



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE BIOTECNOLOGIA E BIOPROCESSOS**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE BIOTECNOLOGIA E BIOPROCESSOS**

**CARLA DA SILVA OLIVEIRA**

**AVALIAÇÃO DA SECAGEM DE FRUTOS DO JUAZEIRO (*Ziziphus joazeiro*) EM  
ESTUFA E SECADOR SOLAR**

**SUMÉ-PB**  
**2018**

**CARLA DA SILVA OLIVEIRA**

**AVALIAÇÃO DA SECAGEM DE FRUTOS DO JUAZEIRO (*Ziziphus joazeiro*) EM  
ESTUFA E SECADOR SOLAR**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos.

**Orientador: Prof. Dr. Bruno Rafael Pereira Nunes**

**SUMÉ-PB  
2018**

O482a Oliveira, Carla da Silva.

Avaliação da secagem de frutos do juazeiro (*Ziziphus joazeiro*) em estufa e secador solar. / Carla da Silva Oliveira. - Sumé - PB: [s.n], 2018.

49 f.

Orientador: Professor Dr. Bruno Rafael Pereira Nunes.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos.

1. Secador solar. 2. Semiárido. 3. *Ziziphus joazeiro*. I. Título.

CDU: 60(043.1)

**CARLA DA SILVA OLIVEIRA**

**AVALIAÇÃO DA SECAGEM DE FRUTOS DO JUAZEIRO (*Ziziphus joazeiro*) EM ESTUFA E SECADOR SOLAR**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos.

**BANCA EXAMINADORA**

Bruno Rafael Pereira Nunes.

**Prof. Dr. Bruno Rafael Pereira Nunes.**  
**Orientador – UAEB/CDSA/UFCG**

Glauciane D. Coelho

**Prof.ª Dra. Glauciane Danusa Coelho**  
**Examinadora I – UAEB/CDSA/UFCG**

Arianne de Freitas Barros Soares

**Prof.ª Ma. Arianne de Freitas Barros Soares.**  
**Examinadora II – UAEB/CDSA/UFCG**

Aprovado em: 07 de AGOSTO 2018.

**SUMÉ - PB**

A Deus por estar sempre comigo.

A meus pais Maria Da paz e Cícero, razão de minha existência e grandes incentivadores dos meus estudos, sempre batalhando para que eu alcance todos os meus objetivos.

A meus irmãos Cássio, Rita de Cássia e Caio (saudoso) que me apoiaram durante minha caminhada ajudando em todos os momentos e cuidando sempre de mim.

A meu esposo Vagner e meu filho Victor Gabriel que estão comigo desde a metade de minha caminhada no curso, me animando nos dias tristes e compartilhando todas as conquistas com muito carinho.

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e a Nossa Senhora, minha maior motivação, que em meio a todas as dificuldades, senti sua presença ao meu lado me levantando e me mostrando que eu posso conseguir o que almejo com dedicação e principalmente muita fé.

A meus amados pais, a quem não tenho palavras suficientes para agradecer por tudo o que fizeram e fazem por mim, por não me abandonarem em nenhum momento, por serem os melhores pais que eu poderia ter, por me amarem imensamente, por terem cuidado tão bem de mim e agora cuidando com muito amor e atenção do meu filho.

Aos meus irmãos Cássio, Rita de Cássia e ao saudoso Caio, pelo grande amigo e companheiro que foi, a eles devo muito, grandes impulsionadores dessa e de tantas outras conquistas em minha vida. Pelos puxões de orelha quando necessário e pelo amor incondicional que demonstram por mim. Enfim, obrigada por tudo! Amo muito vocês. Às minhas sobrinhas Geovanna e Mariana, que amo demais, são as princesas lindas de tia.

A Vagner, meu esposo pelo companheirismo, amizade, paciência nos meus momentos de estresse principalmente no final da caminhada, por estar sempre de braços abertos para me acolher e me apoiar nas decisões que eu tomar, por entender minhas ausências, por me amar. A quem amo imensamente, não me imagino sem sua presença em meu futuro, obrigada pelo cuidado, carinho, atenção, amor que demonstra ter por mim e pelo nosso filho.

Ao meu pequeno Victor Gabriel, que com seu sorriso encantador, me levanta de qualquer rasteira que eu levar da vida, que mesmo tão pequeno, com só 2 anos já entende tanta coisa, meu ajudante, minha companhia, uma parte de mim, agradeço a Deus por ter me dado este lindo presente, e agradeço a ele por tantas emoções boas que me transmite todos os dias, me motivando ainda mais a continuar e a buscar dar sempre o melhor de mim para ele.

De maneira especial, ao meu orientador professor Bruno, por não se recusar a me ajudar no desenvolvimento deste trabalho, por sua paciência comigo e por todas as suas contribuições não só neste trabalho, mas durante toda minha trajetória no curso, por se fazer presente durante o desenvolvimento da parte experimental, na medida do possível. Obrigada por tudo.

Ao Laboratório de Engenharia Bioquímica da UFCG, no campus sede, onde foram realizadas as análises do material e ao colega Elder Borges pela colaboração para o desenvolvimento desta pesquisa.

A todos os professores que passaram pela minha vida estudantil, desde o primário até hoje, sem eles não teria chegado até aqui. Obrigada!

Agradeço carinhosamente à minha grande amiga, comadre e irmã de coração Gércia Gonçalves, que apesar da ausência física, nossa amizade continua, a tenho sempre em meu coração e que sei que manda muita energia boa pra mim, a quem desejo todo o sucesso do mundo, agradeço por ser uma amiga tão meiga e doce, que tem sempre uma palavra amiga quando preciso, que de vez em quando dá uns puxões de orelha (rsrs), mas sei que são pra o meu bem, enfim, amiga, obrigada por ser uma pessoa incrível que amo demais. A Aleksandra Tavares, minha outra grande amiga e comadre a quem considero muito e tenho um carinho imenso, a amiga alto astral que mesmo triste tenta animar os outros e faz piadas mesmo diante das dificuldades que passa, e com isso me anima sempre com seu bom humor e carisma, além de ter uma voz admirável e cantar muito bem, tem uma princesa tão linda e encantadora. Obrigada minhas amigas queridas por existirem em minha vida, amo vocês.

Obrigada a banca examinadora deste trabalho por todas as contribuições, que são muito bem aceitas e válidas.

Enfim, só tenho a agradecer a todo mundo, parentes, amigos, colegas de curso, aos técnicos dos laboratórios que me ajudaram sempre que precisei, aos porteiros das centrais de aulas e dos laboratórios que por muitas vezes ouviram minhas lamentações e alegrias, em especial ao porteiro da central de laboratórios Cristiano, que nos dias que precisei estava pra me ajudar em tudo o que fosse possível, com muito bom humor e simpatia.

Sou grata a todos que passaram em minha vida até hoje, que de alguma maneira deixaram um pouco deles comigo, me tornando assim o ser humano que sou hoje, falho, frágil, mas que aprende muito todos os dias com todas as experiências vividas.

## RESUMO

A caatinga é um bioma brasileiro que abriga grande parte do patrimônio biológico do país e uma rica biodiversidade com alto potencial, especialmente em produtos vegetais que podem ser utilizados para diversos fins. Os frutos do juazeiro (*Ziziphus joazeiro*), árvore nativa da caatinga, são um exemplo disto. Os frutos produzidos são quase que totalmente desperdiçados, fazendo-se necessários estudos para a adoção de métodos de conservação e a caracterização nutricional que possam contribuir para o desenvolvimento de mais uma fonte alimentar e agregar valor, reduzindo assim o desperdício desse fruto. A cidade de Sumé, no interior da Paraíba é um município que possui grande potencial para captação de energia solar, possibilitando realizar a secagem natural de frutos. O objetivo deste trabalho foi realizar a secagem dos frutos do juá em estufa e secador solar e caracterizar as amostras *in natura* e desidratadas. As caracterizações consistiram na determinação de umidade, açúcares redutores totais, acidez e vitamina C. Em cada secagem foram utilizados cerca de 250 gramas da polpa do juá com casca. A umidade inicial das amostras foi de 71%, em base úmida. A secagem na estufa foi efetuada à 60°C por 20,5 horas, enquanto que no secador solar a secagem durou 20 horas com temperatura máxima de 64°C, nos horários de maior incidência de radiação. A amostra desidratada no secador solar teve uma redução de 68% na massa de água, com umidade final de 9%, em base úmida, enquanto que na estufa a massa de água sofreu redução de 60% e umidade final de 25%, em base úmida. A umidade máxima estipulada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária para produtos vegetais secos ou desidratados é de 12%. Todos os modelos matemáticos utilizados ajustaram-se de maneira satisfatória às curvas obtidas, sendo que o modelo de Page apresentou os maiores valores do coeficiente de determinação  $R^2$  para os dois processos, podendo ser utilizado para descrever o comportamento da secagem. Com isso, verifica-se também que o secador solar é uma boa alternativa para secagem de frutas e vegetais de forma sustentável e mais econômica que os métodos convencionais.

**Palavras-chave:** Semiárido. *Ziziphus joazeiro*. Secador solar. Armazenamento.

## ABSTRACT

*Caatinga* is a Brazilian biome that shelters a large part of the country's biological heritage and a rich biodiversity with high potential, especially in plant products that can be used for various purposes. The fruits of *juazeiro* (*Ziziphus joazeiro*), a native tree from *caatinga*, are an example of that. The fruits produced are almost totally wasted, being necessary studies for the adoption of conservation methods and the nutritional characterization that may contribute to the development of one more food source, as well as add value, thus reducing the waste of this fruit. The city of Sumé, in the state of Paraíba, is a municipality that has great potential for capturing solar energy, making it possible to perform the natural drying of fruits. The objective of this work was to perform the drying of *juá* fruits in greenhouse and solar dryer and characterize *in natura* and dehydrated samples. Characterizations consisted of determination of moisture, total reducing sugars, acidity and vitamin C. In each drying, about 250 grams of *juá* pulp with bark were used. The initial moisture of the samples was 71%, on wet basis. The oven drying was carried out at 60° C for 20.5 hours, while in the solar dryer the drying lasted 20 hours with maximum temperature of 64°C, at the times of higher radiation incidence. The dehydrated sample in the solar dryer had a 68% reduction in the water mass, with final humidity of 9%, on wet basis, while in the greenhouse the water mass was reduced by 60% and final humidity of 25% on a wet basis. The maximum humidity stipulated by ANVISA for dried or dehydrated vegetable products is 12%. All the mathematical models used were adjusted in a satisfactory way to the curves obtained, the model of Page presented the highest values of the coefficient of determination  $R^2$  for the two processes, so that it can be used to describe the drying behavior. This way, it is also verified that the solar dryer is a good alternative for drying of fruits and vegetables in a sustainable and more economical way than the conventional methods.

**Key-words:** Semi-arid . *Ziziphus joazeiro*. Solar dryer. Storage.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Árvore do juazeiro ( <i>Zizphus joazeiro</i> ).....	17
<b>Figura 2</b> – Frutos do juazeiro na árvore. ....	19
<b>Figura 3</b> – Estufa incubadora Quimis® - Q316M utilizada para secagem de alimentos .....	23
<b>Figura 4</b> - Secador solar utilizado na secagem dos frutos do juá. ....	30
<b>Figura 5</b> – Polpa com casca dos frutos do juá <i>in natura</i> . ....	34
<b>Figura 6</b> – Frutos do juá após a secagem no secador solar. ....	38
<b>Gráfico 1</b> - Comportamento da umidade ( $X_{bs}$ ) em função do tempo, na secagem do juá em estufa.....	35
<b>Gráfico 2</b> - Comportamento da Razão de secagem (RX) dos frutos do juá em estufa, em função do tempo (min), com ajuste pelos modelos de Newton (a), Page (b), Henderson e Pabis (c) e Logarítmico (d).....	36
<b>Gráfico 3</b> - Comportamento das temperaturas interna ( $T_{int}$ ) e externa ( $T_{ext}$ ), na secagem do juá em secador solar, em função do tempo .....	39
<b>Gráfico 4</b> - Comportamento da umidade ( $X_{bs}$ ) em função do tempo, na secagem do juá no secador solar. ....	40
<b>Gráfico 5</b> - Comportamento da Razão de secagem (RX) dos frutos do juá em secador solar, em função do tempo (min), com ajuste pelos modelos de Newton (a), Page (b), Henderson e Pabis (c) e Logarítmico (d). ....	41

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Modelos de regressão não-linear aplicados às curvas de secagem dos frutos do juá ( <i>Ziziphus joazeiro</i> ) .....	<b>31</b>
<b>Tabela 2</b> - Modelos de regressão não-linear aplicados à curva de secagem dos frutos do juá ( <i>Ziziphus joazeiro</i> ), em estufa. ....	<b>37</b>
<b>Tabela 3</b> - Modelos de regressão não-linear aplicados à curva de secagem da polpa dos frutos do juá ( <i>Ziziphus joazeiro</i> ), em secador solar. ....	<b>41</b>
<b>Tabela 4</b> – Dados relativos à cinética de secagem dos frutos do juá na estufa e no secador solar. ....	<b>42</b>
<b>Tabela 5</b> - Média dos resultados das análises físico-químicas do fruto do juazeiro com seus respectivos desvios padrões. ....	<b>43</b>

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1</b> – Cálculo da umidade em base seca ( $X_{bs}$ ) .....	<b>30</b>
<b>Equação 2</b> – Cálculo da razão do teor de água (RX) .....	<b>30</b>
<b>Equação 3</b> - Cálculo para determinação da umidade de equilíbrio .....	<b>31</b>
<b>Equação 4</b> – Cálculo da quantidade de açúcares redutores (AR) das amostras .....	<b>32</b>
<b>Equação 5</b> – Cálculo para determinação da acidez .....	<b>32</b>
<b>Equação 6</b> – Cálculo da massa de ácido ascórbico .....	<b>33</b>
<b>Equação 7</b> – Cálculo do fator de correção.....	<b>33</b>
<b>Equação 8</b> – Cálculo da quantidade de ácido ascórbico presente na amostra.....	<b>33</b>

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1. OBJETIVOS .....	<b>16</b>
1.1.1. OBJETIVO GERAL.....	<b>16</b>
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	<b>16</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
2.1. CARACTERÍSTICAS DO JUAZEIRO ( <i>ZIZIPHUS JOAZEIRO</i> ).....	<b>17</b>
2.2. SECAGEM .....	<b>20</b>
2.2.1. Secagem Natural .....	<b>21</b>
2.2.2. Secagem Artificial.....	<b>22</b>
2.3. SECADORES SOLARES .....	<b>24</b>
2.3.1. Tipos de secadores solares .....	<b>24</b>
2.4. CINÉTICA DE SECAGEM E MODELOS MATEMÁTICOS PARA AJUSTE DOS DADOS.....	<b>25</b>
2.5. SECAGEM DE VEGETAIS .....	<b>27</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>29</b>
3.1. MATÉRIA PRIMA.....	<b>29</b>
3.2. SECAGEM DO MATERIAL NA ESTUFA .....	<b>29</b>
3.3. SECAGEM DO MATERIAL NO SECADOR SOLAR .....	<b>29</b>
3.4. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO CINÉTICO .....	<b>30</b>
3.5. CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL.....	<b>31</b>
3.5.1. Determinação da Umidade em Base Úmida .....	<b>31</b>
3.5.2. Açúcares Redutores.....	<b>32</b>
3.5.3. Acidez.....	<b>32</b>
3.5.4. Determinação de Ácido Ascórbico (Vitamina C) – Método do DCFI (2,6 Diclorofenol Indofenol).....	<b>33</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>34</b>
4.1. AVALIAÇÃO DA CINÉTICA DE SECAGEM EM ESTUFA.....	<b>34</b>
4.2. AVALIAÇÃO DA CINÉTICA DE SECAGEM NO SECADOR SOLAR .....	<b>38</b>
4.3. COMPARAÇÃO ENTRE OS DOIS MÉTODOS DE SECAGEM .....	<b>42</b>
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>46</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores berços de biodiversidade no mundo, possui vasta diversidade de produtos naturais, como castanhas, frutas, raízes, folhas e sementes que são ou podem ser utilizadas como alimentos (CORADIN *et al.*, 2011). Os frutos nativos do Brasil são considerados muito saborosos e nutritivos, todavia muitos deles são conhecidos apenas por sua população local e distribuem-se de modo sazonal em certas regiões (FERREIRA *et al.*, 2008).

O mesmo acontece com a Caatinga, um bioma brasileiro cuja riqueza e potencial ainda não são devidamente conhecidos. Apresenta rica biodiversidade e grande parte do seu patrimônio biológico só pode ser encontrado no Brasil. Atualmente, existem muitas ações de pesquisa com o objetivo de elucidar a riqueza do bioma e seu potencial econômico (EMBRAPA SEMIÁRIDO, 2016).

Muitos produtos de origem natural poderiam ter seu uso direcionado a indústrias de bioprocessos, visando à utilização da sua biomassa como fonte para obtenção de novos produtos, como é o caso dos frutos do juazeiro que ainda são bastante desconhecidos para fins comerciais e, geralmente não são encontrados em feiras, apesar do seu potencial econômico, o que indica, possivelmente, a falta de conhecimento que os produtores, a indústria e a população têm das frutas nativas e seu potencial alimentício e nutricional (SANTOS; JÚNIOR; PRATA, 2010).

*Zizyphus joazeiro* o juazeiro, é uma árvore que tem origem no agreste e no sertão do nordeste brasileiro, nativa da Caatinga. Resistente ao estresse hídrico mantém-se verde nos períodos de estiagem e vive mais de cem anos. O juazeiro está distribuído geograficamente em alguns estados como Bahia, Ceará, Maranhão, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. Não existem matas de juazeiro, a planta apresenta-se isolada em meio à vegetação xerófila. Floresce durante os meses de novembro e dezembro e a maturação dos frutos do juá ocorre no período de junho a julho (LORENZI, 2009; LOPPES, 2008).

O juá é bastante utilizado pela população do semiárido na alimentação animal, partes da planta são utilizadas com fins farmacológicos, além do consumo dos frutos em forma de sucos e geleias. Entretanto, os estudos e pesquisas acerca da espécie e das potencialidades ainda são poucos. Associado a isso, o fruto em questão apresenta elevado teor de água em seu

interior – cerca de 80% de sua massa – o que o torna mais suscetível ao ataque de microrganismos. Nesse contexto, é de extrema relevância ao estudo o desenvolvimento de técnicas que viabilizem o processo de conservação de frutos, a exemplo do juá. Com o intuito de disseminar o consumo e o potencial de comercialização do juá, torna-se muito importante a adoção de técnicas de conservação, que além de agregar valor econômico a um produto bastante nutritivo e atrativo sensorialmente, coloca em evidência o potencial de alimentos do sertão nordestino (FEITOZA, 2016).

A secagem é uma das etapas presentes nos processos industriais de produtos agrícolas retirando parte da água contida neles, de modo que as qualidades nutritivas e a viabilidade sejam preservadas (ELIAS et al., 2017). Entre os diferentes sistemas de secagem, podem ser citados os secadores mecânicos que utilizam a energia oriunda da queima de lenha, combustíveis fósseis ou pelo uso da eletricidade para gerar o aquecimento do gás de secagem. No secador solar, o gás de secagem é aquecido pela energia do sol, sendo atualmente a energia mais utilizada na secagem, principalmente quando se trata de grãos e sementes. A secagem solar tradicional é aquela realizada com o produto exposto a céu aberto sob condições ambientais normais (PARK et al, 2007).

A secagem realizada por meio dos secadores solares é uma alternativa mais barata por necessitar de pouco investimento inicial e de manutenção, utilizar a energia solar e o vento para desidratar o produto. Assim possibilita um melhor aproveitamento da produção e permite a comercialização dos produtos fora dos períodos de safra, por apresentar facilidade de estocagem, contribuindo diretamente para o aumento da produtividade e dos lucros, já que para obter secadores convencionais é necessário alto investimento de aquisição e operação.

Devido aos elevados índices de incidência solar, superior a 2.800 horas anuais (UNICAMPO, 2005), o município de Sumé localizado no Cariri paraibano, possui grande potencial para atividades dependentes de energias renováveis como a luz solar, dentre eles a secagem natural de frutos. Dentre estes frutos, é possível destacar os do juazeiro, por encontrar-se disponível na região e por apresentar características e composição de interesse em diversos ramos de pesquisa, principalmente os relacionados à conservação de alimentos.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a cinética de secagem dos frutos do juá (*Ziziphus joazeiro*) em secador solar e estufa.

### 1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar os frutos *in natura* e desidratados quanto à umidade, açúcares redutores totais, acidez e vitamina C;
- Realizar a aplicação de modelos matemáticos para predição do comportamento dos processos;
- Comparar os dois métodos de secagem utilizados – estufa e secador solar.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. CARACTERÍSTICAS DO JUAZEIRO (*ZIZIPHUS JOAZEIRO*)

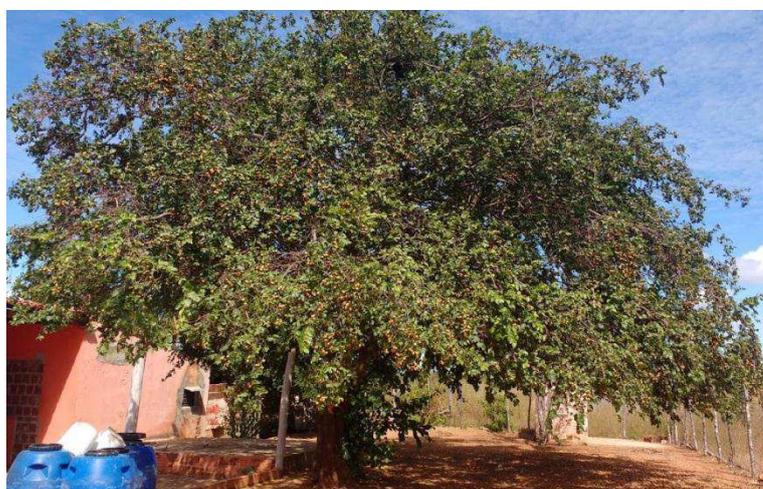
A caatinga possui uma área de 844.453 km<sup>2</sup>, abrangendo cerca de 10% do território nacional e integrando os estados do Ceará, Alagoas, Bahia, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Piauí e uma pequena porção do norte de Minas Gerais (PENA, 2018).

De acordo com Pereira et al. (2013), as mudanças no clima, movimentos tectônicos, a grande quantidade de áreas mais altas e depressões fizeram com que a região semiárida apresente-se como uma região rica em espécies de plantas, animais, solos e águas. Além disso, diversas espécies introduzidas de outras regiões desenvolveram mecanismos de adaptação que permitiram garantir sua sobrevivência frente às mais drásticas mudanças climáticas e de redução nos recursos hídricos.

Muitas das espécies vegetais presentes no bioma caatinga podem ser utilizadas para suprir necessidades da população, como a alimentação humana e animal, o vestuário, a habitação, o lazer e a saúde (BRASIL, 2010).

O juazeiro (*Ziziphus joazeiro*) é uma espécie endêmica da caatinga, que apresenta uma grande importância econômica e biológica, devido sobretudo as propriedades medicinais. A árvore é bastante conhecida no semiárido nordestino, seus frutos apresentam propriedades nutricionais e podem, inclusive, ser utilizados para alimentação humana (DANTAS et al., 2014). A árvore é conhecida popularmente como juá, joá-de-espinho, laranjeira de vaqueiro dentre outras denominações (SILVA, 2017).

**Figura 1** – Árvore do juazeiro (*Ziziphus joazeiro*).



Fonte: Autora da pesquisa.

O juazeiro é uma árvore que cresce com porte variável conforme o local em que se desenvolve. Em boas condições de água e fertilidade do solo, chega a atingir cerca de 12 metros, sendo sua copa, que se encontra até próximo ao solo, geralmente proporcional a sua altura. A árvore pode apresentar tronco simples ou vários troncos, com 10 metros ou mais de altura e 60 centímetros ou mais de diâmetro. O desenvolvimento ocorre apropriadamente em solos férteis e densos, mas adapta-se de forma irregular em solos úmidos e alagados. Assim, mesmo em solos inadequados ao progresso, o juazeiro cresce e mantém-se verde, porém, com tamanho inferior e com menos folhas e ramos (COSTA, 2011). Apesar de ser uma espécie típica da caatinga, o juazeiro consegue desenvolver-se em outras regiões além do nordeste brasileiro, exceto em locais cujas temperaturas são muito baixas, pois a planta não suporta essas condições. A árvore do juazeiro possui grande importância econômica e ecológica, sendo utilizada localmente para produção de lenha e carvão, arborização de ruas e jardins, empregado na fabricação de sabão, dentifrício e na indústria madeireira, além de possuir frutos comestíveis, os quais são explorados de forma extrativista. Além disso, é uma das espécies do bioma caatinga bastante utilizada na medicina popular como expectorante, no tratamento de bronquites e de úlceras gástricas, na fabricação de cosméticos e creme dental, além de servir na alimentação de animais principalmente nos períodos de escassez dos recursos hídricos (LORENZI, 2009; LORENZI & MATOS, 2008).

Durante a época de frutificação, a árvore produz uma grande quantidade de frutos redondos que quando maduros, são amarelados. A polpa apresenta coloração branca (COSTA, 2011). Os frutos apresentam-se como drupas globulares, sendo carnosos e possuindo uma única semente, o tamanho de cerejas, possuindo aproximadamente 1,5 a 2,0 cm de diâmetro e 2 g de peso. Fornecem 97 calorias por 100 g da parte comestível e contém 78% de água, 20% de hidratos de carbono, minerais (principalmente cálcio e fósforo) e vitaminas possuindo sabor adocicado e levemente ácido (GANSALVES, 2001).

**Figura 2** – Frutos do juazeiro na árvore.



Fonte: Autora da pesquisa.

Entre os constituintes químicos do juazeiro estão a saponina, a celulose e a vitamina C, sendo que esta última pode ser destacada por ser um elemento muito necessário à saúde humana e por se apresentar em grande concentração nos frutos (DANTAS *et al.*, 2014).

Silva *et al.*, (2011) afirmam que as transformações físico-químicas dos frutos ocorrem durante todo o processo de amadurecimento, alterando seus constituintes, como o teor de ácidos, amido, vitamina C, açúcares, umidade e outros, sendo estas características importantes atributos de qualidade dos frutos que se destinam para o comércio *in natura* ou para o processamento.

Segundo Costa (2011), quando maduros, depois de secos à sombra e caídos ao solo, tornam-se verdadeiras passas, que são saboreadas por ovinos e caprinos. Um excelente vinho tipo "moscatel" pode ser elaborado com o fruto nesse estado além de ser muito estimado por crianças e adultos, podendo auxiliar na mitigação da fome e da sede em tempo de seca.

Silva (2014), Sousa *et al.*(2013) e Silva *et al.* (2011) realizaram análises físico-químicas que revelaram que os frutos do juá apresentam elevado teor de sólidos solúveis e baixa acidez. Silva *et al.* (2011) concluíram que o juá é uma matéria prima que apresenta grande potencial para aplicação comercial, tanto *in natura* como para a industrialização.

Os frutos do juá são consumidos geralmente *in natura* ou processados, em forma de doces e geleias, seu suco é utilizado para fins estéticos (LOPES,2008). De acordo com Santos (2015) os resíduos do juá podem ser utilizados na fabricação de etanol de segunda geração. Já Cavalcanti *et al.* (2011) asseguraram que a farinha produzida a partir do juá desidratado pode ser uma boa alternativa para ser aproveitada na fabricação de pães biscoitos e bolos.

Silva (2017) aponta que os frutos de juazeiro apresentam alta quantidade de compostos bioativos e elevada capacidade antioxidante, demonstrando que, além de saciar a fome, os frutos podem trazer benefícios à saúde, como a prevenção de inúmeras doenças, tornando importante sua participação na dieta humana, seja na forma in natura ou industrializada.

Mesmo diante da grande utilidade do juazeiro e de seus frutos o uso é dado basicamente pelo extrativismo e ainda são poucos os conhecimentos capazes de intensificar o desenvolvimento tecnológico da cultura, sendo necessários investimentos em estudos e pesquisas capazes de contribuir para a sua domesticação e cultivo (SILVA et al., 2017; SOUSA et al., 2013).

Visando a disseminação do consumo e do potencial de comercialização do juá, torna-se importante a adoção de técnicas de conservação, que além de agregar valor econômico a um produto bastante nutritivo e atrativo sensorialmente, evidencia o potencial de alimentos do semiárido nordestino, o que pode também, incentivar a utilização deste fruto em outras tecnologias de processamento, visto que, são consumidos exclusivamente na sua forma natural (FEITOZA et al., 2016).

## 2.2. SECAGEM

A secagem é um dos métodos mais antigos e amplamente utilizado para conservação de alimentos após a colheita. Envolve a remoção de umidade de um produto devido a transferência simultânea de calor e de massa (ONWUDE et al., 2017). Pode ser definida como a operação que tem por finalidade reduzir o teor de umidade de um produto a nível adequado à sua estocagem por um período prolongado, mantendo ao máximo a sua qualidade (CASEMG, 2016).

A correta operação dos secadores permite a economia de tempo, mão de obra e combustível, além de reduzir os riscos de incêndios, devido ao acúmulo de poeiras (provenientes de impurezas e matérias estranhas presentes no produto, que podem ser eliminadas em etapas de pré-limpeza) no interior dos equipamentos (CASEMG, 2016). A umidade de produtos vegetais secos ou desidratados para armazenagem deve ser de no máximo 12%, sendo este valor recomendado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2005).

Devido à enorme importância industrial e comercial de produtos agrícolas e por serem muito perecíveis, essas “commodities” podem ser processadas por secagem (Onwude et al., 2017). São inúmeras as vantagens da aplicação deste processo, como a inibição do

crescimento de microrganismos e de reações de deterioração, pela redução da atividade de água, redução dos custos de transporte e armazenamento, em função da redução do peso e do volume do produto, e melhora de outras operações de processamento, como moagem e mistura. Além disso, há o aumento da vida de prateleira e da concentração de nutrientes, permanecendo praticamente inalterado o sabor dos frutos (CASTRO, MAYORGA, & MORENO, 2018; CASTRO et al., 2016)

O processo pode envolver transferência de calor por convecção, condução e radiação. Os métodos utilizados em maior escala são os que têm como base a exposição do alimento a uma corrente de ar aquecida, sendo que a transferência de calor do ar para o alimento se dá basicamente por convecção. O fluxo de ar aquecido passa através da camada do produto. Durante o processo, a umidade migra do interior para a superfície do produto e evapora para o ambiente. Os produtos alimentícios também podem ser desidratados por processos baseados na sublimação, remoção de água por solventes ou na adição de agentes osmóticos (NATUREX, 2013).

A secagem pode ser realizada por dois métodos: de forma natural que utiliza a energia do sol e do vento para desidratar o produto, ou a secagem artificial, em que instrumentos são utilizados para acelerar o processo.

### 2.2.1. Secagem Natural

De acordo com Nunes (2016) a secagem natural utiliza as energias do sol e do vento para remover a umidade de um produto. Pode ser realizada na própria planta, no período que abrange a maturidade fisiológica e a colheita do material, ou empregando recursos complementares, como eiras, tabuleiros ou lonas para dispor o material a ser seco. Este método é o mais comum em pequenas propriedades que trabalham com grãos, empregado em pequenas quantidades de produtos. É bastante econômico pelo fato de não empregar gasto de energia para o uso de equipamentos sofisticados de secagem. A secagem natural é, em geral, demorada e necessita de grandes áreas de exposição dos alimentos. Uma maneira de acelerar o processo é através do uso de telas de plástico ou arame entrelaçado, formando-se uma peneira, para que possibilite a passagem do ar por cima e por baixo do material, acelerando o tempo de secagem.

Os alimentos secos ao sol apresentam uma coloração mais intensa que os desidratados artificialmente, no entanto ocorrem maiores perdas nutricionais do que na desidratação sob condições controladas. A secagem natural também é feita por secadores que possuem uma

estrutura que permite uma maior proteção ao alimento, do que simplesmente as bandejas sobre o solo. Esse secador possui uma inclinação e um tampo de vidro que permite a absorção da radiação térmica. O ar é aquecido nessa cabine de vidro, diminui a densidade e atravessa as bandejas com o produto a ser seco, sendo expelido por uma parte superior em razão das correntes de convecção que são geradas com a entrada de mais ar frio à cabine de secagem (COSTA, 2010).

Por depender de condições psicrométricas do ar ambiente, que nem sempre são adequadas para a secagem, o seu uso é restrito, uma vez que em locais com alta umidade relativa, como em muitas regiões onde chove com frequência, ou mesmo a noite este método é pouco utilizado.

### 2.2.2. Secagem Artificial

A secagem artificial consiste no emprego de artifícios para aumentar a velocidade do processo de secagem, sendo estes disponibilizados em equipamentos denominados secadores (CASEMG, 2016). O calor é produzido artificialmente em estufas ou galpões (armazéns climatizados) preparados para esta finalidade onde há um maior controle de temperatura, umidade e corrente do ar. É um método relativamente rápido, não exige grandes áreas de secagem, mas exige capital e mão de obra especializada (MORAES, 2006).

A nível comercial, os secadores podem se apresentar sob diferentes configurações, contendo sistema de aquecimento do ar, sistema de movimentação do ar, ventiladores e sistema de movimentação do material a ser seco. O processo pode ser executado em baixa temperatura e/ou em altas temperaturas (CASEMG, 2016).

Os métodos de secagem artificial são obtidos pela exposição da massa de sementes a um fluxo de ar aquecido (ou não), sendo caracterizados conforme o fluxo no secador, em estacionário, de fluxo contínuo e de fluxo intermitente (NUNES, 2016).

A secagem de fluxo estacionário caracteriza-se pela passagem forçada do ar em fluxo axial ou radial através da camada do material que permanece parado no compartimento de secagem. O ar utilizado pode ser aquecido (desumidificado) ou não. O fluxo de ar tem as funções de criar as condições para haver a evaporação da água contida no material, pelo transporte do calor (ou umidade relativa) e, também, pelo transporte da umidade removida para fora do secador. Então, o fluxo de ar, ao transportar calor (ou umidade relativa) e água

que migrou do interior para a superfície do material, permite que mais água continue evaporando (PERES, 2016).

O método de fluxo contínuo consiste em fazer passar as amostras uma só vez pela câmara de secagem, de tal forma que entrem úmidas no topo e saiam secas na base do secador. Para que as amostras sequem em uma só passagem pelo secador, é necessário que se eleve muito a temperatura do ar de secagem ou se retarde o fluxo das amostras dentro da câmara de secagem, a fim de que permaneça o tempo suficiente para perderem o excesso de água. Com o aumento da temperatura ou do tempo de exposição das amostras ao ar aquecido, corre-se o risco de causar danos térmicos ao material (NUNES, 2016).

No secador intermitente, a amostra a ser seca é submetida à ação do ar aquecido na câmara de secagem a intervalos de tempo, permitindo a homogeneização da umidade e resfriamento quando elas estão passando pelas partes do sistema que não recebam ar aquecido. A intermitência permite que ocorra o transporte de água do interior para a superfície do material durante o período de equalização, diminuindo a sua concentração no interior (NUNES, 2016).

Os métodos convencionais mais comumente utilizados para a secagem de frutas e vegetais incluem secagem a vácuo, secagem solar, secagem ao sol, liofilização, secagem em leito fluidizado, secagem em bandejas e secagem por ar quente. Com exceção da liofilização, esses métodos de secagem dependem em grande parte da aplicação de calor ao produto por convecção, condução ou radiação. Esses modos de aquecimento influenciam a eficiência do processo e a qualidade dos materiais secos (ONWUDE et al., 2017).

**Figura 3** – Estufa incubadora Quimis® - Q316M utilizada para secagem de alimentos.



Fonte: Quimis® - <http://www.quimis.com.br/produtos/detalhes/estufa-microprocessada-de-cultura-e-bacteriologia>

## 2.3. SECADORES SOLARES

Secadores são equipamentos utilizados para reduzir o teor de umidade (remover água ou qualquer outro líquido) de um alimento sólido, em que o líquido evapora por meio da vaporização térmica com temperatura inferior à de ebulição da água (CELESTINO 2010).

O secador solar é um equipamento utilizado para remover a água presente nos produtos aplicando calor, obtido pela radiação solar que incide sobre ele, tendo por finalidade aumentar o tempo de conservação dos alimentos, concentrar nutrientes e sabor, tornando o alimento mais fácil de transportar e manipular.

Barbosa (2011) define o secador solar como um coletor solar em que o ar é aquecido pela radiação e o percorre, de forma natural ou forçada, por um sistema retirando a umidade do material a qual se quer secar. Descreve ainda que a secagem solar pode ser realizada através de dois processos, a secagem de exposição direta e a secagem se exposição indireta. No primeiro tipo de secagem o alimento é exposto à radiação solar e por absorção de energia e em contato com um ar circulante a umidade se vaporiza na atmosfera. No segundo caso a secagem é obtida através do uso de um aquecedor solar de ar, que fornece ar quente a uma câmara de secagem separada.

Na secagem de exposição por meio direto a circulação do ar pode ser natural ou forçada. Já na secagem de exposição indireta a energia solar pode ser utilizada em conjunto com outra fonte de calor que esteja na mesma unidade de secagem.

Silva (2012) aponta como uma das principais vantagens para utilização dessas técnicas de secagem a obtenção de frutos desidratados que bem acondicionados e embalados, possibilita o aumento da renda de famílias de agricultores, o que leva a um melhor aproveitamento da produção permitindo o comércio dos produtos fora das safras e a facilidade de estocagem, contribuindo diretamente para o aumento da produtividade e dos lucros.

Estudos para o desenvolvimento de equipamentos com baixo custo de produção e de manutenção tornam-se a cada dia muito importantes, especialmente para favorecer pequenos produtores que não possam ter acesso aos secadores convencionais, principalmente pelos investimentos de aquisição e operação que geralmente são elevados.

### 2.3.1. Tipos de secadores solares

Os secadores solares podem ser de convecção natural com exposição direta ou indireta e de convecção forçada com exposição direta ou indireta, sendo determinados seus usos de acordo com os recursos disponíveis para a construção do secador.

#### 2.3.1.1. Secador de convecção natural

Barbosa (2011) define este tipo de secador como o secador em que ocorre uma convecção natural, ou seja, o ar é aquecido na parte inferior do secador tem uma densidade menor e sobe arrastado pela corrente de ar atmosférico, promovendo a secagem do produto. O ar entra pela parte inferior do secador e como a temperatura é mais elevada dentro do equipamento, o ar frio é aquecido deslocando-se para a parte superior onde está o produto e em contato com o mesmo, promove a evaporação do líquido presente no material saindo na parte superior por orifícios.

#### 2.3.1.2. Secador de convecção forçada

Neste tipo de secador o ar é forçado a fluir por um coletor pela ação de elementos externos que podem ser um ventilador ou bomba, responsável por proporcionar uma maior vazão de ar para a câmara de secagem. Carlson et al. (2009) definem a secagem por corrente de ar como uma técnica simples que ocorre no interior de uma câmara fechada e envolve o uso de temperaturas elevadas, que podem provocar a degradação e a oxidação de alguns nutrientes; o ar quente passa sobre o alimento que pode estar parado ou em movimento, colocado em bandejas abertas, ocasionando sua desidratação.

### 2.4. CINÉTICA DE SECAGEM E MODELOS MATEMÁTICOS PARA AJUSTE DOS DADOS

Silva (2015) define a cinética de secagem como o estudo do comportamento da retirada de umidade de um determinado material de acordo com os mais variados métodos de desidratação pelos quais o mesmo é submetido. Afirma ainda que estudar a cinética de secagem possibilita estabelecer equações das umidades ou mesmo dos números adimensionais de umidade em função do tempo para os diferentes períodos de secagem. Pode ainda ser entendida como a velocidade com que a umidade do material é perdida e depende das propriedades específicas temperatura, velocidade do ar de secagem e umidade relativa do ar.

De acordo com Cardoso et al. (2017) por meio das análises da temperatura e tempo de secagem, bem como as características e dimensões dos alimentos, é feito o estudo da cinética de secagem. As taxas estão associadas ao produto e a operação, tornando possível avaliar, projetar e aperfeiçoar a qualidade dos produtos em função das variáveis do processo de secagem.

As curvas de secagem são de extrema importância e fundamentais para o desenvolvimento de processos e dimensionamento de equipamentos. As curvas permitem prever o momento do processo em que se atinge o teor de umidade desejado, calcular o tempo de secagem de uma determinada quantidade de material, assim como o gasto energético do processo. Esses são fatores que influenciam diretamente no custo do processamento e na qualidade e preço final do produto (VILELA e ARTHUR, 2008; BORGES, 2016).

Uma forma de prever o nível de umidade do produto é realizar o ajuste dos dados cinéticos a modelos matemáticos, podendo ser teóricos, semi-teóricos ou empíricos, e que se tornam ferramentas úteis para as tomadas de decisão e para a melhoria da eficiência do processo (FERNANDES et al., 2018).

O modelo teórico assume como mecanismo principal a difusão baseada na Segunda Lei de Fick, assumindo que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração da água, ou seja, considera apenas a resistência interna à transferência de calor e água entre o produto e o ar quente, descrevendo a taxa decrescente de secagem (OLIVEIRA, 2016).

Os modelos semi-teóricos e os empíricos só consideram a resistência externa a temperatura e a umidade relativa do ar de secagem e geralmente baseiam-se na Lei de Newton para resfriamento aplicada à transferência de massa, quando se presume que as condições sejam isotérmicas e que a resistência à transferência de umidade seja restrita à superfície do produto (ALVES et al., 2012; OLIVEIRA, 2016).

Geralmente, os modelos empíricos são derivações obtidas por simplificação das séries da Segunda Lei de Fick. O modelo de Henderson e Pabis é o primeiro termo de uma série de soluções desta Lei. Em algumas situações, quando há uma elevada interferência da resistência interna do material no processo de secagem, a teoria difusional não consegue ajustar os dados experimentais. Nesses casos, o modelo de Page, pode ser aplicado (ALVES et al., 2012; OLIVEIRA, 2016).

Os modelos matemáticos de Newton, Page, Henderson e Pabis e Logarítmico são largamente adotados em processos de secagem (SOUSA e CAMPOS, 2017; SANTOS JR. et al., 2018).

## 2.5. SECAGEM DE VEGETAIS

Diversos estudos vêm sendo realizados na área de secagem de vegetais, o que tem permitido aumentar o tempo de conservação e as possibilidades de comercialização sem riscos elevados de prejuízos pela decomposição biológicas das mesmas (SILVA, 2010).

Para o desenvolvimento destes processos os secadores mais utilizados são os do tipo cabine e os do tipo túnel, dependendo da capacidade e do uso desejado. Estes secadores são constituídos por uma câmara, que recebe as bandejas com o produto, e por um compartimento cujo condicionamento do ar de secagem é feito e impulsionado por um ventilador, passando por um sistema de aquecimento e entrando em contato com a matéria-prima. De acordo com Silva et al. (2015), outro tipo de secador que pode ser utilizado é o secador solar, que utiliza como fontes de energia o sol e o vento, sendo indicado para regiões que apresentam altos valores de incidência solar.

Melo et al. (2016) desenvolveram um secador solar de exposição indireta e verificaram eficiência e rendimento térmico na secagem de banana, de modo a comprovar a viabilidade técnica da utilização da energia solar nos processos de secagem de frutas e disseminar a cultura do aproveitamento das energias limpas nos equipamentos que favoreçam um desenvolvimento regional verdadeiramente sustentável. Os resultados mostraram que o modelo empírico de Page se mostrou confiável e representativo dado os valores elevados dos coeficientes de determinação que chegaram a 99,34%. Os autores concluíram ainda que o secador solar de exposição indireta apresentou boa eficiência no processo de secagem de banana e percebeu-se pela observação e degustação da banana-passa produzida a boa qualidade e aparência, compatível com os resultados obtidos em secadores tradicionais que utilizam energia elétrica.

Barbosa et al. (2017) desenvolveram uma pesquisa com secador solar e verificaram que a temperatura interna do secador durante o processo oscilou entre 24°C e 74°C. Dessa forma foi possível inferir que a desidratação da cebola ocorreu em 7 horas de exposição aos raios solares, com perda de massa de água de cerca de 85,3%. Os autores verificaram também

que nas primeiras horas da secagem houve maior perda de massa e conseqüentemente redução da umidade.

Cavalcanti et al. (2011) obteve a farinha do juá por desidratação e observaram um teor de 8,53 % de umidade, considerado um valor baixo que dificulta o crescimento de microrganismos; 5,57% de proteínas, 1,13% de lipídios, Carboidratos totais com 80,45% e 4,32% de cinzas.

Feitosa et al. (2009) realizaram a caracterização físico-química da farinha do juá, obtido por meio da secagem em estufa por 24 horas, visando obter informações para a aplicação em formulações alimentícias. Encontraram no juá desidratado 2,76 de acidez total titulável, 4,78 de pH, 53,1 de sólidos solúveis totais, 8,53% de umidade, 4,32% cinzas, 5,57% de proteína bruta, 1,13% de lipídios e 80,45% de carboidratos totais. Essas características indicam que a farinha do juá pode ser uma boa alternativa para a fabricação de pães biscoitos e bolos.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Microbiologia do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), na cidade de Sumé – PB.

#### **3.1. MATÉRIA PRIMA**

Os frutos foram coletados em uma propriedade próxima ao campus, em seguida foi realizada a lavagem com água corrente para remoção de impurezas que pudessem contaminar a amostra. Posteriormente, os frutos foram cortados e as sementes descartadas, sendo utilizada somente a polpa com a casca. Para as secagens na estufa e no secador solar foram utilizadas massas de aproximadamente 250 gramas da amostra para cada secagem.

#### **3.2. SECAGEM DO MATERIAL NA ESTUFA**

A estufa utilizada nesta etapa foi a do modelo incubadora - Quimis®. A operação ocorreu com temperatura constante de  $60 \pm 3$  °C. O material ficou exposto até a massa permanecer constante após três aferições consecutivas. A massa dos frutos foi aferida 9 vezes em intervalos de 10 minutos, 3 vezes em intervalos de 20 minutos e 36 vezes em intervalos de 30 minutos, totalizando um tempo de 20 horas e 30 minutos.

#### **3.3. SECAGEM DO MATERIAL NO SECADOR SOLAR**

O secador solar utilizado foi desenvolvido no próprio campus por alunos e professores do Centro, sendo um secador de exposição direta ao sol e de convecção natural. O material ficou exposto ao sol até a massa permanecer constante após três aferições consecutivas. A cada 30 minutos, a massa foi aferida em balança semi-analítica (BEL M503), sendo efetuada também a aferição das temperaturas interna e externa. O processo durou 20 horas.

O secador utilizado foi construído com peças de madeira com 16 cm de altura, e suas laterais interiores foram revestidas com isopor coberto com plástico preto para potencializar a absorção da radiação solar. No fundo, sobre a madeira, foi colocada uma folha de zinco com 50 x 60 cm. A tampa composta por um vidro transparente possui 3 mm de espessura e 53cm x 65 cm. No secador foram feitos 10 orifícios na parte frontal a 4,5 cm do fundo da caixa para

permitir a entrada de ar e 10 orifícios na parte traseira a 13 cm do fundo para a saída do ar quente e do vapor d'água. Dentro da caixa, a 8 cm do fundo, foi colocada uma grade de arame onde os produtos são dispostos para serem desidratados.

**Figura 4** - Secador solar utilizado na secagem dos frutos do juá.

(a)



Fonte: PAIVA et al. (2017).

(b)



Fonte: Autora da pesquisa.

(a) Lado anterior. (b) Vista superior.

### 3.4. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO CINÉTICO

Com base nos dados obtidos por meio da aferição da massa das amostras nos tempos pré-estabelecidos, foi realizada a análise do comportamento cinético, os cálculos da umidade em base seca ( $X_{bs}$ ) e do parâmetro adimensional razão de teor de água (RX), conforme as Equações (1) e (2), e acordo com os estudos realizados por Menezes et al. (2013) e Martins et al. (2016), respectivamente.

$$X_{bs} = \frac{m_i - m_e}{m_e} \quad \text{Equação (1)}$$

$$RX = \frac{X_{bs} - X_e}{X_{bs,0} - X_e} \quad \text{Equação (2)}$$

Em que:  $m_i$  =massa no tempo  $i$ ;  $m_e$ =massa no equilíbrio;  $X_{bs}$ =umidade em base seca;  $X_e$ =umidade de equilíbrio;  $X_{bs,0}$ =umidade inicial;

O ajuste dos dados aos modelos matemáticos (Tabela 1) de Newton, Page, Henderson e Pabis e Logarítmico pelos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e qui-quadrado reduzido ( $\chi^2$ ), foi realizado com auxílio do software Origin 2017<sup>®</sup>.

**Tabela 1** - Modelos de regressão não-linear aplicados às curvas de secagem dos frutos do juá (*Ziziphus joazeiro*).

MODELO	EQUAÇÃO	REFERÊNCIA
Newton	$RX = e^{-kt}$ (3)	O'callaghan et al. (1971)
Page	$RX = e^{-kt^n}$ (4)	Page (1949)
Henderson e Pabis	$RX = a \cdot e^{-kt}$ (5)	Henderson E Pabis (1962)
Logarítmico	$RX = a \cdot e^{-kt} + b$ (6)	Yagcioglu et al. (1999)

Fonte: dados da pesquisa.

O parâmetro  $k$  é o coeficiente de secagem ( $s^{-1}$ ), que representa o efeito das condições externas da operação sobre as amostras. Com relação aos coeficientes,  $a$ ,  $b$  e  $n$ , “ $a$ ” e “ $n$ ” nos modelos de Henderson & Pabis e Page, refletem a extensão da resistência interna do produto as condições empregadas e  $b$  no modelo logarítmico representa o coeficiente linear (Cabral Filha *et. al.*, 2016). Os valores de  $R^2$  são os parâmetros mais significativos e determinam a confiabilidade dos dados.

### 3.5. CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

A quantidade de 100 gramas do material *in natura* foi levada ao Laboratório de Engenharia Bioquímica da UFCG, campus sede, assim como as amostras desidratadas na estufa e no secador solar para a caracterização dos frutos.

#### 3.5.1. Determinação da Umidade em Base Úmida

A quantidade de 15 gramas da amostra *in natura* foi colocada em três placas de Petri (5 gramas em cada placa) que foram levadas à estufa por 24 h a 105° C. Após este período foram retiradas e pesadas em balança analítica. Para realização do cálculo aplicou-se a Equação (3)

$$X_{bu} = \frac{m_i - m_e}{m_i} \text{ [umidade a } 105^\circ\text{C \% m/m]} \quad (3)$$

Onde:  $X_{bu}$  = umidade em base úmida;  $m_i$  = massa no tempo  $i$ ;  $m_e$  = massa no equilíbrio;

### 3.5.2. Açúcares Redutores

Para a determinação de açúcares redutores (AR), foi utilizado o método do DNS (Ácido 3,5-Dinitrosalicílico), aplicado por Maldonado et al. (2013).

As amostras a serem analisadas foram constituídas de uma massa 0,5g de material para um volume de 200 mL de água destilada. Em seguida as amostras foram deixadas sob agitação constante por 30 min a 250 rpm em agitador magnético e filtradas em seguida.

Procedeu-se a determinação pipetando 1,0 mL da amostra e transferindo este volume para tubos de ensaio, onde foi adicionado 1,0 mL do reagente DNS. Os tubos foram agitados e aquecidos em banho maria a 100°C (em ebulição) por 5 minutos. Em seguida, resfriou-se os tubos em banho de gelo por 5 minutos. Adicionou-se 8,0 mL de água destilada e em seguida foi realizada a leitura da absorbância em espectrofotômetro a 540 nm, após zerar o aparelho com o branco. O branco consistiu na substituição do volume de amostra por água destilada (1,0 mL) para realizar o teste de DNS. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Para a realização do cálculo da quantidade de AR nas amostras, aplicou-se a Equação (4):

$$AR = \frac{\text{absorbância} * \text{Fator DNS} * \text{diluição}}{\text{massa} * 10} \quad (4)$$

Em que: Fator DNS = 1,6548 e a unidade de medida de AR = g de AR/100g de amostra.

### 3.5.3. Acidez

Para determinação da acidez, utilizou a metodologia proposta por IAL (1985). A quantidade de 5g da amostra (metodologia utilizada para as amostras *in natura* e desidratadas) foi transferida para um frasco Erlenmeyer de 125 mL com o auxílio de 50 mL de água. Foram adicionadas 4 gotas de solução de fenolftaleína e titulou-se a mistura com solução de hidróxido de sódio 0,1 ou 0,01 M, até coloração rósea. O cálculo foi realizado aplicando a Equação (5).

$$A = \frac{V * f * M * PM}{10 * P * n} \quad [\text{g de ácido cítrico orgânico \%}] \quad (5)$$

Em que: A = acidez, V = volume de NaOH gasto na titulação, M = molaridade do NaOH, P = massa, PM = massa molecular do NaOH, f = fator de correção do NaOH, n = número de elétrons hidrogenizáveis.

#### 3.5.4. Determinação de Ácido Ascórbico (Vitamina C) – Método do DCFI (2,6 Diclorofenol Indofenol)

Para esta determinação, seguiu-se a metodologia aplicada por ALMEIDA *et al.*, (2007).

Inicialmente foi feita a padronização pipetando 5mL de solução de ácido ascórbico em um erlenmeyer de 125mL e adicionou-se 50mL de ácido oxálico. Uma bureta foi preenchida com uma solução de DCFI e em seguida foi realizada a titulação até que a solução de ácido ascórbico apresentasse coloração rosada persistente por 15 segundos.

Em seguida para a titulação da amostra, em um erlenmeyer de 125mL à quantidade de 5g de amostra acrescentou-se 50mL de ácido oxálico titulando com DFCI até que a solução apresentasse coloração rosa persistente por 15 segundos. Realizou-se esse procedimento em duplicata.

Os cálculos foram realizados aplicando as Equações (6), (7) e (8).

- Massa de ácido ascórbico:

$$x = \frac{Maa*5mL}{100mL} \quad (6)$$

- Fator de correção

$$F = \frac{x}{v} \quad (7)$$

- Valor da quantidade de ácido ascórbico presente na amostra

$$AA = \frac{Vt*F*100}{Ma} \text{ [mg de ácido ascórbico/100g de amostra]} \quad (8)$$

Onde: Maa = massa de ácido ascórbico; Ma = massa da amostra; Vt = volume gasto na titulação; v = volume da padronização de ácido ascórbico.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização da metodologia para determinação da umidade, as amostras dos frutos do juá *in natura* apresentaram um conteúdo, em base úmida, de  $71,00 \pm 2,64 \times 10^{-3} \%$  de umidade. Este valor é considerado elevado, principalmente para alimentos que precisam ser armazenados, o que permite afirmar que o fruto pode ser bastante suscetível ao ataque de microrganismos, tornando necessária a utilização de bons métodos de conservação no processamento.

**Figura 5** – Polpa com casca dos frutos do juá *in natura*.



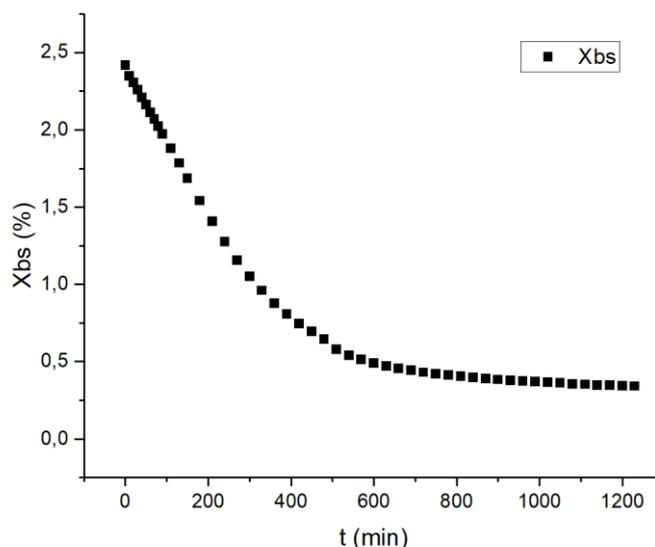
Fonte: Autora da pesquisa.

O resultado encontra-se de acordo com os valores apresentados em outros trabalhos. Diniz (2016) encontrou teor de umidade de 71,47%, para o mesmo fruto. Moniz (2008) e Silva (2014) realizaram a mesma determinação e encontraram valores de 78,98% e 79,01%, respectivamente. Essa alteração apresentada nos valores que foram comparados pode ser explicada pelo fato de que as características químicas e físico-químicas do fruto sofrem influência de fatores como variedade e tipo de fruto e de condições do ambiente, como variações de temperatura e tipo de solo (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

### 4.1. AVALIAÇÃO DA CINÉTICA DE SECAGEM EM ESTUFA

Após a realização da coleta de dados, foi possível construir a curva, que representa o comportamento cinético do processo de secagem do juá em estufa, a temperatura constante de 60°C, conforme pode ser observado no gráfico 1.

**Gráfico 1** - Comportamento da umidade ( $X_{bs}$ ) em função do tempo, na secagem do juá em estufa.



Fonte: dados da pesquisa.

O comportamento observado no Gráfico 1 permite verificar que houve a redução do teor de umidade das amostras, em função do tempo. O decréscimo nos valores de umidade ocorre devido às condições proporcionadas pelo aquecimento no interior da estufa, o que proporciona a transferência simultânea de calor e de massa, principalmente na superfície do material, causando a remoção de água do material (FERNANDES, 2018). Nos minutos iniciais do processo a redução de massa é mais acentuada, devido a presença de uma maior quantidade de água na superfície da amostra. A massa foi considerada constante no tempo de 720 minutos, e a partir desse tempo a quantidade de massa perdida foi pequena, comparada aos valores obtidos na fase inicial de secagem.

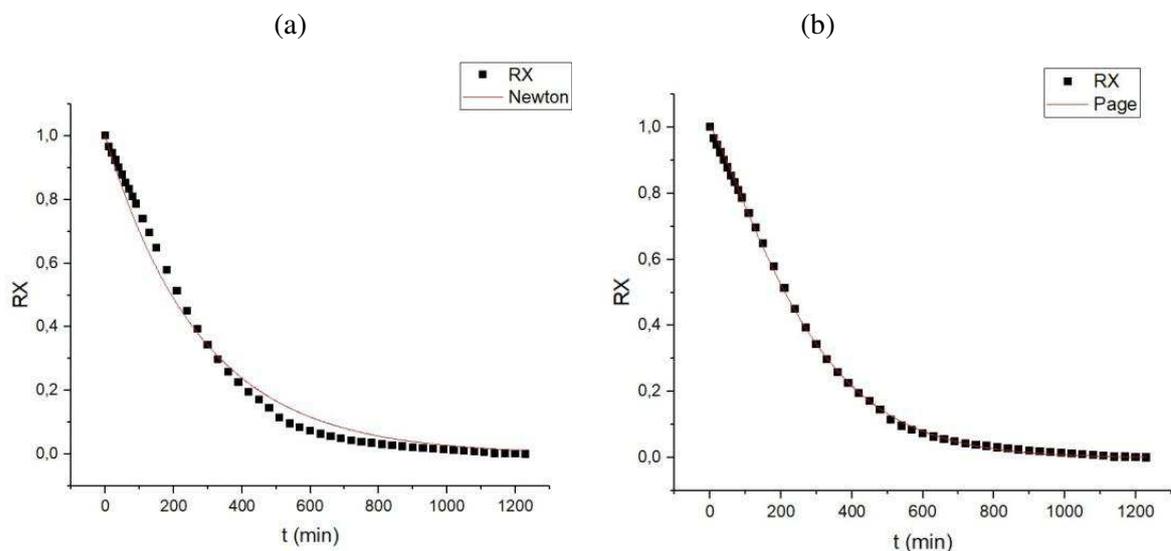
A redução da massa de água na amostra foi de 60%, sendo a massa final de 98,33 g e as umidades, em base úmida e em base seca, iguais a 25 e 34%, respectivamente. A umidade de produtos vegetais secos ou desidratados para armazenagem deve ser de no máximo 12% (ANVISA, 2005). O resultado apresentado na secagem realizada em estufa, aplicando uma temperatura de 60°C, não se encontra de acordo com essa especificação, sendo que este comportamento pode ser explicado por diversos fatores. Por não haver a circulação de ar na estufa, é provável que a massa de ar quente em seu interior estivesse próxima da saturação, aumentando assim o tempo de secagem do produto, até o alcance da umidade de equilíbrio, e impossibilitando o alcance de um teor de umidade mais reduzido.

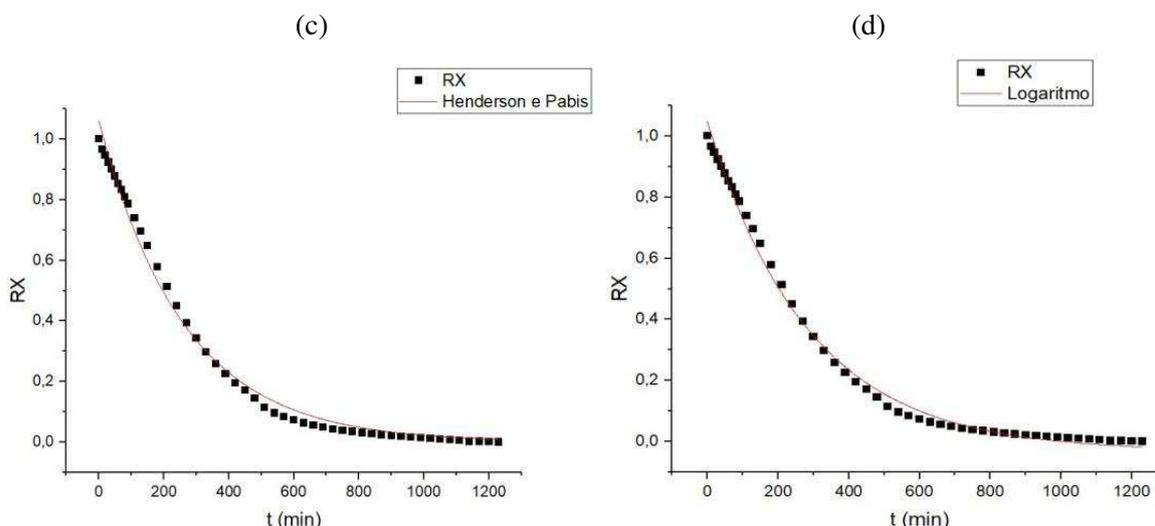
Como a temperatura utilizada foi relativamente baixa, quando comparada a aplicada em outros estudos, verifica-se que, além do alto teor de umidade no final do processo, o tempo de secagem foi prolongado. Oliveira et al. (2011), estudando a qualidade de jaca

(*Artocarpus heterophyllus*, Lam.) desidratada em um secador de bandejas com circulação forçada, em três temperaturas do ar de secagem (50, 60 e 70 °C), concluíram que os maiores valores de matéria seca (75,2 a 76,2%) foram obtidos em temperatura de 70°C em ambos os teores de umidade desejados de (20 e 25%). Cardoso et al. (2017) estudaram a cinética de secagem da polpa do buriti em diferentes temperaturas, em secador do tipo cabine com bandejas perfuradas, e observaram que a massa constante obtida na secagem a 60°C foi alcançada no tempo médio de 720 minutos. Santos Jr. et al. (2018) observaram que o período de massa constante na secagem de maçã Fuji foi alcançado em 180 minutos, na temperatura de 50 °C, enquanto que na temperatura de 70 °C, em 120 minutos. Coelho e Azevedo (2012) estudaram a secagem para obtenção de farinha a partir da casca de manga cv. Tommy Atkins, utilizando um secador com circulação de ar forçado, e notaram que na secagem por fluxo de ar forçado a massa ficou constante após 300 minutos de exposição do material.

No Gráfico 2 encontra-se a curva de secagem, obtida pela conversão dos dados referentes à perda de água no parâmetro adimensional razão de teor de água (RX), ajustada aos modelos matemáticos de Newton (a), Page (b), Henderson e Pabis (c) e Logarítmico (d).

**Gráfico 2** - Comportamento da Razão de secagem (RX) dos frutos do juá em estufa, em função do tempo (min), com ajuste pelos modelos de Newton (a), Page (b), Henderson e Pabis (c) e Logarítmico (d).





Fonte: dados da pesquisa.

Observa-se que nas condições estudadas, os dados de razão de secagem em função do tempo se ajustaram bem aos modelos propostos, podendo esses modelos serem utilizados na predição da cinética de secagem do fruto.

Os valores dos parâmetros dos modelos de Newton, Page, Henderson & Pabis e Logarítmico, ajustados aos dados experimentais, com os correspondentes valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e qui-quadrados reduzidos ( $\chi^2$ ) estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** - Modelos de regressão não-linear aplicados à curva de secagem dos frutos do juá (*Ziziphus joazeiro*), em estufa.

MODELO	PARÂMETROS					
	a	k	b	n	$R^2$	$\chi^2$
Newton		0,00358			0,9904	0,0012
Page		$9,16 \times 10^{-4}$		1,0404	0,9995	$6,22 \times 10^{-4}$
Henderson e Pabis	1,0059	0,00382			0,9940	$7,52 \times 10^{-4}$
Logarítmico	1,0794	0,00350	-0,0320		0,9957	$5,37 \times 10^{-4}$

Fonte: Dados da pesquisa.

Pode-se observar que os modelos analisados apresentaram bons ajustes aos dados experimentais da secagem, pois os valores de  $R^2$  foram superiores a 0,99. Com isso, podem ser utilizados para descrever a cinética de secagem em estufa dos frutos do juá para a temperatura de 60°C. Observa-se ainda que o modelo de Page foi o que obteve melhor ajuste diante dos dados obtidos, pois apresentou o maior valor de  $R^2$  (0,9995). Resultados semelhantes a esse também foram encontrados por outros pesquisadores. Diniz (2016) verificou coeficientes de determinação superiores a 0,98 ao estudar também a desidratação do

fruto (casca+polpa) de juá desidratado. Morais Filho et al. (2014) também verificou coeficientes de determinação superiores a 0,98 ao estudar a secagem da acerola. Moraes et al. (2014) estudaram a secagem do resíduo da acerola em secador de bandejas em diferentes temperaturas, ajustando os dados aos modelos de Lewis e Henderson e Pabis e obtiveram valores de  $R^2$  superiores a 0,98 o que indica que os modelos descreveram satisfatoriamente o comportamento cinético do processo.

#### 4.2. AVALIAÇÃO DA CINÉTICA DE SECAGEM NO SECADOR SOLAR

O processo de exposição ao sol teve duração de 20 horas e após esse período a massa da amostra foi considerada constante. Tomando como referência o trabalho realizado por Barbosa et al. (2017), que utilizou o mesmo secador solar para secar cebolas, verificou-se que a massa ficou constante após um tempo de secagem de 9 horas. Com isso, verifica-se que o tempo de processo, para secagem de juá, foi prolongado, fato que pode ser explicado devido às alterações externas (climáticas) sofridas em razão da variação da radiação, posicionamento do sol e de nuvens, que provocaram variações constantes na temperatura interna do secador, que oscilaram entre 26 e 64°C, sendo que no caso da secagem da cebola a temperatura variou de 24°C a 74°C. O processo de secagem da cebola foi realizado no mês de outubro (primavera), enquanto a secagem dos frutos do juá procedeu no mês de junho (inverno). Esse fato pode ter influenciado para que a secagem do juá não alcançasse temperaturas mais elevadas, afetando o desempenho do processo.

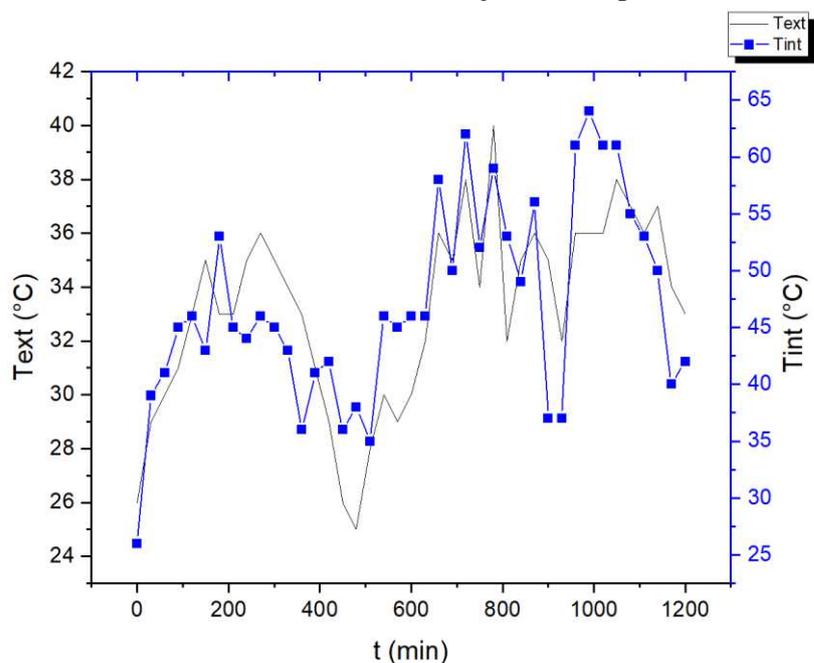
**Figura 6** – Frutos do juá após a secagem no secador solar.



Fonte: Autora da pesquisa.

O Gráfico 3 apresenta o comportamento das temperaturas interna e externa, durante o processo de secagem utilizando o secador solar e o Gráfico 4 apresenta o comportamento cinético de secagem no secador solar.

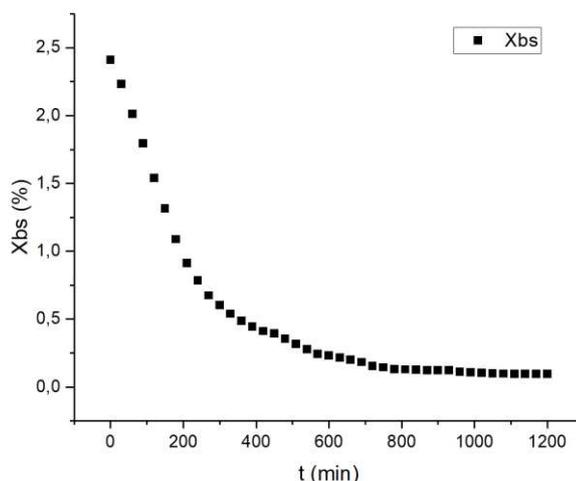
**Gráfico 3** - Comportamento das temperaturas interna ( $T_{int}$ ) e externa ( $T_{ext}$ ), na secagem do juá em secador solar, em função do tempo.



Fonte: dados da pesquisa.

No gráfico 3 é possível observar que a temperatura interna no secador sofreu variações de acordo com a alteração da temperatura externa. A temperatura máxima atingida no interior do secador, 64°C, foi relativamente baixa comparada à alcançada por Barbosa et al. (2017), utilizando o mesmo secador para secagem da cebola, que chegou à 74°C. Galle et al. (2016) avaliaram os valores de temperatura do ar de secagem de secadores solares construídos a partir de materiais compensados provenientes do descarte de construções civis e a média de temperatura obtida foi de 55°C. Essas variações dependem de fatores como o horário em que se realiza o processo, às mudanças climáticas que aconteceram fora do equipamento, provenientes do posicionamento das nuvens e do sol, e outros que podem provocar a diminuição ou aumento repentino na temperatura, e estes fatores também alteram a velocidade de secagem e consequentemente o tempo de estabilização do processo.

**Gráfico 4** - Comportamento da umidade ( $X_{bs}$ ) em função do tempo, na secagem do juá no secador solar.

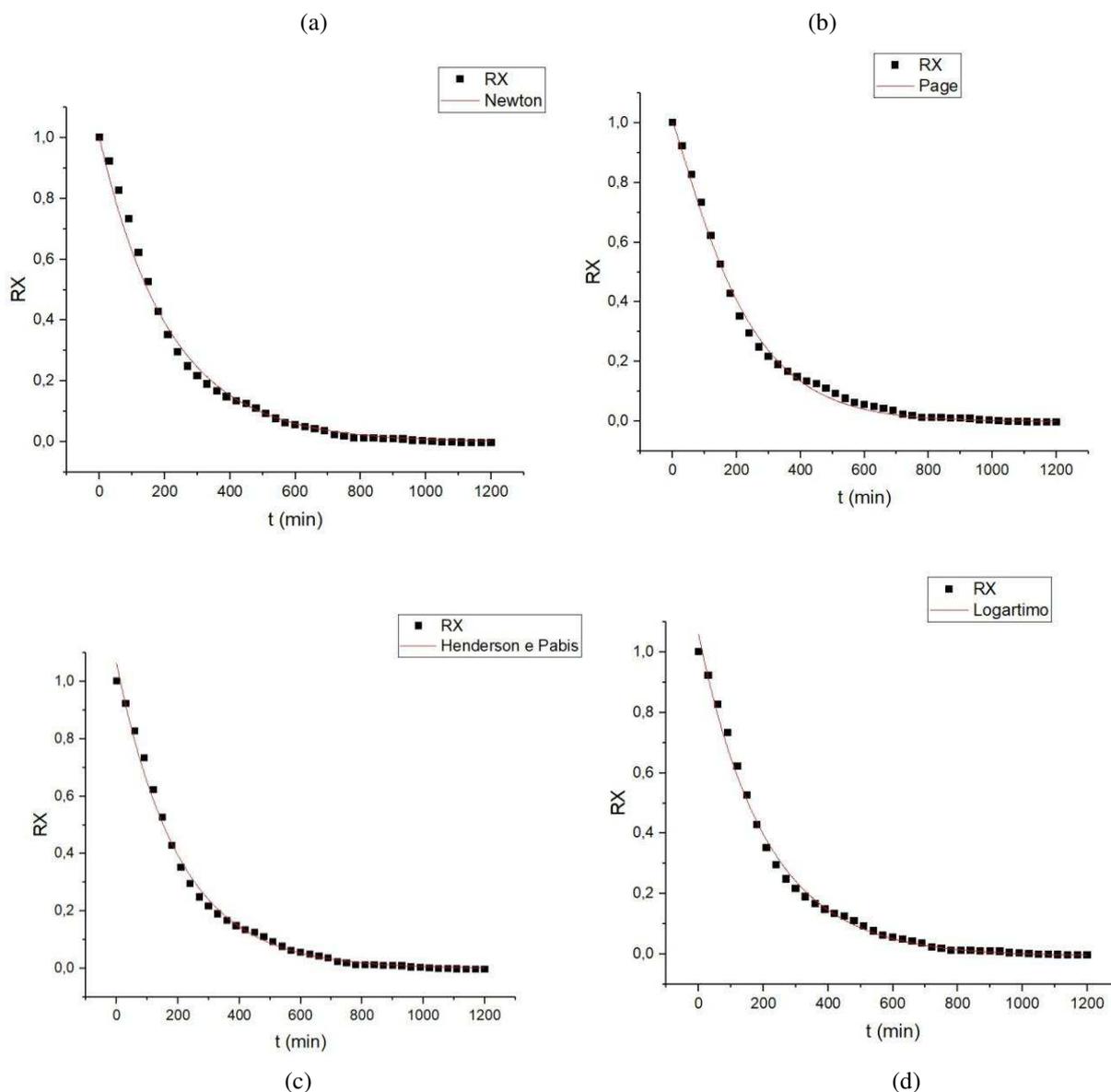


Fonte: dados da pesquisa.

Avaliando o Gráfico 4, é possível observar que a massa do juá desidratado apresenta menores variações, podendo ser considerada constante, a partir dos 720 minutos. Após esse período, a perda de massa é mínima, encerrando a secagem em 1200 minutos. A amostra teve uma redução na massa de água de 68%, sendo a massa final de 80,20 g e as umidades, em base úmida e em base seca, iguais a 9,0%. O baixo teor de umidade alcançado utilizando este tipo de secador, também foi alcançado por outros pesquisadores, tornando viável a aplicação deste equipamento no processo de secagem de alimentos. Silva (2010a) avaliou a eficiência técnica de secador solar na secagem da banana verde para obtenção da farinha e no interior do equipamento a temperatura média alcançada foi de 65,2°C e umidade média final do produto foi de 7,53%. Já Coelho e Azevedo (2012) na secagem da casca da manga em secador solar watercone observaram uma umidade final do produto de 7,2%. Verifica-se com isso, que os resultados obtidos nesse trabalho apresentaram um bom desempenho, comparado aos citados em relação à temperatura e a umidade encontra-se dentro das especificações estabelecidas pela ANVISA para vegetais secos ou desidratados (máx. 12% de umidade).

No Gráfico 5 é possível visualizar a curva de secagem obtida pela conversão dos dados referentes à perda de água no parâmetro adimensional razão de teor de água (RX) ajustado aos modelos matemáticos de Newton (a), Page (b), Henderson e Pabis (c) e Logarítmico (d).

**Gráfico 5** - Comportamento da Razão de secagem (RX) dos frutos do juá em secador solar, em função do tempo (min), com ajuste pelos modelos de Newton (a), Page (b), Henderson e Pabis (c) e Logarítmico (d).



Fonte: dados da pesquisa

Observa-se que, nas condições estudadas, os dados de razão de secagem, em função do tempo, se ajustaram bem aos modelos propostos. Para os ajustes dos dados obtidos experimentalmente foram utilizados os modelos de Newton, Page, Henderson & Pabis e Logarítmico, cujos valores dos parâmetros estão dispostos na Tabela 3.

**Tabela 3** - Modelos de regressão não-linear aplicados à curva de secagem da polpa dos frutos do juá (*Ziziphus joazeiro*), em secador solar.

MODELO	PARÂMETROS					
	a	k	b	n	R <sup>2</sup>	χ <sup>2</sup>
Newton		0,00468			0,9923	5,78 x 10 <sup>-4</sup>
Page		0,00198		1,1554	0,9964	2,68 x 10 <sup>-4</sup>
Henderson e Pabis	1,0625	0,00496			0,9952	3,62 x 10 <sup>-4</sup>
Logarítmico	1,0647	0,00486	-0,0106		0,9930	3,56 x 10 <sup>-4</sup>

Fonte: Dados da pesquisa.

A partir dos resultados apresentados foi possível observar que todos os modelos se ajustaram bem aos dados, mostrando ser estatisticamente significativos com coeficientes de determinação  $R^2$  superiores a 0,99. O modelo de Page foi o que se ajustou melhor aos dados por apresentar o maior valor de  $R^2$ , sendo este o modelo mais indicado para descrever a secagem dos frutos do juá no secador solar. Resultados semelhantes, ao utilizar o secador solar, já foram reportados na literatura.

No desenvolvimento experimental de um secador solar multienergético usado para secagem de banana, Melo et al. (2016) utilizando o modelo de Page para ajuste dos dados, obtiveram um coeficiente de determinação de 0,9934, mostrando-se estatisticamente significativo. Gomes e Grilo (2015) estudaram o desenvolvimento experimental de um sistema de secagem solar de frutas utilizando sistemas multienergéticos na secagem de abacaxi e verificaram que os coeficientes de determinação obtidos nas análises para os modelos de Lewis e Page foram 98,67% e 99,60%, respectivamente, demonstrando que o equipamento utilizado apresenta viabilidade técnica.

#### 4.3. COMPARAÇÃO ENTRE OS DOIS MÉTODOS DE SECAGEM

O tempo de exposição do material, tanto no secador solar quanto na estufa foi prolongado, quando comparado a outros trabalhos que aplicaram o processo de secagem. Este aumento pode ser explicado pelas características estruturais do fruto que dificultam o transporte de água do interior para a superfície, aumentando assim o tempo de exposição do material.

**Tabela 4** – Dados relativos à cinética de secagem dos frutos do juá na estufa e no secador solar.

<b>Dados</b>	<b>Estufa</b>	<b>Secador solar</b>
Tempo de secagem (minutos)	1230	1200
Temperatura (°C)	60	$T_{ext.}=26, T_{int.}= 64$
Temperatura média (°C)	60	47
Redução da massa de água (%)	60	68

Fonte: dados da pesquisa.

Contudo, a aplicação do secador solar mostrou-se um método bastante eficiente quando comparado à estufa, tendo em vista o tempo de processo, de 1200 minutos, foi inferior ao apresentado na estufa, 1230 minutos, levando em consideração que a temperatura média no interior do secador solar foi de 47°C. Além do menor tempo, houve uma maior redução na quantidade de água eliminada da amostra, 68% no secador solar, enquanto na estufa a massa sofreu redução de 60%. Com relação ao teor de umidade final da amostra, obteve-se 9% de umidade, em base úmida (b. u.), sendo este valor abaixo da umidade máxima estipulada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2005) para produtos vegetais secos ou desidratados, que é de 12%, enquanto que na estufa a umidade final foi de 25%, em base úmida.

Na tabela 4 estão dispostos os resultados das análises físico-químicas realizadas na polpa dos frutos *in natura* e nas amostras secas obtidas no secador solar e na estufa.

**Tabela 5** - Média dos resultados das análises físico-químicas do fruto do juazeiro com seus respectivos desvios padrões.

<b>Componentes</b>	<b><i>In natura</i></b>	<b>Estufa</b>	<b>Secador solar</b>
Umidade (%) (b. u.)	71,0	25,0	9,0
Açúcares redutores (g/100g)	3,27 ± 0,43	12,84 ± 0,17	4,77 ± 0,68
Vitamina C (g)	0,048	0,049	0,05
Acidez (g/100g)	0,23 ± 0,03	0,35 ± 0,03	0,59 ± 0,03

Fonte: dados da pesquisa.

Pode-se observar que a quantidade de açúcares redutores totais do material processado no secador solar sofreu um pequeno aumento, quando comparado com o fruto *in natura*, variando de 3,27 para 4,77 (g/100g de produto), enquanto que o produto da secagem na estufa apresentou quantidade de açúcares igual 12,84 (g/100g de produto). Os níveis de açúcares redutores são indicativos de qualidade nos produtos. O aumento no teor de açúcares redutores totais no produto seco se dá pela perda de água durante o processo de secagem ocasionando a concentração dos nutrientes no material seco. Machado (2009) estudou a secagem do pedúnculo do caju nos sistemas convencional e solar e verificou um comportamento semelhante a este cujos açúcares redutores totais aumentaram após a secagem, de 8,74% *in natura* para 16,13%, quando secos a 65°C. Quanto ao teor de vitamina C, houve uma pequena variação na quantidade encontrada, tendo as amostras secas no secador solar um teor mais elevado. De acordo com Brandão et al. (2003) a elevação na concentração do teor de vitamina C no material seco em relação ao *in natura* justifica-se pelo fato de que após o término da secagem há uma concentração dos nutrientes devido à retirada de água do produto, reduzindo

a atividade da água. A acidez sofreu incremento de 0,12 (g/100g de produto) quando a secagem ocorreu em estufa, enquanto no secador solar o aumento foi de 0,36 (g/100g de produto). Esse aumento no teor de acidez segue a mesma justificativa dado para os açúcares totais e a vitamina C, ou seja, a medida que acontece a secagem do produto ocorre a perda de água e a concentração dos nutrientes. De acordo com Machado (2009) a acidez proporciona estabilidade ao produto seco, dificultando o desenvolvimento e proliferação de microrganismos e a acidez é um atributo importante porque o gosto azedo dos frutos cítricos e sucos é o principal fator na aceitabilidade.

## 5. CONCLUSÕES

A secagem dos frutos do juá, tanto por meio da estufa quanto do secador solar, apresentou boa reprodução dos dados experimentais, entretanto, comparando com outros estudos, observa-se que se os procedimentos tivessem sido realizados em temperaturas mais elevadas, provavelmente os tempos dos processos seriam reduzidos; no caso do secador solar, essa temperatura não pode ser controlada, pois depende das condições ambientais do local em que vai se realizar os experimentos. Através dos dados obtidos, pôde-se concluir que todos os modelos matemáticos utilizados se ajustaram de maneira satisfatória às curvas obtidas. Na estufa, para as condições estudadas o modelo de Page apresentou o maior valor de  $R^2$  (0,9995), podendo ser utilizados para descrever o processo. Foi também o que melhor se adequou para descrever a cinética de secagem dos frutos do juá no secador solar, apresentando o maior valor de coeficiente de determinação  $R^2$  (0,9964). Esse trabalho reforça que a secagem utilizando o secador solar é uma alternativa mais barata do que os métodos convencionais para a desidratação de frutas e vegetais por apresentar custos reduzidos de aquisição e manutenção e por ser uma alternativa sustentável. Contudo, a escolha do melhor método a ser utilizado dependerá da finalidade do produto que se deseja obter.

## REFERÊNCIAS

ABÍLIO, S. I. M. **PERAS DE S. BARTOLOMEU SECADAS TRADICIONALMENTE E EM ESTUFA SOLAR - Comparação das Suas Propriedades**. Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2011.

ABREU K. G.; GONÇALVES, C. D. F.; PAIVA, I. A. M.; GOMES, N. V.; BENEDITO, N.C.; COELHO, G. D. **Agregando valores ao coentro com secador solar: Uma alternativa de trabalho e renda para o pequeno produtor rural**. In: Cybelle de Oliveira Dantas, Carlos Roberto Marinho da Silva Filho, João Felipe Santiago Neto, Jackson Andson de Medeiros. (Org.). *Desafios da agroindústria no Brasil*. 2ed. Bananeiras – PB: Bioeducação, 2016, v. 2, p. 134-137.

ALMEIDA, C. A.; GOMES, J. P.; MELO, K. S. ALVES, N. M. C.; SILVA, A. S.; LIMA, E. E. **Degradação do ácido ascórbico da acerola submetido a diferentes condições de secagem**. In: II JORNADA NACIONAL DA AGROINDÚSTRIA, 2007.

ALVES, G. E. et al. **Cinética de secagem de café natural para diferentes temperaturas e baixa umidade relativa**. *Coffee Science*, Lavras, 2012.

ANVISA. **RDC - Resolução da Diretoria Colegiada. nº 272 de 22/09/2005**. ANVISA. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/legislacao#/visualizar/27633>.

BARBOSA, José Rui Peres. **Estudo da viabilidade de uso de secadores solares fabricados com sucatas de luminárias**. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal. Rio Grande do Norte, 2011.

BARBOSA, E. G.; BELÉM, G. L.; COELHO, G. D.; NUNES, B. R. P. **Avaliação do processo de secagem da cebola (*allium cepa l.*) em corte transversal utilizando um secador solar de baixo custo**. Unidade Acadêmica de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos – CDSA/UFCG. Sumé, 2017.

BRANDÃO, M. C.C.; MAIA, G. A.; LIMA, D. P.; PARENTE, E. J. de S.; CAMPELLO, C. C.; NASSU, R. T.; FEITOSA, T.; SOUSA, P. H. M. de; **Análises físico-químicas, microbiológicas e sensoriais de pedúnculos de caju submetidos a desidratação osmótico-solar**. *REVISTA CIÊNCIA AGRONÔMICA*, vol. 34, n.2, p.139-145, 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília, DF, 2010. 368p.

CARDOSO, I. R. M.; ZUNIGA, A. D. G.; FRONZA, P.; MACIEL, A. G.; FERREIRA, J. S. **Análise da cinética e modelagem matemática da secagem da polpa de buriti (*Mauritia flexuosa l.*)**. *ENGEVISTA*, V. 19, n.5, p. 1188-1197. ISSN: 1415-7314. ISSN online: 2317-6717. UFT. Tocantins, 2017.

CARLSON, L. H. C.; MUNARINI, A. C.; OSMARIN, T.; SFREDO, M. A. **Estudo da secagem de tomate por convecção forçada. Grupo de Pesquisa de Desenvolvimento e Otimização de Processos de Alimentos**. UNOCHAPECÓ/FAPESC. Disponível em: <<https://www.unochapeco.edu.br/static/files/trabalhos-anais/Pesquisa/Ci%C3%A2ncias%20Ambientais/Tiago%20Osmarin.pdf>> Acesso em 05 de julho de 2018.

CASEMG. **Secagem de grãos**. Companhia de Armazéns e Silos de Minas Gerais S.A. Belo Horizonte, MG. Disponível em: <<http://www.casemg.gov.br/index.php/servicos/secagem-de-graos/>> Acesso em 20 de junho de 2018.

CASTRO, A. M., Mayorga, E. Y., Moreno, F. L. (2018). **Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review**. *Journal of Food Engineering*, 223, 152–167. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.12.012>

CASTRO, D. S. De, Nunes, J. S., Marcia, L., Silva, D. M., Sousa, C. De, Pereira, W., & Gomes, J. P. (2016). ISSN 2236 - 4420 **Secagem de polpa de Annona squamosa L. : cinética e avaliação de modelos empíricos**. Drying of Annona squamosa L . pulp : kinetic and evaluation of empirical models Introdução Material e métodos, (3), 294–300.

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

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. Planaltina, DF. Embrapa Cerrados, 2010. 51 p.— (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111, ISSN online 2176-5081 ; 276).

CGEE. **Química verde no Brasil: 2010-2030** - Brasília, DF : Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/oleoquimica2\\_000gevtvyzg02wx5ok0dnrsvxb38wpy5.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/oleoquimica2_000gevtvyzg02wx5ok0dnrsvxb38wpy5.pdf)> Acesso em 10 de julho de 2018.

COELHO, E. M.; AZEVEDO, L. C. **Comparação entre técnicas de secagem para obtenção de farinha a partir da casca de manga cv. Tommy atkins**. ISBN 978-85-62830-10-5. VII CONNEPI. Instituto Federal do Sertão Pernambucano. Petrolina-PE, 2012.

CORADIN, L.; SIMINSK, A.; REIS, A. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro – Região Sul**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 934 p. 2011.

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

COSTA, A. **Juazeiro - *Ziziphus joazeiro***. 2011. Disponível em: <<http://www.naturezabela.com.br/2011/04/juazeiro-ziziphus-joazeiro.html>> Acesso em 20 de junho de 2018.

DANTAS, F. C. P.; TAVARES, M. L. R.; TARGINO, M. S.; COSTA, A. P. da; DANTAS, F. O. ***Ziziphus joazeiro* - Rhamnaceae: características biogeoquímicas e importância no bioma Caatinga**. Revista Principia. Divulgação científica e tecnológica do IFPB | nº 25. João Pessoa, 2014.

DINIZ, V. M. **Processamento do fruto do juazeiro para obtenção da farinha e do óleo**. CCT/UFCG. Campina Grande, 2016.

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N. L. **Tecnologias de pré-armazenamento, Armazenamento e conservação de grãos**. Polo de inovação tecnológica em alimentos da região sul. UFPEL. Capão do Leão – Rio Grande do Sul, 2017.

EMBRAPA. **Bioprocessos**. Disponível em <<https://www.embrapa.br/bioprocessos>> Acesso em 10 de julho de 2018.

EMBRAPA SEMIÁRIDO. Simpósio do Bioma Caatinga (1. : 2016 : Petrolina, PE): **Anais do I Simpósio do Bioma Caatinga**; editores: Lúcia Helena Piedade Kiill; Diogo Denardi Porto. Petrolina : Embrapa Semiárido. 171 p. (Embrapa Semiárido. Documentos, 277). Petrolina – PE, 2016.

FEITOSA, V. A.; ELLER, S. C. W. S.; CAVALCANTI, M. T.; FLORÊNCIO, I. M.; ABÍLIO, G. M. F.; PIRES, V. C. F. **Caracterização físico-química do fruto desidratado do juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.)**. UEPB. Campina Grande, 2009.

FEITOZA, J. V. F.; ARAÚJO, J. S. F. de; QUEIROGA, I. M. B. N.; NETO, D. C. S. **O juá e seu potencial diversificativo através da tecnologia de conservação dos alimentos**. I Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido – CONIDIS. Campina Grande, 2016.

FERNANDES, A. I.; DE LÓCIO, C. J. F.; DE MORAIS, M. S. N.; BRUNO RAFAEL PEREIRA NUNES. **ANÁLISE DA CINÉTICA DE SECAGEM DE *Mallus domestica* EM ESTUFA**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC. Maceió – Alagoas, 2018.

FERREIRA, E. S.; LUCIEN, V. G.; AMARAL, A. S.; SILVEIRA, C. S. **Caracterização físico-química do fruto e do óleo extraído de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.)**. Alimentos e Nutrição, v. 19, p. 427-433, 2008.

FERREIRA, G. F.; LEMOS, E. E. P de.; SOUZA, F. X. de; LOURENÇO, I. P.; LEDERMAN, I. E.; BEZERRA, J. E. F.; JÚNIOR, J. F. da S.; BARROS, L. de M.; RUFINO, M. do S. M.; OLIVEIRA, M. E. B.; MENDONÇA, R. M. N.; ALVES, R. E.; ARAÚJO, R. R. de; SILVA, S. de M. e SOUZA, A. B. de. Frutíferas. In: SAMPAIO, E. V. S. B. (ed.). **Espécies da flora nordestina de importância econômica potencial**. Recife: Associação Plantas do Nordeste, p. 49-100, 2005.

FIGUEIREDO, R. **Princípios da Secagem de Produtos Biológicos**. João Pessoa, Editora da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, 2003.

GANSALVES, P. E. **Livro dos alimentos**. 2ª reimpressão. São Paulo, SP: Summus Editorial, 2001.

GALLE, N. B. C.; ALVES, N. M. C.; CASTRO, R. L. O.; VILELA, A. O.; CORREIO, M. I. P. S. **SECADOR SOLAR PARA SECAGEM DE FRUTAS REUTILIZANDO MATERIAIS DESCARTADOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**. REVISTA A BARRIGUDA. ISSN 2236-6695. Campina grande. 6 [3] P. 593-602| set-dez 2016.

GOMES, I. A.; GRILO, M. B. **Utilização de um secador solar de frutas com aproveitamento multienergético na desidratação de abacaxi**. Apresentado no Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC. Fortaleza – CE, 2015.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**, 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985. p. 23-5.

LOPPES, A. H. **Índice terapêutico fitoterápico**. Petrópolis: EPUB, 2008.

LORENZI, H. E. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 5 ed., v. 1. Nova Odessa, Instituto Plantarum, 2009.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. 2 ed. Nova Odessa, Instituto Plantarum, 2008.

MACHADO, A. V. **Estudo da secagem do pendúnculo do caju em sistemas convencional e solar: modelagem e simulação do processo**. Programa de pós-graduação em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal, 2009.

MALDONADE, I. R.; CARVALHO, P. G. B.; FERREIRA, N. A. **Protocolo para a determinação de açúcares totais em hortaliças pelo método de DNS**. Embrapa Hortaliças: Brasília – DF. Comunicado Técnico, 85. 2013.

MARTINS, G.M.V.; ALVES, F.M.S.; SOUSA, S. de.; CANUTO, M.F.S.C.; CARTAXO Neta, A. M.A. **Cinética de Secagem da Acerola (*Malphigia Emarginata* D.C.) pelo Método Foam – Mat**. Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Fortaleza, CE. 2016.

MELO, C. T. M. C. B. de.; NUNES, A. G.; GRILO, M. B. **Desenvolvimento experimental de um secador solar multienergético usado para secagem de banana**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. Foz do Iguaçu, 2016.

MENEZES, M. L.; STRÖHER, 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**. ENGEVISTA. Agosto V. 15, n. 2. p. 176-186, 2013.

MONIZ-BRITO, K. L.; OSUNA, J. T. A. **Influência dos tratamentos físicos e químicos na germinação de *Ziziphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae)**. Revista Magistra, v. 20, p. 16-21, 2008.

MONTEIRO, L. B.; Mendonça, M. R.; Andrade, A. T.; Camargo, T.; Sousa, K. M.; OI, R.; Moraes, M. S.; LIA, L. R. B; Junior, D. M. **Curva de Secagem do Mesocarpo do Maracujá Amarelo**. Revista Ceciliana Jun. v. 2, n. 1, p. 42-44, 2010.

MORAES FILHO, F.; OLIVEIRA, E.; NÓBREGA, E.; OLIVEIRA, J. A.; CORREIA, R. **Secagem convectiva da acerola (*Malphigia emarginata* DC.): Aplicação de modelos semiteóricos**. Holos, v. 01 , p. 86-95, 2014.

MORAES, S. O. **Secagem de Alimentos**. Universidade de São Paulo. Escola superior de agricultura “Luiz de Queiroz”. Programa de aperfeiçoamento do ensino superior. São Paulo, 2006.

NATUREX. **Dossiê Alimentos Desidratados. Alimentos desidratados**. Revista Food ingredients Brasil Nº 26 – 2013.

NUNES, José Luis da Silva. **Secagem, Beneficiamento e Armazenagem**. Tecnologia de sementes -Secagem, Beneficiamento e Armazenagem. Agrolink. 2016. Disponível em: <[https://www.agrolink.com.br/sementes/tecnologia-sementes/secagem--beneficiamento-e-armazenagem\\_361343.html](https://www.agrolink.com.br/sementes/tecnologia-sementes/secagem--beneficiamento-e-armazenagem_361343.html)> Acesso em 20 de junho de 2018.

OLIVEIRA, L. F.; GODOY, R. L.; BORGES, S. V. **Qualidade de jaca (*Artocarpus heterophyllus*, Lam.)**. Brazilian Journal Food Technology, v. 14, p. 241-248, 2011.

ONWUDE, D. I., Hashim, N., Janius, R., Abdan, K., Chen, G., & Oladejo, A. O. (2017). **Non-thermal hybrid drying of fruits and vegetables: A review of current technologies**. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 43(January), 223–238. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.08.010>.

PAIVA, I. A. M.; SILVA, M. A.; RAMOS, D. F.; COELHO, G. D. **SECADOR SOLAR: TECNOLOGIA SOCIAL PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE FILETAGEM DA TILÁPIA**. 8º Simpósio Internacional Sobre Gerenciamento de Resíduos em Universidades – UFCG. GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS: UNIVERSIDADE & COMUNIDADE. 2017.

PARK, K. J.; COLATO, A.; OLIVEIRA, R. A. **Conceitos de processos e equipamentos de secagem**. Campinas, v. 1, 2007.

PENA, Rodolfo F. Alves. **Caatinga**. Mundo educação. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/caatinga.htm>> Acesso em 03 de junho de 2018.

PEREIRA, F.C.; PEREIRA, D.D.; MARINHO, I.V.; MACEDO, L.P.M. **A caatinga e o atual modelo de exploração econômica**. In: PEREIRA, et al. (Organizadores). Recursos naturais do semiárido: oportunidades agroindustriais e econômicas. Campina Grande: EDUFCG, 2013. 388 p.

PEREIRA JR., Nei. (editor-autor). **TECNOLOGIA DE BIOPROCESSOS** / Nei Pereira Jr., Elba Pinto da Silva Bon, Maria Antonieta Ferrara. – Rio de Janeiro: Escola de Química/UFRJ, 2008. 62 p.: il. – (Séries em Biotecnologia, v. 1).

PERES, Wolmer Broad. **Secagem de sementes: tipos de secadores**. 2016. Disponível em: <[http://www.seednews.inf.br/\\_html/site/content/reportagem\\_capa/imprimir.php?id=277](http://www.seednews.inf.br/_html/site/content/reportagem_capa/imprimir.php?id=277)> Acesso em 20 de junho de 2018.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Juazeiro**. Disponível em: <<https://www.portalsaofrancisco.com.br/biologia/juazeiro>>. Acesso em 16 mai. 18.

SANTOS, F. G. L.; GUERRA, E. D.; NEVES, H. J. P. **PRODUÇÃO DE ÁLCOOL A PARTIR DE RESÍDUOS DE JUÁ**. Associação Caruaruense do Ensino Superior e Técnico - Faculdade ASCES. Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - Vol. 3: Congestas 2015 ISSN 2318-7603. Caruaru, Pernambuco, 2015.

Santos JR, H. C. M.; Rocha, A. A.; Neto, M. A. B.; Reis, L. C. C.; Chaves, M. A. **Influence of Temperature on Fuji Apple Drying Kinetics**. IV Congresso Mineiro de Engenharia de Alimentos. 2018.

SANTOS, T. C.; JÚNIOR, J. E. N.; PRATA, A. P. N. **Frutos da Caatinga de Sergipe utilizados na alimentação humana**. Scientia Plena, v. 8, n. 4, 049901, 2010.

SILVA, J. L. et. al. **AValiação física e físico-química de frutos de JUAZEIRO (*Zizyphus joazeiro* Mart.) em diferentes estádios de maturação**. V.11, Nº 5, p. 177-181. Pombal, PB. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 2016.

SILVA, J. B. da. **Caracterização físico-química e química do fruto do juazeiro (*Zizyphus joazeiro* Mart.) e avaliação da sua conservação por fermentação láctica**. Tese de Doutorado, 95 p. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2014.

SILVA, J. B. da.; 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 (*Zizyphus joazeiro* Mart.)**. Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.14 n.25; p. 2017.

SILVA, José Menezes. **Viabilidade do Uso de Secadores Solar de Convecção Natural e Forçada Para a Secagem do Coco Licuri**. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal. Rio Grande do Norte, 2012.

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. Campina Grande, v.13, n.1, p. 15-20, 2011.

SILVA, S. N.; DE SOUSA, F. C. S.; GURJÃO, K. C. O.; SIQUEIRA, E. C. **LEVANTAMENTO DE ESPÉCIES VEGETAIS EM ÁREA DE CAATINGA E POTENCIAL DE USO NO CARIRI CEARENSE**. I Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido – CONIDIS. Campina Grande, 2016a.

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

SILVA, J.M.; **Secagem de pedaços cúbicos de goiaba em Leito de Jorro**. (Tese de Doutorado), Campina Grande-PB: Universidade Federal de Campina Grande, 2010. 110p.

SILVA, I. G. **Desidratação de banana em secador solar: viabilidade técnica e econômica**. Programa de pós-graduação em agronomia. Universidade Federal do Acre. Rio Branco, 2010a.

SILVA, E. S.; OLIVEIRA, J.; MACHADO, A. V.; COSTA, R. O. **Secagem de Grãos e Frutas: Revisão Bibliográfica**. Revista Brasileira de Agrotecnologia (Garanhuns – PE - Brasil) v.5,n.1,p. 19-23, Jan-Dez, 2015.

SILVA, N. C. da. **Desidratação de resíduos do processamento de maracujá-amarelo por diferentes metodologias**. Programa de pós-graduação em engenharia química. UFU, Minas Gerais, 2015.

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

STEFFENS, R. S. **Proposta de aplicação do desing higiênico de equipamentos e instalações de um sistema de controle de temperatura em um secador de bandeja de bancada**. Porto Alegre, 2011.