para que se consiga disponibilizar a polpa desta fruta para consumo durante todo o ano, permitindo o abastecimento de regiões não produtoras. Além disso, o cultivo dessa fruta pode gerar um aumento da renda familiar dos produtores, pois, a maior parte dessa frutífera é cultivada em pequenas e médias propriedades.

Nesse sentido, a secagem é um dos processos de conservação de alimentos mais antigos, sendo muito vantajoso, visando principalmente a redução dos teores de umidade e consequentemente dificultando o desenvolvimento de reações físico-químicas e crescimento microbiano (ZOTARELLI, 2014). A secagem em camada de espuma, que é realizada empregando agente emulsificante, favorecem curtos tempos de secagens a baixas temperaturas, devido a estrutura da espuma apresentar bolhas de ar, que tornam melhor a passagem da água, não alterando a estrutura do alimento durante o processo, aumentando consideravelmente a sua área exposta ao ar quente, facilitando a saída da água e conservando melhor o sabor e valor nutricional (RONCHETI, 2014).

Desta forma, o presente estudo objetivou analisar a influência da temperatura e a cinética de secagem em camada de espuma, bem como as propriedades físico-químicas da polpa de uvaia antes e após o processo de secagem, contribuindo com o desenvolvimento científico e tecnológico, uma vez que dados reportados sobre essa fruta são escassos na literatura.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Brasil dispõe da maior diversidade biológica do mundo em função da sua ampla variação climática e vasta extensão territorial. Considerado o terceiro maior produtor mundial de frutas, com uma produção de 40,2 milhões de toneladas (SEAB, 2017), é superado apenas pela China e Índia. O desafio maior enfrentado pelo país é em relação à qualidade pós-colheita (PAES, 2016).

As perdas pós-colheita podem ocorrer por meio da temperatura de conservação, microrganismos fitopatogênicos, umidade relativa, cuidados durante o manuseio, condições inadequadas durante o armazenamento e descarte de frutas não comercializáveis. Diante desse problema, é importante que ocorra a conservação dos frutos por meio de diferentes métodos de processamentos (MORITA et al., 2005).

A região Nordeste tem se destacado para o cultivo de diversas frutas de origem tropical,

## UMA PARTE DO TÍTULO EM PORTUGUÊS, NEGRITO, CAIXA ALTA

com intuito de obter maior produção e melhorar a qualidade dos frutos, por isso, tem passado por processo de profissionalização na fruticultura, tendo em vista, a diversificação no seu mix de produção e viabilizando o fornecimento constante de produtos no mercado (IBRAF, 2016). Essas variedades de frutas são apreciadas e consumidas *in natura* ou processadas devido a sua riqueza sensorial e por apresentar compostos bioativos (BORGES, 2011).

A demanda por variedades é devido aos atrativos sensoriais, como sabor, cor, e aroma peculiares e intensos, possibilitando a elaboração de ingredientes alimentares. Além disso, algumas frutas dispõem de propriedades medicinais e elevado valor nutricional (CORRÊA et al., 2011).

Entretanto, grande número de frutas do cerrado ainda é pouco aproveitado diante do seu máximo potencial. Esse é o caso da uvaia, que é uma fruta que apresenta característica e sabor marcantes, mas ainda não foi suficientemente estudada. A importância das frutas não pode ser mensurada diante dos benefícios para o desenvolvimento regional que apresenta, tornando-se necessário buscas por eficiências econômicas e exploração de frutos do cerrado. Essa eficiência não somente protegerá esse bioma e seus recursos naturais, mas também, permitirá o aumento de renda de muitas famílias, como também proporcionará o desenvolvimento sustentável das comunidades envolvidas (REZENDE e CÂNDIDO, 2014).

### **Uvaia**

A uvaia é uma fruta do cerrado pertencente à família Myrtaceae, do qual faz parte cerca de 100 gêneros e 3.500 espécies de árvores distribuídas pelos continentes, com exceção da Antártica, manifestando nítida predominância nas regiões subtropicais e tropicais do mundo (BARROSO, 1991).

A uvaia é uma planta que pode chegar de 6 a 13 metros de altura, seus frutos possuem coloração que variam do amarelo ao alaranjado. São ácidos, suculentos e aromáticos, apresentando comprimento médio que varia de 2 a 2,5 cm cada fruto, podendo ter até quatro sementes. O seu florescimento ocorre entre os meses de agosto e setembro, com a maturação dos frutos de novembro a dezembro (LORENZI, 2002). O fruto possui a casca fina ligeiramente aveludada, aroma suave e agradável, sabor adocicado e ácido, sua polpa é muito delicada, fácil de ser amassada, ressecada e oxidada, por esse motivo, não são encontradas em supermercados (COUTINHO e PASCOLATTI, 2014).

## Secagem

Devido algumas frutas terem a sua comercialização restrita, de acordo à sua época de safra e por apresentarem alta perecibilidade, faz-se necessário a aplicação de métodos de processamento que conservem e preservem as suas características, permitindo o consumo nos períodos de entressafra. Uma das técnicas utilizadas é a secagem, que possibilita transformar a polpa da fruta em pó. Este procedimento aumenta a estabilidade do alimento, prolonga a durabilidade do produto e facilita o seu armazenamento, podendo atender o consumidor durante o ano todo e preservar as características nutritivas do produto (ANSELMO et al., 2006).

As frutas quando mantidas em temperatura ambiente após sua maturação apresenta vida útil pós-colheita curta. Com aplicação do método de secagem pode-se manter o alimento em temperatura ambiente por longos períodos sem gastos necessários para conservação pelo frio, impedindo assim sua deterioração e possíveis perdas. A polpa seca proporciona baixa relação entre volume/massa, fácil reconstituição com água, facilita a elaboração de novos produtos, reduz consideravelmente os custos com operações como armazenamento, embalagens e transporte e agrega elevado valor comercial ao produto (PARK et al., 2001).

De modo geral, o método de secagem é uma técnica que emprega calor a um material que contém água em sua composição, com a finalidade de evaporá-la tendo como resultado um produto sólido seco. Essa técnica tem o intuito de assegurar a conservação de frutas por meio da remoção do teor de água (SOUZA, 2009).

Durante a secagem, a remoção de água da fruta, ocorre pelo método de vaporização térmica, no qual o ar quente flui pela superfície da fruta. Essa vaporização térmica é realizada em temperatura inferior à de ebulição da água, dependendo ainda dos fatores relacionados a temperatura, pressão de vapor da água na fruta e velocidade de difusão da água (LOUREIRO, 2006).

Conforme Ribeiro (2003), em um sistema de secagem, a temperatura do ar é um parâmetro de maior flexibilidade, mediante o emprego de altas temperaturas influenciando consideravelmente a taxa e eficiência de secagem, assim como a qualidade final do produto, podendo provocar alterações indesejáveis na aparência, textura, cor e conteúdo de nutrientes do produto final.

Marques et al. (2007) destaca as vantagens de se utilizar o processo de secagem, que são: proteção contra degradação enzimática e oxidativa, estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos de tempo, disponibilidade do produto durante qualquer época do ano e economia de energia por não necessitar de refrigeração. Além

disso, a remoção de umidade previne o crescimento e reprodução de microrganismos que causam deterioração e minimiza reações provenientes de umidades elevadas, proporciona redução de peso e volume, que reduz a embalagem, o volume de armazenagem e o custo de transporte do produto à temperatura ambiente (GAVA, 1988).

O tipo de secagem depende de vários fatores, como a composição química e das características físicas desejadas do produto final. Dentre as técnicas de secagem utilizadas, podemos citar as que se destacam: liofilização, “*spray-drying*”, secagem em tambor (drum drying), secagem convectiva e secagem em leito de espuma (*foam-mat drying*) (MARQUES et al., 2006).

A secagem em camada de espuma destaca-se entre as diversas técnicas de secagem existentes. Esse método consiste na conversão de alimentos líquidos ou semilíquido em pó utilizando agentes emulsificantes, permitindo aplicação em alimentos sensíveis ao calor como, por exemplo, as polpas de frutas, sucos ou purês (MARQUES, 2009).

O método de secagem em leito de espuma foi desenvolvido com o princípio de aumentar a taxa de secagem de alimentos semilíquidos e líquidos, no qual é convertido em uma espuma estável através da adição de agentes emulsificante e da incorporação de ar ou outro gás, em equipamentos geradores de espuma. Posteriormente, a espuma é espalhada sob uma superfície, que resulta em uma camada em torno de 2 a 10 mm de espessura. A secagem apresenta como consequência um produto quebradiço e poroso, fácil de transformar-se em pó e com boas propriedades de reidratação (RONCHETI, 2014).

As espumas consistem em sistemas termodinamicamente instáveis que apresentam uma estrutura tridimensional formada de células gasosas envolvidas por um filme líquido contínuo. Essa estrutura apresentada provém do agrupamento de bolhas de ar geradas ao se dispersar um gás em um líquido que contenha agentes espumantes, como emulsificantes solúveis ou impurezas (FIGUEREDO et al., 1999).

Um das principais vantagens da secagem em camada de espuma são curtos tempos de secagens e baixas temperaturas, isso se deve a estrutura da espuma apresentar bolhas de ar, que torna melhor a passagem da água, podendo sua estrutura durante o processo permanecer inalterada, aumentando consideravelmente sua área exposta ao ar quente, facilitando a saída da água e conservando melhor o sabor e valor nutricional (RONCHETI, 2014).

A dificuldade que o método de secagem em camada de espuma apresenta é a falta de estabilidade da espuma durante o ciclo de aquecimento. Se a espuma não permanecer estável, possivelmente pode ocorrer a degradação, causando prejuízo grave do procedimento de secagem. As variáveis que afetam a formação de espuma, estabilidade e densidade incluem a

natureza química dos frutos, a fração de celulose, o teor de sólidos solúveis, os tipos e concentração de agentes espumantes e a concentração do estabilizador de espuma (KARIM e WAI, 1999).

## **METODOLOGIA**

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas como matérias-primas os frutos de uvaia, provenientes de plantações localizadas no município de Colíder-MT. As amostras foram preparadas e analisadas no LMPPB (Laboratório de Matérias-Primas para produção de biodiesel) da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), campus de Barra do Bugres.

### **Preparo da polpa e obtenção da espuma**

Os frutos foram selecionados de acordo com o estágio de maturação, sendo estes higienizados em água corrente, despolidos manualmente, e posteriormente armazenados sob congelamento a temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$  em freezer comercial até as próximas etapas de processamento para desenvolvimento das análises.

Posteriormente, foram triturados e homogeneizados em liquidificador comercial. Para a elaboração da espuma foram testadas as concentrações de 4,0, 4,5 e 5% (m/m) de emulsificante, com auxílio de uma batedeira comercial, por 8 minutos em velocidade máxima. A concentração de 4,5% de emulsificante foi selecionada, por apresentar melhor estabilidade. A espuma formada foi distribuída em placas de Petri e levadas para uma estufa de circulação de ar para secagem em temperatura controlada.

### **Secagem e obtenção do pó**

Amostras de 10g de espuma foram cuidadosamente espalhadas em placas de Petri e levadas em estufa de circulação forçada de ar (CienLab, CE-480) à temperaturas de 60, 70 e 80  $^{\circ}\text{C}$ . As espumas das polpas secas foram retiradas das placas de Petri com auxílio de uma espátula, foram acondicionadas e identificadas quanto ao tipo de material, data e condições experimentais.

### **Estudo da cinética de secagem**

As curvas de secagem foram estabelecidas para as amostras submetidas às condições descritas, mediante acompanhamento da perda de umidade registrada através da variação da massa das amostras em intervalos de tempo de 15 minutos. As perdas de massa durante a

## UMA PARTE DO TÍTULO EM PORTUGUÊS, NEGRITO, CAIXA ALTA

secagem foram obtidas com o auxílio de uma balança semi-analítica com precisão de 0,0001 g. Os ensaios foram prolongados até que atingissem condições de equilíbrio (massa constante). A razão de umidade (RU) foi determinada conforme a Equação 1.

$$RU = \frac{(U-U_e)}{(U_i-U_e)} \quad (1)$$

Onde: RU é a razão de umidade; U é o teor de água do produto (decimal b.s.);  $U_i$  é o teor de umidade inicial do produto (decimal b.s.);  $U_e$  é o teor de água de equilíbrio do produto (decimal b.s.).

### Modelagem matemática

Para avaliar o comportamento da perda de umidade ao longo do tempo foram utilizados modelos semi-empíricos. Considerando a umidade de equilíbrio como a umidade atingida quando a taxa de secagem se anula, foram calculadas as razões de umidade (RU). Logo, utilizou-se o programa Excel para a realização dos cálculos e modelagem. Para representar a cinética de secagem das polpas da uvaia em camada de espuma, foram utilizados os modelos matemáticos de Lewis (1921), Midilli e Kucuk (2002) e Page (1949), conforme apresentados no Quadro 1.

**Quadro 01:** Modelos matemáticos utilizados para representar a cinética de de secagem em camada de espuma

Designação do modelo	modelo	Equação
Lewis	$X_{ad} = \exp(-kt)$	(1)
Midilli e Kucuk	$X_{ad} = a \exp(-kt^n) + bt$	(2)
Page	$X_{ad} = \exp(-kt^n)$	(3)

Sendo que:  $X_{ad}$  é a razão de umidade, adimensional; t é tempo de secagem (min); k é coeficiente de secagem ( $\text{min}^{-1}$ ) e a, b, n são as constantes dos modelos, adimensional.

### Análises físico-químicas

As polpas secas de uvaia foram submetidas às análises de: pH (método 014/IV), teor de umidade por gravimetria (método 014/IV), teor de vitamina C (método 364/IV), teor de cinzas (método 364/IV) e teor de acidez (método 310/IV), conforme o manual do Instituto Adolf Lutz (2008). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

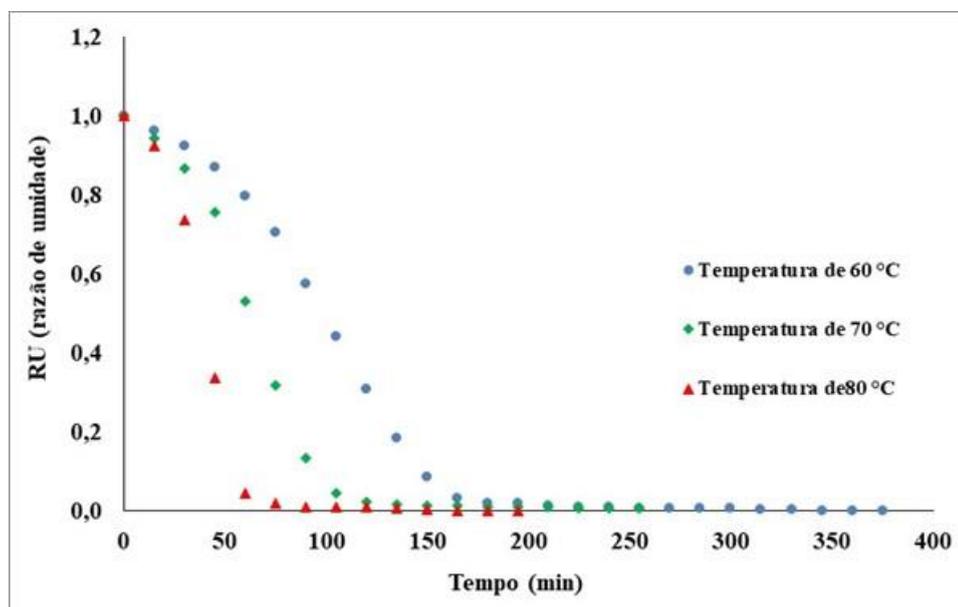
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Cinética de secagem

As curvas de secagem das polpas de uvaia estão apresentadas na Figura 1, na forma adimensional de razão de umidade (RU) *versus* tempo. Ainda pode-se observar que o período

de secagem foi dependente do tempo e temperatura.

**Figura 01:** Curvas de secagem em camada de espuma da polpa de uvaia nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C



Fonte: Própria (2021).

As espumas de uvaia secas a 60 °C, o tempo necessário para reduzir o teor de água foi de 240 min, já para a temperatura de 80 °C o tempo foi de 135 min. O aumento da temperatura favoreceu uma redução do tempo de secagem, resultando em curvas mais inclinadas devido a maior quantidade de calor transferido do ar para o material.

Segundo Thuwapanichayanan et al. (2008), o transporte da água do interior da espuma ocorre por capilaridade e difusão de vapor. Ainda, Brooker et al. (1992) afirmam que nesta fase da secagem, os fatores dependem apenas das condições externas do processo como: temperatura, velocidade e umidade relativa do ar.

A remoção de água do interior da espuma de uvaia para a superfície exposta não é suficiente para manter a superfície úmida, motivo pelo qual se inicia o período de taxa de secagem decrescente conduzido pelo mecanismo de difusão, onde nele, segundo Brooker et al. (1992) a transferência de calor não é compensada pela transferência de massa porque a resistência interna ao transporte de umidade se torna maior do que a resistência externa e a temperatura do produto aumenta podendo atingir a temperatura do ar de secagem.

### Modelagem matemática

Na Tabela 1 estão apresentados os parâmetros dos modelos matemáticos de Lewis, Midilli e Kucuk e Page, ajustados aos dados experimentais da secagem das espumas de uvaia,

além dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e erros médios.

**Tabela 01:** Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados para a cinética de secagem das polpas secas de uvaia

Modelo	Parâmetros	Temperaturas		
		60 °C	70 °C	80 °C
Lewis	k ( $\text{min}^{-1}$ )	0,012537	0,019883	0,032137
	$R^2$	0,957388	0,949049	0,940056
	Erro	6,951048	5,341630	3,998744
	a	1,046410	1,081186	1,000336
	b	0,000000	0,000004	0,000012
Midilli e Kucuk	k ( $\text{min}^{-1}$ )	0,000427	0,002902	0,000750
	n	1,662935	1,403148	1,913568
	$R^2$	0,993581	0,989136	0,990652
	Erro	0,911153	0,823924	0,354382
Page	k ( $\text{min}^{-1}$ )	0,000180	0,000141	0,001096
	n	1,835803	2,085366	1,813573
	$R^2$	0,994213	0,996881	0,990998
	Erro	0,746267	0,368908	0,402754

Fonte: Própria (2021)

Conforme pode ser observado na Tabela 1, os modelos de Page e o de Midilli e Kucuk apresentaram os melhores ajustes, em relação aos modelos empregados. Ainda, o modelo de Page apresentou a melhor correlação e o menor erro médio estimado em todas as condições estudadas.

O modelo de Lewis não representou satisfatoriamente a cinética de secagem em camada de espuma da polpa de uvaia, apresentando baixos coeficientes de determinação e maior erro em todas as condições estudadas em relação aos demais modelos (Tabela 1).

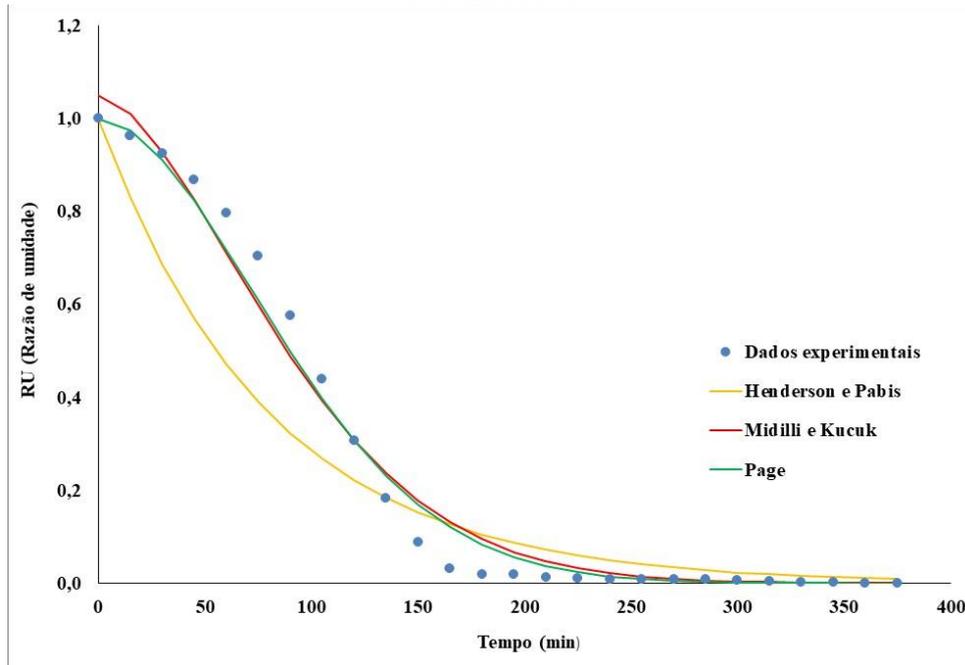
A espuma da polpa congelada de uvaia para o modelo de Page submetida à secagem a 70°C apresentou maior coeficiente de determinação e o menor erro médio foi descrito pelo modelo de Midilli e Kucuk submetida à secagem a 80°C. Segundo Samapundo et al. (2007) valores inferiores a 10% de erro médio relativo indicam boa adequabilidade para fins práticos, logo, constata-se que o modelo proposto é apropriado para descrever o fenômeno de secagem em camada de espuma da polpa de uvaia e ainda determinar o ponto de transição entre o período de secagem constante e decrescente.

Para a temperatura de 80 °C observou-se uma redução de água crítica, em que segundo Baptistini et al., (2015) ocorre provavelmente, devido à falta de estabilidade da espuma durante o aquecimento, uma vez que sua instabilidade resulta no colapso celular danificando seriamente a operação de secagem. Foi possível notar a formação de uma crosta dura sobre as amostras,

perdendo a estrutura porosa esperada, além disso, o pó formado nas placas era de difícil remoção.

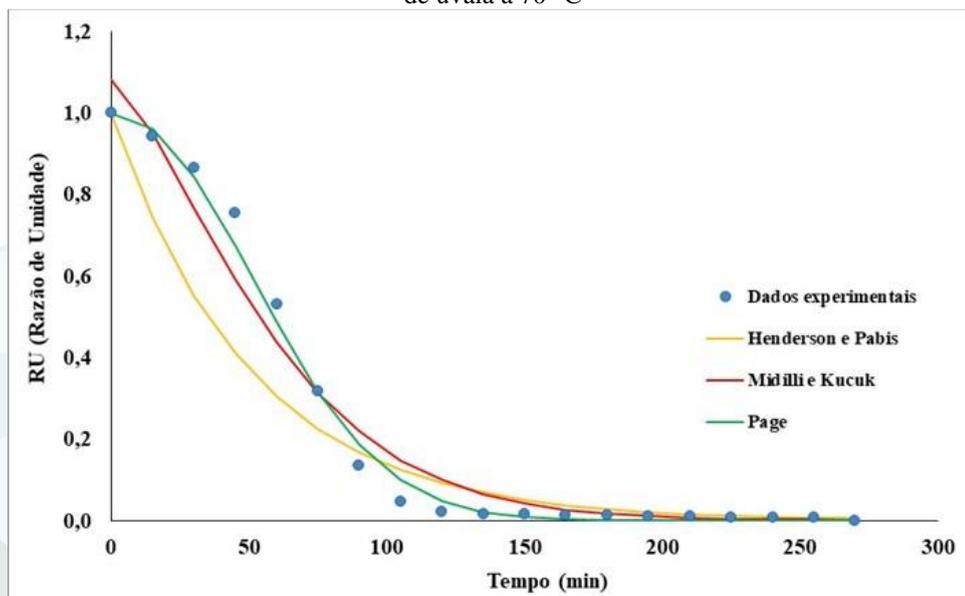
Nas Figuras 2, 3 e 4 estão apresentadas as curvas ajustadas segundo o modelo de Lewis, Midilli e Kucuk e Page, nas condições de temperatura de 60, 70 e 80 °C, respectivamente, aos dados experimentais da cinética de secagem da espuma da polpa de uvaia.

**Figura 02:** Ajustes dos modelos de Lewis, Midilli e Kucuk e Page para secagem em camada de espuma da polpa de uvaia a 60 °C



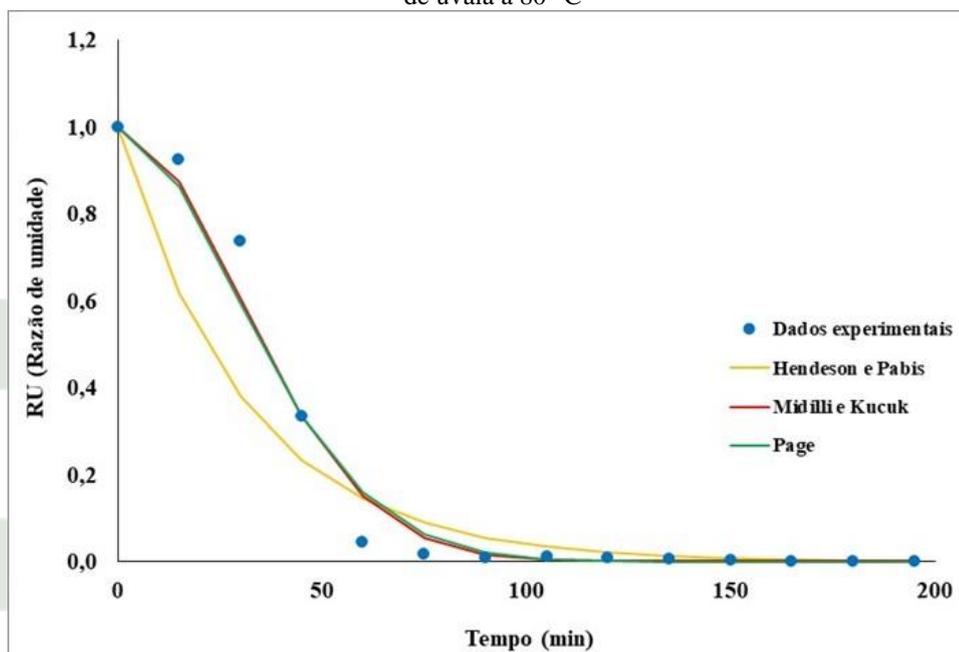
Fonte: Própria (2021)

**Figura 03:** Ajustes dos modelos de Lewis, Midilli e Kucuk e Page para secagem em camada de espuma da polpa de uvaia a 70 °C



Fonte: Própria (2021)

**Figura 04:** Ajustes dos modelos de Lewis, Midilli e Kucuk e Page para secagem em camada de espuma da polpa de uvaia a 80 °C



Fonte: Própria (2021)

Os perfis das curvas de secagem confirmam o melhor ajuste dos dados experimentais ao modelo de Page.

Analisando um fruto semelhante, Silva et al. (2015) verificaram nos ajustes de sete modelos empíricos na secagem de polpa de achachairu, que o modelo de Page também foi o que forneceu valores de correlação mais elevados, bem como menor erro médio.

No Estudo realizado por Geraldi et al. (2020) ao estudar a secagem em camada de espuma da polpa de pitanga, observaram que o modelo de Page foi o que melhor se ajustou à cinética de secagem nas temperaturas de 60 e 70 °C. O mesmo foi observado por Rodrigues et al. (2020), que realizaram a secagem da guavira e observaram que o modelo de Page também foi o modelo que melhor se ajustou aos dados cinéticos experimentais, para a temperatura de 50, 60 e 70°C, com correlações acima de 0,99.

### **Análise físico-química da polpa de uvaia**

Os parâmetros avaliados da caracterização físico-química da polpa fresca e do pó produzido a partir da espuma composta de polpa de uvaia congelada com 4,5% de emulsificante, desidratada nas temperaturas de 60, 70 e 80°C, estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 02:** Caracterização físico-química da polpa de uvaia *in natura* e após secagem em camada de espuma

Análise	Polpa fresca	Polpas secas		
		60 °C	70 °C	80 °C
SST (°Brix)	7,75±0,22	83,0±0,09	85,0±0,96	86,5±0,38
Umidade (%)	87,53±0,02	4,5±0,08	4,6±0,12	4,6±0,16
ATT (%)	0,70±0,08	3,19±0,01	3,32±0,13	3,32±0,02
pH	3,15±0,01	2,95±0,14	3,24±0,13	3,05±0,03
Cinzas (%)	0,24±0,02	255,5±1,53	162,3±1,72	59,8±1,61
Vitamina C (mg/100g)	56,78±0,44			

SST: Sólidos solúveis totais; ATT: Acidez total titulável

Fonte: Própria (2021)

Os resultados obtidos na caracterização da polpa de uvaia *in natura* estão de acordo com os resultados de Sartori et al. (2010), que obtiveram sólidos solúveis totais 7,5 °Brix. Valor superior foi encontrado por Branco et al. (2016), apresentando 10,97 °Brix, tal diferença pode ser evidenciada pelo estágio de maturação em que a fruta se encontra, região de cultivo, clima, solo, dentre outros fatores.

Em estudos realizados por Coutinho e Pascolatti (2014), com a uvaia *in natura* e congelada, foram obtidos teores de umidade de 84,52 e 87,65%, respectivamente. Esse aumento na umidade pode ser compreendido pela maior retenção de água da fruta congelada comparada a *in natura*.

A determinação da acidez total titulável indica o grau de conservação dos alimentos, sendo que o valor obtido de 0,7% de acidez da polpa *in natura* se mostrou próximo aos 0,46% encontrado por Coutinho e Pascolatti (2014). Ainda, nota-se que o processo de secagem concentrou a acidez das amostras de polpa em pó, resultando em uma acidez maior que a amostra fresca, devido à eliminação de quase toda a parte aquosa da polpa. Tal fato também foi verificado por Leal (2015), na secagem de polpas de abacaxi, acerola e carambola, utilizando camada de espuma nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

Como esperado, a polpa de uvaia apresentou valor de pH variando de 3,15 a 3,32 caracterizando meio ácido, e quando comparando em função das três temperaturas analisadas manteve-se o valor semelhante ao resultado obtido na amostra de polpa fresca.

As polpas de uvaia secas a 60, 70 e 80°C apresentaram teores de cinzas iguais a 2,95, 3,24 e 3,05, respectivamente. Pode-se observar que os valores encontrados são superiores ao valor obtido da polpa *in natura* que foi de 0,24 %, sendo que tal aumento deve-se a adição de emulsificante às amostras de polpa, que contribuem para o aumento de gordura, conforme Maruyama et al. (2006). Em estudos realizados por Coutinho e Pascolatti (2014), o teor de cinzas para polpa de uvaia *in natura* foi de 0,26%.

Os resultados para vitamina C foram de 56,79 mg/100 g para amostras polpa fresca,

conforme a Tabela 2. O teor de vitamina C obtido por Coutinho e Pascolatti (2014) foi de 93,83 mg/100 g. Segundo Chambers et al. (1996), a fruta submetida a baixas temperaturas pode desenvolver uma maior estabilidade do ácido ascórbico, aumentando seu teor de vitamina, analogamente, pode ocorrer uma diminuição de vitaminas quando submetido a temperaturas de aquecimento e luminosidade. De posse dessa informação, nota-se que a elevação da temperatura provocou uma diminuição no teor de vitamina C.

Declínios similares foram relatados por outros autores em tomate (Fernandes et al., 2014), pitanga (Geraldi et al, 2020). Portanto, a condição de secagem mais adequada para retenção da concentração da vitamina C nas polpas em estudo e nas condições estudadas foi na temperatura de 60°C.

## **CONCLUSÕES**

De acordo com os dados obtidos, conclui-se que o aumento da temperatura de secagem favoreceu a redução no tempo de secagem das espumas de uvaia. Com relação à modelagem matemática, os modelos de Page e o de Midilli e Kucuk se ajustaram bem aos dados experimentais de secagem nas três temperaturas estudadas.

Nas análises físico-químicas, o fruto da uvaia *in natura* demonstrou caráter ácido, com elevação dos teores de acidez e cinzas após a secagem em camada de espuma. Além disso, as polpas de uvaia secas a 60°C apresentaram maior retenção de vitamina C devido a menor temperatura de exposição das espumas.

## **REFERÊNCIAS**

- ANSELMO, G. C. S. et al. Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 2, 58–65 p, 2006.
- BARROSO, G.M. **Sistemática de Angiospermas do Brasil**. Universidade Federal de Viçosa, v. 2. 1991.
- BAPTESTINI, F. M., CORRÊA, P. C., JUNQUEIRA, M. S., RAMOS, A. F., VANEGAS, J. D. B. & COSTA, C. F. Modelagem matemática da secagem de espuma de graviola. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 19, p. 1203-1208, 2015.
- BORGES, K. C. Estudo das características físico-químicas e funcionalidade de bagaços de frutas tropicais desidratadas em leito de jorro. Natal, 2008. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011.

BRANCO, I. G., KIKUCHI, T. T., ARGANDOÑA, E. J. S., MORAES, I. C. F. & HAMINIUK, C. W. I. Drying kinetics and quality of uvaia (*Hexachlamys edulis* (O. Berg)) powder obtained by foam-mat drying. **International Journal of Food Science and Technology**. v. 51, p. 1703-1710, 2016.

BROOKER, D. B., BAKKER-ARKEMA, F. W. & HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport: The AVI Publishing Company. 1992.

CHAMBERS, S. J. et al. Evaluation of the antioxidant properties of a methanolic extract from juice plus fruit and juice plus vegetable (dietary supplements). **Food Chemistry**., v. 57, p. 271-274, 1996.

CORADIN, L.; SIMINSKI, A. Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região sul. Brasília: MMA, 2011.

CORRÊA, S. C. et al. Evaluation of dehydrated marolo (*Annona crassiflora*) flour and carpels by freeze-drying and convective hot-air drying. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2385–2390, 2011.

COUTINHO, A. M., PASCOLATTI, Y. S. 2014. Caracterização físico-química e análise antioxidante da polpa de uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess). Londrina, 2011, 38 p. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Curso Superior de Tecnologia de Alimentos). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

FIGUEREDO, R. C. R; RIBEIRO, F. A. L; SABADINI, E. Ciência de Espuma - Aplicação na Extinção de Incêndios. **Química Nova**, v.22. 126-130 p, 1999.

FERNANDES, R. V. B., QUEIROZ, F., BOTREL, D. A., ROCHA, V. V., SOUZA, V. R. & LIMA, C. F. 2014. Estudo da adição de albumina e da temperatura de secagem nas características de polpa de tomate em pó. **Semina: Ciências Agrárias**, 35, 1267-1278.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. 284 p. São Paulo: Nobel, 1988.

GERALDI, C.A.Q., M. F.P.P., ANDRADE, M. F. F. “Estudo da cinética de secagem e caracterização físico-química da polpa de pitanga (*Eugenia uniflora*)”, In: Cavalcante, W.M., **Engenharia de Alimentos Inovações Promissoras**, 1 ed., Capítulo 6, Minas Gerais, Brasil, Synapse Editora, 2020.

IBRAF. O Sistema Agroalimentar de Frutas e Derivados, 2016

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

KARIM, A., WAI, C. C. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) puree. Stability and air drying characteristics. **Food Chemistry**. v. 64, n.3, p 337-343, 1999.

LEAL, A. K.. Cinética de secagem das polpas de abacaxi, acerola e carambola através do método de camada de espuma. Barra do Bugres, 2015. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Engenharia de Alimentos). Universidade do Estado de Mato Grosso, 2015.

LEWIS, W. K. The rate of drying of solids materials. **The Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 13, p. 427-432, 1991.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. v.1, 4 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 277 p, 2002.

LOUREIRO, M. N. Desidratação da polpa de buriti e armazenamento do produto seco. Paraíba, 2006 **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande, 2006.

MARUYAMA, L. Y., CARDARELLI, H. R., BURITI, F. C. A. & SAAD, S. M. I. Textura instrumental de queijo petit-suisse potencialmente probiótico: influência de diferentes combinações de gomas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, p. 386-393, 2006.

MARQUES, L. F. et al. Secagem Precedida De Desidratação Osmotica De Pseudofruto De Caju: Comparação Entre Modelos Matemáticos Aplicados. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.9, n.2, p 161-170, 2007.

MARQUES, L. G., SILVEIRA, A. M., FREIRE, J. T. Freeze-drying characteristics of tropical fruits, **Drying Technology**, v.24, p 457-463, 2006.

MARQUES, G. M. R. Secagem de Caldo de Cana em Leito de Espuma e Avaliação Sensorial do Produto. Itapetinga, 2009. p 86. **Dissertação** (Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2009.

MIDILLI, A., KUCUK, H. & VAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, v. 20, p. 1503-1513, 2002.

MORITA, A. S. et al. Cristalização de melão pelo processo lento de açucaramento. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p 705–708, 2005.

PAES, S. A. Diversidade Genética de Isolados de *Geotrichum* spp. Associados a podridões pós-colheita em frutas e hortaliças no Brasil 2016. **Dissertação** (Mestrado em Microbiologia) Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa. 2016.

PAGE, G. E. Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. 1949. **Dissertação de Mestrado**, Purdue University.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra Bartlett (*Pyrus* sp.) com e sem desidratação osmótica. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**. v. 21, n. 1, p 73–77, 2001.

REZENDE; M. L; CÂNDIDO; P. A. Produção e comercialização de frutos do cerrado em Minas Gerais. **Revista de Economia Política**. nº 3, 2014.

RIBEIRO, D. M. Qualidade da café cereja descascado submetido a diferentes temperaturas, fluxos de ar e períodos de pré-secagem. 2003. p 86. **Dissertação** (Mestrado em Ciências dos Alimentos) Universidade Federal de Lavras, 2003.

RODRIGUES, J.D., GERALDI, C.A.Q., LOSS, R.A., *et al.*, “Secagem em camada de espuma e caracterização físico química da polpa de guavira (*Campomanesia adamantium*)”, In: Cavalcante, W.M., **Engenharia de Alimentos Inovações Promissoras**, 1 ed., Capítulo 10, Minas Gerais, Brasil, Synapse Editora, 2020.

RONCHETI, E. F. S. Estudo do processo de secagem em leito de espuma de cenoura, tomate, beterraba e morango. **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal do Espírito Santo, 2014.

RUFINO, M. S. M. Propriedades funcionais de frutas tropicais brasileiras não tradicionais. Mossoró, 2018. 237 p. **Tese**. (Doutorado em Fototecnia). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2008.

SAMAPUNDO, S., DEVLIEGHERE, F., MEULENAER, B., ATUKWASE, A., LAMBONI, Y. & DEBEVERE, J. M. Sorption isotherms and isosteric heats of sorption of whole yellow dent corn. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 168- 175, 2007.

SARTORI, S., DONADIO, L. C., MARTINS, A. B. G. & MORO, F. V. 2010. *Uvaia: Série de Frutas Nativas*, Jaboticabal, Funep.

SEAB - SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. Análise da conjuntura agropecuária safra 2016/17. Andrade, P. F. S. Depart. Rural, Estado do PR. 2017.

SILVA, L. M. M., SOUSA, F. C., CASTRO, D. S., GOMES, J. P. & ALMEIDA, F. A. C. Estudo experimental da secagem de polpa de achachairu em camada fina. **Revista Gaia Scientia**, v. 9, p. 151-155, 2015.

SOUZA, C. D. DE; FELFILI, J. M. Uso de plantas medicinais na região de Alto Paraíso de Goiás, GO, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v. 20, n. 1, 135–142 p, 2006.

THUWAPANICHAYANAN, R., PRACHAYAWARAKORN, S. & SOPONRONNARIT, S. Drying characteristics and quality of banana foam mat. **Journal of Food Engineering**, v. 86, p. 573-575, 2008.

ZOTARELLI; M. F. Produção e caracterização de manga desidratada em pó por diferentes processos de secagem. Florianópolis, 2014. **Tese** (Engenharia de Alimentos). Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.