



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS**  
**(DOUTORADO)**

**JÉSSICA LEITE DA SILVA**

**QUALIDADE DO FRUTO DE *Ziziphus joazeiro* (Mart.), OBTENÇÃO DA  
FARINHA E CINÉTICA DE SECAGEM SOB TEMPERATURAS E FORMAS  
DE PROCESSAMENTO**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2021**

**JÉSSICA LEITE DA SILVA**

**QUALIDADE DO FRUTO DE *Ziziphus joazeiro* (Mart.), OBTENÇÃO DA  
FARINHA E CINÉTICA DE SECAGEM SOB TEMPERATURAS E FORMAS  
DE PROCESSAMENTO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutora em Engenharia de Processos.

**Área de Concentração:** Desenvolvimento de Processos

**Orientadores:** Prof. Dr. Osvaldo Soares da Silva

Prof. Dr. Franciscleudo Bezerra da Costa

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2021**

S586q

Silva, Jéssica Leite da.

Qualidade do fruto de *Ziziphus joazeiro* (Mart.), obtenção da farinha e cinética de secagem sob temperaturas e formas de processamento / Jéssica Leite da Silva. – Campina Grande, 2021.

92 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2021.

"Orientação: Prof. Dr. Osvaldo Soares da Silva, Prof. Dr. Franciscleudo Bezerra da Costa".

Referências.

1. Juá. 2. Secagem. 3. Polpa. 4. Espuma. 5. Modelagem Matemática.  
I. Silva, Osvaldo Soares da. II. Costa, Franciscleudo Bezerra da.  
III. Título.

CDU 634.662(043)

**JÉSSICA LEITE DA SILVA**

**QUALIDADE DO FRUTO DE *Ziziphus joazeiro* (Mart.), OBTENÇÃO DA  
FARINHA E CINÉTICA DE SECAGEM SOB TEMPERATURAS E FORMAS  
DE PROCESSAMENTO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutora em Engenharia de Processos.

**Aprovada** em 24 de agosto de 2021.

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. Osvaldo Soares da Silva  
(Orientador – UFCG/Campina Grande)



---

Prof. Dr. Franciscleudo Bezerra da Costa  
(Orientador – UFCG/Pombal)



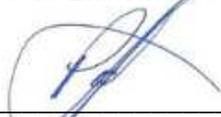
---

Profª. Drª. Mércia Melo de Almeida Mota  
(Examinadora Externa – UFCG/Campina Grande)



---

Profª. Drª. Morgana Fabíola Cunha Silva Canuto  
(Examinadora Externa – UFCG/Sumé)



---

Prof. Dr. Pahlevi Augusto de Souza  
(Examinador Externo – IFRN/Currais Novos)



---

Prof. Dr. Stelio Braga da Fonseca  
(Examinador Externo – UFCG/Pombal)

A todas as mulheres que vivem a dura rotina da pesquisa sendo mãe. Não é uma tarefa simples e nunca será fácil, mas cada sorriso, cada abraço do filho, nos fortalece e nos mostra que somos capazes!

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por nunca me desamparar em meio a tantos momentos difíceis, de tantas provações, angústia e insegurança. Hoje sou mais forte e grata a ti, meu Deus, por tantas bênçãos.

A minha filha Helena Leite, que desde a seleção do doutorado me acompanha nesta rotina. Além de agradecer, devo-lhe pedir perdão, filha, por todos os momentos de ausência, em que você só queria brincar comigo e eu não podia lhe dar atenção. Saiba que todo esse esforço é para lhe proporcionar um futuro melhor. Seu sorriso me revigora e me faz acreditar que sou capaz, você é a minha maior motivação.

A meu esposo, Rogério Elias, por toda ajuda, incentivo, carinho e compreensão nos momentos de ausência. Aos meus pais, Lucineide Leite e José Vicente, pelo apoio constante e incansável.

Aos meus irmãos, Jocerlan Leite e Gildevan Leite; a minhas cunhadas, Danniely Barbosa, Josimere Maria e Vitória Fernandes, e a todos os familiares e amigos pelo apoio e palavras de incentivo.

A minha amiga e comadre Ana Marinho, pelo apoio de sempre e, em tudo. Seu companheirismo em todos esses anos tornou a graduação, especialização, mestrado e doutorado mais leve. Esse trabalho também é seu, amiga, que Deus conserve nossa amizade pra sempre.

A meus orientadores, Osvaldo Soares e Franciscleudo Costa, por todos os ensinamentos, orientação, confiança e disponibilidade. Os senhores são exemplos de profissionais e de seres humanos.

Aos amigos e colegas do Grupo de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Engenharia de Alimentos, em especial aos que colaboraram na realização das análises.

Aos professores da banca por todas as contribuições. Seus conhecimentos foram essenciais na concretização deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço a todos que de forma direta ou indireta tenham contribuído para concretização deste sonho.

Muito obrigada!

**RESUMO:** O fruto do juazeiro tem potencial funcional graças à elevada concentração de compostos bioativos e sua capacidade antioxidante. No entanto, é muito susceptível à deterioração, em decorrência do seu perfil respiratório elevado, baixa acidez e alta umidade. Tornando-se necessário o uso de técnicas de processamento para prolongar sua vida útil. Dessa forma, objetivou-se avaliar a qualidade do fruto de *Ziziphus joazeiro* (Mart.), obter farinhas e realizar o estudo da cinética de secagem sob temperaturas e formas de processamento. Foram realizados os processamentos da polpa/casca e da espuma nas temperaturas de 50, 55, 60, 65 e 70 °C, em estufa com circulação de ar. A composição físico-química, química, compostos bioativos e capacidade antioxidante foram realizadas na polpa/casca do fruto *in natura* e nas farinhas. Avaliou-se a cinética de secagem da polpa/casca e da espuma do fruto nas temperaturas de 50, 55, 60, 65 e 70 °C, com aplicação dos modelos matemáticos de Lewis, Page, Henderson e Pabis, e Cavalcanti Mata ajustados para à descrição das cinéticas. A polpa/casca obteve excelente atividade espumante e potencial funcional, devido à elevada concentração de compostos fenólicos. A secagem em estufa com circulação de ar foi uma técnica viável para produzir as farinhas do fruto do juazeiro, pois resultou na concentração dos sólidos solúveis, açúcares solúveis, redutores e não redutores, compostos fenólicos, flavonoides e antocianinas, além de elevação da capacidade antioxidante. A secagem da polpa/casca a 65 °C é recomendada para produzir a farinha do fruto do juazeiro com concentração significativa de compostos fenólicos, ácido ascórbico e maior capacidade antioxidante. A secagem da espuma a 70 °C foi eficiente na produção de farinhas empregando menor tempo de processo, maior rendimento, coloração clara e maior concentração de açúcares. Dentre os modelos matemáticos testados, os de Page e Cavalcanti Mata aproximaram-se mais dos pontos experimentais quando comparado aos demais modelos. O modelo de Page foi o recomendado devido a fácil aplicação e ajuste adequado à curva de secagem. A utilização dessas farinhas em produtos alimentares, como de panificação e confeitaria, bem como o desenvolvimento de formulações com apelo nutricional e funcional, devem ser explorados.

**Palavras-chave:** espuma, juá, modelagem matemática, polpa, secagem.

**ABSTRACT:** A typical tree of the Brazilian semiarid region bears a fruit called Juazeiro fruit, which has functional potential because of its high concentration of bioactive compounds and its antioxidant capacity. However, it is very susceptible to deterioration, due to its high respiratory profile, low acidity and high moisture. Hence, it is necessary to use processing techniques to prolong its useful life. Thus, the purpose of this thesis was to evaluate the quality of the *Ziziphus Joazeiro* fruit (Mart.), in order to obtain flours and conduct the study of the drying kinetics under temperatures and forms of processing. The processing of the pulp/peel and foam at temperatures of 122, 131, 140, 149 and 158 °F, in a hothouse with air circulation. The physicochemical composition, bioactive compounds and antioxidant capacity were carried out in the pulp/peel of the fresh fruit and in the flours. The pulp/peel and foam drying kinetics of the fruit at temperatures of 122, 131, 140, 149 and 158 °F, with the application of Lewis's, Page's, Henderson's and Pabis's mathematical models, while Cavalcanti Mata's model was fitted to the description of the kinetics. The pulp/peel had excellent foaming activity and functional potential, due to the high concentration of phenolic compounds. Kiln drying with air circulation was a viable technique to produce juazeiro fruit flours, as it resulted in the concentration of soluble solids, soluble sugars, reducers and non-reducers, phenolic compounds, flavonoids and anthocyanins, in addition to increasing the antioxidant capacity. Pulp/peel drying at 149°F is recommended to produce fruit flour with a significant concentration of phenolic compounds, ascorbic acid and greater antioxidant capacity. Drying the foam at 158°F was efficient in the production of flour using less process time, greater yield, light color and higher concentration of sugars. Among the mathematical models tested, Page's and Cavalcanti Mata's came closer to the experimental points when compared to other models. Page's model was recommended due to easy application and proper adjustment to the drying curve. The use of these flours in food products, such as bakery and confectionery, as well as the development of formulations with nutritional and functional appeal, should be explored.

**Keywords:** foam, juá, mathematical modeling, pulp, drying.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**ABTS<sup>•+</sup>** – 2,2'-azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico

**ANOVA** – Análise de Variância

**CCTA** – Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar

**CO<sub>2</sub>** – Gás Carbônico

**DPPH** – 2,2-difenil-1-picrilhidrazil

**DQM** – Desvio Quadrático Médio

**EAG** – Equivalente do Ácido Gálico

**HCl** – Ácido Clorídrico

**LQBAA** – Laboratório de Química, Bioquímica e Análise de Alimentos

**LTPOV** – Laboratório de Tecnologia de Produtos de Origem Vegetal

**NaOH** – Hidróxido de Sódio

**PB** – Paraíba

**pH** – Potencial Hidrogeniônico

**PI** – Piauí

**R<sup>2</sup>** – Coeficiente de determinação

**RX** – Razão da Umidade

**RX<sub>exp</sub>** – Razão de umidade obtida experimentalmente

**RX<sub>pre</sub>** – Razão de umidade predita pelo modelo matemático

**UFMG** – Universidade Federal de Campina Grande

**X** – Teor de água (base seca)

**X<sub>0</sub>** – Teor de água inicial (base seca)

**X<sup>2</sup>** – Qui-quadrado

**X<sub>e</sub>** – Teor de água de equilíbrio (base seca)

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> –	<i>Ziziphus joazeiro</i> (Mart.) localizado na zona rural do município de Cajazeirinhas/PB.....	18
<b>Figura 2</b> –	Carta de maturação dos frutos do <i>Ziziphus joazeiro</i> (Mart.) adaptada de Silva (2015a).....	19
<b>Figura 3</b> –	Frutos do juazeiro no estágio de maturação IV (A); localização geográfica do município de Cajazeirinhas/PB (B).....	31
<b>Figura 4</b> –	Etapas de processamento das farinhas da polpa/casca e da espuma do fruto do juazeiro.....	32
<b>Figura 5</b> –	Polpa/casca (A) e espuma (B) do fruto do juazeiro utilizadas para produção das farinhas.....	33
<b>Figura 6</b> –	Polpa/casca (A) e espuma (B) do fruto do juazeiro para estudo da cinética de secagem.....	39
<b>Figura 7</b> –	Farinhas produzidas com a polpa/casca (A) e espuma (B) do fruto do juazeiro nas temperaturas de 50, 55, 60, 65 e 70 °C em estufa com circulação de ar.....	44
<b>Figura 8</b> –	Ajuste da cinética de secagem da polpa/casca do fruto do juazeiro com os modelos de Lewis (A), Page (B), Henderson e Pabis (C) e Cavalcanti Mata (D) em diferentes temperaturas.....	68
<b>Figura 9</b> –	Ajuste da cinética de secagem da espuma do fruto do juazeiro com os modelos de Lewis (A), Page (B), Henderson e Pabis (C) e Cavalcanti Mata (D) em diferentes temperaturas.....	72

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Características físicas, físico-químicas e composição centesimal dos frutos do juazeiro no estágio de maturação maduro de acordo com a literatura.....21
- Tabela 2** – Modelos matemáticos utilizados para descrição da cinética de secagem da polpa/casca e espuma do fruto do juazeiro.....40
- Tabela 3** – Caracterização físico-química, química, compostos bioativos e capacidade antioxidante da polpa/casca do fruto do juazeiro *in natura*.....41
- Tabela 4** – Tempo de secagem das farinhas da polpa/casca e da espuma do fruto do juazeiro nas temperaturas de 50, 55, 60, 65 e 70 °C em estufa com circulação de ar.....45
- Tabela 5** – Rendimento, densidade aparente, solubilidade, atividade de água, umidade e cinzas das farinhas do fruto do juazeiro quando submetidas a diferentes processamentos e temperaturas de secagem.....46
- Tabela 6** – Desdobramentos da interação do rendimento, densidade aparente, solubilidade, atividade de água, umidade e cinzas das farinhas do fruto do juazeiro quando submetidas a diferentes processamentos e temperaturas de secagem.....47
- Tabela 7** – Luminosidade, coordenada a\* e b\*, cromaticidade, ângulo Hue, índice de cor e de escurecimento das farinhas do fruto do juazeiro quando submetidas a diferentes processamentos e temperaturas de secagem.....52
- Tabela 8** – Desdobramentos da interação da luminosidade, coordenada a\*, ângulo Hue, índice de cor e de escurecimento das farinhas do fruto do juazeiro quando submetidas a diferentes processamentos e temperaturas de secagem.....53
- Tabela 9** – Acidez titulável, pH, sólidos solúveis, ratio, açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR) e açúcares não redutores (ANR) das farinhas do fruto do juazeiro quando submetidas a diferentes processamentos e temperaturas de secagem.....57
- Tabela 10** – Desdobramentos da interação da acidez titulável, pH, sólidos solúveis, ratio e açúcares redutores das farinhas do fruto do juazeiro quando submetidas a diferentes processamentos e temperaturas de secagem.....58
- Tabela 11** – Ácido ascórbico, clorofila total, carotenoides totais, compostos fenólicos totais, flavonoides e antocianinas das farinhas do fruto do juazeiro quando

	submetidas a diferentes processamentos e temperaturas de secagem.....	62
<b>Tabela 12</b>	– Desdobramentos da interação do ácido ascórbico, clorofila total, carotenoides totais, flavonoides e antocianinas das farinhas do fruto do juazeiro quando submetidas a diferentes processamentos e temperaturas de secagem.....	63
<b>Tabela 13</b>	– Capacidade antioxidante pela captura do radical livre DPPH e do ABTS <sup>•+</sup> das farinhas do fruto do juazeiro quando submetidas a diferentes processamentos e temperaturas de secagem.....	66
<b>Tabela 14</b>	– Desdobramentos da interação da capacidade antioxidante pela captura do radical livre DPPH e do ABTS <sup>•+</sup> das farinhas do fruto do juazeiro quando submetidas a diferentes processamentos e temperaturas de secagem.....	67
<b>Tabela 15</b>	– Parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos utilizados na predição da cinética de secagem da polpa/casca do fruto do juazeiro com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), Desvio Quadrático Médio (DQM) e Qui-quadrado ( $X^2$ ).....	70
<b>Tabela 16</b>	– Parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos utilizados na predição da cinética de secagem da espuma do fruto do juazeiro com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), Desvio Quadrático Médio (DQM) e Qui-quadrado ( $X^2$ ).....	73

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	17
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	17
<b>2.2 Objetivos Específicos</b> .....	17
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
<b>3.1 <i>Ziziphus joazeiro</i> (Mart.)</b> .....	18
<b>3.2 Fruto do Juazeiro</b> .....	19
3.2.1 <i>Características Gerais</i> .....	19
3.2.2 <i>Composição Físico-Química e Centesimal</i> .....	20
3.2.3 <i>Compostos Bioativos e Capacidade Antioxidante</i> .....	21
3.2.4 <i>Usos e Aplicações</i> .....	22
<b>3.3 Secagem</b> .....	24
3.3.1 <i>Secagem em Estufa com Circulação de Ar</i> .....	25
3.3.2 <i>Secagem em Camada de Espuma</i> .....	25
<b>3.4 Cinética de Secagem</b> .....	27
3.4.1 <i>Modelagem Matemática</i> .....	27
3.4.1.1 Lewis .....	28
3.4.1.2 Page .....	29
3.4.1.3 Henderson e Pabis .....	29
3.4.1.4 Cavalcanti Mata.....	30
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	31
<b>4.1 Local do Experimento</b> .....	31
<b>4.2 Matéria-prima</b> .....	31
<b>4.3 Obtenção das Farinhas</b> .....	31
<b>4.4 Determinações Analíticas</b> .....	34
4.4.1 <i>Caracterização da Espuma</i> .....	34
4.4.2 <i>Caracterização da Polpa/casca do Fruto In Natura e das Farinhas</i> .....	34
4.4.2.1 <i>Análises Físico-químicas e Químicas</i> .....	34
4.4.2.2 <i>Análises dos Compostos Bioativos</i> .....	36
4.4.2.3 <i>Análises da Capacidade Antioxidante</i> .....	37
<b>4.5 Delineamento Experimental e Análise Estatística</b> .....	38

<b>4.6 Cinética de Secagem</b> .....	38
4.6.1 <i>Modelagem Matemática</i> .....	39
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	41
<b>5.1 Caracterização da Polpa/casca do Fruto <i>In Natura</i> e da Espuma</b> .....	41
<b>5.2 Caracterização das Farinhas</b> .....	43
5.2.1 <i>Análises Físico-químicas e Químicas</i> .....	45
5.2.2 <i>Análises dos Compostos Bioativos</i> .....	60
5.2.3 <i>Análises da Capacidade Antioxidante</i> .....	65
<b>5.3 Modelagem Matemática</b> .....	68
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	75
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	77

## 1 INTRODUÇÃO

O juazeiro (*Ziziphus joazeiro* (Mart.)) é encontrado naturalmente nas áreas de Caatinga. Detêm importância econômica e biológica atrelada às suas propriedades medicinais, seus frutos têm propriedades nutricionais e antioxidantes relevantes e são utilizados na alimentação humana (DANTAS et al., 2014; SILVA, 2017a).

O fruto do juazeiro é constituído em maior proporção por uma polpa de coloração creme, sabor doce e aroma característico, que recobre uma semente rígida. Pesquisas relatam a qualidade nutricional e funcional dos frutos do juazeiro, com destaque para a elevada quantidade de vitamina C, alta concentração de compostos fenólicos e com atividade antioxidante (SILVA, 2015a; SILVA, 2017a; COSTA et al., 2019).

Pode-se afirmar que o fruto do juazeiro vem ganhando destaque e algumas pesquisas estão sendo realizadas a fim de propor técnicas de processamento para ampliar seu consumo e sua industrialização. Há, na literatura, a produção de conservas fermentadas utilizando esse fruto, iogurtes, licores, farinhas, entre outros (CAVALCANTI, et al., 2011; SILVA, 2014; ALMEIDA, 2019). Esses produtos derivados do fruto do juazeiro apresentaram aceitação sensorial, reforçando a potencialidade do fruto para industrialização.

Para potencializar o consumo e a comercialização do fruto do juazeiro, a diversificação de produtos é de suma importância. Dessa forma, a farinha elaborada a partir desse fruto pode ser uma alternativa promissora para o seu aproveitamento, viável nos aspectos econômicos e ecológicos. Essa farinha pode ser empregada em diferentes formulações alimentícias, com o propósito de enriquecer nutricional, sensorial e funcionalmente os produtos, promovendo a valorização de uma espécie regional (SOUSA; FELIX, 2019).

A secagem é uma técnica utilizada há anos pela indústria alimentícia e que minimiza a quantidade de água disponível no alimento. Ela promove a concentração dos nutrientes, a manutenção do sabor ao longo do tempo e a prolongação da vida de prateleira, minimizando a velocidade das reações químicas e a proliferação de microrganismos (MACHADO et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2015; VASCONCELOS, 2017).

A secagem pode ser realizada de forma natural, utilizando a energia solar ou eólica, ou de maneira artificial, empregando ar quente através de estufas, secagem por contato direto com uma superfície quente, secagem em camada de espuma, liofilização entre outros (FERNANDES, 2010; GURGEL, 2014).

Diversas técnicas de secagem podem ser empregadas com sucesso na produção da farinha do fruto do juazeiro, em especial a secagem da polpa/casca e em camada de espuma do fruto utilizando estufa com circulação de ar, dada a simplicidade do processo, as poucas etapas de processamento, o baixo custo de aquisição e manutenção dos equipamentos, além da facilidade do uso dessa tecnologia pelos pequenos produtores.

Diante do exposto, são estabelecidas algumas hipóteses para a presente tese. Uma delas é que a elevação das temperaturas de secagem poderá impulsionar a concentração dos macro e micronutrientes; haverá diferença na qualidade das farinhas obtidas pela secagem da polpa/casca e da espuma; bem como, que a técnica de secagem em estufa com circulação de ar pode ser eficaz na produção das farinhas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a qualidade do fruto de *Ziziphus joazeiro* (Mart.), obter farinhas e realizar o estudo da cinética de secagem sob temperaturas e formas de processamento.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Analisar a composição físico-química, química, compostos bioativos e capacidade antioxidante da polpa/casca do fruto *in natura* colhido no estágio de maturação IV (fruto totalmente maduro);
- Elaborar e analisar a espuma do fruto;
- Obter as farinhas do fruto por meio da secagem da polpa/casca e da espuma nas temperaturas de 50, 55, 60, 65 e 70 °C em estufa com circulação de ar;
- Avaliar as características físico-químicas, químicas, os compostos bioativos e capacidade antioxidante das farinhas produzidas;
- Estudar a cinética de secagem da polpa/casca e da espuma do fruto nas temperaturas de 50, 55, 60, 65 e 70 °C e ajustar os modelos matemáticos de Lewis, Page, Henderson e Pabis, e Cavalcanti Mata para a descrição das cinéticas de secagem;
- Identificar o modelo matemático que melhor se adequou à cinética de secagem da polpa/casca e da espuma do fruto.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 *Ziziphus joazeiro* (Mart.)

O *Ziziphus joazeiro* (Mart.) popularmente conhecido por juazeiro, juá, joá, ou laranjeira-de-vaqueiro é uma planta característica do semiárido nordestino, encontrada nos estados do Nordeste e no norte de Minas Gerais (LORENZI, 2009; DIÓGENES et al., 2010).

O juazeiro é considerado, dentre todas as árvores do Nordeste brasileiro, a mais tipicamente sertaneja, sendo uma das poucas espécies desse gênero adaptadas ao clima seco. Apesar de ser uma planta de clima quente, se adaptada plenamente aos climas subúmido, semiúmido e semiárido (MENDES, 1996).

O juá é considerado uma árvore de porte mediano, que dependendo das condições de água e fertilidade do solo pode alcançar até 12 m, consegue permanecer verde mesmo durante o período de seca intensa e constante, e vive mais de 100 anos (Figura 1) (SILVA, 2019a). Sua floração ocorre no final da estação seca, entre os meses de outubro a dezembro; a frutificação se dá na estação chuvosa, de janeiro a maio, chegando até junho (MAIA, 2004).

**Figura 1** – *Ziziphus joazeiro* (Mart.) localizado na zona rural do município de Cajazeirinhas/PB



Fonte: Autora, 2021

## 3.2 Fruto do Juazeiro

### 3.2.1 Características Gerais

Segundo Silva (2015a), o fruto do juazeiro maduro apresenta peso em torno de 7 g, comprimento e largura de 20 e 25 mm, respectivamente, com cor da casca totalmente amarela. A polpa representa 80% do peso total do fruto, com coloração creme, que envolve uma semente com 15 mm de comprimento e 9 mm de largura. O fruto maduro é apreciado no consumo humano e animal, sendo utilizado como forragem para rebanhos e animais silvestres (FERREIRA, 2014). Em relação ao padrão respiratório, pode ser considerado climatérico devido à elevação na produção de CO<sub>2</sub> durante a maturação (SILVA et al., 2017a; SOUSA et al., 2020).

Os frutos do juazeiro são classificados em estádios de maturação de acordo com a cor da casca do fruto (Figura 2). Frutos no estágio de maturação I apresentam cor da casca totalmente verde; no estágio de maturação II os frutos se encontram em transição para coloração amarela, mas na cor da casca ainda predomina a cor verde. No estágio de maturação III, a coloração amarela se sobressai em relação a verde; no estágio IV os frutos concluíram a transição para coloração amarela, sendo a cor da casca completamente amarela. Já no estágio V, apresentam cor amarela com manchas escuras, bem como, são considerados os frutos que sofreram abscisão natural da planta (SILVA, 2015a).

**Figura 2** – Carta de maturação dos frutos do *Ziziphus joazeiro* (Mart.) adaptada de Silva (2015a)



Fonte: Autora, 2021

Silva et al. (2018) ao avaliarem a qualidade pós-colheita dos frutos do juazeiro em cinco estádios de maturação, constataram que o estágio de maturação IV se

sobressai em relação aos demais estádios, tendo em vista que, no estádio IV os frutos são mais atrativos para o consumo *in natura* e processamento, pois apresentam maior massa fresca, maior rendimento e elevada concentração de compostos fenólicos.

### 3.2.2 Composição Físico-Química e Centesimal

Análises físico-químicas revelaram que o fruto do *Ziziphus joazeiro* apresenta um elevado teor de sólidos solúveis e uma baixa acidez, o que indica uma boa palatabilidade (SILVA et al., 2011; SOUSA et al., 2013; SILVA, 2014). Silva et al. (2020a) propuseram que esse fruto possa ser utilizado como suplemento alimentar, pois, acelera o metabolismo do álcool, reduzindo os efeitos deletérios no fígado.

As características físicas, físico-químicas e composição centesimal (Tabela 1) demonstram que o fruto do juazeiro tem elevado rendimento de polpa, aspecto muito apreciado para industrialização. Seu valor energético é superior ao de outras frutas (acerola, melão, morango) consumidas frequentemente, sugerindo que o fruto pode ser ingerido para suprir as necessidades energéticas (SILVA, 2015a).

O fruto do juazeiro apresenta baixo teor de proteínas, lipídeos e fibras, sendo constituídos principalmente de carboidratos e água. Os minerais são compatíveis com o perfil característico das frutas, favorecendo, o consumo humano e processamento dos frutos (SILVA, 2014).

O fruto apresenta elevada concentração de sólidos solúveis, sendo em sua maioria açúcares solúveis, configurando grande potencial de aplicação ao consumo humano, como também à industrialização de concentrados, polpas, doces em calda e em corte, compota, entre outros, já que no processamento destes produtos a alta concentração de açúcar é almejada (SILVA, 2017a).

**Tabela 1** – Características físicas, físico-químicas e composição centesimal do fruto do juazeiro no estágio de maturação maduro de acordo com a literatura

<b>Parâmetros</b>	<b>Silva (2014)</b>	<b>Silva (2015a)</b>	<b>Silva (2017a)</b>
Massa fresca do fruto (g)	-	7,0	-
Massa fresca da polpa (g)	-	5,8	-
Massa fresca da semente (g)	-	1,0	-
Polpa (%)	-	82,6	-
Semente (%)	-	14,0	-
Casca (%)	-	3,4	-
Valor energético (kcal 100 g <sup>-1</sup> )	-	51,3	-
Umidade (%)	-	86,9	-
Carboidratos (%)	-	10,7	-
Proteínas (%)	-	1,6	-
Lipídeos (%)	-	0,2	-
Fibras (%)	0,1	-	-
Cinzas (%)	-	0,6	-
Potássio (mg 100 g <sup>-1</sup> )	165,3	-	-
Cálcio (mg 100 g <sup>-1</sup> )	18,9	-	-
Magnésio (mg 100 g <sup>-1</sup> )	16,9	-	-
Sódio (mg 100 g <sup>-1</sup> )	6,9	-	-
Zinco (mg 100 g <sup>-1</sup> )	0,1	-	-
pH	-	-	6,0
Acidez titulável (% ác. cítrico)	-	-	0,5
Sólidos solúveis (%)	-	-	30,8
Açúcares totais (g 100 g <sup>-1</sup> )	-	-	29,4
Açúcares redutores (g 100 g <sup>-1</sup> )	-	-	1,1

### 3.2.3 Compostos Bioativos e Capacidade Antioxidante

Geralmente frutos são ricos em nutrientes e antioxidantes, sendo as cascas e sementes o local onde há maior concentração dessas substâncias. O consumo regular dos frutos promove benefícios à saúde, uma vez que, devido à presença de compostos antioxidantes como os fenólicos, vitaminas e pigmentos, associa-se à baixa incidência de diversas doenças, como câncer, doenças cerebrovasculares e cardiovasculares

(SOUZA et al., 2012a; ARAUJO et al., 2013). Entre as substâncias bioativas, ou seja, substâncias que apresentam capacidade antioxidante encontradas em frutos, podem-se citar os compostos fenólicos, pigmentos como a clorofila e os carotenoides, bem como o ácido ascórbico (SILVA, 2017a).

Diversos autores destacam a concentração de vitamina C (ácido ascórbico) no fruto do juazeiro (MENDES, 1996; LIMA, 2000; MATOS, 2007; LORENZI, 2009; DANTAS et al., 2014). Silva et al. (2016) ao avaliarem a qualidade físico-química dos frutos do juazeiro constataram que os frutos de todos os estádios de maturação apresentaram quantidade significativa de ácido ascórbico variando de 6,64 a 10,84 mg 100 g<sup>-1</sup>, com o avanço da maturação.

Além do ácido ascórbico, o fruto do juazeiro é considerado uma fonte potencial de compostos fenólicos. Como mostram Silva et al. (2018), analisando a pós-colheita do fruto constataram alta concentração desta característica, em especial nos estádios de maturação I (647,87 mg 100 g<sup>-1</sup>) e IV (443,47 mg 100 g<sup>-1</sup>). Isto indica que o fruto, provavelmente, apresenta capacidade antioxidante e, assim sendo, pode ser inserido na alimentação humana como alimento funcional.

Silva et al. (2020b) ao verificarem o efeito do armazenamento à temperatura ambiente nas características do fruto do juazeiro maduro, identificaram que o fruto apresenta capacidade antioxidante superior a frutas consumidas rotineiramente. Os autores ainda afirmaram que o fruto deve ser agregado à alimentação, pois pode contribuir para a preservação da saúde devido à sua elevada concentração de compostos bioativos e a alta capacidade antioxidante que possui, o que torna importante sua participação na dieta humana, seja na forma *in natura* ou industrializada.

Oliveira et al. (2020) avaliaram a biodisponibilidade de flavonoides no fruto do juazeiro e concluíram que o fruto pode ser considerado fonte de compostos fenólicos, principalmente flavonoides, como catequina, epicatequina e procianidina, que contribuem para sua forte atividade antioxidante *in vitro*. Os autores afirmaram que o fruto do Sertão Paraibano apresentou compostos fenólicos mais bioacessíveis, o que significa dizer que sua fração bioacessível possui a maior atividade antioxidante.

### 3.2.4 Usos e Aplicações

O fruto do juazeiro é tradicionalmente consumido por animais e pela população carente (LORENZI, 2009), mas, recentemente, após pesquisas comprovarem a

potencialidade nutricional e antioxidante do fruto, alguns estudos vêm desenvolvendo técnicas de processamento desse fruto.

Silva (2014), elaborou conservas fermentadas usando frutos do juazeiro semimaduro e maduro por meio de fermentação láctica espontânea dos frutos. As conservas obtidas apresentaram resultados satisfatórios atendendo à legislação sanitária. O autor indicou a possibilidade desta espécie nativa do Nordeste brasileiro ocupar parte do importante espaço reservado às conservas vegetais fermentadas derivadas do pepino e da azeitona verde.

Almeida (2019), produziu licor e iogurte utilizando a polpa do fruto do juazeiro no estágio de maturação maduro. Tanto o licor quanto o iogurte produzidos apresentaram características físico-químicas de acordo com a legislação, com características sensoriais do fruto de juazeiro e elevado teor de polifenóis extraíveis totais.

Cavalcanti et al. (2011) obtiveram a farinha do fruto do juazeiro a partir da secagem em estufa e posterior moagem. Os autores afirmaram que a farinha do fruto pode ser utilizada como uma alternativa promissora para o aproveitamento em formulações alimentícias como pães, bolos e biscoitos.

Costa et al. (2019) verificaram a toxicidade e qualidade físico-química da farinha obtida do fruto do juazeiro e constataram que a farinha não apresentou toxicidade nas concentrações testadas. Quanto aos aspectos de composição físico-química, destacou-se a farinha como sendo uma expressiva fonte de sólidos solúveis, vitamina C, fibras e carboidratos totais.

Os estudos apresentados demonstram que o fruto do juazeiro pode ser empregado com sucesso na produção de diversos alimentos e que sua qualidade nutricional e antioxidante é mantida após o processamento. Dessa forma, torna-se necessário o desenvolvimento de técnicas de processamento visando à disseminação do consumo e do potencial de comercialização desse fruto.

Para Diniz (2016), a sociedade está cada dia mais consciente em consumir alimentos naturais a fim de prevenir o aparecimento de doenças, e sempre busca novas fontes nutricionais, bem como, preocupa-se com as questões ambientais. Dessa forma, pesquisas relacionadas ao processamento e sobre o potencial nutricional de espécies do semiárido, como o fruto do juazeiro, tendem a contribuir para o resgate de uma cultura

alimentar e agregação de valor, além de proporcionar uma gama a mais de produtos provenientes destas espécies.

### 3.3 Secagem

Diversas técnicas vêm sendo estudadas para diminuir os prejuízos e prolongar a vida útil de produtos *in natura*. O grande obstáculo destas técnicas é manter os valores nutricionais semelhantes aos alimentos *in natura*. A secagem é um método de conservação aplicável à ampla gama de produtos agrícolas (DINIZ, 2016).

O processo de secagem consiste na remoção do líquido de um produto, em condições controladas de temperatura, umidade e corrente de ar, ocorrendo de forma simultânea à transferência de calor e massa. A secagem tem sido utilizada na conservação de alimentos desde a antiguidade, uma vez que os microrganismos que promovem a deterioração não crescem na ausência da água (VASCONCELOS, 2017).

A secagem de frutos apresenta diversas vantagens, como a concentração dos nutrientes, prolongação da vida de prateleira, manutenção do sabor ao longo tempo, graças à redução da quantidade de água disponível, dessa forma, será reduzida a atividade de água, a velocidade das reações químicas, e, conseqüentemente, a proliferação de microrganismos, conferindo ao produto maior qualidade por um maior período de tempo (MACHADO et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2015).

São vários os processos de secagem de alimentos, mas no geral eles se classificam em natural e artificial. Na secagem natural é utilizada a energia solar ou eólica. Já na artificial, é empregada energia térmica e mecânica (secagem convectiva, liofilização, osmótica, entre outros). Os métodos artificiais apresentam como principal vantagem o controle eficaz de todo o processo, o que permite um padrão de qualidade e previsão da produção, o que não é possível na secagem natural, uma vez que esta é dependente das condições climáticas, o que a torna suscetível a interrupções não programadas (GURGEL, 2014).

Na indústria de alimentos são utilizados diversos tipos de secadores, sendo que a escolha do tipo de secador depende principalmente da natureza do produto a ser seco, da forma que se deseja dar ao produto processado, do fator econômico e das condições de operação. Dentre os diversos métodos e equipamentos empregados na secagem de alimentos, pode-se citar a secagem com ar quente utilizando estufas, secagem por

contato direto com uma superfície quente, secagem em camada de espuma, e liofilização (LOURENÇO, 2014).

### 3.3.1 *Secagem em Estufa com Circulação de Ar*

A secagem utilizando estufa é considerada a mais simples. Trata-se de uma operação descontínua, usada para operações em pequena escala. A estufa pode ter espaço para 10, 20 ou mais bandejas, que podem ter fundo inteiriço, com ar circulando entre o topo de uma e o fundo da que fica em cima, ou podem ter fundo telado, com a circulação do ar controlada de modo que o escoamento se faça através das bandejas e dos sólidos nelas contidos (FOUST et al., 1982).

A circulação de ar na estufa é realizada por meio de um ventilador geralmente situado atrás de resistências elétricas usadas para o aquecimento do ar de entrada e a temperatura é controlada por meio de um termostato. Finalizada a secagem, a estufa é aberta e as bandejas descarregadas (LOURENÇO, 2014).

A secagem em estufa é bastante utilizada por agricultores para secagem de frutas, devido à simplicidade da estrutura, capital inicial e de manutenção baixos, flexibilidade de operar diferentes alimentos, no entanto apresenta como desvantagem a não uniformidade na secagem, o que dificulta a utilização deste sistema de secagem (AMANLOU et al., 2010; LOURENÇO, 2014).

Esse tipo de secagem utiliza circulação de ar quente, que implica no tratamento térmico e na degradação térmica de polifenóis. A decomposição de polifenóis depende da natureza do alimento, bem como das condições de secagem. Esse processo ainda pode elevar ou eliminar a atividade antioxidante dos frutos dependendo da natureza ou do substrato (MRKIC et al., 2006).

### 3.3.2 *Secagem em Camada de Espuma*

A *foam-mat drying* (secagem em camada de espuma) é um método onde alimentos líquidos ou semilíquidos são transformados em espumas estáveis, por meio de agitação e, quando necessário, da incorporação de agentes espumantes para, posteriormente, serem desidratados, obtendo-se assim produtos alimentícios em pó (SILVA et al., 2008). Alguns alimentos possuem naturalmente proteínas e/ou saponinas que produzem espumas quando submetidos a forte agitação, mas quando o material não

é capaz de formar espuma estável para a secagem, agentes espumantes são adicionados (VASCONCELOS, 2017).

A formação da espuma é dada por meio de agitação, processo em que bolhas de ar são cercadas por proteínas e/ou saponinas que passam por uma desnaturação da superfície líquido-ar, causada pela desidratação e estiramento desta superfície durante o batimento, tornando-se assim, parte dessa proteína insolúvel, endurecendo e estabilizando a espuma. A capacidade de formação e estabilização da espuma não é uma propriedade exclusiva das proteínas, mas também de outros materiais, como os lipídeos, alguns ácidos e seus derivados (BALCH; STENGLER, 2005).

A secagem em camada de espuma apresenta como vantagens o uso de baixa temperatura e curto tempo de processo, resultante da maior área superficial exposta ao ar quente, esse incremento da área superficial é promovido pela formação da espuma, que resulta em maior transferência de calor e massa. No entanto, a necessidade de produção de uma grande área superficial é vista como desvantagem, pois torna o processo inviável economicamente (FRANCO, 2015).

Essa técnica vem sendo muito utilizada em alimentos sensíveis ao calor, com alto índice de açúcar e viscosos, pois requerem menores temperaturas de desidratação e menor tempo de secagem (RAJKUMAR et al., 2007). A secagem em camada de espuma é reconhecida por sua capacidade em transformar matérias primas de difícil secagem em produtos com qualidade comparável ao obtido pela secagem a vácuo ou por liofilização, com propriedades finais desejáveis, como a manutenção do sabor e cor, fácil reidratação e preservação de compostos voláteis (FRANCO, 2015; VASCONCELOS, 2017).

A secagem em camada de espuma tem sido empregada frequentemente e com sucesso na obtenção de pós e farinhas provenientes de frutos. A exemplo, Severo (2016) produziu polpa de banana em pó; Gurgel (2014) empregou a camada de espuma na secagem da polpa de graviola. Guimarães et al. (2017) por sua vez, elaboraram a polpa de manga em pó; Cruz (2013) produziu polpa de goiaba em pó, entre outros trabalhos encontrados na literatura. Com relação ao *Ziziphus juazeiro*, Vasconcelos (2017) aplicou a técnica de secagem em camada de espuma para obter o pó da entrecasca do juazeiro. O produto obtido apresentou boas características como materiais de secagem e como agente espumante.

### **3.4 Cinética de Secagem**

O comportamento do material durante o processo de secagem pode ser avaliado por meio de cinética de secagem, que avalia a velocidade com que o alimento perde umidade, que pode ser representada pelas curvas e taxa de secagem (SILVA, 2019a).

Com o estudo da cinética de secagem é possível identificar o comportamento do material ao longo do processo, bem como, a predição do tempo de secagem. Dessa forma, esse estudo é indispensável para o desenvolvimento e otimização dos secadores, além de possibilitar a padronização do processo (LOPES, 2013).

As informações que podem ser extraídas das curvas de secagem são de grande importância e fundamentais para o desenvolvimento de processos, dimensionamento de equipamentos e estimativa do tempo de secagem de certa quantidade de produtos. Dessa forma, estima-se o gasto energético, que influencia diretamente no custo de processamento e, conseqüentemente, no preço final do produto (ALEXANDRE et al., 2007).

A descrição da cinética de secagem de vários produtos alimentícios pode ser realizada por meio de modelagem matemática, em que são definidas equações das umidades ou mesmo dos números adimensionais de umidade em função do tempo para os diferentes períodos de secagem. Os modelos matemáticos são vistos como recursos importantes e bastante empregados no aprimoramento de processos (SILVA, 2015b; SILVA, 2019a).

#### *3.4.1 Modelagem Matemática*

Considerada como um conjunto de equações, a modelagem matemática possui significativa importância na descrição com precisão dos processos industriais, sendo considerada uma ferramenta útil para as tomadas de decisão, para a melhoria da eficiência do processo e também na redução dos ensaios exaustivos de laboratório (CASTIGLIONI et al., 2013; FERNANDES et al., 2018).

Existem diversos modelos matemáticos para o ajuste dos dados cinéticos de produtos alimentícios e cada qual possui sua peculiaridade em função das características de cada processo a ser analisado, que podem ser classificados em teóricos, semiteóricos ou empíricos (PORTO, 2011).

Os modelos matemáticos classificados como teóricos consistem na solução das equações da transferência de massa e de calor no material, levando em consideração os

diferentes mecanismos de transporte de umidade. Já nos modelos semiteóricos consideram a transferência de massa e admitem o processo como isotérmico. Os modelos empíricos são bastante utilizados e resultam em equações ajustadas com dados experimentais que descrevem de forma simples a umidade do material com o tempo para condições específicas do processo de secagem (VIEIRA, 2014).

Oliveira (2018) aplicou os modelos matemáticos de Lewis, Henderson e Pabis, Page e Logarítmico para descrição da cinética de secagem solar e em estufa dos frutos do juazeiro, sendo constatado que todos os modelos matemáticos utilizados se ajustaram de maneira satisfatória às curvas obtidas e o modelo de Page apresentou maior valor de coeficiente de determinação.

Entre os diversos modelos matemáticos, os de Lewis, Page, Henderson e Pabis, e Cavalcanti Mata são amplamente utilizados, pois, conforme testados por vários autores, descrevem com boa aproximação o comportamento da cinética de secagem (OLIVEIRA, 2018; SILVA, 2019a).

#### 3.4.1.1 Lewis

Para Lewis (1921) durante a taxa de secagem decrescente a mudança de umidade é proporcional à diferença instantânea entre o teor de umidade do material e o teor de umidade do material em equilíbrio com o ar de secagem. Lewis ainda considera que toda a resistência ao transporte de umidade encontra-se na camada limite, desconsiderando-se os efeitos no interior do material.

Na equação de Lewis a variável “k” é uma constante integrada a Equação 1, com a finalidade de incremento de tempo de 0 a t e teores de umidade decrescentes, tem-se o modelo exponencial:

$$RX=e^{(-kt)} \quad (1)$$

Onde:

RX – razão de umidade, adimensional,

k – constante de secagem, s<sup>-1</sup>,

t – tempo, em segundos.

A constante de secagem “k”, após ser investigada por diversos pesquisadores, pode ser descrita como uma equação do tipo Arrhenius, relacionada à temperatura do ar de secagem (HENDERSON; PABIS, 1961; RATTANAPANT et al., 1990).

### 3.4.1.2 Page

Page com seu modelo empírico descrito pela Equação 2, representa satisfatoriamente os dados de secagem de alimentos, sendo estes bastante empregados para descrever o comportamento de secagem de uma ampla variedade de materiais biológicos (TAN et al., 2001).

$$RX=e^{(-kt^n)} \quad (2)$$

Onde:

RX – razão de umidade, adimensional,

k – constante de secagem,  $s^{-1}$ ,

t – tempo, em segundos,

n – constante do modelo.

Há situações em que a teoria difusional não consegue ajustar os dados experimentais, especialmente quando há uma elevada interferência da resistência interna do material no processo de secagem, nesses casos, o modelo de Page, deve ser utilizado, pois a constante “n” apresenta um efeito de moderação do tempo e repara os prováveis erros decorrentes da negligência a respeito da resistência interna para a transferência de umidade (AZZOUZ et al., 1998; ALVES et al., 2013).

### 3.4.1.3 Henderson e Pabis

No geral, os modelos empíricos são derivações obtidas por simplificação das séries da Segunda Lei de Fick, sendo o modelo de Henderson e Pabis (1961) (Equação 3) o primeiro termo de uma série de soluções desta Lei (ALVES et al., 2013).

$$RX=ae^{(-kt)} \quad (3)$$

Onde:

RX – razão de umidade, adimensional,

a - constante do modelo,

k – constante de secagem,  $s^{-1}$ ,

t – tempo, em segundos.

O coeficiente “a” presente no modelo de Henderson e Pabis, reflete a extensão da resistência interna do produto às condições empregadas. O modelo de Henderson e Pabis é empregado com sucesso na predição das curvas de secagem de alimentos (OLIVEIRA, 2018).

#### 3.4.1.4 Cavalcanti Mata

Tendo como base a equação de Page (Equação 2), Cavalcanti Mata et al. (2006) desenvolveram uma equação (Equação 4) para descrever o processo de secagem, demonstrando que as curvas de secagem em camada fina não apresentam uma só curvatura.

$$RX = a_1 e^{(-kt^{n_1})} + a_2 e^{(-kt^{n_2})} + a_3 \quad (4)$$

Onde:

$RX$  – razão de umidade, adimensional,

$a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $n_1$  e  $n_2$  - constantes do modelo,

$k$  – constante de secagem,  $s^{-1}$ ,

$t$  – tempo, em segundos.

O modelo matemático de Cavalcanti Mata é amplamente utilizado na descrição de processos de secagem de produtos alimentícios permitindo um melhor ajuste da curva de secagem aos dados obtidos experimentalmente (SILVA et al., 2008; SOUSA, 2017; ANDRÉ et al., 2018; PEREIRA, 2018).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

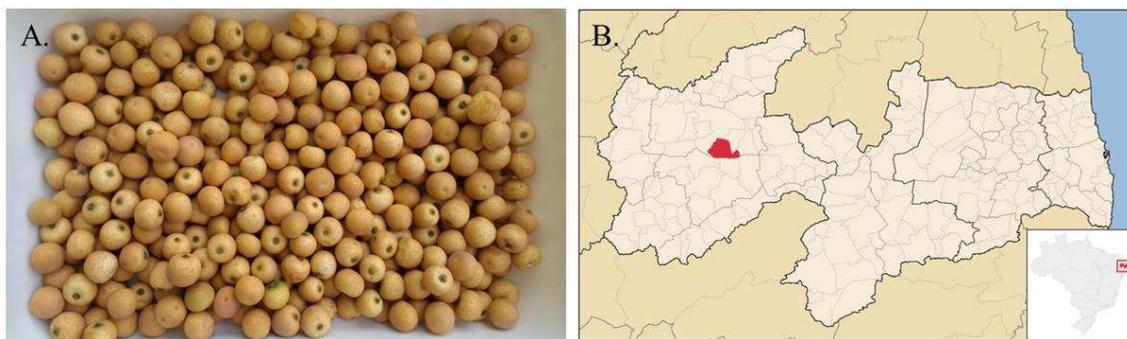
### 4.1 Local do Experimento

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Química, Bioquímica e Análise de Alimentos (LQBAA) e no Laboratório de Tecnologia de Produtos de Origem Vegetal (LTPOV) pertencentes à Unidade Acadêmica de Tecnologia de Alimentos (UATA), Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Pombal/PB.

### 4.2 Matéria-prima

Foram utilizados frutos do juazeiro no estágio de maturação IV, conforme carta de maturação desenvolvida por Silva (2015a) (Figura 3A). Os frutos foram provenientes de plantas localizadas na zona rural do município de Cajazeirinhas/PB (Figura 3B), caracterizado pelas coordenadas geográficas de 6°57'40'' de latitude S e 37°48'22'' de longitude W, a uma altitude de 261 m, que fica situado a 29 km de distância de Pombal/PB.

**Figura 3** – Frutos do juazeiro no estágio de maturação IV (A); localização geográfica do município de Cajazeirinhas/PB (B)

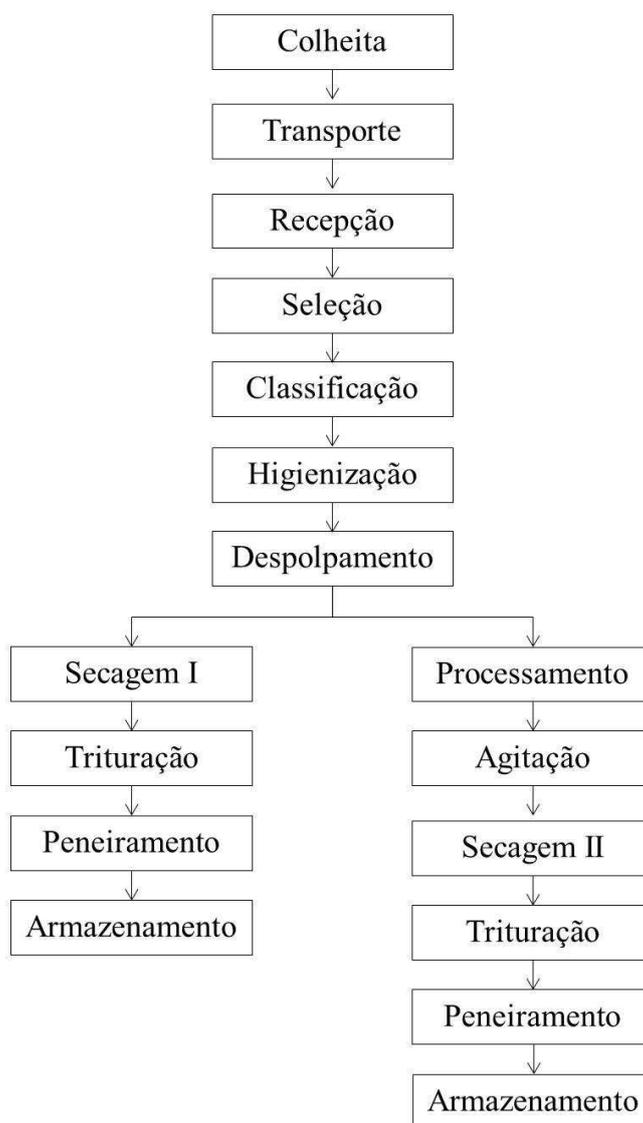


Fonte: A: Autora, 2021; B: <httpspt.wikipedia.org/wiki/Cajazeirinhas>

### 4.3 Obtenção das Farinhas

As etapas de processamento empregadas para obtenção das farinhas do fruto do juazeiro são ilustradas na Figura 4. Inicialmente, os frutos do juazeiro foram colhidos manualmente, no início da manhã, acondicionados em embalagens de polietileno de alta densidade e transportados através de veículo ao LQBAA do CCTA/UFCG, Campus Pombal/PB.

**Figura 4** – Etapas de processamento das farinhas da polpa/casca e da espuma do fruto do juazeiro



Fonte: Autora, 2021

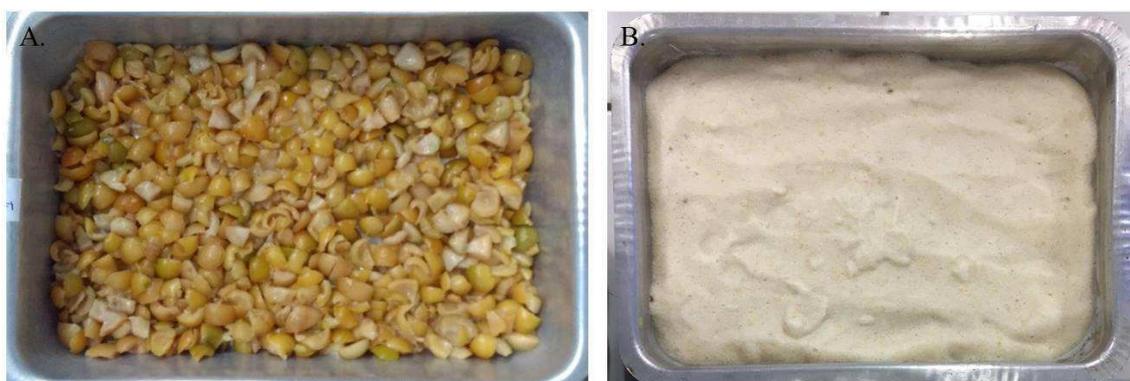
No laboratório, os frutos foram selecionados visualmente quanto à ausência de injúrias, de modo a obterem-se amostras uniformes e com qualidade. Logo após, foram classificados em estádios de maturação de acordo com a cor da casca do fruto. Para este experimento, foram utilizados frutos do estágio de maturação IV (frutos totalmente maduros).

Após a classificação, os frutos foram higienizados em água corrente e sanitizados utilizando-se, para isso, uma solução de 200 ppm de dicloroisocianurato de sódio dihidratado durante 10 minutos, seguido por enxague em solução de

dicloroisocianurato de sódio dihidratado a 5 ppm, também por 10 minutos. Em seguida os frutos foram encaminhados ao despulpamento.

A polpa/casca do fruto do juazeiro foi obtida por meio de despulpamento manual, em que foi realizada a retirada da semente. Parte da polpa/casca obtida foi acondicionada em bandejas de alumínio (Figura 5A) com dimensão de 21 x 30 x 4,5 cm, com espessura de camada de polpa/casca de 1 cm e submetida à secagem em estufa (Solab, SL 102) com circulação de ar nas temperaturas de 50, 55, 60, 65 e 70 °C.

**Figura 5** – Polpa/casca (A) e espuma (B) do fruto do juazeiro utilizadas para produção das farinhas



Fonte: Autora, 2021

Outra parcela da polpa/casca foi triturada em liquidificador doméstico (Mondial, Maxis filter) por 1 minuto e processada em batedeira planetária (Arno, Deluxe) por 20 minutos, não sendo realizada a adição de aditivos espumantes, emulsificantes e/ou estabilizantes. Após obter a espuma dos frutos do juazeiro, a mesma foi disposta em bandejas (Figura 5B) com dimensão de 21 x 30 x 4,5 cm, com espessura da camada de espuma de 1 cm e submetida à secagem em estufa (Solab, SL 102) com circulação de ar nas temperaturas de 50, 55, 60, 65 e 70 °C.

A polpa/casca e espuma, de todas as temperaturas de secagens, foram secas até peso constante, em seguida, foram removidas das bandejas com auxílio de espátulas, triturados em liquidificador doméstico (Mondial, Maxis filter) por 25 segundos, peneirados em peneira com abertura de 1,70 mm (12 mesh) e armazenadas em potes de vidro âmbar.

## 4.4 Determinações Analíticas

### 4.4.1 Caracterização da Espuma

A espuma obtida do processamento da polpa/casca do fruto do juazeiro foi analisada quanto à densidade aparente e à capacidade de incorporação de ar (*Over Run*).

– Densidade aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ): a determinação da densidade aparente da espuma foi realizada pela medição da massa e do volume da mesma. Pesou-se 10 g da amostra e transferiu-se para uma proveta de 100 mL, observando-se o deslocamento (SAMPAIO; SILVA, 2007);

– Incorporação de ar (%): o volume de ar introduzido em uma solução está diretamente relacionado com a capacidade de incorporação de ar. Essa capacidade pode ser determinada pelo volume da espuma formada. Para a determinação da incorporação de ar (*over run*) foi avaliado o volume da polpa/casca do fruto do juazeiro em um béquer de 500 mL antes e depois do processamento em batedeira (VASCONCELOS, 2017).

### 4.4.2 Caracterização da Polpa/casca do Fruto In Natura e das Farinhas

As análises listadas foram realizadas tanto para a polpa/casca dos frutos *in natura* quanto para as farinhas. Para a realização de todas as determinações analíticas, os frutos *in natura* foram despulpados manualmente com auxílio de facas e a polpa/casca submetida a processamento em liquidificador doméstico (Mondial, Maxis filter) por 1 minuto.

O tempo necessário para a secagem e rendimento das farinhas também foram analisados. O tempo de secagem (min) foi determinado quando as amostras atingiram peso constante. Já o rendimento das farinhas (%) foi calculado com base no peso do fruto *in natura* em relação ao peso das farinhas (após o material ser seco, triturado e peneirado).

#### 4.4.2.1 Análises Físico-químicas e Químicas

– Densidade aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ): determinada pela relação entre a massa da amostra e o volume ocupado por suas partículas sólidas. Pesou-se 5 g da amostra e transferiu-se para uma proveta de 10 mL, observando-se o deslocamento (SAMPAIO; SILVA, 2007);

- Solubilidade (%): pesou-se 0,1 g da amostra e transferiu-se para tubo de falcon, em seguida, 10 mL de água destilada foi adicionada ao tubo, que foi centrifugado a 3.000 rpm por 5 minutos. Cerca de 2 mL do sobrenadante foi transferido para placa de petri tarada, sendo levada à estufa (Solab, SL 101) a 105 °C por 5 h (CRUZ, 2013);
- Atividade de água: determinada por leitura direta em aparelho específico (Aqualab, Pre), que utiliza a técnica de determinação do ponto de orvalho em espelho encapsulado;
- Umidade (%): determinada por secagem em estufa (Solab, SL 101) a 105 °C de 1 g da amostra até peso constante de acordo com o método do Instituto Adolfo Lutz (2008);
- Cinzas (%): quantificadas pela incineração de 1 g da amostra em mufla (UP Brasil, UP 7L) a 550 °C até as cinzas ficarem brancas ou ligeiramente acinzentadas (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008);
- Colorimetria: analisada no sistema CIELAB utilizando-se um colorímetro (Konica Minolta, CR 300), sendo determinada a luminosidade, coordenadas a\* e b\*, cromaticidade, ângulo Hue, índice de cor e de escurecimento (BUERA et al., 1985; MAZZUZ, 1996; SENSING, 2007).
- Acidez titulável (%): determinada homogeneizando a amostra (3g para a polpa/casca do fruto e 0,5 g para farinhas) e água destilada, e titulando com NaOH 0,1 N até atingir o ponto de viragem do indicador fenolftaleína, sendo expressa em porcentagem de ácido cítrico (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008);
- pH: determinado por leitura direta das amostras da polpa/casca e no extrato preparado com 1 g da farinha e 5 mL de água destilada, utilizando potenciômetro digital de bancada (Digimed, DM-22);
- Sólidos solúveis (%): analisados por leitura direta das amostras da polpa/casca e no extrato preparado com 1 g da farinha e 5 mL de água destilada, utilizando refratômetro digital com compensação automática de temperatura (Brand, Digital Refractometer);
- Ratio: obtido pela razão dos valores de sólidos solúveis e da acidez titulável;
- Açúcares solúveis totais (g 100 g<sup>-1</sup>): determinados pelo método da Antrona, segundo Yemm; Willis (1954). Um extrato foi preparado diluindo a amostra (0,2 g para a polpa/casca do fruto e 0,1 g para as farinhas) em água destilada (100 mL para a polpa/casca do fruto e 300 mL para as farinhas). Uma solução contendo 0,1 mL do extrato, 0,9 mL de água destilada e 2,0 mL da solução de antrona (0,2%) foi preparada em tubos em banho de gelo. Os tubos foram agitados rapidamente em agitador

(Biomixer, QL-901) e colocados em banho termostático (Fisatom, 550) a 100 °C por 3 minutos. As leituras das amostras foram realizadas em espectrofotômetro (Biospectrum, SP 220) a 620 nm, utilizando-se como referência a glicose para obtenção da curva padrão;

– Açúcares redutores ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ ): quantificados pelo método do ácido dinitrosalicílico (MILLER, 1959). Um extrato foi preparado diluindo a amostra (1,5 g para a polpa/casca do fruto e 0,5 g para as farinhas) em 100 mL de água destilada. Uma solução contendo 0,2 mL do extrato, 1,3 mL de água destilada e 1,0 mL da solução de ácido dinitrosalicílico foi preparada em tubos. Os tubos foram agitados rapidamente em agitador (Biomixer, QL-901) e colocados em banho termostático (Fisatom, 550) a 100 °C por 5 minutos. O teor de açúcares redutores foi determinado por espectrofotometria (Biospectrum, SP 220) a 540 nm, utilizando glicose como referência para obtenção da curva padrão;

– Açúcares não redutores ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ ): determinados pela diferença dos açúcares solúveis totais e açúcares redutores.

#### 4.4.2.2 Análises dos Compostos Bioativos

– Ácido ascórbico ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ): a amostra (3,0 g para a polpa/casca do fruto e 0,5 g para as farinhas) foi homogeneizada em ácido oxálico (0,5%) e titulada com solução de Tillmans até atingir coloração rosa (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008);

– Clorofila total e carotenoides totais ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ): quantificados pelo método descrito por Lichtenthaler (1987), com adaptações. A amostra (2,0 g para a polpa/casca do fruto e 1,0 g para as farinhas) foi macerada com almofariz e pistilo em 0,2 g de carbonato de cálcio e 5 mL de acetona (80%) gelada. As amostras foram centrifugadas (Cientec) a 3.000 rpm por 10 minutos a 10 °C. A clorofila total e carotenoides totais do sobrenadante foram determinados por espectrofotometria (Biospectrum, SP 220) a 470, 646 e 663 nm;

– Compostos fenólicos totais ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ): foram estimados a partir do método de Folin e Ciocalteu descrito por Waterhouse (2012). Um extrato foi preparado diluindo a amostra (0,5 g para a polpa/casca do fruto e 0,1 g para as farinhas) em 50 mL de água destilada. Uma solução contendo 225  $\mu\text{L}$  do extrato, 1900  $\mu\text{L}$  de água destilada e 125  $\mu\text{L}$  do reagente Folin-Ciocalteu foi preparada em tubos. Os tubos foram agitados rapidamente em agitador (Biomixer, QL-901) e permaneceram em repouso por 5

minutos a temperatura ambiente. Duzentos e cinquenta microlitros de carbonato de sódio (20 %) foram adicionados, os tubos foram agitados novamente e colocados em banho termostático (Fisatom, 550) a 40 °C por 30 minutos. O teor de compostos fenólicos totais foi determinado por espectrofotometria (Biospectrum, SP 220) a 765 nm, utilizando ácido gálico como referência para obtenção da curva padrão e os resultados expressos em equivalente do ácido gálico (EAG) mg 100 g<sup>-1</sup> de massa;

– Flavonoides e antocianinas (mg 100 g<sup>-1</sup>): determinados a partir do método descrito por Francis (1982). A amostra (0,5 g para a polpa/casca do fruto e 0,1 g para as farinhas) foi macerada com almofariz e pistilo em 5 mL de etanol-HCl (1,5 N) e colocada em geladeira a 6 °C por 24 horas. As amostras foram filtradas em papel filtro e o teor de flavonoides e antocianinas foi quantificado por espectrofotometria (Biospectrum, SP 220) a 374 e 535 nm, respectivamente.

#### 4.4.2.3 Análises da Capacidade Antioxidante

– Capacidade antioxidante pela captura do radical livre DPPH (% inibição): foi determinada pelo método de captura do radical livre DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) de acordo com Rufino et al. (2007a) com modificações. Para a obtenção dos extratos, 0,5 g de amostra foi homogeneizada com 4 mL de metanol 50% e deixados em repouso por 60 minutos em temperatura ambiente. Em seguida, foram centrifugados por 30 minutos a 3.500 rpm, e os sobrenadantes foram coletados e reservados. No resíduo adicionou-se 4 mL de acetona 70%, homogeneizou-se e deixou-se em repouso por 60 minutos a temperatura ambiente. Em seguida, foram novamente centrifugados por 30 minutos a 3.500 rpm, os sobrenadantes foram coletados e misturados aos sobrenadantes resultantes da primeira centrifugação, completou-se o volume para 10 mL com água destilada. Foram preparadas três diluições com o extrato obtido, solução de metanol (50%) e acetona (70%), e 300 µL de DPPH 0,6 mM. A leitura foi feita em espectrofotômetro a 515 nm, a cada 5 minutos até a sua estabilização, a solução de metanol (50%) e acetona (70%) foi utilizado como branco. Como referência foi utilizado o DPPH para obtenção da curva padrão

– Capacidade antioxidante pela captura do radical livre ABTS<sup>•+</sup> (mM trolox g<sup>-1</sup>): foi determinada pelo método de captura do radical livre ABTS<sup>•+</sup> (2,2'-azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) de acordo com Rufino et al. (2007b) com adaptações. Para a obtenção dos extratos, 0,5 g de amostra foi homogeneizada com 4

mL de metanol 50% e deixados em repouso por 60 minutos em temperatura ambiente, em seguida, foram centrifugados por 30 minutos a 3.500 rpm, e os sobrenadantes foram coletados e reservados. No resíduo adicionou-se 4 mL de acetona 70%, homogeneizou-se e deixou-se em repouso por 60 minutos a temperatura ambiente. Em seguida, foram novamente centrifugados por 30 minutos a 3.500 rpm, os sobrenadantes foram coletados e misturados aos sobrenadantes resultantes da primeira centrifugação, completou-se o volume para 10 mL com água destilada. O radical ABTS<sup>•+</sup> foi formado pela reação da solução de ABTS 7 mM com solução de persulfato de potássio 140 mM, incubado a temperatura ambiente no escuro por 16 horas e logo depois, diluído em etanol até uma absorbância de  $0,70 \pm 0,05$  nm a 734 nm. A capacidade antioxidante das amostras foi estimada a partir da mistura de 30  $\mu$ L do extrato com 3,0 mL do radical ABTS<sup>•+</sup>. A leitura foi feita após 6 minutos da reação em espectrofotômetro a 734 nm e o etanol foi utilizado como branco. Como referência foi utilizado o trolox para obtenção da curva padrão.

#### **4.5 Delineamento Experimental e Análise Estatística**

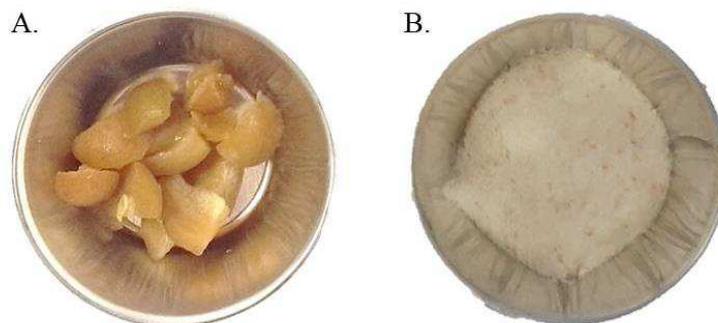
Para as análises das farinhas foi utilizado o Delineamento Inteiramente ao Acaso, em esquema fatorial 2x5, constando de duas formas de processamento (polpa/casca e espuma) e cinco temperaturas de secagem (50, 55, 60, 65 e 70 °C), com 5 repetições.

Efeitos do tipo de processamento e da temperatura de secagem foram avaliados pela estatística “F” da ANOVA e teste de Tukey, respectivamente. As comparações foram realizadas com auxílio do Software AgroEstat® (BARBOSA; MALDONADO JR, 2015).

#### **4.6 Cinética de Secagem**

A cinética de secagem foi realizada em triplicata em amostras de polpa/casca e espuma, em que cerca de 5 g de polpa/casca e espuma foram transferidas para fôrmas redondas de alumínio (Figura 6A e 6B) com dimensão de 5,4 x 1,7 cm. Dessa forma, as amostras foram submetidas à secagem utilizando estufa (Solab, SL 102) com circulação forçada de ar com velocidade do ar de secagem em torno de  $1 \text{ m s}^{-1}$ , nas temperaturas de 50, 55, 60, 65 e 70°C, por tempo determinado até o peso constante.

**Figura 6** – Polpa/casca (A) e espuma (B) do fruto do juazeiro para estudo da cinética de secagem



Fonte: Autora, 2021

Os dados obtidos na cinética de secagem foram submetidos aos dados experimentais expressos na forma de Razão da umidade (RX) calculados pela equação abaixo.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (5)$$

Onde:

RX – Razão da umidade (adimensional),

$X_e$  – teor de água de equilíbrio (base seca),

X – teor de água (base seca),

$X_0$  – teor de água inicial (base seca).

#### 4.6.1 Modelagem Matemática

Os dados experimentais da secagem da polpa/casca e espuma do fruto do juazeiro foram ajustados para os modelos matemáticos de Lewis, Page, Henderson e Pabis, e Cavalcanti Mata (Tabela 2). Os coeficientes das equações dos modelos foram obtidos mediante ajuste das curvas de secagem aos dados experimentais utilizando-se o software computacional Statistica, versão 10.0.

**Tabela 2** – Modelos matemáticos utilizados para descrição da cinética de secagem da polpa/casca e espuma do fruto do juazeiro

<b>Modelo</b>	<b>Equação</b>	<b>Referência</b>
Lewis	$RX=e^{(-kt)}$	Lewis (1921)
Page	$RX=e^{(-kt^n)}$	Page (1949)
Henderson e Pabis	$RX=ae^{(-kt)}$	Henderson e Pabis (1961)
Cavalcanti Mata	$RX=a_1e^{(-kt^{n_1})}+a_2e^{(-kt^{n_2})}+a_3$	Cavalcanti Mata et al. (2006)

Onde:

$RX$  – razão de umidade, adimensional,

$a_1, a_2, a_3, n, n_1$  e  $n_2$  - constantes do modelo,

$k$  – constante de secagem,  $s^{-1}$ ,

$t$  – tempo, em segundos.

Como critério de seleção para o modelo que melhor representou o processo de secagem, utilizou-se o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o desvio quadrático médio (DQM), calculado por meio da Equação 6, e o qui-quadrado ( $X^2$ ).

$$DQM=\sqrt{\frac{\sum(RX_{exp}-RX_{pre})^2}{N}} \quad (6)$$

Onde:

DQM – Desvio Quadrático Médio,

$RX_{exp}$  – razão de umidade obtida experimentalmente,

$RX_{pre}$  – razão de umidade predita pelo modelo matemático,

$N$  – número de observações ao longo do experimento.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização da Polpa/casca do Fruto *In Natura* e da Espuma

A composição da polpa/casca do fruto do juazeiro *in natura* utilizada para obtenção das farinhas encontra-se na Tabela 3. A densidade aparente determinada para a polpa/casca do fruto *in natura* foi de  $1,01 \text{ g cm}^{-3}$ . Trata-se de um parâmetro de qualidade importante, pois tem relação com a textura do fruto, além de ser utilizado na especificação de embalagens, transporte e armazenamento (CAVALCANTI MATA et al., 2005; MARTINS, 2019). A elevada solubilidade encontrada (98,77%) indica que a polpa/casca do fruto *in natura* possui maior capacidade em se manter como uma mistura homogênea com a água (DANTAS, 2018).

**Tabela 3** – Caracterização físico-química, química, compostos bioativos e capacidade antioxidante da polpa/casca do fruto do juazeiro *in natura*

Físico-químicas e químicas	Média ± Desvio padrão
Densidade aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )	1,01±0,01
Solubilidade (%)	98,77±0,63
Atividade de água	0,99±0,01
Umidade (%)	76,50±0,17
Cinzas (%)	0,71±0,01
Luminosidade	55,26±0,38
Coordenada a*	12,67±0,50
Coordenada b*	36,93±0,72
Cromaticidade	39,19±0,64
Ângulo Hue	70,83±0,56
Índice de cor	6,44±0,29
Índice de escurecimento	119,15±0,98
Acidez titulável (%)	0,16±0,01
pH	6,15±0,03
Sólidos solúveis (%)	21,94±0,33
Ratio	134,25±2,06
Açúcares solúveis totais ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ )	18,82±0,51
Açúcares redutores ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ )	1,92±0,02

Açúcares não redutores (g 100 g <sup>-1</sup> )	16,90±0,27
<b>Compostos bioativos</b>	<b>Média ± Desvio padrão</b>
Ácido ascórbico (mg 100 g <sup>-1</sup> )	5,35±0,12
Clorofila total (mg 100 g <sup>-1</sup> )	0,02±0,01
Carotenoides totais (mg 100 g <sup>-1</sup> )	0,10±0,01
Compostos fenólicos totais (mg 100 g <sup>-1</sup> )	361,75±14,93
Flavonoides (mg 100 g <sup>-1</sup> )	1,86±0,06
Antocianinas (mg 100 g <sup>-1</sup> )	0,15±0,01
<b>Capacidade antioxidante</b>	<b>Média ± Desvio padrão</b>
Capacidade antioxidante (% inibição DPPH)	76,43±0,02
Capacidade antioxidante (µM trolox g <sup>-1</sup> )	12,48±0,07

A elevada atividade de água e umidade, 0,99 e 76,50%, respectivamente, contribui para suculência dos frutos, mas influencia diretamente na sua conservação, pois facilita o crescimento microbiano e reações de deterioração (SILVA et al., 2018). O teor de minerais (cinzas) determinado para a polpa/casca do fruto *in natura* foi de 0,71%, estando dentro do intervalo previsto para frutos frescos (0,4 a 2,1%), podendo ser empregado como complemento importante no fornecimento de minerais da alimentação (CORREIA et al., 2011; SILVA et al., 2017b).

Os parâmetros de coloração analisados na polpa/casca do fruto (Tabela 3) indicam que a mesma apresenta tonalidade amarela, devido aos valores obtidos para coordenadas a\* (12,67), b\* (36,93) e ângulo Hue (70,83); e que tendem à tonalidade mais escura, decorrente da alta cromaticidade (39,19), índice de cor (6,44) e de escurecimento (119,15) (SILVA et al., 2020c).

Os resultados das propriedades físico-químicas (Tabela 3) demonstram que a polpa/casca do fruto é pouco ácida e bastante doce. Isso devido à baixa acidez (0,16%), ao fato de o pH estar próximo à neutralidade (6,15), ao elevado teor de sólidos solúveis (21,94%) e açúcares solúveis totais (18,82 g 100 g<sup>-1</sup>), fatores estes que podem atrair o paladar dos consumidores. Além disso, a polpa/casca do fruto apresentou ratio (134,25) bastante superior a frutos considerados agradáveis ao paladar, como goiaba (15,10), graviola (13,37), banana prata-anã (28,13), devido a sua baixa acidez e elevado teor de sólidos solúveis (SACRAMENTO et al., 2003; AZZOLINI et al., 2004; PIMENTEL et al., 2010).

A polpa/casca do fruto apresenta concentração notável de substâncias bioativas, especialmente compostos fenólicos (361,75 mg 100 g<sup>-1</sup>), ácido ascórbico (5,35 mg 100 g<sup>-1</sup>) e flavonoides (1,86 mg 100 g<sup>-1</sup>) (Tabela 3). Quando comparado a outros frutos, nota-se a superioridade na concentração de compostos fenólicos presentes na polpa/casca do fruto juazeiro, como, por exemplo, caju (248,00 mg 100 g<sup>-1</sup>), morango (241,00 mg 100 g<sup>-1</sup>), goiaba (124,00 mg 100 g<sup>-1</sup>) (FREIRE et al., 2013).

A elevada capacidade antioxidante encontrada (Tabela 3), 76,43% de inibição do radical livre DPPH e 12,48 µM trolox g<sup>-1</sup>, reforça que o fruto do juazeiro pode ser considerado um alimento funcional, uma vez que apresenta alta concentração de substâncias bioativas e capacidade antioxidante compatível ou superior a frutos reconhecidos pelo seu potencial antioxidante, como laranja lima (66,2%), tangerina ponkã (32,5%) e mamão (25,5% e 7,3 µM trolox g<sup>-1</sup>) (COUTO; CANNIATTI-BRAZACA, 2010; REIS et al., 2015a).

A polpa/casca do fruto do juazeiro apresentou alta capacidade espumante, não sendo necessária a adição de aditivos espumantes, emulsificantes e/ou estabilizantes para a formação da espuma, que pode estar relacionado à presença de proteínas, lipídeos e/ou saponinas (VASCONCELOS, 2017).

A espuma proveniente da polpa/casca do fruto do juazeiro apresentou densidade aparente (0,26±0,01 g cm<sup>-3</sup>) dentro da faixa recomendada (0,10 a 0,60 g cm<sup>-3</sup>) e incorporação de ar (275,00±15,00%) bastante superior à de espumas produzidas com auxílio de aditivos espumantes, como a espuma da goiaba com 10% de emulsificante (180,00%) e da acerola com uma combinação de aditivos (2% superliga, 4% albumina e 2% pectina) (269,00%) (SOARES et al., 2001; CRUZ, 2013).

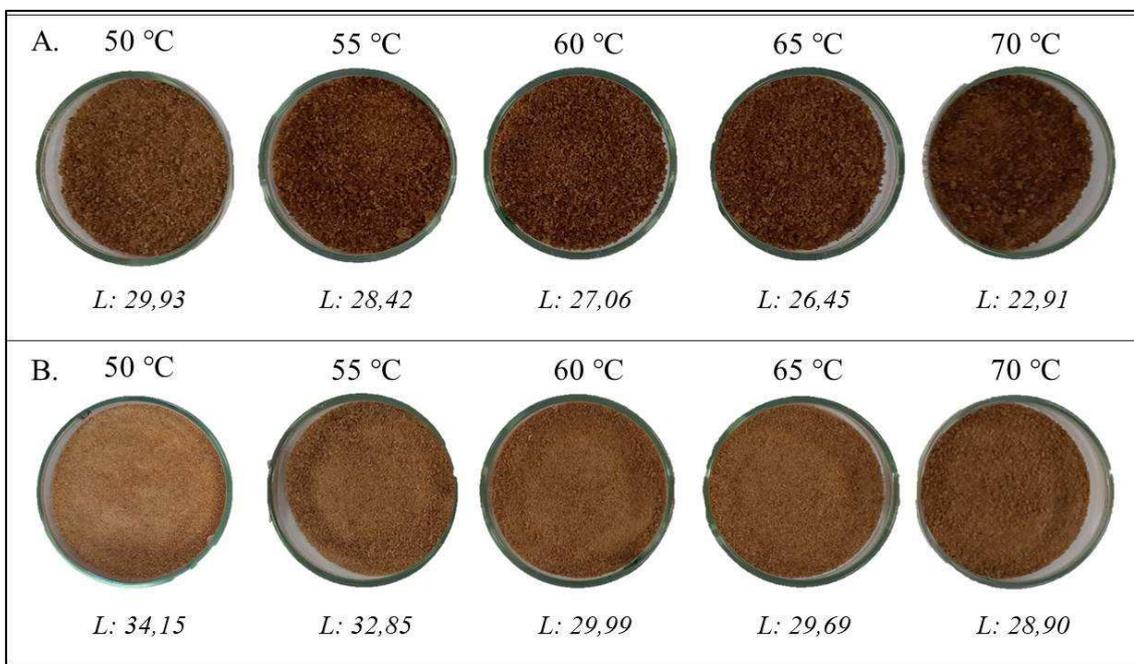
A densidade e incorporação de ar afetam diretamente a secagem, já que uma maior incorporação de ar e menor densidade implicam em maior expansão, maiores áreas de transferência de calor e massa, que se traduzem em altas taxas de evaporação e menor tempo de secagem (GERMANO, 2016).

## 5.2 Caracterização das Farinhas

O tipo de processamento e as temperaturas de secagem empregadas influenciaram na coloração das farinhas. Nota-se que as farinhas produzidas com a polpa/casca (Figura 7A) foram mais escuras do que as farinhas produzidas com a

espuma (Figura 7B). A elevação da temperatura de secagem resultou em coloração mais escura para os dois tipos de processamento.

**Figura 7** – Farinhas produzidas com a polpa/casca (A) e espuma (B) do fruto do juazeiro nas temperaturas de 50, 55, 60, 65 e 70 °C em estufa com circulação de ar



Fonte: Autora, 2021

Existem muitas mudanças químicas e físicas que ocorrem durante a secagem de um produto, estas podem afetar seu valor nutricional, textura, *flavor* e cor. A alteração na coloração das farinhas pode ser resultado das mudanças sofridas nos pigmentos em função do calor, das reações de escurecimento enzimático e não enzimático (CELESTINO, 2010; HEREDIA et al., 2010).

O maior índice de escurecimento identificado nas farinhas produzidas com a polpa/casca pode ser atribuído ao maior tempo de secagem. Nas farinhas produzidas com a espuma, tem-se que o processo de formação da espuma promove uma maior incorporação de ar na amostra. Dessa forma, o tempo de secagem será reduzido, minimizando assim as reações que resultam em escurecimento (DANTAS, 2010). Os tempos de secagem das farinhas são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4** – Tempo de secagem das farinhas da polpa/casca e da espuma do fruto do juazeiro nas temperaturas de 50, 55, 60, 65 e 70 °C em estufa com circulação de ar

Temperatura de secagem (°C)	Tempo de secagem (min)	
	Polpa/casca	Espuma
50	2.880	1.435
55	2.040	1.365
60	1.547	1.115
65	1.510	1.055
70	1.383	870

Nota-se que as farinhas produzidas com a espuma necessitaram de menor tempo de secagem quando comparadas as farinhas da polpa/casca (Tabela 4). Esse fato está relacionado à maior área superficial exposta ao ar quente proporcionada pela formação da espuma, resultando em maior transferência de calor e massa (FRANCO, 2015).

Tanto para as farinhas da polpa/casca quanto para as da espuma foi verificada redução gradativa no tempo de secagem com o aumento da temperatura de secagem. Um menor tempo de secagem resulta em economia no processo, bem como é visto como favorável à manutenção da qualidade do produto; mas, o emprego de temperaturas elevadas contribui efetivamente para degradação de nutrientes e pigmentos, alterações na coloração, o que reduz a qualidade do produto (CELESTINO, 2010; ZHANG et al., 2018).

### 5.2.1 Análises Físico-químicas e Químicas

O rendimento das farinhas do fruto do juazeiro foi influenciado pela interação entre o tipo de processamento e temperatura de secagem (Tabela 5). Com relação ao tipo de processamento, o rendimento das farinhas da espuma foi superior ao das farinhas da polpa/casca, independente da temperatura de secagem (Tabela 6).

**Tabela 5** – Rendimento, densidade aparente, solubilidade, atividade de água, umidade e cinzas das farinhas do fruto do juazeiro quando submetidas a diferentes processamentos e temperaturas de secagem

<b>Tipo de processamento (P)</b>	<b>Parâmetros</b>					
	Rendimento (%)	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )	Solubilidade (%)	Atividade de água	Umidade (%)	Cinzas (%)
Polpa/casca	11,83±0,69 <sup>1</sup>	0,70±0,07	92,99±1,65	0,34±0,03	14,79±0,81	2,97±0,53
Espuma	14,38±0,93	0,52±0,03	88,87±1,65	0,29±0,01	12,27±0,92	3,18±0,62
<b>Temperatura de secagem (T, °C)</b>						
50	12,51±0,75	0,61±0,05	93,05±1,52	0,34±0,04	14,34±0,91	2,60±0,12
55	12,45±1,26	0,60±0,07	91,09±2,77	0,33±0,03	13,70±1,29	2,62±0,10
60	12,79±1,80	0,58±0,09	91,17±3,34	0,32±0,03	13,66±1,51	2,74±0,08
65	13,52±1,85	0,59±0,09	89,84±1,96	0,31±0,03	13,13±1,64	3,54±0,51
70	14,25±1,37	0,66±0,17	89,51±2,11	0,28±0,01	12,82±1,94	3,86±0,07
<b>Valor da probabilidade (F) da ANOVA</b>						
P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001
T	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
PxT	<0,0001	<0,0001	0,0008	<0,0001	0,0118	0,0001
<b>CV (%)*</b>	1,40	1,80	1,01	0,79	4,68	5,65

<sup>1</sup>Média±Desvio Padrão; \*CV: Coeficiente de variação.

**Tabela 6** – Desdobramentos da interação do rendimento, densidade aparente, solubilidade, atividade de água, umidade e cinzas das farinhas do fruto do juazeiro quando submetidas a diferentes processamentos e temperaturas de secagem

Temperatura de secagem (°C)	Parâmetros					
	Rendimento (%)		Densidade (g cm <sup>-3</sup> )		Solubilidade (%)	
	Polpa/casca	Espuma	Polpa/casca	Espuma	Polpa/casca	Espuma
50	11,83±0,11bB <sup>1</sup>	13,18±0,18aC	0,66±0,01aB	0,56±0,01bA	94,23±1,30aA	91,87±0,19bA
55	11,31±0,24bC	13,59±0,19aC	0,67±0,01aB	0,54±0,03bB	93,65±1,00aA	88,54±0,11bB
60	11,16±0,22bC	14,42±0,24aB	0,67±0,01aB	0,50±0,01bC	94,12±1,52aA	88,23±1,03bB
65	11,83±0,17bB	15,20±0,14aA	0,68±0,01aB	0,50±0,01bC	91,54±1,08aB	88,14±0,54bB
70	13,00±0,20bA	15,49±0,09aA	0,83±0,01aA	0,50±0,01bC	91,43±0,67aB	87,58±0,57bB
Temperatura de secagem (°C)	Atividade de água		Umidade (%)		Cinzas (%)	
	Polpa/casca	Espuma	Polpa/casca	Espuma	Polpa/casca	Espuma
	50	0,38±0,01aA	0,31±0,01bA	15,06±0,63aA	13,62±0,41bA	2,55±0,03aC
55	0,36±0,01aB	0,29±0,01bB	14,88±0,54aA	12,52±0,14bAB	2,55±0,10aC	2,69±0,02aB
60	0,34±0,01aC	0,29±0,01bC	14,84±1,29aA	12,49±0,20bAB	2,77±0,10aC	2,71±0,02aB
65	0,33±0,01aD	0,29±0,01bC	14,59±0,84aA	11,67±0,22bBC	3,18±0,50bB	3,91±0,04aA
70	0,28±0,01aE	0,28±0,01aC	14,58±0,80aA	11,05±0,23bC	3,80±0,06aA	3,91±0,04aA

<sup>1</sup>Médias±Desvios padrão seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, minúscula na linha (tipos de processamento) e maiúscula na coluna (temperaturas de secagem), pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O rendimento representa a porcentagem de farinha obtida em relação à quantidade do fruto do juazeiro *in natura* após a secagem, trituração e peneiramento. Na etapa de peneiramento não houve retenção de material triturado das farinhas da espuma. No entanto, para as farinhas da polpa/casca, foi observado que uma parcela do material triturado ficou retida na peneira, decorrente do tamanho das partículas.

O rendimento das farinhas da polpa/casca aumentou com a elevação da temperatura de secagem no intervalo entre 60 a 70 °C, sem diferença estatística entre 50 e 65 °C e entre 55 e 60 °C (Tabela 6). Já para as farinhas da espuma, houve aumento gradativo com a elevação da temperatura de secagem, sendo as farinhas produzidas a 50 e 55 °C, e a 65 e 70 °C iguais estatisticamente. O rendimento das farinhas depende do método de secagem, do processo de preparação, da concentração dos açúcares (JESUS et al., 2005; SANTANA, 2005). Os resultados indicam que a temperatura de secagem influencia diretamente no rendimento.

A densidade aparente das farinhas do fruto do juazeiro foi influenciada pela interação entre o tipo de processamento e temperatura de secagem (Tabela 5). Com relação ao tipo de processamento, a densidade aparente das farinhas da polpa/casca foi superior à das farinhas da espuma, independentemente da temperatura de secagem (Tabela 6).

Valores inferiores da densidade aparente nas farinhas da espuma em comparação às farinhas da polpa/casca já eram esperados, por ser um produto bem mais expandido, devido à incorporação de ar para produção da espuma, que resulta diretamente em maior volume (SILVA et al., 2013). Visualmente as farinhas da polpa/casca apresentaram poucos espaços vazios presentes entre as partículas e uma maior capacidade de se compactar, fatos que explicam uma maior densidade (SOUSA, 2009; MARTINS, 2019).

A densidade aparente das farinhas da polpa/casca aumentou com a elevação da temperatura de secagem, sendo maior na temperatura de 70 °C, sem diferença estatística entre 50, 55, 60 e 65 °C (Tabela 6). Já para as farinhas da espuma, houve redução com o aumento na temperatura de secagem, sendo as farinhas produzidas a 60, 65 e 70 °C iguais estatisticamente. Normalmente, espera-se que o aumento da temperatura de secagem promova a diminuição da densidade da farinha (ENGEL et al., 2016).

A densidade aparente das farinhas da polpa/casca e da espuma foi próxima a de farinhas vegetais, como as produzidas com o araçá (0,57 g cm<sup>-3</sup>), fruta-pão (0,61 g cm<sup>-3</sup>)

e com resíduos de goiaba ( $0,51 \text{ g cm}^{-3}$ ) (SOUSA, 2009; SOUZA et al., 2012b; MARTINS, 2019).

Em relação à solubilidade das farinhas do fruto do juazeiro, foi detectada interação entre os fatores tipo de processamento e temperatura de secagem (Tabela 5). A secagem da polpa/casca gerou maior solubilidade em relação à secagem da espuma, independentemente da temperatura utilizada neste estudo (Tabela 6). O parâmetro solubilidade é utilizado para verificar a capacidade do pó para manter-se em mistura homogênea com a água. Dessa forma, as farinhas da polpa/casca apresentam estabilidade da mistura superior à das farinhas da espuma (VISSOTO et al., 2006).

A solubilidade das farinhas da polpa/casca foi maior nas temperaturas de 50, 55 e 60 °C em relação a 65 e 70 °C; bem como, foi superior na temperatura de 50 °C em comparação às demais temperaturas de secagem nas farinhas da espuma (Tabela 6). A elevação da temperatura de secagem pode ter provocado a desnaturação das proteínas, já que o calor é um agente desnaturante, e a desnaturação de proteínas, por sua vez, pode induzir a redução da solubilidade devido à alterações no balanço entre hidrofobicidade e hidrofiliabilidade (KHATTAB; ARNTFIELD, 2009; DAMODARAN et al., 2010).

A solubilidade das farinhas da polpa/casca e da espuma é superior à das farinhas do araçá (65,55%), de banana nanicao (25,20%), bem como da farinha mista de cascas de frutas (banana, manga, maracujá e laranja) (72,24%). Este é um fator importante, pois, pesquisas têm apontado que a alta solubilidade é desejável para farinhas, uma vez que proporcionará fácil reidratação (PIRES et al., 2017; MATOS et al., 2018; MARTINS, 2019).

A atividade de água foi influenciada pela interação entre o tipo de processamento e a temperatura de secagem (Tabela 5). A secagem da polpa/casca resultou em maior atividade de água que da espuma, na maioria das temperaturas de secagem (Tabela 6). No entanto, ambas são satisfatórias, pois ficaram dentro da faixa ( $\leq 0,60$ ) onde as reações químicas e o crescimento de microrganismos não existem ou são muito pequenos, evitando a deterioração do material (CELESTINO, 2010; SILVA, 2019b).

Em relação às temperaturas de secagem, foi constatada uma redução da atividade de água nas farinhas da polpa/casca, com diferença estatística entre todas as temperaturas, bem como nas farinhas da espuma, sendo as temperaturas de 60, 65 e 70

°C iguais estatisticamente (Tabela 6). Esse comportamento evidencia que a atividade de água diminui à medida que a temperatura de secagem aumenta (FELLOWS, 2006).

Os resultados da atividade de água das farinhas da polpa/casca e da espuma são próximos ao de outras farinhas vegetais, como a de caju (0,31) e de algaroba (0,31) (SOUZA; CORREIA, 2013; SANTOS et al., 2015).

Foi detectada uma interação entre os fatores tipo de processamento e temperatura de secagem para a umidade (Tabela 5). Com relação ao tipo de processamento, a umidade foi superior nas farinhas da polpa/casca, independentemente da temperatura de secagem (Tabela 6). Esse fato pode ser atribuído à taxa de transferência de calor e massa, que na secagem da espuma tende a ser maior, resultando em maior eliminação de água e, conseqüentemente, em menor umidade (FRANCO, 2015).

Entre as temperaturas de secagem, observa-se para ambos os tipos de processamento, uma redução gradativa da umidade com a elevação da temperatura (Tabela 6). Nas farinhas da polpa/casca, não foram constatadas diferenças estatísticas entre as temperaturas, já para as farinhas da espuma, as temperaturas de 50, 55 e 60 °C não apresentam diferença, assim como 55, 60 e 65 °C, e 65 e 70 °C. Daí conclui-se que quanto maior for à temperatura de secagem, maior será o ganho em energia cinética das moléculas, resultando em maior redução da umidade existente (DIOSADY et al., 1996; FEITOSA et al., 2013).

Todas as farinhas produzidas estão dentro do padrão exigido para o teor de umidade máximo em farinhas (15,00%), exceto a farinha da polpa/casca produzida a 50 °C (15,06%), que apresentou umidade ligeiramente superior à estabelecida pela legislação vigente (BRASIL, 2005).

Houve interação significativa entre os fatores tipo de processamento e temperatura de secagem para os resultados das cinzas (Tabela 5). As farinhas da espuma apresentaram maior quantidade de cinzas quando comparadas às farinhas da polpa/casca, na maioria das temperaturas de secagem (Tabela 6). Os resultados das cinzas de ambos os tipos de processamento estão condizentes com a legislação vigente, que estabelece um limite máximo de 6,00% para teor de cinzas em algumas farinhas vegetais (BRASIL, 2005).

Ambos os tipos de processamento resultaram em elevação no conteúdo de cinzas com o aumento da temperatura de secagem (Tabela 6). Para as farinhas da polpa/casca,

as temperaturas de 50, 55 e 60 °C foram iguais estatisticamente. Quanto às farinhas da espuma, estas não diferiram entre si nas temperaturas de 50, 55 e 60 °C, assim como, 65 e 70 °C. A elevação observada no conteúdo de cinzas se deve, provavelmente, a maior redução de umidade (Tabela 6) que promove acúmulo dos demais constituintes, como os minerais (SANTOS et al., 2015).

Os valores das cinzas encontrados para todas as farinhas do presente trabalho apresentaram-se superiores ao teor de cinzas das farinhas de trigo tipo 1, 2 e integral (0,80, 1,40 e 2,50%, respectivamente), possivelmente devido à maior presença de minerais em cascas de frutos (BRASIL, 2005; MORENO, 2016).

A luminosidade das farinhas foi influenciada pela interação entre o tipo de processamento e a temperatura de secagem (Tabela 7). Com relação ao tipo de processamento, as farinhas da espuma apresentaram maior luminosidade que as farinhas da polpa/casca, independente da temperatura de secagem (Tabela 8).

A maior luminosidade detectada nas farinhas da espuma, as tornam mais claras que as farinhas da polpa/casca, fato que pode ser constatado visualmente (Figura 7). Para farinhas, quanto mais clara for sua coloração, maior a sua aceitação, pois sua incorporação como ingrediente em formulações de alimentos terá menor impacto na cor final do produto (BEZERRA et al., 2013).

A elevação da temperatura de secagem promoveu redução da luminosidade tanto para as farinhas da polpa/casca, quanto para as farinhas da espuma, sendo as temperaturas de 60 e 65 °C das farinhas da polpa/casca e de 60, 65 e 70 °C das farinhas da espuma, iguais estatisticamente (Tabela 8). Fato que pode estar relacionado à maior retirada de água (menor umidade), que resulta em produtos um pouco mais concentrados e, conseqüentemente, mais escuros (TONON et al., 2009).

A luminosidade das farinhas foi inferior à da farinha de trigo (93,38), mas próxima à da farinha da acerola (36,10), da farinha mista de cascas de frutas (banana, manga, maracujá e laranja) (35,76) (BALHMANN; LANZARINI, 2013; REIS et al., 2017; MATOS et al., 2018).

Foi constatada interação entre os fatores tipo de processamento e temperatura de secagem para a coordenada  $a^*$  (Tabela 7). Independentemente da temperatura, a secagem da polpa/casca promoveu maiores valores para coordenada  $a^*$  quando comparada a secagem da espuma (Tabela 8). A coordenada  $a^*$  indica a variação da cor verde ( $-a^*$ ) a vermelha ( $+a^*$ ).

**Tabela 7** – Luminosidade, coordenada a\* e b\*, cromaticidade, ângulo Hue, índice de cor e de escurecimento das farinhas do fruto do juazeiro quando submetidas a diferentes processamentos e temperaturas de secagem

Tipo de processamento (P)	Parâmetros						
	Luminosidade	Coordenada a*	Coordenada b*	Cromaticidade	Ângulo Hue	Índice de cor	Índice de escurecimento
Polpa/casca	26,95±2,52 <sup>1</sup>	9,97±0,86	22,85±0,95a	24,54±1,31a	66,19±2,24	16,50±3,28	179,76±25,35
Espuma	31,12±2,12	8,61±0,26	23,39±2,01a	24,84±2,11a	69,47±1,31	12,04±1,91	143,80±14,15
<b>Temperatura de secagem (T, °C)</b>							
50	32,04±2,36	8,91±0,58	24,81±1,04a	26,38±0,87a	70,13±1,99	11,38±2,02	149,78±10,59
55	30,64±2,42	9,03±0,69	24,03±1,13a	26,02±1,07a	68,51±1,11	12,44±2,10	154,37±16,54
60	28,53±1,80	8,98±0,51	22,55±0,56b	24,22±0,47b	67,94±1,15	14,06±1,74	157,30±15,39
65	28,07±1,76	9,55±1,15	22,23±1,93b	23,76±1,96b	66,58±2,42	15,49±2,67	161,68±26,65
70	25,91±3,18	9,98±1,17	22,01±0,68b	23,07±1,16b	65,99±2,94	17,98±4,19	185,76±42,77
<b>Valor da probabilidade (F) da ANOVA</b>							
P	<0,0001	<0,0001	ns*	ns	<0,0001	<0,0001	<0,0001
T	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
PxT	0,0002	0,0201	ns	ns	<0,0001	<0,0001	<0,0001
<b>CV (%)**</b>	2,45	4,87	4,89	4,96	1,16	7,04	7,87

<sup>1</sup>Médias±Desvios Padrão seguidos de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; \*ns: não significativo; \*\*CV: Coeficiente de variação.

**Tabela 8** – Desdobramentos da interação da luminosidade, coordenada a\*, ângulo Hue, índice de cor e de escurecimento das farinhas do fruto do juazeiro quando submetidas a diferentes processamentos e temperaturas de secagem

Temperatura de secagem (°C)	Parâmetros					
	Luminosidade		Coordenada a*		Ângulo Hue	
	Polpa/casca	Espuma	Polpa/casca	Espuma	Polpa/casca	Espuma
50	29,93±1,02bA <sup>1</sup>	34,15±0,60aA	9,43±0,15aC	8,38±0,23bA	68,36±0,85bA	71,90±0,57aA
55	28,42±0,82bB	32,85±0,53aB	9,58±0,55aBC	8,48±0,17bA	67,91±1,32bA	69,10±0,37aB
60	27,06±1,28bC	29,99±0,52aC	9,43±0,28aC	8,53±0,10bA	66,97±0,70bA	68,91±0,39aB
65	26,45±0,36bC	29,69±0,55aC	10,34±1,18aAB	8,76±0,22bA	64,37±0,86bB	68,79±0,52aB
70	22,91±0,29bD	28,90±0,54aC	11,07±0,29aA	8,90±0,21bA	63,33±1,26bB	68,66±0,30aB
Temperatura de secagem (°C)	Índice de cor		Índice de escurecimento			
	Polpa/casca	Espuma	Polpa/casca	Espuma		
	50	13,18±0,86aD	9,57±0,49bB	159,12±5,01aB	140,44±3,05bA	
55	14,34±0,72aCD	10,54±0,62bB	168,22±4,02aB	140,53±5,98bA		
60	15,61±0,79aC	12,52±0,41bA	169,53±12,16aB	145,08±3,36bA		
65	17,51±0,95aB	13,48±0,45bA	176,99±1,85aB	146,36±6,75bA		
70	21,88±1,05aA	14,08±0,65bA	224,95±6,50aA	146,58±2,45bA		

<sup>1</sup>Médias±Desvios padrão seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, minúscula na linha (tipos de processamento) e maiúscula na coluna (temperaturas de secagem), pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A elevação da temperatura de secagem promoveu aumento nos valores da coordenada  $a^*$  para ambos os tipos de processamento, sendo as temperaturas de 50, 55 e 60 °C, 55 e 65 °C, 65 e 70 °C iguais estatisticamente nas farinhas da polpa/casca (Tabela 8). Não houve diferença estatística entre as temperaturas nas farinhas da espuma. Visualmente foi possível identificar, especialmente nas farinhas da polpa/casca, a intensificação da tonalidade amarronzada com a elevação da temperatura de secagem (Figura 7).

Não foi identificada interação significativa entre o tipo de processamento e a temperatura de secagem para os resultados da coordenada  $b^*$  (Tabela 7). Não houve diferença estatística entre o tipo de processamento, mas nota-se sutil superioridade para as farinhas da espuma. A coordenada  $b^*$  indica a variação entre azul ( $-b^*$ ) e amarelo ( $+b^*$ ), como pode ser observado visualmente (Figura 7), as farinhas da espuma apresentaram coloração mais próxima ao amarelo do que as farinhas da polpa/casca.

Houve leve redução da coordenada  $b^*$  com a elevação da temperatura de secagem, sendo as temperaturas de 50 e 55 °C, de 60, 65 e 70 °C, iguais estatisticamente (Tabela 7). Para Oliveira et al. (2016) o aumento da temperatura de secagem proporciona maiores alterações de cor, indicando perda no aspecto qualitativo.

Não foi identificada interação significativa entre o tipo de processamento e a temperatura de secagem para a cromaticidade (Tabela 7). A cromaticidade é a representação da expressividade, nitidez, intensidade da cor do produto analisado (MARTINAZZO, 2006). Com isso, pode-se dizer que não houve diferença significativa na nitidez da coloração das farinhas produzidas com a polpa/casca e com a espuma.

Houve sutil redução da cromaticidade com a elevação da temperatura de secagem, não apresentando diferença estatística as temperaturas de 50 e 55 °C, e de 60, 65 e 70 °C (Tabela 7). Dessa forma, quanto maior for a temperatura de secagem, menor será a intensidade de percepção da cor em ambas as farinhas.

O resultado para o ângulo Hue foi influenciado pela interação entre o tipo de processamento e a temperatura de secagem (Tabela 7). Com relação ao tipo de processamento, as farinhas da espuma apresentaram valores do ângulo Hue superiores às da polpa/casca, independente da temperatura de secagem (Tabela 8). As farinhas da polpa/casca apresentam ângulo próximo à tonalidade laranja, já as farinhas da espuma se aproximaram do ângulo que corresponde à cor laranja-amarelo (TIBOLA et al., 2005).

Nota-se que a elevação da temperatura de secagem promoveu redução do ângulo Hue para as farinhas da polpa/casca e da espuma (Tabela 8). Nas farinhas da polpa/casca, as temperaturas de 50, 55 e 60 °C, e 65 e 70 °C não diferem entre si; já para as farinhas da espuma, apenas a temperatura de 50 °C difere das demais. A redução do ângulo Hue com a elevação da temperatura de secagem já foi retratada por outros autores e reflete em mudança de coloração das farinhas (OLIVEIRA et al., 2016).

O índice de cor das farinhas foi afetado pela interação entre os fatores tipo de processamento e temperatura de secagem (Tabela 7). Entre os tipos de processamento, as farinhas da polpa/casca apresentaram maior índice de cor do que as farinhas da espuma, independente da temperatura de secagem (Tabela 8). Tal fato indica tonalidade vermelha às farinhas da polpa/casca e coloração mais amarelada as farinhas da espuma (SPÓSITO, 2004).

A elevação da temperatura promoveu aumento progressivo no índice de cor para farinhas da polpa/casca e da espuma, sendo para as farinhas da polpa/casca as temperaturas de 50 e 55 °C, e 55 e 60 °C, iguais estatisticamente (Tabela 8). Já nas farinhas da espuma, as temperaturas de 50 e 55 °C e de 60, 65 e 70 °C não apresentaram diferença estatística. A elevação do índice de cor resultou, especialmente para as farinhas da polpa/casca, em tonalidade mais amarronzada (Figura 7A).

Houve interação significativa entre os fatores tipo de processamento e temperatura de secagem para o índice de escurecimento (Tabela 7). Assim como foi observado visualmente (Figura 7), a secagem da polpa/casca promoveu maior escurecimento nas farinhas do que a secagem da espuma, independente da temperatura de secagem (Tabela 8), que deve estar relacionado ao maior tempo de secagem empregado (Tabela 4).

O índice de escurecimento evoluiu com a elevação da temperatura de secagem, especialmente nas farinhas da polpa/casca (Tabela 8). As temperaturas de 50, 55, 60 e 65 °C não diferiram estatisticamente nas farinhas da polpa/casca, já nas farinhas da espuma as temperaturas de secagem não apresentam diferença estatística. O maior índice de escurecimento nas temperaturas mais elevadas pode estar relacionado à ocorrência da reação de Maillard, que provoca o surgimento de pigmentos escuros quando o alimento é submetido a altas temperaturas (BATISTA et al., 2014).

Foi constatada interação entre o tipo de processamento e temperatura de secagem para a acidez titulável (Tabela 9). Com exceção da temperatura de secagem de

50 °C, a acidez titulável foi superior nas farinhas da polpa/casca quando comparadas as farinhas da espuma, mas todas demonstraram baixa acidez (Tabela 10). É desejada baixa acidez nas farinhas, pois influencia diretamente na sua qualidade, estando relacionada com as características sensoriais, bem como representa o seu estado de conservação (CHISTÉ, 2007; ORTOLAN et al., 2010).

A elevação da temperatura de secagem resultou em aumento da acidez para as farinhas da polpa/casca, sendo as temperaturas de 55, 60 e 65 °C, e 50 e 65 °C, iguais estatisticamente (Tabela 10). Entretanto, nas farinhas da espuma houve redução da acidez, não havendo diferença estatística entre as temperaturas de 55, 60, 65 e 70 °C. O acréscimo da acidez em farinhas pode ser devido à remoção da água e consequente acúmulo dos seus ácidos (PONTES et al., 2007). Já a redução da acidez com a elevação da temperatura de secagem pode estar relacionada à eliminação por vaporização da acidez volátil, conforme retratado por Guiné (2000).

O pH das farinhas foi influenciado pela interação entre os fatores tipo de processamento e temperatura de secagem (Tabela 9). As farinhas da polpa/casca apresentaram pH superior ao das farinhas da espuma, para a maioria das temperaturas de secagem (Tabela 10).

Não foi constatado um comportamento regular de elevação ou decaimento do pH nas farinhas da polpa/casca e da espuma com o aumento na temperatura de secagem (Tabela 10). Sendo iguais estatisticamente as farinhas da polpa produzidas a 50, 55 e 60 °C, e as da espuma a 55, 60 e 65 °C, além de, 60, 65 e 70 °C (Tabela 10). Se apenas os extremos das temperaturas forem observados, nota-se redução de pH nas farinhas da polpa/casca e elevação nas farinhas da espuma. A redução do pH pode ser atribuída a concentração de ácidos devido à eliminação de água e sua elevação pode ser decorrente da degradação de ácidos voláteis (GUINÉ, 2000; PONTES et al., 2007).

Os sólidos solúveis foram influenciados pela interação entre o tipo de processamento e a temperatura de secagem (Tabela 9). As farinhas da polpa/casca apresentaram concentração superior de sólidos solúveis quando comparadas às farinhas da espuma, exceto na temperatura de 50 °C, onde não apresentaram diferença estatística (Tabela 10). Tal fato se dá, provavelmente, devido às diferenças no processamento das farinhas (STORCK et al., 2015).

**Tabela 9** – Acidez titulável, pH, sólidos solúveis, ratio, açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR) e açúcares não redutores (ANR) das farinhas do fruto do juazeiro quando submetidas a diferentes processamentos e temperaturas de secagem

Tipo de processamento (P)	Parâmetros						
	Acidez titulável (%)	pH	Sólidos solúveis (%)	Ratio	AST (g 100 g <sup>-1</sup> )	AR (g 100 g <sup>-1</sup> )	ANR (g 100 g <sup>-1</sup> )
Polpa/casca	1,14±0,15 <sup>1</sup>	5,83±0,11	75,11±2,02	66,69±7,15	63,68±4,17b	9,42±0,69	54,26±4,11b
Espuma	0,99±0,16	5,51±0,38	72,76±1,20	75,16±10,25	68,35±1,07a	10,30±0,41	58,05±1,12a
<b>Temperatura de secagem (T, °C)</b>							
50	1,14±0,16	5,31±0,55	72,25±0,63	64,46±9,36	63,33±4,61b	9,67±0,57	53,66±4,16b
55	1,01±0,13	5,78±0,06	73,25±1,44	73,35±8,47	65,98±3,02ab	9,67±0,49	56,31±2,65ab
60	1,00±0,12	5,80±0,10	74,30±1,97	74,97±7,00	66,11±2,86ab	10,74±0,37	55,38±2,57ab
65	0,98±0,09	5,83±0,14	74,50±1,96	76,15±5,81	66,50±2,77ab	9,33±0,61	57,18±2,28a
70	1,18±0,24	5,65±0,04	75,37±2,38	65,69±11,90	68,15±4,48a	9,89±0,68	58,26±4,31a
<b>Valor da probabilidade (F) da ANOVA</b>							
P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
T	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0054	<0,0001	0,0036
PxT	<0,0001	<0,0001	0,0058	<0,0001	ns*	0,0467	ns
<b>CV (%)**</b>	4,60	0,69	1,54	4,84	3,99	2,95	4,59

<sup>1</sup>Médias±Desvios padrão seguidos de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; \*ns: não significativo; \*\*CV: Coeficiente de variação.

**Tabela 10** – Desdobramentos da interação da acidez titulável, pH, sólidos solúveis, ratio e açúcares redutores das farinhas do fruto do juazeiro quando submetidas a diferentes processamentos e temperaturas de secagem

Temperatura de secagem (°C)	Parâmetros					
	Acidez titulável (%)		pH		Sólidos solúveis (%)	
	Polpa/casca	Espuma	Polpa/casca	Espuma	Polpa/casca	Espuma
50	1,00±0,07bC <sup>1</sup>	1,28±0,01aA	5,84±0,03aB	4,78±0,03bC	72,30±0,45aC	72,20±0,84aA
55	1,13±0,07aB	0,89±0,01bB	5,82±0,02aB	5,73±0,04bA	74,10±1,43aBC	72,40±0,89bA
60	1,10±0,05aB	0,90±0,01bB	5,88±0,06aB	5,71±0,05bAB	75,80±0,67aAB	72,80±1,64bA
65	1,07±0,01aBC	0,89±0,01bB	5,96±0,02aA	5,70±0,05bAB	76,00±1,00aAB	73,00±1,41bA
70	1,40±0,08aA	0,97±0,07bB	5,66±0,03aC	5,65±0,05aB	77,34±1,36aA	73,40±1,14bA
Temperatura de secagem (°C)	Ratio		Açúcares redutores (g 100 g <sup>-1</sup> )			
			Polpa/casca		Espuma	
	Polpa/casca	Espuma	Polpa/casca	Espuma	Polpa/casca	Espuma
50	72,68±5,23aA	56,23±0,79bB	9,21±0,45bBC	10,12±0,12aBC		
55	65,92±4,69bB	80,77±1,33aA	9,26±0,34bBC	10,09±0,04aBC		
60	68,76±3,36bAB	81,18±1,62aA	10,54±0,45bA	10,94±0,10aA		
65	70,81±1,36bAB	81,49±1,70aA	8,77±0,23bC	9,88±0,09aC		
70	55,27±2,99bC	76,11±2,19aA	9,32±0,35bB	10,47±0,34aAB		

<sup>1</sup>Médias±Desvios padrão seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, minúscula na linha (tipos de processamento) e maiúscula na coluna (temperaturas de secagem), pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O aumento da temperatura de secagem resultou em elevação gradativa no conteúdo de sólidos solúveis das farinhas da polpa/casca e da espuma (Tabela 10). Para as farinhas da polpa/casca, as temperaturas de 50 e 55 °C, de 55, 60 e 65 °C, e de 60, 65 e 70 °C, não diferiram estatisticamente. Já para as farinhas da espuma, não houve diferença estatística entre as temperaturas. A elevação nos sólidos solúveis já era esperada devido ao aumento da evaporação de água livre com o incremento da temperatura de secagem, causando, conseqüentemente, maior redução no teor de água (ARAÚJO et al., 2015).

Foi identificada interação entre os fatores tipo de processamento e temperatura de secagem para o ratio (Tabela 9). As farinhas da espuma apresentaram ratio superior às farinhas da polpa/casca, exceto na temperatura de secagem de 50 °C (Tabela 10), fato atribuído à menor acidez determinada nas farinhas da espuma (Tabela 10). Para Chitarra; Chitarra (2005) o ratio é indicativo de sabor, relacionado ao equilíbrio de ácidos e açúcares, dessa forma pode-se dizer que as farinhas da espuma apresentam sabor mais agradável do que as farinhas da polpa/casca.

Não foi observado comportamento progressivo de aumento ou redução de ratio com a elevação da temperatura de secagem (Tabela 10). Nota-se que para as farinhas da polpa/casca, o maior ratio foi observado na temperatura de secagem de 50 °C, já nas farinhas da espuma, o ratio foi estatisticamente igual nas temperaturas de 55, 60, 65 e 70 °C. Com isso, em relação a sabor, as farinhas da espuma secas no intervalo de 55 a 70 °C se sobressaíram em relação às demais.

Não foi identificada interação significativa entre o tipo de processamento e a temperatura de secagem para os resultados dos açúcares solúveis totais (Tabela 9). Os resultados demonstram superioridade na concentração de açúcares solúveis totais nas farinhas da espuma se comparadas às farinhas da polpa/casca.

Em relação às temperaturas de secagem, nota-se que sua elevação acarretou no aumento dos teores de açúcares solúveis totais nas farinhas, sem diferença estatística entre 50, 55, 60 e 65 °C, além de 55, 60, 65 e 70 °C (Tabela 9). Essa resposta é decorrente da maior remoção de umidade e reflete diretamente no rendimento das farinhas (Tabela 6), em que quanto menor a umidade, maior será a concentração de açúcares solúveis totais e conseqüentemente, maior será o rendimento da farinha (JESUS et al., 2005).

Os açúcares solúveis totais das farinhas produzidas são superiores ao encontrado para farinhas vegetais, como, da farinha da manga “Rosa” e “Tommy Atkins” (40,47 e 39,42 g 100 g<sup>-1</sup>) (BEZERRA et al., 2011), do pedúnculo do caju (26,11 g 100 g<sup>-1</sup>) (SANTOS et al., 2015), entre outros.

Houve interação entre os fatores tipo de processamento e temperatura de secagem para os açúcares redutores (Tabela 9). As farinhas da espuma se sobressaíram em comparação às farinhas da polpa/casca na concentração de açúcares redutores, independentemente da temperatura de secagem (Tabela 10). A presença de açúcares redutores é relevante, pois potencializam o sabor e auxiliam no desenvolvimento da cor das farinhas, devido à reação de Maillard, que ocorre em alimentos submetidos a elevadas temperaturas (BOBBIO; BOBBIO, 2001).

A secagem a 60 °C promoveu maior concentração de açúcares redutores tanto para as farinhas da polpa/casca quanto da espuma (Tabela 10). As temperaturas de 50, 55 e 70 °C, e 50, 55 e 65 °C não diferiram entre si tanto para as farinhas da polpa/casca, quanto para as da espuma. O comportamento dos açúcares redutores durante a elevação da temperatura de secagem tem relação com a eliminação de umidade e com as reações de degradação que ocorrem com o aquecimento (BOBBIO; BOBBIO, 2001; ARAÚJO et al., 2015).

Não foi identificada interação significativa entre os fatores tipo de processamento e temperatura de secagem para os resultados dos açúcares não redutores (Tabela 9). As farinhas da espuma apresentaram concentração superior de açúcares não redutores quando comparada as farinhas da polpa/casca, fato já esperado, já que a mesma apresentou maior concentração de açúcares solúveis totais e redutores (Tabela 9).

A elevação da temperatura de secagem resultou em crescente aumento nos açúcares não redutores, sem diferença estatística entre as temperaturas de 50, 55 e 60 °C, bem como, entre 55, 60 65 e 70 °C (Tabela 9). Assim como para os demais açúcares, esse comportamento está atrelado à remoção gradativa de umidade com a elevação da temperatura de secagem (ARAÚJO et al., 2015).

### 5.2.2 Análises dos Compostos Bioativos

Os resultados dos teores de ácido ascórbico foram influenciados pela interação entre os fatores tipo de processamento e temperatura de secagem (Tabela 11). Com

exceção da farinha produzida a 50 °C, as farinhas da polpa/casca apresentaram maior concentração de ácido ascórbico quando comparadas às farinhas da espuma (Tabela 12). De modo geral, o ácido ascórbico é uma das vitaminas que mais pode ser alterada no processamento dos alimentos. Durante a secagem a exposição a temperaturas elevadas e ao oxigênio são fatores que contribuem para a sua degradação (AGOSTINI-COSTA et al., 2003; SUCUPIRA et al., 2012).

Houve redução gradativa no conteúdo de ácido ascórbico nas farinhas da polpa/casca e espuma com a elevação da temperatura de secagem (Tabela 12). As farinhas produzidas a 50 °C para ambos os tipos de processamento resultaram em maior concentração de ácido ascórbico. Para as farinhas da polpa/casca, as temperaturas de 50 e 55 °C, e de 60, 65 e 70 °C não apresentaram diferença estatística. Já nas farinhas da espuma, as temperaturas de 60, 65 e 70 °C são iguais estatisticamente. A degradação do ácido ascórbico é influenciada por vários fatores, sendo um de maior relevância, o aumento da temperatura (TOME; AUGUSTINHA, 2018).

A quantidade de ácido ascórbico presentes nas farinhas produzidas é superior à encontrada em farinhas de frutos como manga (17,73 mg 100 g<sup>-1</sup>), abacaxi (14,32 mg 100 g<sup>-1</sup>) e seriguela (2,38 mg 100 g<sup>-1</sup>) (DANTAS, 2010; LOBO, 2017). Devido a essa característica, a farinha do fruto do juazeiro pode se tornar de grande interesse nutricional, uma vez que o ácido ascórbico desempenha várias funções biológicas relacionadas ao sistema imune, absorção de ferro, atividade antioxidante, entre outras (VANNUCHI; JORDÃO JÚNIOR, 1998).

Houve interação entre o tipo de processamento e temperatura de secagem para os resultados da clorofila total (Tabela 11). No geral, as farinhas da polpa/casca e da espuma apresentaram concentração similar de clorofila total, salvo na temperatura de secagem de 50 °C (Tabela 12), em que a farinha da espuma se sobressaiu em comparação à polpa/casca, o que pode ser atribuído ao menor tempo de exposição (Tabela 4), fator determinante na degradação desse pigmento (MULITERNO et al., 2017).

A elevação na temperatura de secagem resultou em degradação da clorofila total (Tabela 12). Não houve diferença estatística entre os resultados das temperaturas de 55, 60, 65 e 70 °C de ambos os tipos de processamento. De forma geral, quanto mais alta a temperatura de secagem e maior o tempo de exposição, maior a degradação de pigmentos (CELESTINO, 2010; MULITERNO et al., 2017).

**Tabela 11** – Ácido ascórbico, clorofila total, carotenoides totais, compostos fenólicos totais, flavonoides e antocianinas das farinhas do fruto do juazeiro quando submetidas a diferentes processamentos e temperaturas de secagem

Tipo de processamento (P)	Parâmetros					
	Ácido ascórbico (mg 100 g <sup>-1</sup> )	Clorofila total (mg 100 g <sup>-1</sup> )	Carotenoides totais (mg 100 g <sup>-1</sup> )	C. fenólicos totais (mg 100 g <sup>-1</sup> )	Flavonoides (mg 100 g <sup>-1</sup> )	Antocianinas (mg 100 g <sup>-1</sup> )
Polpa/casca	20,72±2,29 <sup>1</sup>	0,07±0,02	0,23±0,14	1422,66±148,23a	13,50±1,43	0,92±0,15
Espuma	20,06±4,32	0,09±0,06	0,29±0,04	976,37±75,26b	15,39±2,25	1,10±0,17
<b>Temperatura de secagem (T, °C)</b>						
50	25,97±2,51	0,16±0,06	0,41±0,09	1087,50±172,00c	14,13±0,73	0,96±0,08
55	21,20±1,57	0,07±0,01	0,25±0,07	1188,28±282,54bc	14,22±1,13	0,95±0,10
60	18,98±1,36	0,06±0,01	0,21±0,08	1191,05±268,10bc	12,90±1,62	0,87±0,17
65	18,11±1,10	0,06±0,01	0,18±0,06	1209,59±279,73ab	13,98±1,80	1,06±0,10
70	17,71±1,12	0,05±0,01	0,24±0,03	1321,16±245,09a	16,98±2,43	1,22±0,22
<b>Valor da probabilidade (F) da ANOVA</b>						
P	0,0280	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
T	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
PxT	<0,0001	<0,0001	<0,0001	ns*	<0,0001	0,0004
<b>CV (%)**</b>	5,05	20,26	9,25	7,44	6,25	9,06

<sup>1</sup>Médias±Desvios padrão seguidos de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; \*ns: não significativo; \*\*CV: Coeficiente de variação.

**Tabela 12** – Desdobramentos da interação do ácido ascórbico, clorofila total, carotenoides totais, flavonoides e antocianinas das farinhas do fruto do juazeiro quando submetidas a diferentes processamentos e temperaturas de secagem

Temperatura de secagem (°C)	Parâmetros					
	Ácido ascórbico (mg 100 g <sup>-1</sup> )		Clorofila total (mg 100 g <sup>-1</sup> )		Carotenoides totais (mg 100 g <sup>-1</sup> )	
	Polpa/casca	Espuma	Polpa/casca	Espuma	Polpa/casca	Espuma
50	23,96±0,91bA <sup>1</sup>	27,98±0,79aA	0,10±0,01bA	0,21±0,01aA	0,49±0,05aA	0,33±0,03bA
55	22,30±0,92aA	20,10±0,93bB	0,07±0,01aB	0,07±0,01aB	0,18±0,01bB	0,32±0,02aAB
60	20,05±0,88aB	17,91±0,74bC	0,05±0,01aB	0,06±0,01aB	0,13±0,01bC	0,29±0,03aB
65	18,77±0,96aB	17,44±0,84bC	0,05±0,01aB	0,06±0,01aB	0,13±0,01bC	0,24±0,01aC
70	18,53±0,82aB	16,88±0,66bC	0,06±0,01aB	0,05±0,01aB	0,21±0,01bB	0,27±0,01aBC
Temperatura de secagem (°C)	Flavonoides (mg 100 g <sup>-1</sup> )		Antocianinas (mg 100 g <sup>-1</sup> )			
	Polpa/casca	Espuma	Polpa/casca	Espuma		
	50	14,38±0,86aA	13,88±0,54aC	0,94±0,08aA	0,98±0,09aB	
55	14,33±0,24aA	14,11±0,67aBC	0,88±0,08bAB	1,03±0,05aB		
60	11,54±0,31bB	14,26±1,09aBC	0,71±0,06bB	1,03±0,03aB		
65	12,37±0,38bB	15,58±0,89aB	1,04±0,14aA	1,08±0,07aB		
70	14,87±0,82bA	19,10±1,19aA	1,04±0,05bA	1,39±0,17aA		

<sup>1</sup>Médias±Desvios padrão seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, minúscula na linha (tipos de processamento) e maiúscula na coluna (temperaturas de secagem), pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os carotenoides totais foram influenciados pela interação entre os fatores tipo de processamento e temperatura de secagem (Tabela 11). Com exceção da farinha produzida a 50 °C, as farinhas da espuma apresentaram maior teor de carotenoides totais do que as farinhas da polpa/casca (Tabela 12). Assim como para a clorofila total (Tabela 12) nota-se que a temperatura de secagem de 50 °C promoveu maior retenção desse pigmento.

Em relação às temperaturas de secagem, houve redução de carotenoides totais até a temperatura 65 °C, com aumento dos teores na temperatura de 70 °C, para ambos os tipos de processamento (Tabela 12). As temperaturas de 55 e 70 °C, 60 e 65 °C nas farinhas da polpa/casca não diferiram estatisticamente, já nas farinhas da espuma, 50 e 55 °C, de 55, 60 e 70 °C, e 65 e 70 °C, não apresentaram diferença estatística. A degradação dos carotenoides por ser consequência tanto da secagem quanto do processo de trituração para obtenção das farinhas (SOQUETTA, 2015).

Não houve interação significativa entre os fatores tipo de processamento e temperatura de secagem para os compostos fenólicos totais (Tabela 11). As farinhas da polpa/casca apresentam concentração de compostos fenólicos totais superior quando comparada às farinhas da espuma. O processo de aeração da espuma pode ocasionar a perda de componentes bioativos, como os compostos fenólicos, devido ao processo de oxidação (MICHALSKA et al., 2017).

A elevação da temperatura de secagem resultou em aumento progressivo nos compostos fenólicos totais das farinhas, sendo as temperaturas de 50, 55 e 60 °C, de 55, 60 e 65 °C, e 65 e 70 °C, sem diferença estatística (Tabela 11). O aumento dos compostos fenólicos com a elevação da temperatura de secagem em frutos já foi retratado na literatura e pode ser atribuído a maior inibição da enzima polifenoloxidase (SILVA, 2017b; TELES et al., 2018; AZEEZ et al., 2019; MORAIS, 2019).

O teor de compostos fenólicos totais presentes nas farinhas da polpa/casca e da espuma é superior ao das farinhas de resíduos de frutos, como acerola (681,02 mg 100 g<sup>-1</sup>), abacaxi (274,91 mg 100 g<sup>-1</sup>), maracujá (103,10 mg 100 g<sup>-1</sup>) e do fruto do jatobá-do-cerrado (0,01 mg 100 g<sup>-1</sup>), tidas como fontes de substâncias bioativas (OLIVEIRA, 2008; FRANÇA, 2014).

Os flavonoides foram influenciados pela interação entre os fatores tipo de processamento e temperatura de secagem (Tabela 11). As farinhas da espuma apresentaram maior concentração de flavonoides que as farinhas da polpa/casca nas

temperaturas de 60, 65 e 70 °C, já em 50 e 55 °C, não houve diferença estatística entre os resultados (Tabela 12). Fato que pode estar relacionado ao menor tempo de processo (Tabela 4), que resulta em menor degradação dos flavonoides (FUJITA et al., 2013).

Para as farinhas da polpa/casca, o teor de flavonoides nas temperaturas de 50, 55 e 70 °C, e de 60 e 65 °C não apresentaram diferença estatística (Tabela 12). Já para as farinhas da espuma, as temperaturas de 50, 55 e 60 °C, de 55, 60 e 65 °C não diferiram estatisticamente, demonstrando incremento gradativo de flavonoides com a elevação da temperatura de secagem. O teor de flavonoides é influenciado diretamente pela temperatura de secagem e pelo tempo de exposição, altas temperaturas e tempo de exposição prolongado resultam em sua degradação. Dessa forma, a definição do binômio tempo/temperatura é essencial (CASTRO et al., 2017).

Foi constatada interação entre os fatores tipo de processamento e temperatura de secagem para os resultados das antocianinas (Tabela 11). Assim como nos flavonoides, o teor de antocianinas foi superior nas farinhas da espuma para a maioria das temperaturas de secagem, tal como a resposta à elevação da temperatura também foi semelhante. Comportamento que pode ser atribuído ao fato de que as antocianinas pertencem ao grupo dos flavonoides (Tabela 12) (ABE et al., 2007).

Nas farinhas da polpa/casca, as temperaturas de 50, 55, 65 e 70 °C, de 55 e 60 °C, não apresentaram diferença estatística para as antocianinas. Da mesma forma que, de 50, 55, 60 e 65 °C não diferiram nas farinhas da espuma, havendo incremento gradativo com a elevação da temperatura (Tabela 12). Ao mesmo tempo em que a elevação da temperatura de secagem influencia na estabilidade das antocianinas, também promove menor tempo de exposição, evitando a degradação desses compostos. Dessa forma, processos que empregam alta temperatura e baixo tempo têm sido recomendados para melhor retenção das antocianinas (VEDANA, 2008; PERIN; SCHOTT, 2011).

### *5.2.3 Análises da Capacidade Antioxidante*

Foi constatada interação entre os fatores tipo de processamento e temperatura de secagem para a capacidade antioxidante referente à inibição do radical livre DPPH (Tabela 13). Com relação ao tipo de secagem, as farinhas da polpa/casca se sobressaíram em comparação às farinhas da espuma, independentemente da temperatura

de secagem (Tabela 14). Esse resultado pode ter relação com o tipo de processamento utilizado (PAULA, 2015).

A elevação da temperatura de secagem promoveu redução da capacidade antioxidante para ambos os tipos de processamento (Tabela 14). Para as farinhas da polpa/casca, não diferiram estatisticamente as temperaturas de 55, 60 e 65 °C, e de 60, 65 e 70 °C; já nas farinhas da espuma, as temperaturas de 60 e 65 °C não apresentaram diferença estatística. A degradação de alguns compostos bioativos com a elevação da temperatura de secagem, como ácido ascórbico e carotenoides (Tabela 12), pode ser o fator responsável pela redução da capacidade antioxidante referente à inibição do DPPH (CHOI et al., 2002).

**Tabela 13** – Capacidade antioxidante pela captura do radical livre DPPH e do ABTS<sup>++</sup> das farinhas do fruto do juazeiro quando submetidas a diferentes processamentos e temperaturas de secagem

<b>Tipo de processamento (P)</b>	<b>Parâmetros</b>	
	Capacidade antioxidante (% inibição DPPH)	Capacidade antioxidante ( $\mu\text{M}$ trolox $\text{g}^{-1}$ )
Polpa/casca	85,97 $\pm$ 2,22 <sup>1</sup>	12,85 $\pm$ 0,23
Espuma	69,57 $\pm$ 12,61	8,69 $\pm$ 0,14
<b>Temperatura de secagem (T, °C)</b>		
50	87,26 $\pm$ 2,50	10,74 $\pm$ 2,30
55	84,16 $\pm$ 2,90	10,76 $\pm$ 2,34
60	75,14 $\pm$ 10,67	10,72 $\pm$ 2,28
65	74,50 $\pm$ 10,40	10,89 $\pm$ 2,16
70	67,78 $\pm$ 17,27	10,64 $\pm$ 1,88
<b>Valor da probabilidade (F) da ANOVA</b>		
P	<0,0001	<0,0001
T	<0,0001	<0,0001
PxT	<0,0001	<0,0001
<b>CV (%)*</b>	1,65	0,42

<sup>1</sup>Média $\pm$ Desvio padrão; \*CV: Coeficiente de variação.

**Tabela 14** – Desdobramentos da interação da capacidade antioxidante pela captura do radical livre DPPH e do ABTS<sup>•+</sup> das farinhas do fruto do juazeiro quando submetidas a diferentes processamentos e temperaturas de secagem

Temperatura de secagem (°C)	Parâmetros			
	Capacidade antioxidante (% inibição DPPH)		Capacidade antioxidante (µM trolox g <sup>-1</sup> )	
	Polpa/casca	Espuma	Polpa/casca	Espuma
50	89,51±0,93aA <sup>1</sup>	85,00±0,69bA	12,92±0,02aA	8,56±0,02bC
55	86,76±1,00aB	81,56±1,03bB	12,97±0,01aA	8,55±0,01bC
60	84,53±1,62aBC	64,47±1,48bC	12,99±0,07aA	8,65±0,03bB
65	84,89±0,43aBC	65,39±1,35bC	12,94±0,07aA	8,83±0,07bA
70	84,14±0,43aC	51,43±1,53bD	12,43±0,07aB	8,85±0,03bA

<sup>1</sup>Médias±Desvios padrão seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, minúscula na linha (tipos de processamento) e maiúscula na coluna (temperaturas de secagem), pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A capacidade antioxidante pela inibição de DPPH das farinhas produzidas foi superior à de outras farinhas, como as dos resíduos de manga (24,03%), banana (11,27%) e goiaba (9,70%), citadas na literatura como promissoras fontes de alimentos funcionais (FRANÇA, 2014).

Houve interação entre os fatores tipo de processamento e temperatura de secagem para a capacidade antioxidante pelo sequestro do radical livre ABTS<sup>•+</sup> (Tabela 13). Semelhante à capacidade antioxidante pela inibição de DPPH, a capacidade antioxidante pelo sequestro do radical livre ABTS<sup>•+</sup> foi superior nas farinhas da polpa/casca do que nas farinhas da espuma, independentemente da temperatura de secagem, podendo ser decorrente do processo de aeração pelo qual as farinhas da espuma foram submetidas (Tabela 14) (PAULA, 2015).

As temperaturas de secagem de 50, 55, 60 e 65 °C não diferiram entre si para as farinhas da polpa/casca. Já a temperatura de 70 °C promoveu ligeira redução na capacidade antioxidante pelo sequestro do radical livre ABTS<sup>•+</sup> (Tabela 14). Nas farinhas da espuma houve elevação da capacidade antioxidante, sendo as temperaturas de 50 e 55 °C, e de 65 e 70 °C, iguais estatisticamente. A elevação ou diminuição da capacidade antioxidante tem relação com a resposta dos compostos bioativos frente à

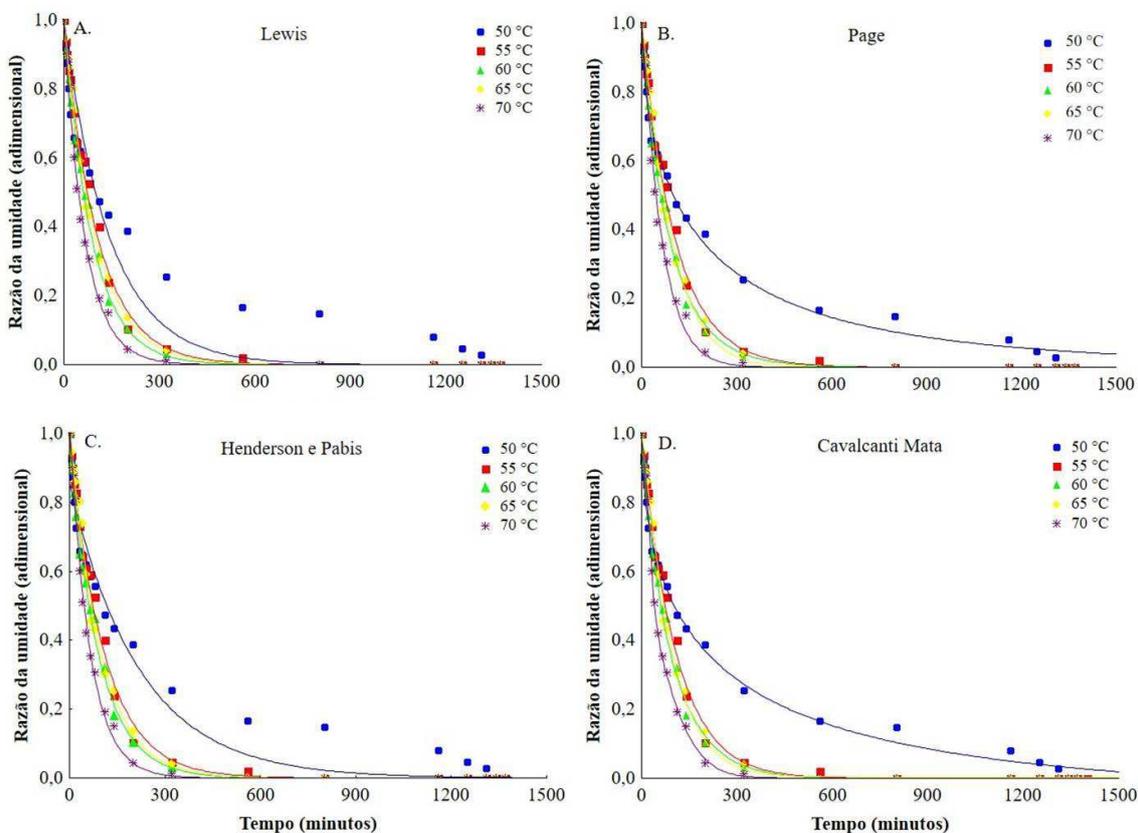
elevação da temperatura de secagem (GARCIA-PEREZ et al., 2010; SUVARNAKUTA et al., 2011).

Costa et al. (2020) ao produzirem a farinha da polpa do fruto maduro do juazeiro coletados em Picos/PI, por meio da técnica de liofilização observou a capacidade antioxidante de  $15,96 \mu\text{M trolox g}^{-1}$ , superior às encontradas neste estudo para todas as farinhas. Dessa forma, percebe-se que a técnica de secagem e a localidade de colheita dos frutos influenciam diretamente na capacidade antioxidante das farinhas.

### 5.3 Modelagem Matemática

Na Figura 8 são apresentados os ajustes da cinética de secagem da polpa/casca do fruto do juazeiro em diferentes temperaturas, utilizando os modelos matemáticos de Lewis, Page, Henderson e Pabis, e Cavalcanti Mata.

**Figura 8** – Ajuste da cinética de secagem da polpa/casca do fruto do juazeiro com os modelos de Lewis (A), Page (B), Henderson e Pabis (C) e Cavalcanti Mata (D) em diferentes temperaturas



Percebe-se que as curvas de secagem foram influenciadas diretamente pela temperatura, havendo redução gradativa nos tempos de secagem à medida que a temperatura de secagem aumenta. Este comportamento já foi retratado na secagem de diversas matérias-primas, como na casca do abacaxi, romã, urucum, frutos de mamona entre outros (GONELI et al., 2011; SANTOS et al., 2012; LEITE et al., 2017; SANTOS et al., 2017). As curvas dos ajustes dos modelos matemáticos de Page e Cavalcanti Mata ficaram mais próximas aos dados experimentais, indicando o seu bom ajuste.

Na Tabela 15 encontram-se os parâmetros de ajuste dos modelos, os valores estatísticos dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), o desvio quadrático médio (DQM) e qui-quadrado ( $X^2$ ) para os modelos ajustados à cinética de secagem da polpa/casca do fruto do juazeiro em diferentes temperaturas.

Em todos os tratamentos, os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais apresentaram coeficientes de determinação superiores a 91%, demonstrando forte relação entre os dados observados e os estimados, indicando que os modelos podem ser usados satisfatoriamente na obtenção das equações de secagem dos dados experimentais (ALMEIDA et al., 2009; VIEIRA, 2012).

Dentre as equações utilizadas, a de Page aproximou-se mais dos pontos experimentais que os demais modelos, uma vez que o valor do  $R^2$  foi acima de 99% em todas as temperaturas avaliadas, bem como foram obtidos os menores valores do DQM ( $< 0,02$ ). Quanto menor o valor do DQM melhor é a representação do modelo empregado (CAVALCANTE et al., 2020).

Os valores do teste de qui-quadrado ( $X^2$ ) obtidos para os diferentes modelos ajustados às curvas de secagem da polpa/casca do fruto do juazeiro foram muito baixos, especialmente para o modelo de Page. Gunhan et al. (2005) relatam que quanto menor o valor do qui-quadrado melhor o ajuste do modelo nas condições experimentais.

Apesar das curvas dos ajustes dos modelos matemáticos de Page e Cavalcanti Mata se aproximarem mais aos dados experimentais (Figura 8), o modelo de Page, por possuir o menor número de termos, apresentar excelentes valores de  $R^2$  e DQM, representar de forma eficiente às curvas de secagem em todas as temperaturas, além da facilidade de uso e simplicidade, é recomendado para descrição da secagem da polpa/casca do fruto do juazeiro.

**Tabela 15** – Parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos utilizados na predição da cinética de secagem da polpa/casca do fruto do juazeiro com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), Desvio Quadrático Médio (DQM) e Qui-quadrado ( $X^2$ )

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetros								$R^2$	DQM (%)	$X^2$
		a	k	n	$n_1$	$n_2$	$a_1$	$a_2$	$a_3$			
Lewis	50	-	0,0069	-	-	-	-	-	-	0,9161	0,0924	0,0094
	55	-	0,0093	-	-	-	-	-	-	0,9952	0,0257	0,0007
	60	-	0,0113	-	-	-	-	-	-	0,9956	0,0239	0,0006
	65	-	0,0100	-	-	-	-	-	-	0,9942	0,0290	0,0009
	70	-	0,0151	-	-	-	-	-	-	0,9929	0,0306	0,0010
Page	50	-	0,0492	0,5736	-	-	-	-	-	0,9927	0,0273	0,0008
	55	-	0,0099	0,9860	-	-	-	-	-	0,9953	0,0256	0,0007
	60	-	0,0160	0,9196	-	-	-	-	-	0,9967	0,0208	0,0005
	65	-	0,0064	1,1030	-	-	-	-	-	0,9954	0,0258	0,0007
	70	-	0,0117	1,0647	-	-	-	-	-	0,9934	0,0294	0,0010
Henderson e Pabis	50	0,8547	0,0045	-	-	-	-	-	-	0,9552	0,0675	0,0050
	55	0,9870	0,0091	-	-	-	-	-	-	0,9954	0,0251	0,0007
	60	0,9745	0,0109	-	-	-	-	-	-	0,9964	0,0216	0,0005
	65	1,0243	0,0104	-	-	-	-	-	-	0,9949	0,0272	0,0008
	70	1,0301	0,0158	-	-	-	-	-	-	0,9938	0,0286	0,0009
Cavalcanti Mata	50	-	0,0616	-	0,5105	0,5105	0,5436	0,5436	-0,0637	0,9944	0,0231	0,0006
	55	-	0,0076	-	1,0369	1,0369	0,4894	0,4894	-0,0004	0,9869	0,0353	0,0014
	60	-	0,0149	-	0,9317	0,9317	0,4974	0,4974	-0,0028	0,9891	0,0311	0,0011
	65	-	0,0066	-	1,1003	1,1003	0,4998	0,4998	0,0040	0,9949	0,0228	0,0006
	70	-	0,0009	-	1,4764	2,0597	0,5359	0,4404	0,0011	0,9946	0,0229	0,0006

O parâmetro “k” dos modelos de Lewis e Henderson e Pabis aumentou com a elevação da temperatura de secagem, que pode estar relacionado ao fato de que maiores temperaturas acarretam maiores taxas de secagem, chegando ao teor de água de equilíbrio em menor tempo de exposição do produto ao ar de secagem (CORRÊA et al., 2010). Comportamento similar foi relatado para secagem da casca do abacaxi (LEITE et al., 2017) e de grãos de algaroba (CAVALCANTE et al., 2020). Já para os modelos de Page e Cavalcanti Mata foi verificado comportamento inverso, havendo a diminuição do parâmetro “k”, também observado na secagem de romã e de grãos de urucum (SANTOS et al., 2012; SANTOS et al., 2017).

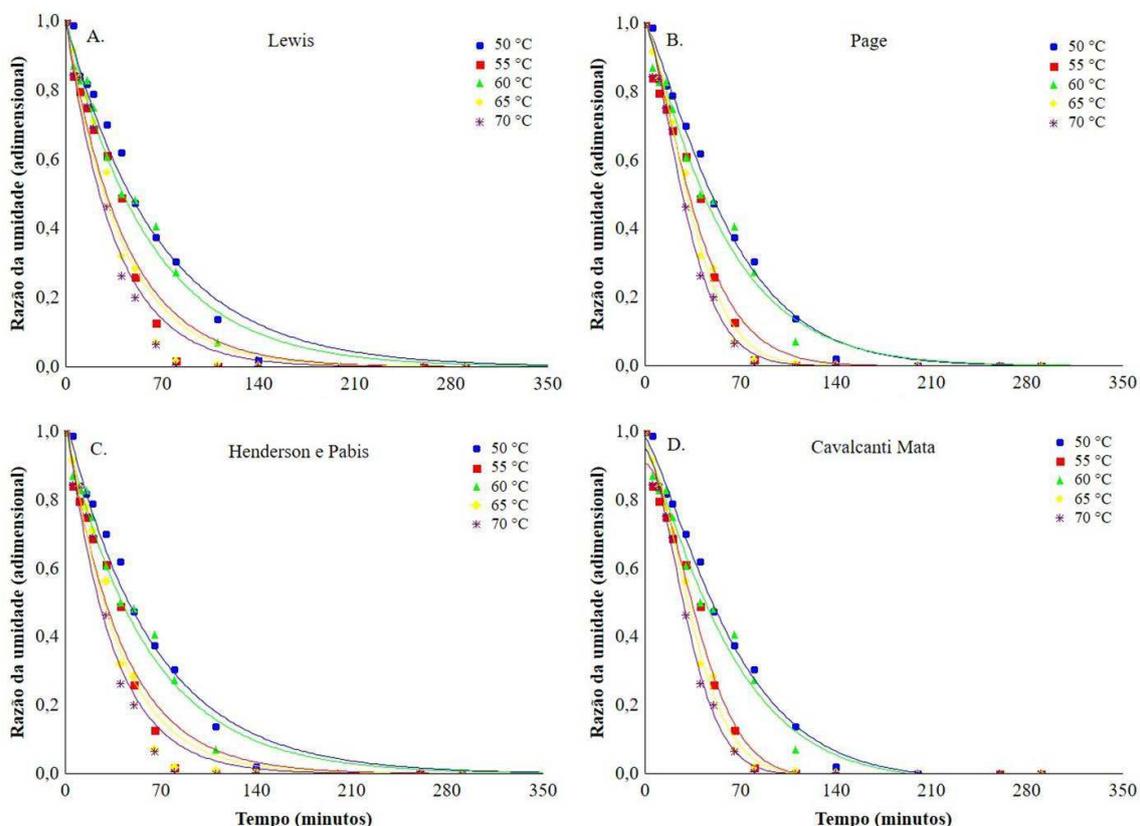
Em relação ao parâmetro “n” no modelo de Page, houve o aumento de seus valores com o aumento da temperatura de secagem, resultado semelhante ao observado na secagem de cogumelos (PACHECO et al., 2011), da pimenta bico (REIS et al., 2015b) e da romã (SANTOS et al., 2017). O parâmetro “n” possui um efeito de moderação do tempo, corrigindo os possíveis erros consequentes da negligência à resistência interna para a transferência de água (GUEDES; FARIA, 2000).

O parâmetro “a” do modelo de Henderson e Pabis aumentou com a elevação da temperatura. Tal comportamento também verificado por Leite et al. (2017) durante o ajuste do modelo aos dados experimentais da secagem da casca do abacaxi. Já os parâmetros “n<sub>1</sub>”, “n<sub>2</sub>”, “a<sub>1</sub>”, “a<sub>2</sub>” e “a<sub>3</sub>” do modelo de Cavalcanti Mata não obtiveram tendência clara com o aumento da temperatura de secagem.

Na Figura 9 são apresentados os ajustes da cinética de secagem da espuma do fruto do juazeiro em diferentes temperaturas, utilizando os modelos matemáticos de Lewis, Page, Henderson e Pabis, e Cavalcanti Mata. O bom ajuste dos modelos de Page e Cavalcanti Mata fica evidenciado pela proximidade dos valores experimentais em relação à curva estimada pelos modelos em todas as condições estudadas.

Assim como para a cinética de secagem da polpa/casca (Figura 8) os modelos matemáticos de Page e Cavalcanti Mata foram mais eficientes na descrição dos dados experimentais. No entanto, o modelo de Page torna-se de mais fácil aplicação e uso em simulações de secagem por ser mais simples e por ter um menor número de coeficientes (BOTELHO, 2012).

**Figura 9** – Ajuste da cinética de secagem da espuma do fruto do juazeiro com os modelos de Lewis (A), Page (B), Henderson e Pabis (C) e Cavalcanti Mata (D) em diferentes temperaturas



A Tabela 16 apresenta os parâmetros de ajuste dos modelos, os valores estatísticos dos coeficientes de determinação, o desvio quadrático médio e qui-quadrado para os modelos ajustados à cinética de secagem da espuma do fruto do juazeiro em diferentes temperaturas.

Entre os modelos estudados, observa-se que os de Page e Cavalcanti Mata, apresentaram os maiores coeficientes de determinação ( $R^2 > 0,979$ ), os menores desvios quadráticos médios ( $DQM < 0,04$ ) e qui-quadrados ( $X^2 < 0,002$ ). Levando em consideração esses parâmetros, todos os modelos aplicados resultaram em bons ajustes aos dados experimentais da secagem da espuma do fruto do juazeiro na faixa de temperatura estudada.

**Tabela 16** – Parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos utilizados na predição da cinética de secagem da espuma do fruto do juazeiro com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), Desvio Quadrático Médio (DQM) e Qui-quadrado ( $X^2$ )

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetros								$R^2$	DQM (%)	$X^2$
		a	k	n	$n_1$	$n_2$	$a_1$	$a_2$	$a_3$			
Lewis	50	-	0,0149	-	-	-	-	-	-	0,9840	0,0390	0,0017
	55	-	0,0235	-	-	-	-	-	-	0,9664	0,0565	0,0035
	60	-	0,0167	-	-	-	-	-	-	0,9833	0,0385	0,0016
	65	-	0,0250	-	-	-	-	-	-	0,9682	0,0568	0,0036
	70	-	0,0282	-	-	-	-	-	-	0,9706	0,0533	0,0031
Page	50	-	0,0055	1,2477	-	-	-	-	-	0,9936	0,0246	0,0007
	55	-	0,0066	1,3420	-	-	-	-	-	0,9799	0,0438	0,0021
	60	-	0,0101	1,1240	-	-	-	-	-	0,9862	0,0350	0,0014
	65	-	0,0038	1,5165	-	-	-	-	-	0,9937	0,0252	0,0007
	70	-	0,0054	1,4721	-	-	-	-	-	0,9925	0,0270	0,0008
Henderson e Pabis	50	1,0446	0,0159	-	-	-	-	-	-	0,9870	0,0416	0,0020
	55	1,0299	0,0244	-	-	-	-	-	-	0,9675	0,0658	0,0050
	60	1,0058	0,0168	-	-	-	-	-	-	0,9834	0,0455	0,0024
	65	1,0792	0,0274	-	-	-	-	-	-	0,9749	0,0597	0,0041
	70	1,0621	0,0303	-	-	-	-	-	-	0,9747	0,0586	0,0040
Cavalcanti Mata	50	-	0,0046	-	1,2749	1,2749	0,4990	0,4990	-0,0165	0,9944	0,0231	0,0006
	55	-	0,0014	-	1,7159	1,7159	0,4582	0,4582	-0,0100	0,9869	0,0353	0,0014
	60	-	0,0062	-	1,2172	1,2172	0,4862	0,4882	-0,0222	0,9891	0,0311	0,0011
	65	-	0,0023	-	1,6400	1,6400	0,4835	0,4834	-0,0040	0,9949	0,0228	0,0006
	70	-	0,0026	-	1,6548	1,6549	0,4731	0,4765	-0,0024	0,9946	0,0229	0,0006

Para todas as temperaturas de secagem, os modelos de Lewis e Henderson e Pabis apresentaram qui-quadrados superiores ao dos outros dois modelos. Isso é consequência do fato que o modelo de Lewis apresenta somente o parâmetro “k” e Henderson e Pabis apresenta dois parâmetros “a” e “k”. O parâmetro “n” presente no modelo de Page, e  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ , no modelo de Cavalcanti Mata, apresentam maior grau de liberdade, melhorando o ajuste (VIEIRA, 2012).

O parâmetro “k” que representa a constante da taxa de secagem aumentou com a elevação da temperatura de secagem nos modelos de Lewis e Henderson e Pabis, comportamento similar ao observado para a secagem da polpa/casca (Tabela 15). Já para os modelos de Page e Cavalcanti Mata não houve comportamento gradativo de aumento ou redução com a elevação da temperatura.

Para o parâmetro “n” do modelo de Page, que reflete a resistência interna do produto à secagem, não houve nenhuma tendência observada em seus valores em função do incremento da temperatura, semelhante ao observado na secagem de amendoim em diferentes temperaturas e na secagem em três temperaturas diferentes dos grãos de algaroba (ARAUJO et al., 2017; CAVALCANTE et al., 2020).

O parâmetro “a” do modelo de Henderson e Pabis e os parâmetros “ $n_1$ ”, “ $n_2$ ”, “ $a_1$ ”, “ $a_2$ ” e “ $a_3$ ”, do modelo de Cavalcanti Mata, não obtiveram tendência clara de redução ou aumento com a elevação da temperatura de secagem. Esses parâmetros demonstram à extensão da resistência interna do produto as condições empregadas (OLIVEIRA, 2018).

Os modelos matemáticos de Page e Cavalcanti Mata se sobressaíram em comparação aos demais na descrição da cinética de secagem da espuma. No entanto, ao considerar o número de coeficientes e facilidade de uso, o modelo de Page é recomendado para descrição da secagem da espuma do fruto do juazeiro, apesar do modelo de Cavalcanti Mata ter equivalência estatística para descrever essa cinética.

O modelo matemático de Page tem sido recomendado por diversos pesquisadores para representação da secagem de diferentes matérias primas, como cenoura, tomate, beterraba e morango (RONCHETI, 2014), amendoim (ARAUJO et al., 2017), batata-doce (MORAIS, 2016), romã (SANTOS et al., 2017), carambola (SANTOS et al., 2010), bagaço de maracujá-amarelo (MENEZES et al., 2013), casca de abacaxi (LEITE et al., 2017), grãos de algaroba (CAVALCANTE et al., 2020), frutapão (RESENDE et al., 2019), entre outros.

## 6 CONCLUSÃO

A polpa/casca do fruto do juazeiro tem elevada atividade de água, alto teor de água, baixa acidez, elevados teores de açúcares e de substâncias bioativas, especialmente compostos fenólicos, além de apresentar capacidade antioxidante significativa.

A polpa/casca do fruto demonstrou excelente atividade espumante. Além disso, a espuma produzida apresentou densidade aparente dentro da faixa recomendada e incorporação de ar bastante superior às espumas produzidas com auxílio de aditivos espumantes.

A secagem em estufa com circulação de ar é uma técnica viável para produzir a farinha do fruto do juazeiro, seja por meio da secagem da polpa/casca ou da espuma, visto que houve a concentração de diversos parâmetros avaliados, como sólidos solúveis, açúcares, ácido ascórbico, compostos fenólicos, flavonoides e antocianinas, além de promover incremento na capacidade antioxidante.

A secagem da polpa/casca do fruto promoveu farinhas de coloração amarronzada, devido ao maior tempo de secagem, que resultou em maior escurecimento. Por outro lado, esse tipo de processamento proporcionou a retenção de componentes bioativos de interesse nas farinhas, como ácido ascórbico e compostos fenólicos, principalmente. Além de promover maior capacidade antioxidante nas farinhas.

A secagem da espuma do fruto do juazeiro é uma alternativa promissora para a obtenção da farinha do fruto, uma vez que requer um menor tempo de secagem, maior rendimento, coloração mais clara das farinhas, menor atividade de água e menor teor de água, maior concentração de cinzas, açúcares, carotenoides, flavonoides e antocianinas.

Todas as temperaturas de secagem testadas foram eficientes na produção de farinhas com parâmetros físico-químicos, como teor de água e cinzas, dentro dos limites estabelecidos na legislação vigente, exceto a temperatura de 50 °C na farinha produzida com a polpa/casca.

A elevação da temperatura de secagem proporcionou aumento gradativo de algumas substâncias bioativas, como compostos fenólicos, flavonoides e antocianinas, e a degradação do ácido ascórbico, clorofila, carotenoides e da capacidade antioxidante nas farinhas produzidas.

A secagem da polpa/casca na temperatura de 65 °C proporciona farinha com concentração significativa de compostos fenólicos, ácido ascórbico e maior capacidade antioxidante, dentre os tipos de processamento e temperaturas de secagem estudadas. Já a secagem da espuma na temperatura de 70 °C produz farinha empregando menor tempo de processo, com maior rendimento, coloração mais clara e maior concentração de açúcares.

O potencial biológico da farinha do fruto do juazeiro é evidente, devido à presença de compostos bioativos e também por possuir elevada capacidade antioxidante, tornando-a uma excelente alternativa para utilização como ingrediente funcional. Também pode ser empregada em substituição à farinha de trigo, haja vista a conformidade de seus parâmetros físico-químicos com a legislação vigente.

Os modelos matemáticos de Page e Cavalcanti Mata apresentaram bom ajuste aos dados experimentais. No entanto, o modelo de Page proporcionou excelentes valores de  $R^2$ , menores valores de DQM e  $X^2$ , além de possuir o menor número de coeficientes, ser simples e de fácil aplicação. Dessa forma, o modelo de Page é recomendado para predição da cinética de secagem da polpa/casca e da espuma do fruto do juazeiro.

É importante ressaltar que todos os objetivos propostos nesta tese foram atingidos. Contudo, sabe-se que muito ainda há para se investigar sobre as farinhas provenientes da polpa/casca e da espuma do fruto do juazeiro, de maneira que se possa acrescentar valor a esses produtos, tornando-os destaque frente a outras farinhas vegetais. O emprego dessas farinhas em produtos alimentares como de panificação e confeitaria, bem como o desenvolvimento de formulações com apelo nutricional e funcional, devem ser explorados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE, L. T.; MOTA, R. V.; LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I. Compostos fenólicos e capacidade antioxidante de uvas *Vitis labrusca* e *Vitis vinifera* L. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.2, p.394-400, 2007.

AGOSTINI-COSTA, T.; ABREU, L. N.; ROSSETTI, A. G. Efeito do congelamento e do tempo de estocagem da polpa de acerola sobre o teor de carotenoides. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, n.1, p.60-6, 2003.

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.7, n.1, p.11-20, 2007.

ALMEIDA, D. P.; RESENDE, O.; COSTA, L. M.; MENDES, U. C.; SALES, J. F. Cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). **Global Science and Technology**, v.2, n.1, p.72-83, 2009.

ALMEIDA, J. I. O. **Licor e iogurte de frutos de juá (*Ziziphus joazeiro* Mart.): elaboração e parâmetros de qualidade**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, 2019. 72f.

ALVES, G. E.; ISQUIERDO, E. P.; BORÉM, F. M.; SIQUEIRA, V. C.; OLIVEIRA, P. D.; ANDRADE, E. T. Cinética de secagem de café natural para diferentes temperaturas e baixa umidade relativa. **Coffee Science**, v.8, n.2, p.238-247, 2013.

AMANLOU, Y.; ZOMORADIAN, A. Applying CFD for designing a new fruit cabinet dryer. **Journal of food engineering**, v.101, n.1, p.8-15, 2010.

ANDRÉ, A. M. M. C. N.; NASCIMENTO, A. P.; ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; ALMEIDA, R. D. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem das sementes de maracujá amarelo. In: **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**, Maceió/AL, 2018.

ARAÚJO, C. R.; ESTEVES, E. A.; DESSIMONI-PINTO, N. A.; BATISTA, A. G. Myrciaria cauliflora peel flour had a hypolipidemic effect in rats fed a moderately high fat diet. **Journal of Medicinal Food**, v.17, n.2, p.262-267, 2013.

ARAÚJO, C. S. P.; ANDRADE, F. H.; GALDINO, P. O.; PINTO, M. S. C. Desidratação de batata-doce para fabricação de farinha. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.11, n.4, p.33-41, 2015.

ARAUJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; HARTMANN FILHO, C. P.; MARTINS, E. A. S. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. **Revista Ciência Agronômica**, v.48, n.3, p.448-457, 2017.

- AZEEZ, L.; ADEBISI, S. A.; OYEDEJI, A. O.; ADETORO, R. O.; TIJANI, K. O. Bioactive compounds contents, drying kinetics and mathematical modelling of tomato slices influenced by drying temperatures and time. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v.18, n.2, p.120-126, 2019.
- AZZOLINI, M.; JACOMINO, A. P.; BRON, I. U. Índices para avaliar qualidade pós-colheita de goiabas em diferentes estádios de maturação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.2, p.139-145, 2004.
- AZZOUZ, S.; JOMAA, W.; BELGHITH, A. Drying kinect equation of single layer of grapes. **Proceedings IDS'98**, v.B, p.988-997, 1998.
- BALCH, J.; STENGLER, M. **Tratamentos naturais: um guia completo para tratar problemas de saúde com terapias naturais**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. 659p.
- BALHMANN, C. L.; LANZARINI, D. P. **Estudo reológico e físico-químico das farinhas de trigo destinadas à panificação produzidas em moinhos da região de Francisco Beltrão**. Monografia (Bacharel em Tecnologia de Alimentos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013. 32f.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos**. Versão 1.1.0.711. Jaboticabal: Unesp, 2015.
- BATISTA, D. V. S.; CARDOSO, R. L.; GODOY, R. C. B.; EVANGELISTA-BARRETO, N.S. Estabilidade físico-química e microbiológica de banana passa orgânica. **Ciência Rural**, v.44, n.10, p.1886-1892, 2014.
- BEZERRA, C. V.; AMANTE, E. R.; OLIVEIRA, D. C.; RODRIGUES, M. C. A.; SILVA, L. H. M. Green banana (*Musa cavendishii*) flour obtained in spouted bed: effect of drying on physico-chemical, functional and morphological characteristics of the starch. **Industrial Crops and Products**, v.41, p.241-249, 2013.
- BEZERRA, T. S.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A.; MAIA, G. A.; CLEMENTE, E. Avaliação físico-química e aplicação de modelos matemáticos na predição do comportamento de polpas de manga desidratadas em pó. **Revista Ceres**, v.58, n.3, p.278-283, 2011.
- BOBBIO, P. A; BOBBIO, F. O. **Química de Processamento de Alimentos**. São Paulo: Varela. 2001. 142p.
- BOTELHO, F. M. **Cinética de secagem, propriedades físicas e higroscópicas dos frutos e caracterização do processo de torrefação dos grãos de *Coffea canéfora***. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, 2012. 142f.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 8 de 2 de junho de 2005. Aprova o Regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2005.

BUERA, M. P.; LOZANO, R. D.; PETRIELLA, C. Definition of color in the non-enzymatic browning process. **Die Farbe**, v.32/33, n.2, p.316-326, 1985.

CASTIGLIONI, G. L.; SILVA, F. A.; CALIARI, M.; JUNIOR, M. S. S. Modelagem matemática do processo de secagem da massa fibrosa de mandioca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.9, p.987-994, 2013.

CASTRO, D. S.; OLIVEIRA, T. K. B.; LEMOS, D. M.; ROCHA, A. P.; ALMEIDA, R. D. Efeito da temperatura sobre a composição físico-química e compostos bioativos de farinha de taro obtida em leite de jorro. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.20, e2016060, 2017.

CAVALCANTE, A. M. M.; ALMEIDA, R. D.; MELO, A. M.; MORAIS, B. A.; SILVA, I. R.; RIBEIRO, N. L.; ALEXANDRE, H. V.; SILVA, O. S. Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos da algaroba. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.3, p.11192-11209, 2020.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; ALMEIDA, F. A. C.; DUARTE, M. E. M. Secagem de sementes. In: **Tecnologia de armazenamento em sementes**. Campina Grande: UFCG, 2006.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; ZANINI, H. L. H. T. Calor específico e densidade da polpa de cajá (*Spondias lutea* L.) com diferentes concentrações de sólidos solúveis sob baixas temperaturas. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.2, p.488-498, 2005.

CAVALCANTI, M. T.; SILVEIRA, D. C.; FLORÊNCIO, I. M.; FEITOSA, V. A.; ELLER, S. C. W. S. Obtenção da farinha do fruto do juazeiro (*Ziziphus Joazeiro* Mart.) e caracterização físico-química. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.6, n.1, p.220-224, 2011.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. Documentos 276. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010. 49p.

CHISTÉ, R. C. Comportamento da acidez total e amido na produção da farinha de mandioca do grupo seca. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v.1, n.2, p.17-25, 2007.

CHITARRA, M. I.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 783p.

CHOI, M. H.; KIM, G. H.; LEE, H. S. Effects of ascorbic acid retention on juice color and pigment stability in blood orange (*Citrus sinensis*) juice during refrigerated storage. **Food Research International**, v.35, n.8, p.753-759, 2002.

CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D.; CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, v.57, n.5, p.595-601, 2010.

CORREIA, A. A. S.; GONZAGA, M. L. C.; AQUINO, A. C.; SOUZA, P. H. M.; FIGUEIREDO, R. W.; MAIA, G. A. Caracterização química e físico-química da polpa do noni (*Morinda citrifolia*) cultivado no estado do Ceará. **Alimentos e Nutrição**, v.22, n.4, p.609-615, 2011.

COSTA, A. J. G.; ALVES, B. K. R.; SOUSA, A. C. P.; MARINHO, R. M. O.; ARAÚJO, I. M. S.; DANTAS, B. S.; OLIVEIRA, M. N.; FREIRE, J. A. P.; MEDEIROS, S. R. A. Caracterização nutricional e tecnológica da farinha da polpa do fruto do juazeiro. In: **Tecnologia de Alimentos: Tópicos físicos, químicos e biológicos**. v.3. Guarujá: Científica Digital, 2020.

COSTA, G. F.; SILVA, E. O.; LIMA, J. L.; ANDRADE, V. O.; CLEMENTINO, M. F.; SOUSA, J. S. Obtenção e caracterização físico-química e citotóxica da farinha do fruto do juá (*Zizyphus joazeiro* Mart): um estudo preliminar para uso em sistemas alimentícios. In: **A produção do Conhecimento nas Ciências Agrárias e Ambientais**. v.4. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019.

COUTO, M. A. L.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Quantificação de vitamina C e capacidade antioxidante de variedades cítricas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.1, p.15-19, 2010.

CRUZ, W. F. **Obtenção de polpa de goiaba (*Psidium guajava* L.) em pó pelo método de secagem em camada de espuma**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Viçosa, 2013. 93f.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900p.

DANTAS, F. C. P.; TAVARES, M. L. R.; TARGINO, M. S.; COSTA, A. P.; DANTAS, F. O. *Zizyphus joazeiro* Mart. - Rhamnaceae: características biogeoquímicas e importância no bioma Caatinga. **Revista Principia**, n.25, p.51-57, 2014.

DANTAS, P. V. S. **Influência do congelamento do suco e do fruto da laranja (*Citrus sinensis*) nas propriedades físico-química dos pós de suco obtidos por spray dryer**. Monografia (Bacharel em Engenharia Química), Universidade Federal da Paraíba, 2018. 88f.

- DANTAS, S. C. M. **Desidratação de polpas de frutas pelo processo foam-mat.** Dissertação (Mestrado em Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias Regionais), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010. 86f.
- DINIZ, V. M. **Processamento do fruto do juazeiro para obtenção da farinha e do óleo.** Tese (Doutorado em Engenharia de Processos), Universidade Federal de Campina Grande, 2016. 83f.
- DIÓGENES, F. E. P.; OLIVEIRA, A. K.; COELHO, M. F. B.; MAIA, S. S. S.; AZEVEDO, R. A. B. Pré-tratamento com ácido sulfúrico na germinação de sementes de *Ziziphus joazeiro* Mart. - Rhamnaceae. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.12, n.2, p.188-194, 2010.
- DIOSADY, L. L.; RIZVI, S. S.; CAI, W.; JAGDEO, D. J. Moisture sorption isotherms of canola meals, and applications to packaging. **Journal of Food Science**, v.61, n.1, p.204-208, 1996.
- ENGEL, B.; BACCAR, N. M.; MARQUARDT, L.; OLIVEIRA, M. S. R.; ROHLFES, A. L. B. Tecnologias de atomização e desidratação: alternativas para a produção de farinhas a partir de vegetais. **Revista Jovens Pesquisadores**, v.6, n.1, p.31-44, 2016.
- FEITOSA, R. M.; OLIVEIRA, E. N. A.; SANTOS, D. C.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade da farinha da casca da manga. **Higiene Alimentar**, v.27, n. especial, p.3780-3784, 2013.
- FELLOWS, P. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática.** 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.
- FERNANDES, A. I.; LÓCIO, C. J. F.; MORAIS, M. S. N.; NUNES, B. R. P. Análise da cinética de secagem de *Mallus domestica* em estufa. In: **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**, Maceió/AL, 2018.
- FERNANDES, T. K. S. **Secagem em camada de espuma da polpa de cajá.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande, 2010. 172f.
- FERREIRA, F. W. S. **Levantamento da vegetação da caatinga utilizada na alimentação animal no Oeste Potiguar.** Dissertação (Mestrado em Produção Animal), Universidade Federal Rural do Semiárido, 2014. 76f.
- FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. **Princípios das Operações Unitárias.** 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1982. 665p.
- FRANÇA, F. A. **Caracterização nutricional e avaliação do potencial antioxidante de farinhas obtidas de resíduos de frutas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal do Sudoeste da Bahia, 2014. 70f.

- FRANCIS, F. J. **Analysis of anthocyanins**. 1. ed. New York: Academic Press, 1982.
- FRANCO, T. S. **Desidratação de suco de yacon pelo método de camada de espuma**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná, 2015. 192f.
- FREIRE, J. M.; ABREU, C. M. P.; ROCHA, D. A.; CORRÊA, A. D.; MARQUES, N. R. Quantificação de compostos fenólicos e ácido ascórbico em frutos e polpas congeladas de acerola, caju, goiaba e morango. **Ciência Rural**, v.43, n.12, p.2291-2296, 2013.
- FUJITA, A.; BORGES, K.; CORREIA, R.; FRANCO, B. D. G. M.; GENOVESE, M. I. Impact of spouted bed drying on bioactive compounds, antimicrobial and antioxidant activities of commercial frozen pulp of camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc. Vaugh). **Food Research International**, v.54, n.1, p.495-500, 2013.
- GARCIA-PEREZ, J. V.; GARCÍA-ALVARADO, M. A.; CARCEL, J. A.; MULET, A. Extraction kinetics modeling of antioxidants from grape stalk (*Vitis vinifera* var. Bobal): Influence of drying conditions. **Journal of Food Engineering**, v.101, n.1, p.49-58, 2010.
- GERMANO, L. M. L. P. **Métodos alternativos de secagem de banana verde**. Monografia (Bacharel em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2016. 65f.
- GONELLI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; MAGALHÃES, F. E. A.; BAPTESTINI, F. M. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.33, n.1, p.1-8, 2011.
- GUEDES, A. M. M.; FARIA, L. J. G. Determinação da constante de secagem de urucum (*Bixa orellana* L.) em secador convectivo de leito fixo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.2, n.1, p.73-86, 2000.
- GUIMARÃES, M. K. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Cinética de secagem em camada de espuma da polpa de manga CV. Keitt. *Revista Caatinga*, v.30, n.1. p.172-180, 2017.
- GUINÉ, R. P. F. Análise das características químicas e físicas de pêras secadas. **Revista Educação, Ciência e Tecnologia**, p.213-221, 2000.
- GUNHAN, T.; DEMIR, V.; HANCIOGLU, E.; HEPBASLI, A. Mathematical modelling of drying of bay leaves. **Energy Convers and Management**, v.46, n.11-12, p.1667-1679, 2005.
- GURGEL, C. E. M. R. **Secagem da polpa de graviola (*Annona muricata* L.) em camada de espuma - desempenho do processo e características do produto**.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2014. 80f.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory: Temperature effect on drying. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.6, p.169-174, 1961.

HEREDIA, A.; PEINADO, I.; ROSA, E.; ANDRÉS, A. Effect of osmotic pre-treatment and microwave heating on lycopene degradation and isomerization in cherry tomato. **Food Chemistry**, v.123, n.1, p.92–98, 2010.

[httpspt.wikipedia.org/wikiCajazeirinhas](httpspt.wikipedia.org/wiki/Cajazeirinhas). Acesso em 09/03/2021.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos**. 4. ed. São Paulo: IAL, 2008. 1020p.

JESUS, S. C.; MATSUURA, F. C. A. U.; FOLEGATTI, M. I. S.; CARDOSO, R. L. Avaliação de banana-passa obtida de frutos de diferentes genótipos de bananeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.6, p.573-579, 2005.

KHATTAB, R. Y.; ARNTFIELD, S. D. Functional properties of raw and processed canola meal. **Food Science and Technology**, v. 42, n.6, p.1119-1124, 2009.

LEITE, D. D. F.; SANTOS, F. S.; SANTOS, D. C.; LISBÔA, J. F.; FERREIRA, J. P. L.; QUEIROZ, A. J. M. Modelagem matemática da cinética de secagem da casca do abacaxi. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.12, n.4, p.769-774, 2017.

LEWIS, W. K. The rate of drying of solid materials. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v.13, n.5, p.427-432, 1921.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v.148, p.350-382, 1987.

LIMA, R. B. **A família Rhamnaceae no Brasil, diversidade e taxonomia**. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas), Universidade de São Paulo, 2000. 292f.

LOBO, F. A. T. F. **Desidratação de polpa de manga da variedade *Tommy atkins* por foam mat drying, visando à retenção de compostos bioativos e à formulação de alimentos com apelo de funcionais**. Tese (Doutorado em Ciências Aplicadas a Produtos para Saúde), Universidade Federal Fluminense, 2017. 158f.

LOPES, F. J. **Estudo do fenômeno de encolhimento na secagem convectiva de abacaxi com aplicação de micro-ondas**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2013. 147f.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 3. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2009. v.2, 384p.

- LOURENÇO, B. R. **Estudo experimental da operação de secagem em secador elétrico tipo cabine**. Monografia (Bacharel em Engenharia de Materiais), Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2014. 74f.
- MACHADO, A. V.; SOUZA, J. A.; NOVAES, R. S. Estudo cinético da secagem da uva Isabel para produção de uva passa. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.10, n.1, p.47-51, 2015.
- MAIA, G. N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. São Paulo: Leitura e Arte Editora, 2004. 413p.
- MARTINAZZO, A. P. **Secagem, armazenamento e qualidade de folhas de *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, 2006. 140f.
- MARTINS, T. S. **Produção de coproduto de araçá (*Psidium cattleianum*): características da farinha e sua aplicação como novo ingrediente na indústria de panificação**. Monografia (Bacharel em Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal da Paraíba, 2019. 87f.
- MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais. Guia de seleção e emprego de plantas usadas em fitoterapia no Nordeste do Brasil**. 3. ed. Fortaleza: UFC, 2007. 394p.
- MATOS, J. D. P.; SILVA, S. N.; SILVA, L. P. F. R.; COSTA, Z. R. T.; GOMES, J. P. Aproveitamento integral de cascas de frutas para produção de farinha. In: **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**, Maceió/AL, 2018.
- MAZZUZ, C. F. **Calidad de frutos citricos: manual para su gestión desde la recolección hasta la expedición**. Barcelona: Tecnidex, 1996. 317p.
- MENDES, B. V. **Juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.): símbolo da resistência das plantas das Caatingas**. Fundação Vingt-um Rosado: Coleção Mossoroense, série B, n.1331, 1996. 25p.
- MENEZES, M. L.; STRAHER, A. P.; PEREIRA, N. C.; BARROS, S. T. D. Análise da cinética e ajustes de modelos matemáticos aos dados de secagem do bagaço do maracujá-amarelo. **Revista da Escola de Engenharia da UFF**, v.15, n.2, p.176-186, 2013.
- MICHALSKA, A.; WOJDYŁO, A.; ŁYSIAK, G. P, LECH, K.; FIGIEL, A. Functional relationships between phytochemicals and drying conditions during the processing of blackcurrant pomace into powders. **Advanced Powder Technology**, v.28, n.5, p.1340-1348, 2017.
- MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v.31, n.3, p.426-428, 1959.

- MORAIS, F. A. **Avaliação físico-química do baru: influência da secagem do epicarpo e mesocarpo e diferentes métodos de extração do óleo da amêndoa.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, 2019. 54f.
- MORAIS, S. G. G. **Estudo da cinética de secagem da batata-doce (*Ipomea batatas L.*) e caracterização da farinha.** Monografia (Bacharel em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal da Paraíba, 2016. 47f.
- MORENO, J. S. **Obtenção, caracterização e aplicação de farinha de resíduos de frutas em *cookies*.** Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2016. 82f.
- MRKIC, V.; COCCI, E.; ROSA, M. D.; SACCHETTI, G. Effect of drying conditions on bioactive compounds and antioxidant activity of broccoli (*Brassica oleracea L.*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.86, n.10, p.1559- 1566, 2006.
- MULITERNO, M. M.; RODRIGUES, D.; LIMA, F. S.; IOUKO, E.; KUROZAWA, L. E. Conversion/degradation of isoflavones and color alterations during the drying of okara. **LWT - Food Science and Technology**, v.75, p.512-519, 2017.
- OLIVEIRA, A. C. **Capacidade antioxidante de farinhas de resíduos de frutas tropicais.** Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde), Universidade Federal de Alagoas, 2008. 108f.
- OLIVEIRA, C. S. **Avaliação da secagem de frutos do juazeiro (*Ziziphus joazeiro*) em estufa e secador solar.** Monografia (Bacharel em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos), Universidade Federal de Campina Grande, 2018. 49f.
- OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; COSTA, L. M. Efeitos da secagem na coloração dos frutos de baru (*Dipteryx alata* Vogel). **Revista Agro@mbiente On-line**, v.10, n.4, p.364-370, 2016.
- OLIVEIRA, G. H. H.; ARAGÃO, D. M. S.; OLIVEIRA, A. P. L. P.; SILVA, M. G.; GUSMÃO, A. C. A. Modelagem e propriedades termodinâmicas na secagem de morangos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.18, n.4, p.314-321, 2015.
- OLIVEIRA, P. M. L.; DANTAS, A. M.; MORAIS, A. R. S.; GIBBERT, L.; KRUGER, C. C.; LIMA, M. S.; MAGNANI, M.; BORGES, G. S. C. Juá fruit (*Ziziphus joazeiro*) from Caatinga: a source of dietary fiber and bioaccessible flavanols. **Food Research International**, v.129, p.108745, 2020.
- ORTOLAN, F.; HECKTHEUER, L. H.; MIRANDA, M. Z. Efeito do armazenamento à baixa temperatura (-4 °C) na cor e no teor de acidez da farinha de trigo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.1, p.55-59, 2010.

- PACHECO, A. C. W.; LUZ, G. R.; POLON, P. E.; JORGE, L. M. M.; PARAÍSO, P. R. Modeling of drying and adsorption isotherms of the fish feed. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.54, n.8, p.577-588, 2011.
- PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer**. Dissertation (Masters of Mechanical Engineering), Purdue University, 1949.
- PAULA, L. C. **Efeito de diferentes métodos de conservação sobre os compostos bioativos e atividade antioxidante de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes)**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Goiás, 2015. 109f.
- PEREIRA, L. C. **Secagem do fruto do jameiro (*Syzygium malaccense* L.)**. Monografia (Bacharel em Engenharia Química), Universidade Federal do Maranhão, 2018. 65f.
- PERIN, E. C.; SCHOTT, I. B. **Utilização de farinha extraída de resíduos de uva na elaboração de biscoito tipo *cookie***. Monografia (Bacharel em Tecnologia em Alimentos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011. 62f.
- PIMENTEL, R. M. A.; GUIMARÃES, F. N.; SANTOS, V. M.; RESENDE, J. C. F. Qualidade pós-colheita dos genótipos de banana PA 42-44 e prata-anã cultivados no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.32, n.2, p.407-413, 2010.
- PIRES, F. C. S.; MARTINS, M. G.; MORAES, J. F. C.; BORGES, W. R. F.; PENA, R. S. Obtenção, caracterização e utilização de farinha de banana nanicao (*Musa sp.*) semi-madura na produção de um produto de base láctea. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.19, n.1, p.61-72, 2017.
- PONTES, S. F. O.; BONOMO, R. C. F.; PONTES, L. V.; RIBEIRO, A. C.; CARNEIRO, J. C. S. Secagem e avaliação sensorial de banana da terra. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.9, n.2, p.143-148, 2007.
- PORTO, M. A. L. **Otimização da desidratação osmótica de uva Crimson Seedless (*Vitis vinifera* L.)**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011. 63f.
- RAJKUMAR, P.; KAILAPPAN, R.; VISWANATHAN, R.; RAGHAVAN, G. S. V. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. **Journal of Food Engineering**, v.79, n.4, p.1452-1459, 2007.
- RATTANAPANT, O.; LEBERT, A.; LAGUERRE, J. C.; BIMBENET, J. J. Simulation of Deep Bed Drying of Particles. In: **Engineering and Food**. v.1. London: Elsevier Applied Science, p.579-591, 1990.

- REIS, D. R.; SANTOS, P.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G. Influência das características do ar na cinética de secagem de pimenta variedade bico. **Brazilian Journal Food Technology**, v.18, n.2, p.146-154, 2015b.
- REIS, D. S.; NETO, A. F.; FERRAZ, A. V.; FREITAS, S. T. Produção e estabilidade de conservação de farinha de acerola desidratada em diferentes temperaturas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.20, e2015083, 2017.
- REIS, R. C.; VIANA, E. S.; JESUS, J. L.; LIMA, L. F.; NEVES, T. T.; CONCEIÇÃO, E. A. Compostos bioativos e atividade antioxidante de variedades melhoradas de mamão. **Ciência Rural**, v.45, n.11, p.2076-2081, 2015a.
- RESENDE, K. K. O.; SILVA, S. S.; GUEDES, S. F.; LOSS, R. A. Cinética de secagem e avaliação físico-química de fruta-pão (*Artocarpus altilis*) variedade semínifera. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.6, n.1, p.74-81, 2019.
- RONCHETI, E. S. **Estudo do processo de secagem em leito de espuma de cenoura, tomate, beterraba e morango**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Espírito Santo, 2014. 66f.
- RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH**. Comunicado Técnico 127. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007a. 4p.
- RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS<sup>+</sup>**. Comunicado Técnico 128. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007b. 4p.
- SACRAMENTO, C. K.; FARIA, J. C.; CRUZ, F. L.; BARETTO, W. S.; GASPAR, J. W.; LEITE, J. B. V. Caracterização física e química de frutos de três tipos de gravioleira (*Annona Muricata* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, n.2, p.329-331, 2003.
- SAMPAIO, J. S.; SILVA, F. A. N. G. Determinação das densidades de sólidos e de polpa. In: **Tratamento de minérios: práticas laboratoriais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, p.37-51, 2007.
- SANTANA, M. F. S. **Caracterização físico-química de fibra alimentar de laranja e maracujá**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, 2005. 168f.

- SANTOS, C. T.; BONOMO, R. F.; CHAVES, M. A.; FONTAN, R. C. I.; BONOMO, P. Cinética e modelagem da secagem de carambola (*Averrhoa carambola* L.) em secador de bandeja. **Acta Scientiarum Technology**, v.32, n.3, p.309-313, 2010.
- SANTOS, D. C.; OLIVEIRA, E. N. A.; MARTINS, J. N.; ROCHA, A. P. Secagem da polpa de caju em secador de leito de jorro. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v.9, n.2, p.1875-1887, 2015.
- SANTOS, D. C.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; OLIVEIRA, E. N. A. Cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.2, p.223-231, 2012.
- SANTOS, F. S.; LEITE, D. D. F.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Modelagem matemática da cinética de secagem da romã. **Revista Espacios**, v.38, n.52, p.27-36, 2017.
- SENSING, K. M. **Precise color communication - color control from perception to instrumentation**. Japan: Konica Minolta Sensing, 2007. 62p.
- SEVERO, L. S. **Obtenção de polpa de banana em pó pelo método de secagem em camada de espuma**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Ceará, 2016. 96f.
- SILVA, A. G. F.; COSTA, F. B.; BRASIL, Y. L.; LIMA, B. M.; SOUSA, E. P. R.; MORAIS, S. K. Q.; NASCIMENTO, A. M.; SILVA, J. L.; SILVA, K. G.; RIBEIRO, W. S. Avaliação in vitro da cinética de álcool desidrogenase em frutos de *Ziziphus joazeiro* para aliviar os efeitos deletérios do álcool. **Research, Society and Development**, v.9, n.4, e107942900, 2020a.
- SILVA, A. S.; GURJÃO, K. C. DE O.; ALMEIDA, F. DE A. C.; BRUNO, R. L. A.; PEREIRA, W. E. Desidratação de polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.6, p.1981-1829, 2008.
- SILVA, D. V. **Propriedades nutricionais, físicas, químicas e tecnológicas funcionais das farinhas de baru (*Dipteryx alata* Vogel) em função de diferentes condições de secagem do fruto**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, 2017b. 113f.
- SILVA, H. A. **Potencial nutricional e tecnológico de amêndoa de juá**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande, 2019a. 78f.
- SILVA, J. B. **Caracterização físico-química e química do fruto do juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart) e avaliação da sua conservação por fermentação láctica**. Tese (Doutorado e, Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2014. 95f.

SILVA, J. B.; MOURA, M. F. V.; SILVA, T. R. C.; ARAÚJO, N. G.; BARBOSA, I. M. Caracterização físico-química e composição centesimal e mineral do fruto do juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.). **Enciclopédia Biosfera**, v.14, n.25, p.289-299, 2017b.

SILVA, J. L. **Compostos bioativos e capacidade antioxidante em frutos de juazeiro armazenados sob temperatura controlada**. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais), Universidade Federal de Campina Grande, 2017a. 75f.

SILVA, J. L. **Qualidade e armazenamento de frutos de juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.) sob temperatura ambiente**. Monografia (Bacharel em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Campina Grande, 2015a. 75f.

SILVA, J. L.; COSTA, F. B.; NASCIMENTO, A. M. **Frutos de Juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.): Efeito do armazenamento nas características físico-químicas, compostos bioativos e capacidade antioxidante**. 1. ed. Novas Edições Acadêmicas, 2020b. 57p.

SILVA, J. L.; COSTA, F. B.; NASCIMENTO, A. M.; COSTA, R. R. V.; SANTIAGO, M. M. Avaliação física e físico-química de frutos de juazeiro (*Zizyphus joazeiro* Mart.) em diferentes estádios de maturação. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.11, n.5, p.177-181, 2016.

SILVA, J. L.; COSTA, F. B.; NASCIMENTO, A. M.; COSTA, R. T. R. V.; FORMIGA, A. S. Pós-colheita de frutos de juazeiro em diferentes estádios de maturação. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.13, n.3, p.302-307, 2018.

SILVA, J. L.; COSTA, F. B.; NASCIMENTO, A. M.; SOUSA, F. F.; SANTOS, K. P. Taxa respiratória de frutos de juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.) armazenado sob temperatura ambiente. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.12, n.2, p.343-347, 2017a.

SILVA, J. L.; NASCIMENTOS, A. M.; GADELHA, T. M.; MACÊDO, L. F.; ALCÂNTARA, C. M.; COSTA, F. B. Coloração de frutos de Juazeiro armazenados sob temperatura controlada. In: **Empoderamento Científico e seus Aspectos Inovadores**. Belo Horizonte: Poisson, 2020c.

SILVA, L. R.; BARRETO N, D. S.; BATISTA, P. F.; ARAÚJO, F. A. R.; MORAIS, P. L. D. Caracterização de frutos de cinco acessos de juazeiro (*Zizyphus joazeiro* Mart.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.13, n.1, p.15-20, 2011.

SILVA, N. C. **Desidratação de resíduos do processamento de maracujá-amarelo por diferentes metodologias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Uberlândia, 2015b. 164f.

SILVA, P. A.; CUNHA, R. L.; LOPES, A. S.; PENA, R. S. Caracterização de farinhas de tapioca produzidas no estado do Pará. **Ciência Rural**, v.43, n.1, p.185-191, 2013.

SILVA, P. B. **Sangue bovino em pó: análise física**. Monografia (Bacharel em Engenharia Química), Universidade Federal da Paraíba, 2019b. 41f.

SOARES, E. C.; OLIVEIRA, G. S. F.; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C. S.; SILVA, A. J.; FILHO, M. S. S. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* DC) pelo processo "Foam-mat". **Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.21, n.2, p.164-170, 2001.

SOQUETTA, M. B. **Caracterização físico-química, microbiológica e compostos bioativos de farinhas de cascas e bagaço de kiwi (*Actinida deliciosa*) e sua aplicação em patê**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Santa Maria, 2015. 111f.

SOUSA, A. M. C.; FELIX, A. K. N. Caracterização físico-química da farinha obtida a partir da casca do fruto do juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Martius). In: **III Encontro Regional de Estudantes de Gastronomia**, Salvador/BA, 2019.

SOUSA, B. A. A. **Funcionalidade dos extratos fenólicos obtidos pelo cultivo semi-sólido de resíduos de abacaxi (*Ananas comusus* L.) e goiaba (*Psidium guajava* L.)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2009. 120f.

SOUSA, E. P. R.; COSTA, F. B.; SILVA, J. L.; NASCIMENTO, A. M.; SILVA, A. G. F.; ALCÂNTARA, C. M.; SALES, G. N. B.; MACÊDO, L. F.; SOUZA, P. A.; GADELHA, T. M.; RIBEIRO, W. S. Atividade respiratória e qualidade físico-química de frutos de juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.). **Research, Society and Development**, v.9, n.7, e380974315, 2020.

SOUSA, F. C.; SILVA, L. M. M.; CASTRO, D. S.; NUNES, J. S.; SOUSA, E. P. Propriedades Físicas e Físico-Químicas da Polpa de Juazeiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.8, n.2, p.68-71, 2013.

SOUSA, R. V. **Secagem em camada fina e espessa de grãos de arroz vermelho em casca: avaliação experimental, modelagem e simulação**. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos), Universidade Federal de Campina Grande, 2017. 207f.

SOUZA, D. S.; SOUZA, J. D. R. P.; COUTINHO, J. P.; FERRÃO, S. P. B.; SOUZA, T. S.; SILVA, A. A. L. Elaboração de farinha instantânea a partir da polpa de fruta-pão (*Artocarpus altilis*). **Ciência Rural**, v.42, n.6, p.1123-1129, 2012b.

SOUZA, R. L. A.; CORREIA, R. T. P. Caracterização físico-química e bioativa do figo-da-índia (*Opuntia ficus-indica*) e farinha de algaroba (*Prosopis juliflora*) e avaliação

sensorial de produtos derivados. **Revista da Sociedade Brasileira de Alimentos e Nutrição**, v.24, n.4, p.369-377, 2013.

SOUZA, V. R.; PEREIRA, P. A. P.; QUEIROZ, F.; BORGES, S. V.; CARNEIRO, J. D. S. Determination of bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Cerrado Brazilian fruits. **Food Chemistry**, v.134, n.1, p.381-386, 2012a.

SPÓSITO, M. B.; BASSANEZI, R. B.; AMORIM, L. Resistência à mancha preta dos citros avaliada por curvas de progresso da doença. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, n.5, p.532-537, 2004.

STORCK, C. R.; BASSO, C.; FAVARIN, F. R.; RODRIGUES, A. C. Qualidade microbiológica e composição de farinhas de resíduos da produção de suco de frutas em diferentes granulometrias. **Brazilian Journal Food Technology**, v.18, n.4, p.277-284, 2015.

SUCUPIRA, N. R.; XEREZ, A. C. P.; SOUSA, P. H. M. Perdas vitamínicas durante o tratamento térmico de alimentos. **UNOPAR Científica Ciências Biológicas e Saúde**, v.14, n.2, p.121-128, 2012.

SUVARNAKUTA, P.; CHAWEEERUNGRAT, C.; DEVAHASTIN, S. Efeitos de métodos de secagem na dosagem e atividade antioxidante de xantonas na casca do mangostão. **Food Chemistry**, v.125, n.1, p.240-247, 2011.

TAN, D. L. S.; MIYAMOTO, K.; ISHIBASHI, K.; MATSUDA, K.; SATOW, T. Thin-layer drying of sweet potato chips and pressed grates. **Transactions of the ASAE**, v.44, n.3, p.669-674, 2001.

TELES, A. S. C.; CHÁVEZ, D. W. H.; GOMES, F. S.; CABRAL, L. M. C.; TONON, R. V. Efeito da temperatura na degradação de compostos bioativos do bagaço de uva *Pinot Noir* durante a secagem. **Brazilian Journal Food Technology**, v.21, e2017059, 2018.

TIBOLA, C. S.; LUCCHETTA, L.; ZANUZO, M. R.; SILVA, P. R.; FERRI, V. C.; ROMBALDI, C. V. Inibição da ação do etileno na conservação de caquis (*Diospyros kaki* L.) 'Fuyu'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.27, n.1, p.36-39, 2005.

TOME, A. C.; AUGUSTINHA, B. F. Teor de vitamina C em farinha da casca, polpa e semente de mamão (*Carica papaya*) submetidas a diferentes temperaturas de secagem. **UNICIÊNCIAS**, v.22, n. especial, p.43-46, 2018.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. **Food Science and Technology**, v.29, n.2, p.444-450, 2009.

- VANNUCHI, H.; JORDÃO JÚNIOR, A. A. Vitaminas hidrossolúveis. In: **Ciências nutricionais**. São Paulo: Sarvier, p.191-208.1998.
- VASCONCELOS, L. F. S. **Definição de parâmetros para a secagem em camada de espuma (foam-mat drying) do juazeiro (*Ziziphus joazeiro*)**. Monografia (Bacharel em Engenharia Química), Universidade Federal de Campina Grande, 2017. 38f.
- VEDANA, M. I. S. **Efeito do processamento na atividade antioxidante da uva**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia em Alimentos), Universidade Federal do Paraná, 2008. 88f.
- VIEIRA, A. S. **Secagem de resíduo de goiaba em secador convectivo de bandejas: Modelagem matemática e análise de processo**. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2014. 155f.
- VIEIRA, G. N. A. **Caracterização e secagem de grãos de linhaça marrom (*Linum usitatissimum L.*) em leito fixo e fluidizado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de São Carlos, 2012. 82f.
- VISSOTO, F. Z.; MONTENEGRO, F. M.; SANTOS, J. M.; OLIVEIRA, S. J. R. Avaliação da influencia dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, n.3, p.666-671, 2006.
- WATERHOUSE, A. **Folin-Ciocalteu micro method for total phenol in wine**, 2012. Disponível em: <http://waterhouse.ucdavis.edu/phenol/folinmicro.htm>. Acesso em: 05/07/2020.
- YEMM, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, v.57, n.3, p.508-515,1954.
- ZHANG, W.; PAN, Z.; XIAO, H.; ZHENG, Z.; CHEN, C.; GAO, Z. Pulsed vacuum drying (PVD) technology improves drying efficiency and quality of Poria cubes. **Drying Technology**, v.36, n.8, p.908-921, 2018.