



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

**CINÉTICA DE SECAGEM DA FOLHA E DO EXTRATO CONCENTRADO DA  
JARAMATAIA**

**JORDANY RAMALHO SILVEIRA FARIAS**

**2023**

**CINÉTICA DE SECAGEM DA FOLHA E DO EXTRATO CONCENTRADO DA  
JARAMATAIA**

**JORDANY RAMALHO SILVEIRA FARIAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – PPGEPP, do Centro de Ciências e Tecnologia – CCT/UFCEG, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Processos.

**ORIENTADORA:** Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Paula Trindade Rocha.

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2023**

F224c

Farias, Jordany Ramalho Silveira.

Cinética de secagem da folha e do extrato concentrado da jaramataia / Jordany Ramalho Silveira Farias. – Campina Grande, 2023.

74 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2023.

"Orientação: Profa. Dra. Ana Paula Trindade Rocha".

Referências.

1. Cinética de Secagem. 2. Extrato Seco Concentrado. 3. Secagem Convectiva. 4. *Verbenaceae*. I. Rocha, Ana Paula Trindade. II. Título.

CDU 66.047(043)

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECÁRIA SEVERINA SUELI DA SILVA OLIVEIRA CRB-15/225

**CINÉTICA DE SECAGEM DA FOLHA E DO EXTRATO CONCENTRADO DA  
JARAMATAIA**

**JORDANY RAMALHO SILVEIRA FARIAS**

**APROVADO EM: 27/04/2023**

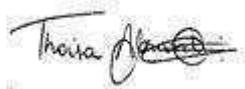
**BANCA EXAMINADORA:**



Profa. Dra. Ana Paula Trindade Rocha (Orientadora)



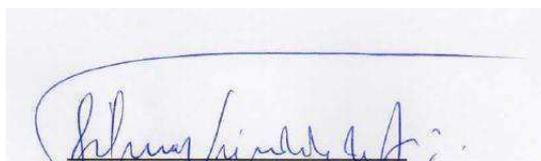
Prof. Dr. Vimário Simões Silva (Examinador)



Prof. Dra. Thaisa Abrantes Souza Gusmão (Examinador)



Prof. Dr. Rennan Pereira de Gusmão (Examinador)



Prof. Dr. Gilmar Trindade de Araújo (Examinador)

**CAMPINA GRANDE – PB, 2023**

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
2.1 Objetivo Geral .....	4
2.2 Objetivos Específicos .....	4
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
3.1 <i>Vitex Gardneriana Schauer (Verbenaceae)</i> .....	5
3.2 Formas farmacêuticas – na forma de pó.....	6
3.3 Métodos extrativos .....	7
3.4 Cinética de secagem .....	7
3.5 Secagem de extrato vegetal .....	9
<b>4. METODOLOGIA GERAL.....</b>	<b>11</b>
4.1 Cadastramento dos pesquisadores e da pesquisa no SisGen .....	11
4.2 Materiais utilizados .....	11
4.3 Recepção e higienização dos frutos .....	11
4.4 Cinética de secagem das folhas de Jaramataia .....	11
4.5 Difusividade efetiva e propriedades termodinâmicas para cinética das folhas de Jaramataia.....	13
4.6 Secagem das folhas da Jaramataia .....	15
4.7 Obtenção do extrato das folhas da Jaramataia .....	15
4.7.1 Extração hidroalcolólica .....	15
4.8 Obtenção do extrato concentrado de Jaramataia .....	16
4.9 Cinética de secagem do extrato de Jaramataia concentrado .....	16
4.10 Difusividade efetiva e propriedades termodinâmicas para cinética do extrato concentrado de Jaramataia .....	16
<b>Artigo I – Cinética de secagem da folha da Jaramataia: modelagem matemática e propriedades termodinâmicas .....</b>	<b>17</b>
Introdução.....	19

Metodologia.....	21
Resultados e Discussão.....	25
Conclusão .....	31
Referências Bibliográficas.....	32
<b>Artigo II – Cinética de secagem do extrato concentrado da folha da jaramataia – <i>Vitex Gardneriana Schauer</i>: modelagem matemática e propriedades termodinâmicas.....</b>	<b>35</b>
Introdução.....	37
Metodologia proposta.....	39
Resultados e Discussão.....	45
Conclusão .....	52
Referência bibliográfica .....	53
<b>5. CONCLUSÃO GERAL.....</b>	<b>56</b>
<b>6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA GERAL.....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXO I – SUBMISSÃO DO PROJETO AO CEUA- CFP/UFCG (PARECER)...</b>	<b>i</b>
<b>ANEXO II – COMPROVANTE DE CADASTRO E ACESSO SISGEN .....</b>	<b>ii</b>

## **LISTA DE FIGURAS**

### **ARTIGO I**

Figura 1- Gráfico do modelo matemático Aproximação por Difusão (50, 60 e 70°) sobre dados da cinética de secagem das folhas de Jaramataia ..... 28

### **ARTIGO II**

Figura 1- Gráfico do modelo matemático Logarítmico (50, 60 e 70°) sobre dados da cinética de secagem do extrato concentrado da folha da Jaramataia..... 48

## LISTA DE TABELA

Tabela 1-Modelos matemáticos utilizados para ajustar os dados da cinética de secagem das folhas da Jaramataia. ....	12
---	----

### ARTIGO I

Tabela 1- Modelos matemáticos utilizados para ajustar os dados da cinética de secagem das folhas da Jaramataia. ....	22
Tabela 2- Teor de água e tempos de secagem das folhas de Jaramataia em diferentes temperaturas.....	25
Tabela 3- Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos dados de secagem das folhas de Jaramataia mais os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), Desvio Quadrático Médio (DQM) e valores do qui-quadrado ( $\chi^2$ ).....	26
Tabela 4- Difusividade efetiva das amostras das folhas da Jaramataia em diferentes temperaturas.....	29
Tabela 5- Parâmetros da equação de Arrhenius (ajustado aos dados de difusividade efetiva das amostras das folhas da Jaramataia) .....	29
Tabela 6- Valores para as variações de entalpia ( $\Delta H$ ), entropia ( $\Delta S$ ) e energia livre de Gibbs ( $\Delta G$ ) para diferentes temperaturas das folhas da Jaramataia .....	30

### ARTIGO II

Tabela 1- Modelos matemáticos utilizados para ajustar os dados da cinética de secagem do extrato concentrado da folha da Jaramataia.....	41
Tabela 2- Teor de água e tempos de secagem do extrato concentrado da folha da Jaramataia em diferentes temperaturas.....	45
Tabela 3 - Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos dados de secagem do extrato concentrado da folha da Jaramataia mais os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), Desvio Quadrático Médio (DQM) e valores do qui-quadrado ( $\chi^2$ ).....	46
Tabela 4- Difusividade efetiva das amostras do extrato concentrado da folha da Jaramataia em diferentes temperaturas.....	48
Tabela 5- Parâmetros da equação de Arrhenius (ajustado aos dados de difusividade efetiva das amostras do extrato concentrado da folha da Jaramataia).....	49

Tabela 6- Valores para as variações de entalpia ( $\Delta H$ ), entropia ( $\Delta S$ ) e energia livre de Gibbs ( $\Delta G$ ) para diferentes temperaturas do extrato concentrado da folha da Jaramataia ..... 50

**Resumo:** A planta fitoterápica de nome *Vitex gardneriana Schauer* (*Verbenaceae*) mais conhecida como Jaramataia é encontrada com frequência às margens dos rios e riachos na caatinga do Nordeste brasileiro. Atualmente, devido ao conhecimento de suas funções farmacológicas de partes específicas das plantas são aplicadas para diversos tratamentos. Contudo, não se encontra na literatura pesquisas realizadas com processos tecnológicos obtendo a parte isolada das folhas da Jaramataia com a finalidade de propor um extrato seco em pó através de técnicas de secagem, sendo esse o objetivo do presente estudo, buscando na secagem um meio útil e eficaz, por apresentar baixo custo operacional, de manuseio e uma produção em larga escala, obtendo assim a forma farmacêutica de pó da planta da Jaramataia, sendo o pó uma das formas mais aceitas ao paladar e manipulação, além do fácil e seguro acesso a população. Foram realizadas as cinéticas de secagem da folha de Jaramataia a 50, 60 e 70°C e velocidade do ar de 1m/s, obtendo os modelos matemáticos, ajustes, difusividade efetiva e os cálculos das propriedades termodinâmicas das folhas. Seguido, realizou-se o estudo cinético do extrato concentrado de Jaramataia, após secagem das folhas e obtenção do extrato hidroalcoólico, sendo esse extrato também submetido ao processo de cinética de secagem, com o intuito de observar uma faixa de temperatura segura para trabalhar sem degradar o extrato concentrado. A cinética das folhas apresentou resultados satisfatórios com ajuste coerentes e coeficientes de determinação elevados, além disso a entalpia e entropia tiveram uma redução nos seus valores, enquanto a energia livre de Gibbs teve um aumento, sendo ambos comportamentos observados ao elevar a temperatura. Para a cinética do extrato concentrado a modelagem matemática apresentou ajustes satisfatórios aos modelos empregados, as suas propriedades termodinâmicas apresentaram valores coerentes junto a literatura, a entalpia teve variação e aumento junto a energia livre de Gibbs, e a entropia teve uma redução, ambas as propriedades responderam diretamente ao aumento das temperaturas do estudo.

**Palavras-chave:** cinética de secagem; extrato seco concentrado; secagem convectiva; *Verbenaceae*

**Abstract:** The herbal plant named *Vitex gardneriana* Schauer (Verbenaceae) better known as Jaramataia is often found on the banks of rivers and streams in the caatinga of northeastern Brazil, being widely used in folk medicine as a home remedy by the older population, but being used to the present day with more knowledge, delimiting the pharmacological functions of the specific parts of the plant for different treatments. With this, studies and analyzes of its properties have been highly visible by researchers, where studies show that its isolated compounds have therapeutic properties, proving how effective this herbal product is for some diseases related to inflammation and infection. However, there is no research in the literature carried out with technological processes obtaining the isolated part of the Jaramataia leaves with the purpose of proposing a dry extract in powder form through drying techniques, which is the objective of the present study, seeking in drying a useful and effective means, due to its low operating and handling costs and large-scale production. Thus obtaining the pharmaceutical form of powder from the Jaramataia plant, the powder being one of the most accepted forms of taste and manipulation, in addition to easy and safe access to the population. Drying kinetics of the Jaramataia leaf at 50, 60 and 70°C and air velocity of 1m/s were performed, obtaining mathematical models, adjustments, effective diffusivity and calculations of the thermodynamic properties of the leaves. Next, a kinetic study of the concentrated Jaramataia extract was carried out, after drying the leaves and obtaining the hydroalcoholic extract, and this extract was also subjected to the drying kinetics process, in order to observe a safe temperature range to work without degrading the concentrated extract. The kinetics of the leaves showed satisfactory results with coherent fit and high coefficients of determination, in addition the enthalpy and entropy had a reduction in their values, while the Gibbs free energy had an increase, both behaviors being observed when raising the temperature. For the kinetics of the concentrated extract, the mathematical modeling presented satisfactory adjustments to the employed models, its thermodynamic properties presented cohesive values along with the literature, the enthalpy had variation and increase together with the Gibbs free energy, and the entropy had a reduction, both properties responded directly to the increase in study temperatures.

**Keywords:** drying kinetics; Concentrated dry extract; convective drying; *Verbenaceae*

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A procura por produtos naturais, sendo eles derivados de plantas, está cada vez mais relacionado a produtos fitoterápicos, devido à medicina popular que vem exercendo uma grande influência sobre tratamentos de doenças comuns do cotidiano humano, pois essa prática já vem sendo utilizada muitos antes dos remédios convencionais, e então, produtos naturais que eram usados para uso alimentar agora também exercem um papel tanto quanto para uso medicamentoso. As plantas são uma grande ferramenta terapêutica no tratamento de várias enfermidades, dotadas de agentes bioativos e atividades farmacológicas, que aplicadas de forma consciente e correta, podem mostrar resultados satisfatórios sobre doenças (PEREIRA et al., 2019).

Segundo Ribeiro (2021), medicamentos fitoterápicos como também plantas medicinais, se usado corretamente, se sobressai aos efeitos dos medicamentos convencionais, essas vantagens podem ser listadas devido a baixa toxicidade do medicamento natural, baixo custo, e menor chance de efeitos colaterais, mas o autor também afirma que cada planta tem sua individualidade, particularidade e que para o uso racional de cada espécie é necessário um estudo afundo sobre os seus componentes químicos para poder assim, de fato, determinar os benéficos e perigos do uso dessas práticas.

Com isso, vem sendo estudados e desenvolvidos produtos naturais para suprir as necessidades terapêuticas apresentando a eficácia comprovada por meio de estudos fitoquímicos comparados com as plantas medicinais que são industrializadas para se obter um medicamento, fazendo com que tenha preferência pelos produtos fitoterápicos por apresentar substâncias isoladas usada como propriedades medicinais e biológicas na medicina popular não oferecendo riscos à saúde dos usuários (LARA et al., 2019).

Sendo as plantas medicinais facilmente encontradas no nosso bioma nativo, mas especificamente na região do sertão nordestino, entre as espécies que existem temos a espécie *Vitex gardneriana Schauer* mais conhecida popularmente como “Jaramataia”, é um fitoterápico capaz de apresentar em suas folhas isoladas compostos fitoquímicos bem tolerados e utilizados na terapêutica medicinal popular, além de remédios caseiros por apresentar tratamentos alternativos e complementares por várias doenças comuns como gripe, vermicidas, dor abdominal, dor óssea, problemas renais e dor na coluna entre outras (VALE et al., 2019). ‘

Além das suas funções terapêuticas, a Jaramataia é também utilizada pela população para outros fins, onde estudos mostram que é tolerada contra algumas cepas bacterianas, ou seja, suas folhas são ricas em compostos anti-inflamatórios e atividades antioxidantes devido à quantidade de compostos fenólicos presente no vegetal, e assim forma um biofilme protetor, o que se pode comparar com os outros medicamentos comercializados (MORAIS et al., 2020).

Tendo em vista os produtos fitoterápicos após a sua extração, são realizadas análises físico-químicas para verificar suas propriedades terapêuticas e além dessas análises são sempre utilizadas técnicas conhecidas de secagem, sendo consideradas técnicas usadas no processo industrial por apresentar baixo custo e a produção em larga escala na elaboração da extração em pó do produto natural sem a perda de seus compostos isolados com finalidade terapêutica (XU et al., 2019).

Dentre as diversas formas farmacêuticas para elaboração de fármacos fitoterápicos através da técnica de secagem elaborada a partir de extrato seco na obtenção da forma em pó sendo bem aceita pela população em geral comparadas com as demais formas farmacêuticas, os pós tem uma biodisponibilidade bem tolerada e dosagem terapêutica certa na sua forma (MURA et al., 2019).

A tecnologia para obtenção de produtos fitoterápicos medicinais estão sendo vistos e estudadas com frequência por pesquisadores em relação a medicina popular na qual é coletado a parte da planta que são mais utilizadas pelos os mesmos e em seguida obtidos por meio de métodos sofisticados que realizem a extração dos vegetais de plantas medicinais em extrato seco, ou seja, na forma de pó e em seguida avaliar suas propriedades físico-químicas relacionado a cada método utilizado e observar se houve alguma alteração em suas propriedades farmacológicas e conseqüentemente comparar qual método é mais eficaz para que possam ser utilizados para fins terapêuticos. Por definição, extratos secos são preparações sólidas, pulverulentas ou granuladas obtidas por evaporação de extratos de plantas medicinais adicionadas ou não de adjuvantes, apresentando o teor de substâncias ativas indicado (FARMACOPÉIA BRASILEIRA, 1988).

O principal objetivo dos estudos voltados a extração de fontes vegetais para fins terapêuticos e farmacológicos é encontrar um vegetal que seja possível a obtenção do extrato seco na forma farmacêutica em pó, que tenha vasta ingestão e conhecimento pela população em geral por apresentar estabilidade e dosagem certa, além de ter eficácia

terapêutica anti-inflamatória comprovada, econômica, barata e de fácil acesso que possa contribuir para a população (LUCAS et al. 2018).

Com base na literatura apresentada, o objetivo do presente estudo é a realização de um processo inovador do extrato seco do vegetal *Vitex gardneriana Schauer* (*Verbenaceae*) sendo um produto medicinal fitoterápico em forma de pó a partir de tecnologia sustentável de baixo custo que seja utilizado para fins terapêuticos vistas pelas indústrias farmacêuticas de pequeno e grande porte que possam comercializar em concentrações terapêuticas seguras e comprovadas para serem utilizados no tratamento e cura de determinadas doenças. Vislumbra-se também, que os extrato seco na forma de pó da planta *Vitex gardneriana Schauer* (*Verbenaceae*).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Realizar o estudo cinético para obtenção do extrato seco fitoterápico da espécie *Vitex gardneriana Schauer (Verbenaceae)*.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Recepcionar e higienizar as folhas de Jaramataia;
- Executar da cinética de secagem das folhas de Jaramataia a 50, 60 e 70°Ce velocidade do ar de 1m/s;
- Realizar cálculos de difusidade efetiva e propriedades termodinâmicas da cinética de secagem das folhas de Jaramataia;
- Realizar processo de secagem, moagem e acondicionamento das folhas de Jaramataia;
- Obter o extrato hidroalcoólico de Jaramataia;
- Obter o extrato concentrado de Jaramataia;
- Realizar cinética de secagem do extrato concentrado de Jaramataia a 50, 60 e 70°Ce velocidade do ar de 1m/s;
- Realizar cálculos de difusidade efetiva e propriedades termodinâmicas da cinética de secagem do extrato concentrado de Jaramataia.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 *Vitex Gardneriana Schauer (Verbenaceae)*

A planta *Vitex gardneriana Schauer* é uma árvoreta da família *Verbenaceae* encontrada aos leitos dos rios no sertão nordestino do Brasil, conhecida popularmente como Jaramataia e vista pelo seu volume concentrado de folhas que são utilizadas na medicina popular como anti-inflamatório e analgésico por apresentar propriedades terapêuticas. No entanto, há pouquíssimo estudos fitoquímicos e farmacológicos relacionado a essa planta fitoterápica, popularmente conhecida por Jaramataia, mas o seu gênero *Vitex* compreende mais de 250 espécies distribuídas mundialmente, onde era usado desde o período das civilizações para problemas de saúde, regulação menstrual, malária, herpes, dermatite e coceira e por possuir atividade anticâncer relacionados alguns estudos fitoquímicos com a presença de diterpenóides, flavonóides e triterpenóides (MATHUR e HOSKINS, 2017; VALE et al., 2017).

Pereira et al. (2018) mostraram alguns resultados terapêuticos que apresentam alta concentração em suas folhas de forma isolada compostos bioativos que possui atividade antibacteriana por formar um biofilme, e serve como barreira para impedir que os microrganismos se manifestem, associado com os antibióticos sintéticos para potencializar os efeitos terapêuticos e também tem um poder antifúngico. A utilização do óleo essencial extraído das folhas da planta fitoterápica *Vitex gardneriana Schauer (Verbenaceae)* tem o potencial de apresentar atividade larvicida contra *Aedes aegypti* por possuir em sua composição química compostos bioativos que em concentrações específicas causa a morte das larvas.

Evidências de que as folhas da Jaramataia têm da ação antioxidante por apresentar grandes quantidades de compostos fenólicos que previne o envelhecimento precoce e doenças degenerativas relacionadas ao envelhecimento como câncer, problemas cardiovasculares, doenças auto imune e disfunções cerebrais em retardar a ação dos radicais livre pelo processo oxidativos seja de forma sintética ou natural inibindo ou retardando a ação desse substrato. Na medicina popular, o caule é usado como calmante e abortivo através do preparo por infusão (BARRETO et al., 2005; MONTEIRO et al., 2015).

Alguns estudos voltados ao uso da Jaramataia mostraram efeito significativos relacionados a fatores anti-edematogenico, hipnótico e antinociceptivo por meio de testes in vivos realizados com camundongos administrado por via oral seu extrato bruto em solução aquosa onde não observou efeito intraperitoneal e nem apresentou toxicidade aguda na realização dos testes clínicos, sendo esses resultados favoráveis ao seu uso para fins terapêuticos (BARRETO, 2017).

### **3.2 Formas farmacêuticas – na forma de pó**

Há diversas formas farmacêuticas elaborada a partir da matéria prima fitoterápica realizada por técnicas de algum processo, com a finalidade de que o ativo tenha uma elaboração final, facilitando sua administração dependendo da via, do ativo e do consumidor com intuito de permanecer a obtenção do maior efeito terapêutico para ser utilizados de forma segura e efetiva. Dentre as formas farmacêuticas que existem a mais utilizadas hoje em dia é a forma sólida por ser as preparações mais estáveis, mais seguras, fáceis e econômicas podendo apresentar concentrações de dosagem personalizada, menor erro na administração e maior biodisponibilidade (PLANOWSKI, 2000; VLACHOU et al., 2019).

Destacam-se como formas farmacêuticas sólidas os pós, grânulos, comprimidos e capsulas, sendo consideradas mais aceitas na prática clínica, devido diversos fatores que contribui para aderência ao tratamento, administração e por não exigir que o ativo seja estéril decorrente do processo de produção para ser comercializado e ingerido. Os comprimidos e as cápsulas são as formas sólidas mais utilizadas, por obter aceitação do paciente e clínico, mas a forma farmacêutica em cápsulas é a melhor forma de se administrar e consumir tornado a assim a deglutição aceita mascarando o sabor e odor desagradáveis fácil preparação e precisão na dosagem comparado com os comprimidos, sendo necessária para sua formação e composição o princípio ativo em pó (DEBOTTON e DAHAN., 2016; BARBOSA, 2017).

A forma farmacêutica em pó é realizada por meio da secagem ou desidratação que diminui sua atividade de água para obtenção do extrato seco em forma de pó com a utilização de técnicas de processos que são eficientes para obtenção desse produto final e que mantenha suas propriedades terapêuticas de qualidade para fins de tratamento (SILVA, 2018).

### **3.3 Métodos extrativos**

Extratos e óleos essenciais de plantas vegetais podem ser usados como conservantes de alimentos, a fim de reduzir a dependência de produtos químicos sintéticos na preservação de alimentos. A extração representa o principal passo na obtenção da mistura bruta de compostos das plantas. Qualidade e quantidade dos extratos dependentes das estruturas compostas, fontes naturais e tipo de processos, explicando a diferente composição nos extratos obtidos com diferentes procedimentos. O extrato vegetal mais comum é obtido por métodos convencionais de extração com solvente (infusão, decocção, digestão, maceração e percolação) usando solventes como água, etanol, metanol, clorofórmio, dimetil-sulfóxido e etc. No entanto, essas técnicas são exigentes em relação à duração do processo de extração, consumo de solventes orgânicos e falta de automação da extração (SABO e KNEZEVIC, 2019).

A procura por potenciais ativos em plantas e folhas, vem crescendo devido ao grande interesse em função de suas ações e possíveis aplicações. As metodologias empregadas na extração de compostos bioativos geralmente envolvem processos com muitas etapas, sendo necessário assim a busca por uma configuração economicamente viável e ecologicamente sustentável. Neste sentido, buscar a metodologia ideal para ser ferramenta de obtenção do extrato, resultará em um produto final com características satisfatórias, além da conservação dos seus ativos (SILVA et al., 2019).

Tão importante quanto à elucidação do perfil químico e a atividade biológica, é a escolha do método extrativo apropriado. A escolha de um método extrativo deve levar em consideração a seletividade dos componentes de interesse, recuperação do analito, volume do solvente orgânico, toxicidade do solvente, tempo de extração e custo. O solvente extrator constitui um fator importante e deve ser avaliado em função da quantidade e dos metabólitos presentes na amostra (COSTA e HOSCHEID, 2018).

### **3.4 Cinética de secagem**

A secagem envolve mudanças físicas e químicas e seu mecanismo inicia com a evaporação da teor de água na superfície. A teor de água é ainda removida por absorção para a atmosfera devido à diferença de pressão parcial da água entre as superfícies ao

redor. Isso é seguido pela migração da teor de água líquida e vapor do interior para a superfície da amostra. É importante observar que durante a evaporação (secagem) podem ocorrer algumas reações que resultam em alterações físico-químicas no produto desejado. O processo de secagem com uso intensivo de energia é tipicamente associado a alto custo operacional (WANG et al., 2018).

A cinética de secagem procura determinar o comportamento do material, sendo representada pelas curvas de secagem e de taxa de secagem. O comportamento da curva de secagem de um sólido úmido mediante um fluxo de ar a uma determinada temperatura é sempre o mesmo. Já a curva da taxa de secagem é obtida derivando-se os dados de teor de água em função do tempo de secagem. A cinética de secagem de vários produtos também pode ser descrita por modelos matemáticos semiempíricos ou puramente empíricos. Os modelos semiempíricos se baseiam na analogia com a Lei de Newton para o resfriamento, aplicada à transferência de massa, enquanto que, os modelos empíricos apresentam uma relação entre o conteúdo médio de teor de água e o tempo de secagem e consideram como mecanismo principal a difusão baseada na segunda Lei de Fick (MENEZES et al., 2013).

Portanto, uma compreensão adequada das mudanças físicas e químicas que ocorrem durante o processo é de vital importância. As propriedades físico-químicas e parâmetros relacionados (temperatura, condutividade térmica, calor específico, velocidade, teor de água e densidade) do meio de ar de secagem são necessários para o estudo do mecanismo de secagem. Além disso, propriedades morfológicas físicas como tamanho e forma, dimensão, estrutura, porosidade e tubérculo específico de interesse são parâmetros vitais. Esses fatores desempenham um papel crucial na cinética e no mecanismo de secagem (COSME DE-VERA et al., 2021).

A secagem de produtos agrícolas pode ser descrita por modelos matemáticos, que são ferramentas úteis na estimativa do tempo necessário para redução do teor de água do produto, sob diferentes condições de secagem, auxiliando nas tomadas de decisão e contribuindo na melhoria da eficiência do processo. Dentre estes modelos, alguns resultam em bons ajustes de cinéticas de secagem de produtos agrícolas variados, como o de Page, o de Henderson & Pabis; o de Cavalcanti-Mata, Lewis, Midilli Modificado, Thopson, Exponencial de dois termos, Aproximação por difusão e etc (MELO et al., 2013).

Estabelecer um bom modelo cinético de secagem permite o monitoramento quantitativo das mudanças físico-químicas que ocorrem durante o processo. A

compreensão desse fenômeno é essencial na produção, facilitando o aprendizado no nível do mecanismo de reação. Por esse motivo as características de secagem e cinética de vários produtos agrícolas têm sido estudadas por muitos pesquisadores (DOYMAZ, 2017).

### **3.5 Secagem de extrato vegetal**

Frutas e vegetais fornecem benefícios para a saúde devido ao seu alto teor nutricional e efeitos promotores da saúde. Mas, sua alta perecibilidade é o principal problema que desafia a produção, devido a deterioração pós-colheita que provoca rápida degradação da qualidade, resultando em grande desperdício. Para reduzir as perdas devido à alta instabilidade da forma em pó pode ser armazenados de meses a anos, havendo elevada flexibilidade da forma em pó que facilita formulações avançadas e abre novos mercados. Maior densidade aparente e baixo teor de água são os requisitos mais importantes no produto em pó (SHISHIR e CHEN, 2017).

No desenvolvimento de fitoterápicos, os extratos secos têm grande importância para a indústria farmacêutica. A matéria-prima para estes produtos é constituída, majoritariamente, por extratos secos, os quais dentre as suas vantagens incluem a maior estabilidade química, físico-química e microbiológica, mais fácil padronização, maior concentração de compostos ativos, maior facilidade de manipulação, assegurando maior eficácia terapêutica e segurança de utilização. Com base na sua importância, a aplicação de métodos como a secagem, traz ao material vegetal as condições necessárias para evitar a degradação e alterações químicas dos tecidos durante o armazenamento, além de ser imprescindível para determinação da matéria seca. (PASTORINI et al., 2002; SOUZA et al., 2013)

Os métodos de secagem desempenham um papel importante na produção dos vegetais secos e seus derivados, buscando a preservação dos compostos bioativos e sua capacidade antioxidante, que podem ser perdidas durante processo de secagem caso não haja escolha do método correto para matéria-prima em estudo e controle do binômio tempo-temperatura, garantindo eficiência e um produto final de qualidade (HUNG e DUY, 2012).

Dentre as diferentes técnicas utilizadas para o encapsulamento de compostos bioativos em extratos, a secagem é amplamente utilizada na indústria farmacêutica e alimentícia devido à sua rapidez e baixo custo. No entanto, as condições de secagem por

para o garantir elevado teor de compostos ao final do produto em pó, devem ser otimizadas para evitar a degradação acelerada. Dentre as inúmeras vantagens observadas na aplicação de técnicas de secagem, uma das principais é que esses produtos em pó podem ser reconstituídos de forma rápida e fácil, o que é particularmente valioso em caso de emergência na indústria farmacêutica que geralmente precisam ser administrados o mais rápido possível para evitar degradação e contabilização errônea de compostos (PAPOUTSIS et al., 2018; PUDZIUVELYTE et al., 2020).

Em resumo, o objetivo principal da secagem farmacêutica é a retirada da água, responsável por propiciar um meio reacional propício para reações químicas, fenômenos físicos e proliferação microbiana, podendo haver influência das características morfológicas da planta na qualidade final dos produtos secos, por exemplo, a cor é um aspecto decisivo que determina a qualidade intrínseca dos produtos comerciais. Mudanças de cor indesejáveis em materiais vegetais secos são atribuídas principalmente ao escurecimento não enzimático a partir da interação açúcar-amina durante a reação de Maillard. Ou seja, a secagem, como método de preservação, é um aspecto muito importante do processamento de extratos vegetais. (OLIVEIRA e PETROVICK, 2010; NG et al., 2020).

## **4. METODOLOGIA GERAL**

### **4.1 Cadastramento dos pesquisadores e da pesquisa no SisGen**

Na presente pesquisa foi incluída a espécie vegetal *Vitex gardneriana Schauer* (*Verbenaceae*), portanto, foi obrigatoriamente necessário realizar o cadastro no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado – SisGen, sistema eletrônico criado pelo Decreto nº 8.772, de 11 de maio de 2016, que regulamenta a Lei nº 13.123, de 20 de maio de 2015, como um instrumento para auxiliar o Conselho de Gestão do Patrimônio Genético – CGen – na gestão do patrimônio genético e do conhecimento tradicional associado.

### **4.2 Materiais utilizados**

Foram utilizadas folhas da Jaramataia retiradas de árvores do bioma do sertão paraibano. O material vegetal foi transportado em caixas térmicas, devidamente embaladas, ao Laboratório de Engenharia de Alimentos na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Campina Grande, onde foram realizados os experimentos.

### **4.3 Recepção e higienização das folhas**

As folhas foram recepcionadas, selecionadas e devidamente submetidas a limpeza com água corrente para eliminação de quaisquer sujidades proveniente do transporte, para se dá início ao estudo, com o intuito de evitar qualquer contaminação, para que se assim iniciasse o processo de secagem.

### **4.4 Cinética de secagem das folhas de Jaramataia**

Foram pesados (5g) e foram dispostas retas em bandejas confeccionadas com tela de alumínio, formando uma camada de 0,003m (3mm). Posteriormente as bandejas foram colocadas em estufa e submetidas ao processo de secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C e velocidade de ar de 1m/s. O experimento foi realizado em triplicata.

As cinéticas de secagem foram realizadas pesando-se as amostras em intervalos regulares de 5, 10, 15, 30 e 60 min, até atingirem o equilíbrio dinâmico com o ar de secagem. Foi determinado o teor de água das amostras com a pesagem do material antes da cinética, e em estufa a 105°C após 24 horas, sendo calculada a razão de teor de água (Equação 1) e traçadas as curvas da razão do teor de água em função do tempo de secagem.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

Em que:

RX - razão do teor de água do produto (adimensional);

X - teor de água do produto (b.s.);

X<sub>i</sub> - teor de água inicial do produto (b.s.);

X<sub>e</sub> - teor de água de equilíbrio do produto (b.s.).

Os modelos matemáticos descritos na Tabela 1 foram ajustados aos dados experimentais das curvas de secagem através de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, utilizando-se de um software de estatística computacional.

Tabela 1-Modelos matemáticos utilizados para ajustar os dados da cinética de secagem das folhas da Jaramataia.

<b>Modelo</b>	<b>Equação</b>
Aproximação da difusão	$RX = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$
Henderson e Pabis	$RX = a \exp(-kt)$
Lewis	$RX = \exp(-kt)$
Logarítmico	$RX = b \exp(-kt) + c$
Midilli Modificado	$RX = a \exp(-kt^c) + bt$
Page	$RX = \exp(-kt^n)$
Exponencial de dois termos	$RX = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$
Thompson	$RX = \exp(-a-(a^2+4^{bt})^{0,5}) / 2^b$

A seleção do melhor modelo matemático foi dada através da avaliação do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o desvio quadrático médio - DQM (Equação 2) e o qui-quadrado -  $\chi^2$  (Equação 3). Sendo considerado como ajuste satisfatório o modelo que apresentou os maiores valores de  $R^2$  e os menores valores de DQM e  $\chi^2$ .

$$DQM = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$\chi^2 = \frac{1}{N-n} \sum_{i=1}^N (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2 \quad (3)$$

Em que:

DQM - desvio quadrático médio;

$\chi^2$ -qui-quadrado;

$RX_{pred}$  - razão do teor de água predita pelo modelo;

$RX_{exp}$  - razão do teor de água experimental;

N - número de observações.

n - número de constantes do modelo.

#### 4.5 Difusividade efetiva e propriedades termodinâmicas para cinética das folhas de Jaramataia

A difusividade efetiva teve seu cálculo obtido através da equação de difusão para sistema de coordenadas retangulares, como mostrado na Equação 4. Considerou-se uma distribuição de teor de água inicial, uniforme e sem a presença de qualquer resistência térmica e a solução analítica da lei de Fick para uma placa plana infinita, foi estudada na forma de séries infinitas (Equação 05).

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{ef} \frac{\partial X}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_{ef} \frac{\partial Y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_{ef} \frac{\partial Z}{\partial z} \right) \quad (4)$$

(5)

$$RX = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)} \exp \left[ -(2n+1)^2 \pi^2 \frac{D_{ef}}{L^2} t \right]$$

Em que:

$RX$  – razão do teor de água do produto (adimensional);

$n$  - número de termos

$D_{ef}$  – difusividade efetiva ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ );

$L$  – espessura da camada (m);

$t$  – tempo (s).

A Equação 4 representa uma série de termos infinitos, tornando-se necessário o uso do software, para cálculo afim de determinar a difusividade efetiva, por meio de regressão não-linear e método Quasi-Newton, com aproximação de 4 termos, a partir de onde não se observou haver mais variação do valor de  $D_{ef}$ .

Avaliou-se o efeito da temperatura de secagem na difusividade efetiva por meio da equação do tipo de Arrhenius (Equação 6), no qual descreve a relação entre a energia de ativação e a velocidade em que a reação ocorre.

$$D_{ef} = D_0 \exp \left( \frac{E_a}{RT} \right) \quad (6)$$

Em que:

$D_{ef}$  - difusividade efetiva ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ );

$D_0$  - fator pré-exponencial ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ );

$E_a$  - energia de ativação ( $\text{J mol}^{-1}$ );

$R$  - constante universal dos gases,  $8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ;

$T$  - temperatura (K).

As propriedades termodinâmicas do processo de secagem (entalpia, entropia e energia livre de Gibbs) foram calculadas a partir das Equações 7, 8 e 9, respectivamente (CORRÊA et al., 2012).

$$\Delta H = E_a - RT \quad (7)$$

$$\Delta S = R \left( \ln D_0 - \ln \frac{k_b}{h_p} - \ln T \right) \quad (8)$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (9)$$

Em que:

$\Delta H$  - variação de entalpia ( $\text{J mol}^{-1}$ );

$\Delta S$  - variação de entropia ( $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ );

$\Delta G$  - variação de energia livre de Gibbs ( $\text{J mol}^{-1}$ );

$E_a$  - energia de ativação ( $\text{J mol}^{-1}$ );

$R$  - constante universal dos gases,  $8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ ;

$D_0$  - fator pré-exponencial ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ );

$k_B$  - constante de Boltzmann,  $1,38 \times 10^{-23} \text{ (J K}^{-1}\text{)}$ ;

$h_p$  - constante de Planck,  $6,626 \times 10^{-34} \text{ (J s)}$ ;

$T$  - temperatura (K)

#### **4.6 Secagem das folhas da Jaramataia**

As folhas da Jaramataia foram secas em estufa de circulação de ar à  $60^\circ\text{C}$  e logo em seguida inseridas em um moinho de facas para a sua trituração e assim obtenção de um pó com granulometria desejada, onde, por conseguinte foram conservadas em recipiente fechado e ao abrigo da luz.

#### **4.7 Obtenção do extrato das folhas da Jaramataia**

Em posse do pó das folhas da Jaramataia, foi realizada a extração hidroalcolica para a obtenção do extrato hidroalcolico e extrato concentrado do pó das folhas da Jaramataia.

##### **4.7.1 Extração hidroalcolica**

A solução extrativa hidroalcolica foi preparada com álcool 70% numa proporção de 1:10 (pó:solvente), com uma temperatura de extração de 50°C por 60 minutos sob agitação mecânica com auxílio de um extrator encamisado e um banho de aquecimento com temperatura controlada (FERNANDES et al., 2014). Em seguida o extrato foi filtrado em filtro de porcelana com o auxílio de um papel de filtro, sem vácuo. Após esse processo, o extrato obtido foi conservado em incubadora BOD em temperatura de refrigeração (4°C), e acondicionado em recipiente âmbar para as posteriores análises.

#### **4.8 Obtenção do extrato concentrado de Jaramataia**

Para a obtenção do extrato concentrado, foi usado como base o teor de sólidos obtido na etapa de extração, com o objetivo de elevar o teor para no mínimo 10% com o intuito de garantir posteriormente a efetividade da secagem em três diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) de ar de secagem em um secador convectivo com velocidade de ar fixa de 1m/s, com temperatura não excedendo 50°C e pressão reduzida de 600 mmHg. O extrato foi reduzido a uma massa correspondente a 3 vezes sua massa inicial, utilizando rotoevaporador IKA ® RV 05 basic. Posteriormente o extrato concentrado foi submetido aos ensaios de secagem a estufa nas temperaturas de 50, 60, 70°C e velocidade do ar de 1 m/s.

#### **4.9 Cinética de secagem do extrato de Jaramataia concentrado**

As amostras, pesando em média cerca de 70g, dispostas em placas de Petri, formando camada de 1,5cm, foram submetidas à secagem em estufa nas temperaturas de 50, 60, 70°C e velocidade do ar de 1 m/s. A metodologia adotada e os modelos aplicados foram obtidos conforme tópico 4.3.

#### **4.10 Difusividade efetiva e propriedades termodinâmicas para cinética do extrato concentrado de Jaramataia**

Conforme tópico 4.5.

## Artigo I – Cinética de secagem da folha da Jaramataia: modelagem matemática e propriedades termodinâmicas

**Resumo:** A Jaramataia (*Vitex gardneriana Schauer*) é um vegetal bastante conhecido no sertão e norte Brasileiro, devidamente conhecida por proporcionar remédios naturais provindos de suas folhas, frutos entre outras partes desse vegetal, contendo propriedades anti-inflamatórias, como também atividades antioxidantes devido à presença de compostos fenólicos em sua composição. O presente trabalho teve como objetivo estudar a cinética de secagem da folha da Jaramataia, observando o seu comportamento termodinâmico e aplicando modelos matemáticos para realizar um estudo mais completo. Também foram calculadas as principais propriedades termodinâmicas: energia livre de Gibbs, entalpia, difusividade efetiva e entropia. As folhas da Jaramataia foram submetidas a secagem em três temperaturas diferentes, sendo elas 50, 60 e 70°C, em um secador convectivo, com velocidade de ar fixa de 1m/s. Após analisar os modelos matemáticos aplicados, observou-se que o de Aproximação por Difusão foi o que se mais se adequou aos dados da cinética da secagem, apresentando uma alta taxa de coeficiente de determinação ( $R^2 > 0,99$ ). Suas propriedades termodinâmicas, como a energia de ativação apresentou um valor de 44,9571 kJmol<sup>-1</sup> e sua difusividade efetiva variou de 2,25×10<sup>-10</sup>m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup> a 2,59×10<sup>-9</sup>m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>, a variação da energia livre de Gibbs teve um aumento junto com o aumento da temperatura o que apresenta o processo como não espontâneo, enquanto a entalpia e a entropia diminuíram.

**Palavras-chave:** Aproximação por Difusão. Propriedades Termodinâmicas; *Vitex Gardneriana Schauer*

**Abstract:** Jaramataia (*Vitex gardneriana Schauer*) is a plant well known in the hinterland and north of Brazil, duly known for providing natural remedies from its leaves, fruits and other parts of this plant, containing anti-inflammatory properties, as well as antioxidant activities due to the presence of phenolic compounds in its composition. The present work aimed to study the drying kinetics of the Jaramataia leaf, observing its thermodynamic behavior and applying mathematical models to carry out a more complete study. The main thermodynamic properties were also calculated: Gibbs free energy, enthalpy, effective diffusivity and entropy. Jaramataia leaves were subjected to drying at three different

temperatures, namely 50, 60 and 70°C, in a convective dryer, with a fixed air speed of 1m/s. After analyzing the applied mathematical models, it was observed that the Diffusion Approximation was the one that best suited the drying kinetics data, presenting a high rate of determination coefficient ( $R^2 > 0.99$ ). Its thermodynamic properties, such as activation energy, had a value of 44.9571 kJmol<sup>-1</sup> and its effective diffusivity ranged from  $2.25 \times 10^{-10} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$  to  $2.59 \times 10^{-9} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ , the free energy variation Gibbs had an increase along with the increase in temperature, which presents the process as non-spontaneous, while the enthalpy and entropy decreased.

**Keywords:** Diffusion Approximation. Thermodynamic Properties; Vitex Gardneriana Schauer

## Introdução

No Brasil é muito comum o estudo de plantas tradicionais, regionais e com grande conhecimento popular, na maioria das vezes essas plantas podem conter propriedades medicinais ou até mesmo outros atributos de bastante interesse para a área científica, sendo necessário a obtenção de evidências a respeito da ação das mesmas para aplicação e diversas demandas biomédicas das mesmas.

A folha da Jaramataia, planta do gênero *Vitex* que tem seu nome científico *Vitex gardneriana Schauer*, provem de uma árvore de pequeno porte, chegando a atingir 7 metros de altura e um tronco de até 25 cm de diâmetro, e que contém uma drupa comestível, esta espécie é muito popular e facilmente encontrada no sertão nordestino brasileiro, frequentemente as margens ou leitos de rios, é um vegetal fortemente conhecido na sua região e usado para medicina local, tendo uma de suas propriedades o tratamento de doenças anti-inflamatórias, como também atividades antioxidantes devido à ocorrência de compostos fenólicos em sua composição. (MORAIS et al., 2020).

A Jaramataia é bastante usada para tratamento de maus inflamatórios, apesar de popularmente ser considerado um bom remédio natural, nota-se que a literatura descreve escassos estudos sobre esta espécie. As descobertas referentes a esse material vegetal, mesmo não havendo um volume elevado de estudos publicados, estão embasados nas crenças populares que trazem afirmações a respeito dos chás com efeitos considerados medicinais, tendo vários tipos de uso para essa bebida, a cultura popular usa desse chá para tratar enfermidades como hipertensão arterial, tratamento da cefaleia, de infecções, obstipação, um poderoso anti-inflamatório, problemas de cálculo renal, na próstata e mamas também, além de poder cicatrizante. Alguns trabalhos na área química e farmacológica, aponta que a folha da Jaramataia, ou partes desse arbusto, tem a presença de biomoléculas com propriedades funcionais, o que pode comprovar que a crença popular está correta no seu uso medicinal (PAIXÃO, 2019).

Para se obter um produto que se enquadre no conceito fitoterápico é necessário um pré-requisito para os desenvolvimentos de opções terapêuticas no meio, no processo industrial se usa o extrato desses vegetais como base para estudos de compostos químicos promissores nessa matéria, o seu extrato logo então é seco para aumentar o manuseio do material e concentrar cada vez mais essas biomoléculas, que é o foco dos trabalhos, e assim serem aplicados devidamente em produtos fármacos, sejam eles pomadas, comprimidos ou até mesmo tipos de chás industrializados.

O presente trabalho tem como finalidade estudar o comportamento da folha da Jaramataia (*Vitex gardneriana Schauer*) diante do processo de secagem em estufa por meio de cinética, incluindo um estudo sobre suas melhores taxas de secagem em diferentes temperaturas, aplicando modelos matemáticos sobre os dados dessas taxas, observando também o comportamento da sua atividade de água presente nesse material vegetal como também suas propriedades termodinâmicas.

## Metodologia

### *Materiais*

Foram utilizadas folhas da Jaramataia retiradas de arvores do bioma do sertão paraibano. O material vegetal foi transportado em caixas térmicas, devidamente embaladas, ao Laboratório de Engenharia de Alimentos na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Campina Grande, onde foram realizados os experimentos.

As folhas foram recepcionadas, selecionadas e devidamente sanitizadas para eliminação de quaisquer sujidades proveniente do transporte, para se dá início ao estudo, com o intuito de evitar qualquer contaminação ou uso da mesma em mal estado, para que se assim iniciasse o processo de secagem.

### *Cinética de secagem*

As amostras, pesando em média cerca de 5g, retas, dispostas em três bandejas confeccionadas com telas de alumínio, formando camada de 0,003m (3mm), foram submetidas à secagem em estufa nas temperaturas de 50, 60, 70°C e velocidade do ar de 1 m/s. Todo estudo foi realizado em triplicata.

As cinéticas de secagem foram realizadas pesando-se as amostras em intervalos regulares de 5, 10, 15, 30 e 60 min, até atingirem o equilíbrio dinâmico com o ar de secagem. Foi determinado o teor de água das amostras com a pesagem do material antes da cinética, e em estufa a 105°C após 24 horas, sendo calculada a razão de teor de água (Equação 1) e traçadas as curvas da razão do teor de água em função do tempo de secagem.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

Em que:

RX - razão do teor de água do produto (adimensional);

X - teor de água do produto (b.s.);

X<sub>i</sub> - teor de água inicial do produto (b.s.);

X<sub>e</sub> - teor de água de equilíbrio do produto (b.s.).

Os modelos matemáticos descritos na Tabela 1 foram ajustados aos dados experimentais das curvas de secagem através de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, utilizando-se de um software de estatística computacional.

Tabela 1- Modelos matemáticos utilizados para ajustar os dados da cinética de secagem das folhas da Jaramataia.

<b>Modelo</b>	<b>Equação</b>
Aproximação da difusão	$RX = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$
Henderson e Pabis	$RX = a \exp(-kt)$
Lewis	$RX = \exp(-kt)$
Logarítmico	$RX = b \exp(-kt) + c$
Midilli Modificado	$RX = a \exp(-kt^c) + bt$
Page	$RX = \exp(-kt^n)$
Exponencial de dois termos	$RX = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$
Thompson	$RX = \exp(-a-(a^2+4^{bt})^{0,5}) / 2^b$

A seleção do melhor modelo matemático foi dada através da avaliação do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o desvio quadrático médio - DQM (Equação 2) e o qui-quadrado -  $\chi^2$  (Equação 3). Sendo considerado como ajuste satisfatório o modelo que apresentou os maiores valores de  $R^2$  e os menores valores de DQM e  $\chi^2$ .

$$DQM = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$\chi^2 = \frac{1}{N - n} \sum_{i=1}^N (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2 \quad (3)$$

Em que:

DQM - desvio quadrático médio;

$\chi^2$ -qui-quadrado;

$RX_{pred}$  - razão do teor de água predita pelo modelo;

$RX_{exp}$  - razão do teor de água experimental;

$N$  - número de observações.

$n$  - número de constantes do modelo.

### *Difusividade efetiva*

A difusividade efetiva teve seu cálculo obtido através da equação de difusão para sistema de coordenadas retangulares, como mostrado na Equação 4. Considerou-se uma distribuição de teor de água inicial, uniforme e sem a presença de qualquer resistência térmica e a solução analítica da lei de Fick para uma placa plana infinita, foi estudada na forma de séries infinitas (Equação 05).

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{ef} \frac{\partial X}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_{ef} \frac{\partial Y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_{ef} \frac{\partial Z}{\partial z} \right) \quad (4)$$

$$RX = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)} \exp \left[ -(2n+1)^2 \pi^2 \frac{D_{ef}}{L^2} t \right] \quad (5)$$

Em que:

$RX$  – razão do teor de água do produto (adimensional);

$n$  - número de termos

$D_{ef}$  – difusividade efetiva ( $m^2 s^{-1}$ );

$L$  – espessura da camada (m);

$t$  – tempo (s).

A Equação 4 representa uma série de termos infinitos, tornando-se necessário o uso do software estatístico, para cálculo estatístico para a determinação da difusividade efetiva, por meio de regressão não-linear e método Quasi-Newton, com aproximação de 4 termos, a partir de onde não se observou haver mais variação do valor de  $D_{ef}$ .

Avaliou-se o efeito da temperatura de secagem na difusividade efetiva por meio da equação do tipo de Arrhenius (Equação 6), no qual descreve a relação entre a energia de ativação e a velocidade em que a fenômeno ocorre.

$$D_{ef} = D_0 \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (6)$$

Em que:

$D_{ef}$  - difusividade efetiva ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ );

$D_0$  - fator pré-exponencial ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ );

$E_a$  - energia de ativação ( $\text{J mol}^{-1}$ );

$R$  - constante universal dos gases,  $8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ;

$T$  - temperatura (K).

### *Propriedades termodinâmicas*

As propriedades termodinâmicas do processo de secagem (entalpia, entropia e energia livre de Gibbs) foram calculadas a partir das Equações 7, 8 e 9, respectivamente (CORRÊA et al., 2012).

$$\Delta H = E_a - RT \quad (7)$$

$$\Delta S = R \left( \ln D_0 - \ln \frac{k_b}{h_p} - \ln T \right) \quad (8)$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (9)$$

Em que:

$\Delta H$  - variação de entalpia ( $\text{J mol}^{-1}$ );

$\Delta S$  - variação de entropia ( $\text{J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ );

$\Delta G$  - variação de energia livre de Gibbs ( $\text{J mol}^{-1}$ );

$E_a$  - energia de ativação ( $\text{J mol}^{-1}$ );

$R$  - constante universal dos gases,  $8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ;

$D_0$  - fator pré-exponencial ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ );

$k_B$  - constante de Boltzmann,  $1,38 \times 10^{-23} \text{ (J K}^{-1}\text{)}$ ;

$h_p$  - constante de Planck,  $6,626 \times 10^{-34} \text{ (J s)}$ ;

$T$  - temperatura (K)

## Resultados e Discussão

Os valores referentes aos tempos de secagem e teor de água final das amostras das folhas de Jaramataia estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Teor de água e tempos de secagem das folhas de Jaramataia em diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Tempo de secagem (min)	Teor de água (% b.u.)	Teor de água (% b.s.)
50	300	6,0701 <sup>a</sup> ± 0,0019	6,6322 <sup>a</sup> ± 0,034
60	210	4,8807 <sup>ab</sup> ± 0,0046	5,1241 <sup>ab</sup> ± 0,012
70	150	4,2717 <sup>b</sup> ± 0,0062	4,4846 <sup>b</sup> ± 0,049

Média ± Desvio padrão. Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente ( $P \leq 0,05$ ) do padrão segundo teste de Tukey a 5% de significância.

Como esperado, foi observado nos experimentos que o tempo de secagem diminui com a elevação da temperatura importada no material vegetal, e essa diminuição de tempo atrelada ao aumento de temperatura é comprovada em diversos estudos de secagem (BARROS et al., 2020).

As amostras das folhas de Jaramatia apresentaram um teor de água baixo, nas três temperaturas de secagem, de inicialmente de 56,44% b.u e chegando atingir um teor de água medio final de 5,07% b.u, nas três temperaturas de secagem, o que apresenta uma redução significativa de 90,8% em relação ao seu teor médio inicial. Observado como um comportamento natural, visto que as folhas são propensas a perder seu liquido de uma maneira mais pratica comparada a outros tipos de materias vegetais mais encorpados, como caule e frutas. Moura et al. (2021) em seu trabalho afirmam encontrar uma redução significativa também de perda de água no seu material vegetal, chegando a tingir um valor de 89% comparado a relação de teor de água inicial.

Observa-se que os dados experimentais obtidos através da cinética de secagem da folha da Jaramataia se adequaram satisfatoriamente aos modelos matemáticos aplicados, comprovando sua aplicação ao estudo de secagem. Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) tiveram valores bem satisfatórios, com uma variação de 99,976 a 99,790% para as

temperaturas de 50, 60 e 70°C e com baixos valores de DQM e qui-quadrado ( $\chi^2$ ) que comprovam mais uma vez um ótimo ajuste dos modelos matemáticos aplicados.

Tabela 3- Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos dados de secagem das folhas de Jaramataia mais os coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>), Desvio Quadrático Médio (DQM) e valores do qui-quadrado ( $\chi^2$ ).

Modelo	T (°C)	Parâmetros			R <sup>2</sup>	DQM	$\chi^2$
		A	k	b			
Aproximação da difusão	50	-0,0395	0,1048	0,1960	99,976	0,0045	0,0002
	60	-0,0636	0,2548	0,1112	99,944	0,0034	0,0002
	70	-0,1767	0,1576	0,3596	99,986	0,0010	0,0001
Henderson e Pabis		A	k				
	50	1,0105	0,0199		99,958	0,0026	0,0004
	60	1,0253	0,0271		99,875	0,0007	0,0005
	70	1,0193	0,0507		99,888	0,0045	0,0001
Lewis		k					
	50	0,0196			99,946	0,0066	0,0002
	60	0,0262			99,808	0,0088	0,0003
	70	0,0496			99,852	0,0003	0,0001
Logarítmico		B	k	c			
	50	1,0092	0,0200	0,0020	99,959	0,0009	0,0001
	60	1,0249	0,0271	0,0005	99,875	0,0004	0,0001
	70	1,0219	0,0504	-0,0026	99,891	0,00003	0,0001
Midilli Modificado		K	n	b			
	50	0,0169	1,0393	0,000015	99,974	0,0021	0,0003
	60	0,0201	1,0752	0,000023	99,903	0,0066	0,0002
	70	0,0371	1,0960	0,000017	99,983	0,0018	0,0005
Page		K	n				
	50	0,0172	1,0344		99,969	0,0073	0,0002
	60	0,0205	1,0688		99,897	0,0123	0,0006
	70	0,0374	1,0931		99,980	0,0056	0,0001

		<b>A</b>		<b>k</b>			
<b>Exponencial dos dois termos</b>	50	0,0032		5,9523	99,937	0,0074	0,0003
	60	0,0031		8,2299	99,790	0,0084	0,0001
	70	0,0036		13,3752	99,838	0,0005	0,0006
		<b>A</b>		<b>b</b>			
<b>Thompson</b>	50	-202,2012	2,0222		99,957	0,0020	0,0002
	60	-150,568	2,0521		99,873	0,0001	0,0004
	70	-79,7168	2,0411		99,874	0,0061	0,0009

Segundo Araújo et al. (2017) valores de coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 98,0% podem ser considerado como justificativa para uma boa adequação dos modelos matemáticos aplicados ao estudo de secagem, assim, afirmando que esses resultados representam de maneira satisfatória o comportamento de secagem.

A constante de secagem, que se apresenta como o parâmetro  $K$ , consta com um crescimento em todos os modelos diante o aumento da temperatura, afirmando a eficiência da aplicação do calor na cinética de secagem, já que esse parâmetro tende a mostrar maiores taxas de valores com o aumento da sua temperatura (CORRÊA et al., 2012), chegando assim a um equilíbrio entre o teor de água do material e o tempo de submissão desse mesmo material ao ar de secagem.

Gomes et al. (2017) observaram que o aumento da temperatura de secagem pode interferir em outras propriedades físicas do material em questão, como a viscosidade da água, afirmando assim que a água em questão no material vegetal consegue imigrar facilmente comparada as baixas temperaturas de secagem, dado esse que pode ser comprovado pelas taxas nas três temperaturas do coeficiente  $k$ .

Na Figura 1 pode-se observar os dados experimentais e preditos aplicados ao modelo matemático, que teve a maiores taxas, nas três temperaturas de secagem (50, 60 e 70°C) de coeficientes de determinação ( $R^2$ ) da folha da Jaramataia. Essas curvas representam o equilíbrio entre o teor de água (adimensional) e o tempo de secagem (minutos) do processo de secagem desse material, notando que a temperatura teve forte influência na secagem do material vegetal, comportamento esse observado ao analisar o espaçamento entre as curvas aplicadas, mas com uma diferença significativa de tempo até que o equilíbrio entre esses parâmetros fosse alcançado.

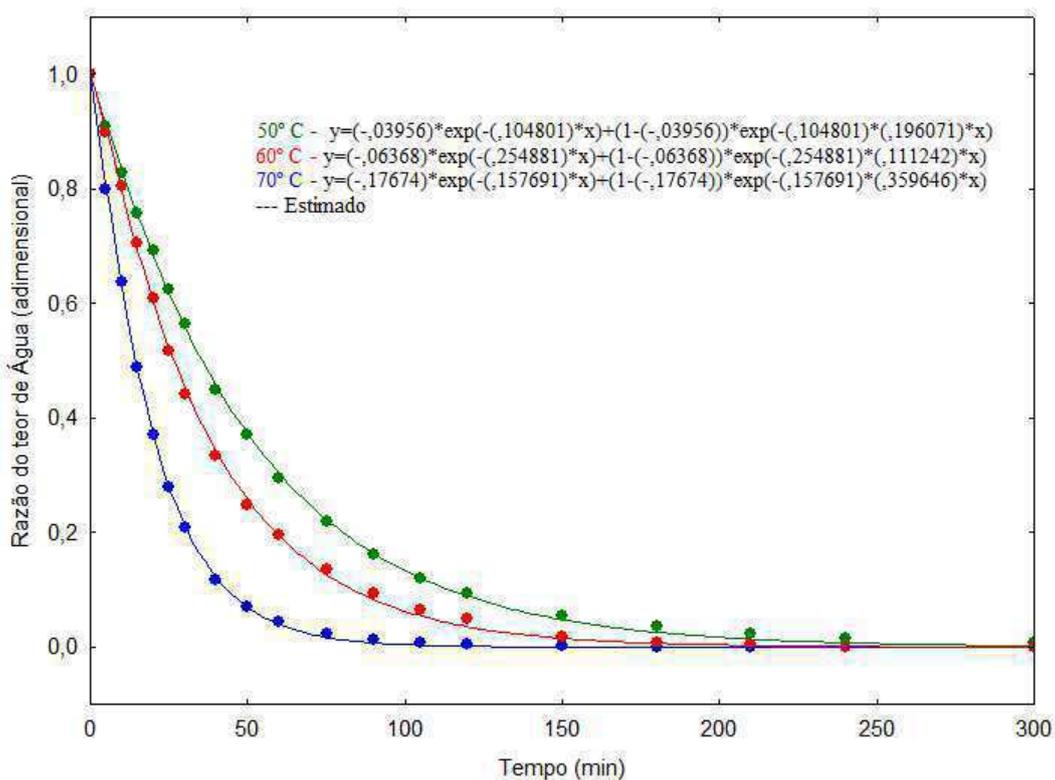


Figura 1- Gráfico do modelo matemático Aproximação por Difusão (50, 60 e 70°) sobre dados da cinética de secagem das folhas de Jaramataia

Segundo Botelho et al. (2018) a difusividade efetiva ( $D_{ef}$ ) é um dos índices mais importantes para a validação de um estudo de cinética de secagem, já que a mesma permite comparar e avaliar a velocidade de secagem como também a dependência da temperatura. Quando essa propriedade apresenta variações isso significa que existe na difusão da água nos capilares dos produtos vegetais, onde junto a uma maior vibração de moléculas de água contribuem para uma difusão mais rápida (GONELI et al., 2014).

A Tabela 4 exibe os valores de difusividade efetiva para as temperaturas de 50, 60 e 70°C das amostras das folhas da Jaramataia.

Os valores apresentados de  $D_{ef}$  indicaram que o aumento da temperatura mostra grande influência no aumento da perda de água das folhas da Jaramataia, reduzindo o tempo da cinética de secagem. Lima (2021) afirma em seu estudo que esse processo é recorrente, onde o aumento da difusividade efetiva ocorre de acordo com a temperatura, vibração das moléculas de água do produto e sua concentração. Enquanto se aplica uma maior temperatura de secagem maior será o valor encontrado para a difusividade efetiva já que em menores temperaturas de secagem as moléculas de água encontram dificuldade

para sair do material estudado devido a sua composição e estrutura física (ALMEIDA et al., 2020).

Tabela 4- Difusividade efetiva das amostras das folhas da Jaramataia em diferentes temperaturas

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Difusividade efetiva (m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>)</b>	<b>R<sup>2</sup> (%)</b>
50	2,253E-10	98,556
60	3,052E-10	98,283
70	5,999E-10	98,764

R<sup>2</sup>- coeficiente de determinação.

Na Tabela 5 estão exibidos os parâmetros da equação de Arrhenius (ajustado aos dados de difusividade efetiva) das amostras das folhas da Jaramatia.

Tabela 5- Parâmetros da equação de Arrhenius (ajustado aos dados de difusividade efetiva das amostras das folhas da Jaramatia)

<b>D<sub>0</sub> (m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>)</b>	<b>E<sub>a</sub> (kJmol<sup>-1</sup>)</b>	<b>R<sup>2</sup>(%)</b>
0,003907	44,9571	97,281

D<sub>0</sub>– Difusividade efetiva; E<sub>a</sub> – energia de ativação; R<sup>2</sup>- coeficiente de determinação.

A energia de ativação (E<sub>a</sub>) foi obtida através do ajuste do modelo de Arrhenius, sendo quantificado em 44,9571kJmol<sup>-1</sup>. Para Zogzas et al. (1996) esse valor foi obtido em um intervalo de 12,7 a 110 kJ em outros materiais vegetais e produtos agrícolas, a literatura também apresenta valores de 64,8 kJmol<sup>-1</sup> e 39,50 kJmol<sup>-1</sup> para outros materiais vegetais estudados, segundo Vasconcelos et al. (2019) e Souza et al. (2021), respectivamente, indicando que o processo de secagem das folhas da Jaramataia requereu energia para que se iniciasse a difusividade da água.

Na Tabela 6, verificam-se as propriedades termodinâmicas, entalpia (ΔH), entropia (ΔS) e energia livre de Gibbs (ΔG) para diferentes temperaturas das folhas da Jaramatia.

Os valores das propriedades termodinâmicas estão presentes, sendo possível notar que a entalpia (ΔH) sofreu uma redução de 42,2704 kJmol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> para 42,1041 kJmol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>

com a elevação da temperatura, Martins et al. (2019) afirmam que esse comportamento está interligado ao fato de que se é necessária uma quantidade menor de energia para que o processo de secagem ocorra em temperaturas mais elevadas, o que foi comprovada pelo estudo de secagem das folhas da Jaramataia.

Tabela 6- Valores para as variações de entalpia ( $\Delta H$ ), entropia ( $\Delta S$ ) e energia livre de Gibbs ( $\Delta G$ ) para diferentes temperaturas das folhas da Jaramataia

Temperatura (°C)	$\Delta H$ (kJmol <sup>-1</sup> )	$\Delta S$ (kJmol <sup>-1</sup> )	$\Delta G$ (kJmol <sup>-1</sup> )
50	42,2704	-0,2917	136,5259
60	42,1872	-0,2919	139,4440
70	42,1041	-0,2922	142,3645

$\Delta H$  – entalpia;  $\Delta S$  – entropia;  $\Delta G$  - energia livre de Gibbs

Quando a entalpia apresenta valores positivos encontrados é porque as reações foram endergônicas e quando se aumenta a temperatura essa propriedade tende a reduzir (SANTOS et al., 2019). Esse fato pode ser justificado através dos valores obtidos, secagens em temperaturas mais baixas demandam de uma quantidade menor de energia (MORAIS et al., 2019).

Diferente da entalpia ( $\Delta H$ ), a entropia ( $\Delta S$ ) diante dos dados obtidos mostra uma redução nas suas taxas termodinâmicas diante ao aumento da temperatura empregada, este fato está diretamente ligado ao teor de água que vai naturalmente abaixando e assim dificultando a agitação das moléculas de água. Valores parecidos foram encontrados para outros produtos de origem vegetal, sendo bastante comum esses valores apresentarem esse comportamento (SANTOS et al., 2019). As taxas e entropia ( $\Delta S$ ), serem representadas de forma negativa significa à existência de adsorção química e/ou uma modificação nas suas estruturas do adsorvente (GONELI et al., 2014).

A energia livre de Gibbs ( $\Delta G$ ) apresentou valores positivos, com uma variação 136,5259 kJmol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> a 142,3645 kJmol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> nas temperaturas de 50° a 70°, respectivamente, isso implica que o processo não foi espontâneo, pois observando os valores obtidos nota-se o aumento da energia com o aumento da temperatura, esses valores representam uma reação oxógena, reação essa que é necessário um agente externo para doar energia ao processo para que o mesmo aconteça (SUASSUNA et al. 2017).

## Conclusão

Diante dos dados obtidos pelo estudo da cinética de secagem da folha da Jaramataia conclui-se que desde a recepção do material vegetal até sua secagem final na sua forma seca, é possível concluir que a cinética em um secador convectivo com velocidade de ar fixa, foi realizada com sucesso. Apresentando assim ajustes satisfatórios com os modelos matemáticos aplicados, em todas as temperaturas de secagem (50, 60 e 70°C) aos dados experimentais com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superior a 99%.

O estudo também apresenta uma energia de ativação de  $44,9571 \text{ kJ mol}^{-1}$ , junto as propriedades termodinâmicas que apresentaram valores coerentes em relação a secagem das folhas, apresentando suas variações esperadas com o crescimento da temperatura de secagem tendo a entalpia, entropia e energia livre de Gibbs indicando um processo não espontâneo. Enquanto a entalpia e entropia tiveram uma redução nos seus valores com o aumento da temperatura a energia livre de Gibbs teve um aumento, como esperado para esse tipo de processo.

## Referências Bibliográficas

ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; PEREIRA, T. P.; QUEIROGA, A. P. R.; SILVA, V. M. A.; RIBEIRO, V. H. A.; BORGES, E. M. E. S. Cinética de secagem do feijão azuki: modelagem matemática e propriedades termodinâmicas. **Research, Society and Development**, v. 9, n.3, 2020.

ARAÚJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; FILHO, C. P.H.; 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.

BARRETO, L. C. L. S. Estudo farmacognóstico e determinação da atividade biológica de *vitex gardneriana schauer* (verbenaceae). **Dissertação (Mestrado) — Departamento de ciências farmacêuticas - UFPE, Recife, PE, 2004.**

BARRETO, L.C.L.; XAVIER, H. S.; BARBOSA-FILHO, J. M.; BRAZ-FILHO R. **Rev. Bras. Farmacogn.** v. 15, p. 51-4, 2005

BARROS, S. L.; CAMARA, G. B.; LEITE, D. D. F.; SANTOS, N. C.; SANTOS, F. S.; SOARES, T. C.; LIMA, A. R. N.; SOARES, T. C.; OLIVEIRA, M. N.; VASCONCELOS, U. A. A.; ALBUQUERQUE, A. P.; QUEIROZ, A. J. M. Modelagem matemática da cinética de secagem de cascas do kimo (*Cucumis metuliferus*). **Research, Society and Development**, v. 9, n.1, 2020.

BOTELHO, F. M.; HOSCHER, R. H.; HAUTH, M. R.; BOTELHO, S. D. C. C. Cinética de secagem de grãos de soja: influência varietal. **Engenharia na Agricultura**, v.26, n.1, p. 13-25, 2018.

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, 2012.

GOMES, N. H. F.; NETO, H. C. S.; ALVES, J. J. L.; RODOVALHO, R. S.; SOUSA, C. M. Cinética de secagem de folhas de *Cymbopogon citratus*. **Engevista**, v. 19, n. 2, p. 328-338, 2017.

GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. D. C.; VILHASANTI, H. D. C. B.; GONÇALVES, A. A. (Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesq. Agropec. Trop.**, v. 44, n. 1, p. 56 -64, 2014.

LIMA, A. R. N. **Descrição do processo de secagem e caracterização físico-química de cascas de maracujá amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa O. Deg.*)**. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais e Biotecnologia) Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Educação e Saúde, 2021.

MARTINS, H. F.; CARVALHO, S. S. R. A.; BISPO, J. A. C.; SOUZA, S. M. A.; MARTINEZ, E. A.; Maracujá-amarelo (*Passiflora edulis f. Flavicarpa*): cinética da secagem artificial e natural da casca. **Braz. J. of Develop.**, v. 5, n. 10, p. 23234-23245, 2019.

MORAIS, M. F.; SANTOS, J. R. O.; SANTOS, M. P.; SANTOS, D. C.; COSTA, T. N.; LIMA, J. B. Modeling and thermodynamic properties of ‘bacaba’ pulp drying. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 9, p.702-708, 2019.

MORAIS, S. M.; ALVES, D. R.; FROTA, L. S.; PINHEIRO, S. D. O. P.; SILVA, A. C.; DA SILVA, W. M. B. Atividades antioxidantes e anticolinesterásicas do extrato das folhas de Jaramataia (*Vitex gardneriana* Schauer). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p.28802-28810, 2020.

MOURA, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; SILVA, E. T. V.; ESMERO, J. A. D.; LISBÔA, J. F. Mathematical modeling and thermodynamic properties of the drying kinetics of trapirá residues. **J Food Process Eng.**, 2021.

PAIXÃO, E. P. **Vitex gardneriana Schauer: revisão de literatura sobre o uso popular, farmacologia e toxicologia**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Farmácia), UFRN (Universidade Federal do Rio Grande do Norte), Natal, Brasil. 2019.

SANTOS, D. C.; LEITE, D. D. F.; LISBÔA, J. F.; FERREIRA, J. P. L.; SANTOS, F. S.; LIMA, T. L. B.; FIGUEIREDO, R. M. F.; COSTA, T. N. Modelagem e propriedades termodinâmicas da secagem de fatias de acuri. **Braz. J. Food Technol.**, v. 22, 2019.

SOUZA, T. T. C.; MONTEIRO, E. R.; RIBEIRO, C. T.; SOUZA, D. S.; SANTOS, T. T. Modelagem e propriedades termodinâmicas da secagem do epicarpo, mesocarpo e endocarpo do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*). **Braz. J. Food Technol.**, v. 24, 2021.

SUASSUNA, C. F.; FERREIRA, N. M.; SÁ, F. V. S.; BERTINO, A. M. P.; MESQUITA, E. F.; PAIVA, E. P.; JESUS, E. P.; BERTINO, A. M. P. Substratos e ambientes para produção de mudas de cajueiro anão precoce. **Agrarian, Dourados**, v. 9, n. 33, p. 197-209, 2017.

VASCONCELOS, G. N.; SANTANA, E. B.; NASCIMENTO, R. A.; ANDRADE, E. L.; CORUMBA, L. G.; FARIA, L. J. G.; COSTA, C. M. L. Avaliação da secagem da casca de mangostão (*Garcinia mangostana* L.) em diferentes ambientes. **Reserch Gate. Estudos Interdisciplinares nas Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**, v. 2, 2019.

ZOGZAS, N. P.; MAUROULIS, Z. B.; MARINOS, D. K. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, v. 14, n. 10, p.2225-2253, 1996.

**Artigo II – Cinética de secagem do extrato concentrado da folha da jaramataia**  
**– *Vitex Gardneriana Schauer*: modelagem matemática e propriedades**  
**termodinâmicas**

**Resumo:** A Jaramataia (*Vitex gardneriana* Schauer) é uma planta nativa do sertão do Nordeste do Brasil. É considerada um vegetal rico em compostos bioativos, no qual proporcionam uma vasta capacidade anti-inflamatória, antioxidantes e com benefícios terapêuticos. Com isso, objetivou-se no presente trabalho o estudo cinético do extrato concentrado das folhas de Jaramataia. O processo se deu com a obtenção do extrato hidroalcolólico das folhas da Jaramataia, seguido da concentração do mesmo e o seu estudo cinético, observando o seu comportamento termodinâmico e aplicando modelos matemáticos. Foi determinado também o comportamento termodinâmico, calculando suas taxas de difusividade efetiva, energia de ativação, entalpia, entropia e energia livre de Gibbs. O extrato concentrado da folha da Jaramataia foi submetido a três temperaturas de ar de secagem diferentes, sendo elas 50, 60 e 70°C, em um secador convectivo, com velocidade de ar fixa de 1m/s. O modelo matemático que mais se ajustou ao estudo foi o Logarítmico, apresentando uma taxa de coeficiente de determinação ( $R^2 > 0,99$ ). Suas propriedades termodinâmicas, apresentaram valores coesos ao estudo, a energia de ativação apresentou um valor de 23,2734 kJmol<sup>-1</sup> e sua difusividade efetiva, energia livre de Gibbs teve um aumento junto com o aumento da temperatura o que apresenta o processo como não espontâneo, enquanto a entalpia e a entropia diminuiram.

**Palavras-chave:** Extração hidroalcolólica; Modelos matemáticos; Propriedades Termodinâmicas.

**Abstract:** Jaramataia (*Vitex gardneriana* Schauer) is a plant native to the hinterland of Northeastern Brazil. It is considered a vegetable rich in bioactive compounds, which provide a vast anti-inflammatory capacity, antioxidants and therapeutic benefits. Thus, the objective of this work was the kinetic study of the concentrated extract of Jaramataia leaves. The process involved obtaining the hydroalcoholic extract of Jaramataia leaves, followed by its concentration and kinetic study, observing its thermodynamic behavior and applying mathematical models. The thermodynamic behavior was also determined, calculating their effective diffusivity rates, activation energy, enthalpy, entropy and Gibbs free energy. The concentrated extract of the Jaramataia leaf was subjected to three different drying air temperatures, 50, 60 and 70°C, in a convective dryer, with a fixed air

speed of 1m/s. The mathematical model that best fitted the study was the Logarithmic, with a rate of determination coefficient ( $R^2 > 0.99$ ). Its thermodynamic properties, presented cohesive values to the study, the activation energy presented a value of 23.2734  $\text{kJmol}^{-1}$  and its effective diffusivity, Gibbs free energy had an increase along with the increase in temperature, which presents the process as non-spontaneous , while enthalpy and entropy decreased.

**Keywords:** Hydroalcoholic extraction; Mathematical models; Thermodynamic Properties.

## **Introdução**

A Jaramataia (*Vitex gardneriana* Schauer) é uma planta do gênero *Vitex* que é abundante no alto sertão Nordestino, popularmente conhecido como Jaramataia. Apresenta características medicinais segundo a cultura popular e sua árvore pode atingir até 7 metros de altura, sendo frequentemente encontrada as margens de rios, contém uma drupa comestível que é bastante utilizada na elaboração de chás para tratar doenças. Segundo as crenças populares o chá das folhas da Jaramataia é rico em agentes anti-inflamatórios e atividades antioxidantes devido à quantidade de compostos fenólicos presente no vegetal, além de outras propriedades presentes nela, assim ela acaba sendo uma grande aliada da medicina local e muito popular na região nordestina (MORAIS et al., 2020).

Pouco se fala sobre a Jaramataia em estudos científicos, havendo escassez de pesquisas sobre esse material vegetal rico em bioativos, sendo necessária comprovação e estudos delimitem comprovação científica sobre a presença de biomoléculas com propriedades funcionais, já que a mesma é bastante utilizada em tratamentos inflamatórios, o que se faz acreditar nas crenças populares que afirmam que a Jaramataia é um bom remédio natural (BARRETO et al., 2004; PAIXÃO et al., 2019).

Conforme a ANVISA (2016), extratos são preparos de textura sólida, líquida ou intermediária, sendo alcançados através de matérias primas de vegetais secos, que passaram ou não por uma intervenção prévia. Com isso, técnicas de extração por prensagem a frio ou extração com vários solventes são muito utilizados na área alimentar, cosmética e farmacêutica, tendo eles um papel especial devido aos numerosos compostos bioativos benéficos que fazem parte de sua composição (IONESCU et al., 2021).

Durante a extração de um material vegetal, é observado que ele apresenta uma elevada atividade de água, necessitando assim a aplicação de alguma técnica de conservação para o mesmo. Dentre as técnicas para remoção de água com conservação de compostos, aplica-se rotineiramente a secagem, visando a obtenção do extrato em pó e conseqüentemente garantindo uma maior conservação e estabilidade em seu tempo de armazenamento (SANTOS et al., 2019; ALMEIDA et al., 2020).

O processo de secagem tem grande utilização nas indústrias alimentícias e farmacêuticas, pois proporciona a redução do teor de água da matéria analisada até níveis seguros para o armazenamento da mesma, usando leis de transferências de calor e massa

para garantir a eficácia do processo, o que influencia diretamente na estrutura química e física, na presença de agentes biológicos no material dependendo do método e nas condições do tipo de secagem adotada (RESENDE et al., 2010; BARROS et al., 2020).

A secagem como um todo trás etapas antecedentes que nem sempre são utilizadas, como a cinética, que ajuda no estudo de faixas seguras de trabalho com base na aplicação de modelos matemáticos e estatística. Onde, junto ao processo da cinética de secagem é possível descrever o comportamento das transferências de massa e calor durante esse processo, dando respostas sobre o seu comportamento durante a secagem. Outro ponto importante durante a secagem são suas propriedades termodinâmicas, sendo uma grande fonte de informação para projetar equipamentos, estudar propriedades da água adsorvida, cálculos de energia requerida, estudos dos fenômenos físicos que ocorrem nas superfícies e outros parâmetros (CORRÊA et al., 2010; SANTOS et al., 2017; SANTOS et al., 2019).

Com base nisso, o presente trabalho tem como finalidade estudar o comportamento do extrato concentrado folha da Jaramataia (*Vitex gardneriana* Schauer) diante processo de secagem em estufa, incluindo um estudo sobre suas melhores taxas de secagem em diferentes temperaturas, aplicando modelos matemáticos sobre os dados dessas taxas, observando também o comportamento da sua atividade de água presente no extrato concentrado e suas propriedades termodinâmicas.

## **Metodologia proposta**

### *Materiais*

Foram utilizadas folhas da Jaramataia retiradas de árvores do bioma do sertão paraibano. O material vegetal foi transportado em caixas térmicas, devidamente embaladas, ao Laboratório de Engenharia de Alimentos na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Campina Grande, onde foram realizados os experimentos.

### *Recepção e higienização das folhas de Jaramataia*

As folhas foram recepcionadas, selecionadas e devidamente sanitizadas para eliminação de quaisquer sujidades proveniente do transporte, para se dá início ao estudo, com o intuito de evitar qualquer contaminação ou uso da mesma em mal estado, para que se assim iniciasse o processo de secagem.

### *Secagem das folhas da Jaramataia*

As folhas da Jaramataia foram secas em estufa de circulação de ar à 60°C e logo em seguida inseridas em um moinho de facas para a sua trituração e assim obtenção de um pó com granulometria desejada, onde, por conseguinte foram conservadas em recipiente fechado e ao abrigo da luz.

### *Obtenção do extrato das folhas da Jaramataia*

Em posse da farinha das folhas da Jaramataia, foi realizada uma extração hidroalcoólica para a obtenção do extrato e extrato concentrado da farinha das folhas da Jaramataia.

No preparo da solução extrativa hidroalcoólica, foi utilizado álcool 70% numa proporção de 1:10 (pó:solvente), com uma temperatura de extração de 50°C por 60 minutos sob agitação mecânica com auxílio de um extrator encamisado e um banho de aquecimento com temperatura controlada (FERNANDES et al., 2014). Em seguida o extrato foi filtrado em filtro de porcelana com o auxílio de um papel de filtro, sem vácuo.

Após esse processo, o extrato obtido foi conservado em incubadora BOD em temperatura de refrigeração (4°C), e acondicionado em recipiente âmbar para as posteriores análises.

#### *Obtenção do extrato concentrado de Jaramataia*

Para a obtenção do extrato concentrado, foi usado como base o teor de sólidos obtido na etapa de extração, com o objetivo de elevar o teor para no mínimo 10% com o intuito de garantir posteriormente a efetividade da secagem em três diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) de ar de secagem em um secador convectivo com velocidade de ar fixa de 1m/s, com temperatura não excedendo 50°C e pressão reduzida de 600 mmHg, utilizando rotoevaporador IKA ® RV 05 basic. O extrato foi reduzido a uma massa correspondente a 3 vezes sua massa inicial. Posteriormente o extrato concentrado foi submetido aos ensaios de secagem a estufa nas temperaturas de 50, 60, 70°C e velocidade do ar de 1 m/s.

#### *Cinética de secagem do extrato concentrado de Jaramataia*

As amostras, pesando em média cerca de 70g, dispostas em placas de Petri, formando camada de 1,5cm, o estudo em triplicata, foram submetidas à secagem em estufa nas temperaturas de 50, 60, 70°C e velocidade do ar de 1 m/s.

As cinéticas de secagem foram realizadas pesando-se as amostras em intervalos regulares de 5, 10, 15, 30 e 60 min, até atingirem o equilíbrio dinâmico com o ar de secagem. Foi determinado o teor de água das amostras com a pesagem do material antes da cinética, e em estufa a 105°C após 24 horas, sendo calculada a razão de teor de água (Equação 1) e traçadas as curvas da razão do teor de água em função do tempo de secagem.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

Em que:

RX - razão do teor de água do produto (adimensional);

X - teor de água do produto (b.s.);

X<sub>i</sub> - teor de água inicial do produto (b.s.);

$X_e$  - teor de água de equilíbrio do produto (b.s.).

Os modelos matemáticos descritos na Tabela 1 foram ajustados aos dados experimentais das curvas de secagem através de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, utilizando-se de um software de Statistic 7.0.

Tabela 1- Modelos matemáticos utilizados para ajustar os dados da cinética de secagem do extrato concentrado da folha da Jaramataia.

<b>Modelo</b>	<b>Equação</b>
Aproximação da difusão	$RX = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$
Henderson e Pabis	$RX = a \exp(-kt)$
Lewis	$RX = \exp(-kt)$
Logarítmico	$RX = b \exp(-kt) + c$
Midilli Modificado	$RX = a \exp(-kt^c) + bt$
Page	$RX = \exp(-kt^n)$
Exponencial de dois termos	$RX = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$
Thompson	$RX = \exp(-a-(a^2+4bt)^{0,5}) / 2^b$

A seleção do melhor modelo matemático foi dada através da avaliação do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o desvio quadrático médio - DQM (Equação 2) e o qui-quadrado -  $\chi^2$  (Equação 3). Sendo considerado como ajuste satisfatório o modelo que apresentou os maiores valores de  $R^2$  e os menores valores de DQM e  $\chi^2$ .

$$DQM = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$\chi^2 = \frac{1}{N - n} \sum_{i=1}^N (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2 \quad (3)$$

Em que:

DQM - desvio quadrático médio;

$\chi^2$ -qui-quadrado;

$RX_{pred}$  - razão do teor de água predita pelo modelo;

$RX_{exp}$  - razão do teor de água experimental;

$N$  - número de observações.

$n$  - número de constantes do modelo.

### *Difusividade efetiva*

A difusividade efetiva teve seu cálculo obtido através da equação de difusão para sistema de coordenadas retangulares, como mostrado na Equação 4. Considerou-se uma distribuição de teor de água inicial, uniforme e sem a presença de qualquer resistência térmica e a solução analítica da lei de Fick para uma placa plana infinita, foi estudada na forma de séries infinitas (Equação 5).

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{ef} \frac{\partial X}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_{ef} \frac{\partial Y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_{ef} \frac{\partial Z}{\partial z} \right) \quad (4)$$

$$RX = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)} \exp \left[ -(2n+1)^2 \pi^2 \frac{D_{ef}}{L^2} t \right] \quad (5)$$

Em que:

$RX$  – razão do teor de água do produto (adimensional);

$n$  - número de termos

$D_{ef}$  – difusividade efetiva ( $m^2 s^{-1}$ );

$L$  – espessura da camada (m);

$t$  – tempo (s).

A Equação 4 representa uma série de termos infinitos, tornando-se necessário o uso do software estatístico, para cálculo estatístico para a determinação da difusividade efetiva, por meio de regressão não-linear e método Quasi-Newton, com aproximação de 4 termos, a partir de onde não se observou haver mais variação do valor de  $D_{ef}$ .

Avaliou-se o efeito da temperatura de secagem na difusividade efetiva por meio da equação do tipo de Arrhenius (Equação 6), no qual descreve a relação entre a energia de ativação e a velocidade em que a fenômeno ocorre.

$$D_{ef} = D_0 \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (6)$$

Em que:

$D_{ef}$  - difusividade efetiva ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ );

$D_0$  - fator pré-exponencial ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ );

$E_a$  - energia de ativação ( $\text{J mol}^{-1}$ );

$R$  - constante universal dos gases,  $8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ;

$T$  - temperatura (K).

### *Propriedades termodinâmicas*

As propriedades termodinâmicas do processo de secagem (entalpia, entropia e energia livre de Gibbs) foram calculadas a partir das Equações 7, 8 e 9, respectivamente (CORRÊA et al., 2012).

$$\Delta H = E_a - RT \quad (7)$$

$$\Delta S = R \left( \ln D_0 - \ln \frac{k_b}{hp} - \ln T \right) \quad (8)$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (9)$$

Em que:

$\Delta H$  - variação de entalpia ( $\text{J mol}^{-1}$ );

$\Delta S$  - variação de entropia ( $\text{J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ );

$\Delta G$  - variação de energia livre de Gibbs ( $\text{J mol}^{-1}$ );

$E_a$  - energia de ativação ( $\text{J mol}^{-1}$ );

$R$  - constante universal dos gases,  $8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ;

$D_0$  - fator pré-exponencial ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ );

$k_B$  - constante de Boltzmann,  $1,38 \times 10^{-23} \text{ (J K}^{-1}\text{)}$ ;

$h_P$  - constante de Planck,  $6,626 \times 10^{-34} \text{ (J s)}$ ;

T - temperatura (K)

## Resultados e Discussão

Os valores referentes aos tempos de secagem e teor de água final das amostras do extrato concentrado da folha da Jaramataia estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2- Teor de água e tempos de secagem do extrato concentrado da folha da Jaramataia em diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Tempo de secagem (min)	Teor de água (% b.u.)	Teor de água (% b.s.)
50	540	10,663 <sup>a</sup> ± 0,0029	11,7661 <sup>a</sup> ± 0,011
60	360	6,2085 <sup>ab</sup> ± 0,0054	7,9652 <sup>ab</sup> ± 0,0036
70	240	5,9735 <sup>b</sup> ± 0,0019	6,8421 <sup>b</sup> ± 0,036

Média ± Desvio padrão. Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente ( $P \leq 0,05$ ) do padrão segundo teste de Tukey a 5% de significância.

As amostras do extrato concentrado da folha da Jaramatia inicialmente apresentaram um teor de água médio de 90,9% b.u, nas três temperaturas de secagem (50, 60 e 70°C), o que representa uma redução significativa, já que seu ponto final, na faixa da maior temperatura empregada, é de 5,97% b.u, valor esse que ser pode ser encontrado em outras pesquisas, como Moura et al. (2021), que obtveram comportamento semelhante ao realizar o estudo cinetico do trapiá.

Além disso, também é possível observar que quanto maior o aumento da temperatura, maior é a perda de água da amostra, o que fisicamente é plausível, também é importante darmos atenção à diferença de tempo entre a aplicação da temperatra entre a faixa de 50°C para as demais, 60 e 70°C, partindo do ponto em que o material em questão se trata de uma solução hidroalcoolica concentrada, assim, quanto maior a temperatura empregada mais próximo do valor de ebulição do material e conseqüentemente mais rápido acontece o processo de secagem do mesmo (BARROS et al., 2020).

Conforme Tabela 3, podemos observar os dados experimentais obtidos pela cinética de secagem do extrato concentrado da folha da Jaramataia e aplicação da modelagem matemática no mesmo, resultando em parâmetros satisfatórios, onde os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) apresentaram valores maiores que 98,0 para as três

temperaturas de secagem, o que comprova que os modelos matemáticos se ajustaram adequadamente, comprovando sua aplicação ao estudo de secagem.

Tabela 3 - Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos dados de secagem do extrato concentrado da folha da Jaramataia mais os coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>), Desvio Quadrático Médio (DQM) e valores do qui-quadrado ( $\chi^2$ ).

Modelo	T (°C)	Parâmetros			R <sup>2</sup>	DQM	$\chi^2$
		A	k	b			
Aproximação da difusão	50	-11,5819	0,0079	0,9680	99,880	0,0305	0,0016
	60	-98,7809	0,0143	0,9936	99,861	0,0273	0,0010
	70	-154,261	0,0161	0,9960	99,734	0,0325	0,0011
Henderson e Pabis		A	k				
	50	1,0034	0,0053		99,789	0,0261	0,0014
	60	1,0338	0,0084		99,461	0,0320	0,0012
	70	1,0302	0,0096		99,317	0,0331	0,0019
Lewis		k					
	50	0,0053			99,788	0,0226	0,0016
	60	0,0080			99,336	0,0002	0,0003
	70	0,0092			99,217	0,0062	0,0012
Logarítmico		A	k	c			
	50	1,0804	0,0044	-0,0297	99,983	0,00001	0,00001
	60	1,1769	0,0062	-0,1672	99,903	0,00001	0,00002
	70	1,2123	0,0066	-0,2113	99,889	0,00001	0,00001
Midilli Modificado		K	n	b			
	50	0,0051	0,9740	-0,0001	99,973	0,0062	0,0007
	60	0,0055	1,1198	-0,0002	99,938	0,0093	0,0005
	70	0,0057	1,0728	-0,0003	99,888	0,0088	0,0004
Page		K	n				
	50	0,0038	1,0660		99,846	0,0344	0,0022
	60	0,0030	1,2067		99,829	0,0332	0,0019
	70	0,0037	1,1975		99,691	0,0384	0,0020

		A	k			
<b>Exponencial dos dois termos</b>	50	0,0036	1,4721	99,784	0,0199	0,0009
	60	0,0014	5,4197	99,324	0,0008	0,0001
	70	0,00001	683,45	98,217	0,0062	0,0004
		A	b			
<b>Thompson</b>	50	-745,772	2,0070	99,787	0,0263	0,0011
	60	-489,155	2,0680	98,456	0,0322	0,0013
	70	-427,152	2,0608	98,311	0,0333	0,0013

Com ênfase no modelo matemático Logarítmico, o mesmo sendo o modelo que mais se adequou ao estudo, ele apresenta as melhores taxas de  $R^2$  (>99,8) e os menores valores de DQM e qui-quadrado ( $\chi^2$ ), o que comprova mais uma vez a eficácia do estudo de secagem.

Segundo Santos et al. (2020), algumas constantes podem responder sobre a temperatura empregada na cinética, como a constante “k” que tende a crescer conforme a temperatura empregada aumenta, o que pode ser observado entre a grande maioria dos modelos aplicados, no modelo Logarítmico essa constante cresce conforme a temperatura aumenta, comprovando a adequação da modelagem matemática. Também é observado que o aumento da temperatura empregada afeta diretamente outras propriedades do material a ser analisada, como as propriedades físicas.

Na Figura 1 está a representação gráfica dos dados experimentais e preditos da cinética de secagem do extrato concentrado da folha da Jaramataia aplicados ao modelo matemático Logarítmico, modelo esse que teve as melhores taxas de ( $R^2$ ) como também os menores para DQM e  $X^2$ . As curvas representam o tempo de secagem pelo teor de água do material analisado, onde pode-se observar diferentes curvas de temperatura, nas três faixas de secagem, e que ao empregar uma maior temperatura se leva um menor tempo para o equilíbrio buscado no estudo de secagem.

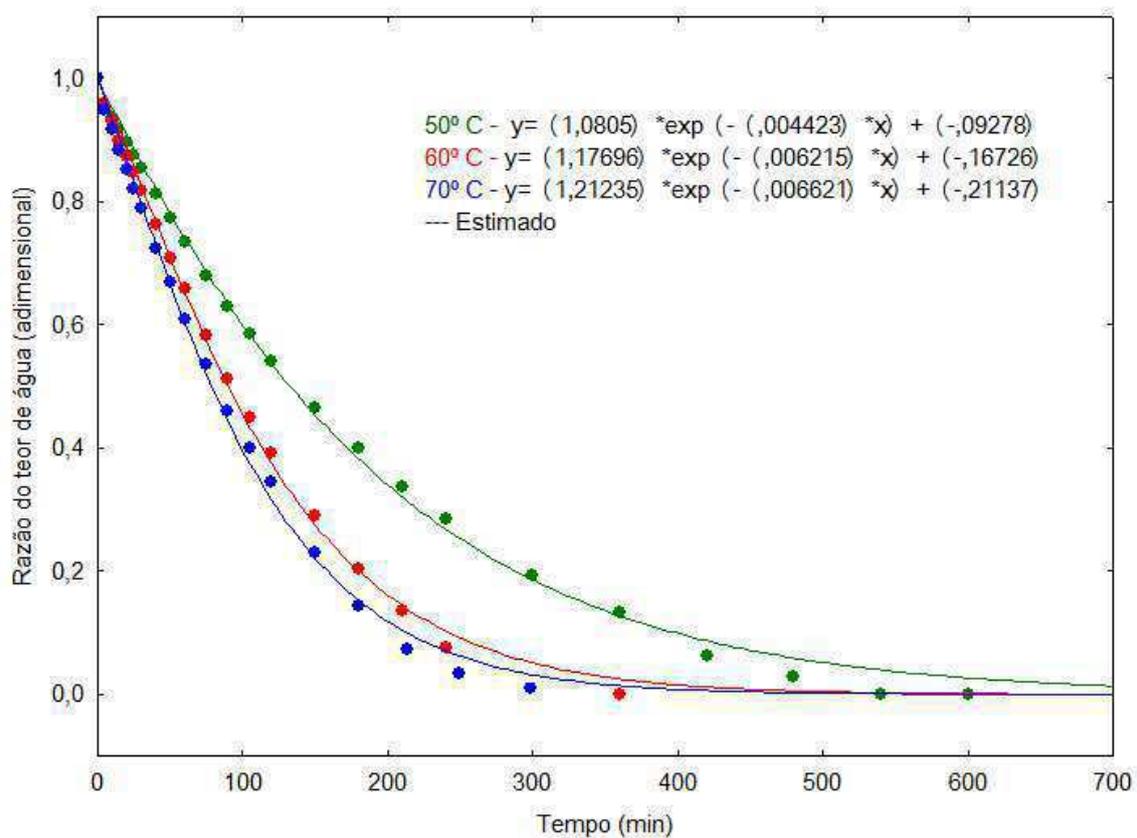


Figura 1- Gráfico do modelo matemático Logarítmico (50, 60 e 70°) sobre dados da cinética de secagem do extrato concentrado da folha da Jaramataia

A difusividade efetiva ( $D_{ef}$ ) pode ser considerada um dos índices mais importantes para o estudo de secagem, com tal propriedade é possível calcular a eficiência da secagem pela sua velocidade e dependência de temperatura. A Tabela 4 exhibe os valores de difusividade efetiva para as temperaturas de 50, 60 e 70°C das amostras do extrato concentrado da folha da Jaramataia.

Tabela 4- Difusividade efetiva das amostras do extrato concentrado da folha da Jaramataia em diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	$D_{ef}$ (m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup> (%)
50	1,4606x10 <sup>-9</sup>	97,035
60	2,1965x10 <sup>-9</sup>	95,193
70	2,5273x10 <sup>-9</sup>	95,196

$D_{ef}$  - Difusividade efetiva; R<sup>2</sup>- coeficiente de determinação.

É possível observar que os valores obtidos para  $D_{ef}$  estão diretamente ligados ao aumento da temperatura, com a perda de água do extrato, ou seja, quanto maior a taxa de temperatura empregada no material em estudo maior é o valor obtido para o  $D_{ef}$ . Segundo Gonelli et al. (2014) e Almeida et al. (2020), esse aumento, que vem junto ao aumento da temperatura, significa a agitação das moléculas de água durante o seu aquecimento, por isso que quanto maior a temperatura empregada no processo maior será a taxa obtida de  $D_{ef}$ , onde em temperaturas menores existe uma maior resistência para o desprendimento dessas moléculas de água concentrada no material e conseqüentemente menores taxas obtidas de  $D_{ef}$ .

Na Tabela 5 estão exibidos os parâmetros da equação de Arrhenius (ajustado aos dados de difusividade efetiva) das amostras do extrato concentrado da folha da Jaramatia.

Tabela 5- Parâmetros da equação de Arrhenius (ajustado aos dados de difusividade efetiva das amostras do extrato concentrado da folha da Jaramataia).

$D_0$ ( $m^2s^{-1}$ )	$E_a$ ( $kJmol^{-1}$ )	$R^2$ (%)
$9,09 \times 10^{-6}$	23,2734	96,327

$D_0$  – Difusividade efetiva;  $E_a$  – energia de ativação;  $R^2$ - coeficiente de determinação.

O valor apresentado da energia de ativação ( $E_a$ ) foi obtido diretamente do ajuste matemático do modelo de Arrhenius, no extrato concentrado da folha da Jaramataia se obteve um valor de  $23,2734 kJ/mol^{-1}$ . Segundo Corrêa et al. (2017) o valor da energia de ativação está ligado a processos físicos que o material pode ser submetido, já que quanto menor esse valor mais facilmente ocorrerá um processo específico, pois será exigida uma menor energia para o processamento físico.

A energia de ativação ( $E_a$ ) pode apresentar diferentes valores devido aos componentes estruturais nos seus materiais em estudo, na superfície, variedade e até mesmo no pré-tratamento que as amostras receberam (DENG et al. 2018), como o material em questão vem de origem vegetal é possível dizer que o valor obtido se adequa na faixas de energias de ativação, Sousa et al. (2017) obtiveram valores semelhantes, com uma faixa de  $19,73 kJ mol^{-1}$  a  $20,72 kJ mol^{-1}$  para o arroz, já Zogzas et al. (1996) relataram um intervalo maior para produtos vegetais e produtos agrícolas de 12,7 a 110 kJ.

Na Tabela 6, verificam-se as propriedades termodinâmicas, entalpia ( $\Delta H$ ), entropia ( $\Delta S$ ) e energia livre de Gibbs ( $\Delta G$ ) para diferentes temperaturas do extrato concentrado da folha da Jaramataia

Tabela 6- Valores para as variações de entalpia ( $\Delta H$ ), entropia ( $\Delta S$ ) e energia livre de Gibbs ( $\Delta G$ ) para diferentes temperaturas do extrato concentrado da folha da Jaramataia

Temperatura (°C)	$\Delta H$ (kJmol <sup>-1</sup> )	$\Delta S$ (kJmol <sup>-1</sup> )	$\Delta G$ (kJmol <sup>-1</sup> )
50	20,5880	-0,3420	131,054
60	20,5049	-0,3423	134,490
70	20,4217	-0,3425	137,899

$\Delta H$  – entalpia;  $\Delta S$  – entropia;  $\Delta G$  - energia livre de Gibbs

Os valores das propriedades termodinâmicas da cinética de secagem do extrato concentrado da folha da Jaramataia, a entalpia ( $\Delta H$ ) sofreram uma leve redução no seu valor, partindo inicialmente de 20,5880 kJmol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> a 20,4217 kJmol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>, das temperaturas de 50 a 70°C respectivamente, o que indica que é necessária uma menor energia para que a ocorrência do fenômeno da difusão exista em maiores condições térmicas (CORRÊA et al. 2017; SHAFAEI et al., 2018). Seus valores positivos indicam que a reação foi endergônica (SANTOS et al., 2019).

Já a entropia ( $\Delta S$ ), sofre uma redução com o aumento da temperatura empregada na cinética de secagem, observa-se que o valor -0,3420 kJmol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> a -0,3425 kJmol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> e está fato é ligado ao seu teor de água que reduz conforme a cinética vai aumentando seu tempo. Seus valores negativos indicam que o mecanismo de difusão está indo do estado desordenado para o estado ordenado, onde se tem uma maior restrição do movimento das moléculas, assim, quando se tem valores menores que zero é possível afirmar que o mecanismo foi não espontâneo (ANABEL et al., 2018). Segundo Moreira et al. (2008) os valores negativos da entropia estão associados a adsorção química do material, ou modificações estruturais do adsorvente.

A energia livre de Gibbs ( $\Delta G$ ) também teve um aumento nos seus valores, assim como a entalpia ( $\Delta H$ ), o que também representa um processo não espontâneo, essa propriedade teve uma variância de 131,054 kJmol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> a 137,899 kJmol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> nas temperaturas de 50° a 70°, esses valores positivos são característicos de uma reação endergônica, ou seja, é necessário a adição de energia do meio e da vizinhança, para que

o material em questão sofra reação (ARAÚJO et al., 2017). Essa propriedade busca medir a totalidade de energia associada a um sistema termodinâmico e quando seu valor é apresentado positivo significa que houve uma ação externa, uma adição de energia para que o material de estudo em questão mudasse de fase (OLIVEIRA et al., 2015).

## Conclusão

Com os resultados obtidos da cinética de secagem do extrato concentrado da folha da Jaramataia, onde se tem análises desde a secagem da folha até a elaboração do seu extrato concentrado e conseqüentemente o início do estudo da cinética de secagem junto à modelagem matemática, é possível concluir que o estudo da cinética de secagem em um secador convectivo com velocidade de ar fixa, foi conforme esperado ao pesquisar sobre o processo na literatura. A modelagem matemática apresentou ajustes satisfatórios aos modelos empregados, em ambas as temperaturas, 50, 60 e 70°C, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) > 98%, incluindo o modelo que mais se adequou ao estudo, o Logarítmico que apresentou um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) > 99%.

Já as suas propriedades termodinâmicas apresentaram valores coesos junto a literatura, a energia de ativação apresentou um valor de 23,2734 kJ/mol, a entalpia teve variação e aumento junto a energia livre de Gibbs, e a entropia teve uma redução, ambas as propriedades responderam diretamente ao aumento das temperaturas do estudo, o que se era esperado, assim como a entropia e a energia livre de Gibbs apresentaram processos não espontâneos nesse processo.

Foram obtidos em média 19g de sólidos depois da secagem do extrato concentrado da folha da Jaramataia em cada temperatura de estudo, o sólido foi macerado e o pó foi devidamente armazenado para que assim se possam realizar novos estudos com esse material futuramente.

## Referência bibliográfica

ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; PEREIRA, T. P.; QUEIROGA, A. P. R.; SILVA, V. M. A.; RIBEIRO, V. H. A.; BORGES, E. M. E. S. Cinética de secagem do feijão azuki: modelagem matemática e propriedades termodinâmicas. **Research, Society and Development**, v.9, n.3, 2020.

ANABEL, F.; CELIA, R.; GERMÁN, M.; ROSA, R. Determination of effective moisture diffusivity and thermodynamic properties variation of regional wastes under different atmospheres. **Case Studies in Thermal Engineering**, v. 12, p. 248-257, 2018.

ANVISA. Consulta Pública nº 159, de 08 de abril de 2016. <http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718201/CP+159-2016+-+Minuta.pdf/34fc723d-144c-49cb-98f8-5f684b82aec4#:~:text=1.1.4%20Extratos,consist%C3%A0ncia%20lida%20ou%20s%C3%B3lida>

ARAÚJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; HARTMANN FILHO, C. P.; SIQUEIRA, E. A. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n.3, 2017.

BARRETO, L. C. L. S. **Estudo farmacognóstico e determinação da atividade biológica de vitex gardneriana schauer (verbenaceae)**. Dissertação (Mestrado) — Departamento de ciências farmacêuticas - UFPE, Recife, PE, 2004.

BARROS, S. L.; CAMARA, G. B.; LEITE, D. D. F.; SANTOS, N. C.; SANTOS, F. S.; SOARES, T. C.; LIMA, A. R. N.; SOARES, T. C.; OLIVEIRA, M. N.; VASCONCELOS, U. A. A.; ALBUQUERQUE, A. P.; QUEIROZ, A. J. M. Modelagem matemática da cinética de secagem de cascas do kimo (*Cucumis metuliferus*). **Research, Society and Development**, v. 9, n.1, 2020.

CORRÊA, P. C.; DE OLIVEIRA, G. H. H.; DE OLIVEIRA, A. P. L.; BOTELHO, R. F.M.; GONELI, A. L. D. Thermodynamic properties of drying process and water absorption of rice grains. **CyTA-Journal of Food**. v. 15, n. 2, p. 204-210, 2017.

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, 2012.

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.

FERNANDES, M. R. V.; DIAS, A. L. T.; CARVALHO, R. R.; SOUZA, C. R. F.; OLIVEIRA, W. P. Antioxidant and antimicrobial activities of *Psidium guajava* L. spray dried extracts. **Industrial Crops and Products**, v. 60, p. 39-44, 2014.

GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. D. C.; VILHASANTI, H. D. C. B.; GONÇALVES, A. A Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesq. Agropec. Trop.**, v. 44, n. 1, p. 56 -64, 2014.

IONESCU, N.; NEAGU, A. M.; POPESCU, M. PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF VEGETABLE OILS AND PLANT EXTRACTS WITH EFFECT IN THE TREATMENT OF VARICOSE VEINS. **U.P.B. Sci. Bull.**, v. 83, n. 3, 2021

MORAIS, S. M.; ALVES, D. R.; FROTA, L. S.; PINHEIRO, S. D. O. P.; SILVA, A. C.; DA SILVA, W. M. B. Atividades antioxidantes e anticolinesterásicas do extrato das folhas de Jaramataia (*Vitex gardneriana* Schauer). **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.5, 2020.

MOREIRA, R.; CHENLO, F.; TORRES, M. D.; VALLEJO, N. Thermodynamic analysis of experimental sorption isotherms of loquat and quince fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 88, p.514-521, 2008.

MOURA, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; SILVA, E. T. V.; ESMERO, J. A. D.; LISBÔA, J. F. Mathematical modeling and thermodynamic properties of the drying kinetics of trapirá residues. **J Food Process Eng**, 2021.

OLIVEIRA, G.H.H.; ARAGÃO D.M.S.; OLIVEIRA, A.P.L.R.; 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.

PAIXÃO, E P. **Vitex gardneriana Schauer: revisão de literatura sobre o uso popular, farmacologia e toxicologia**. Monografia (Bacharel em Farmácia), UFRN (Universidade Federal do Rio Grande do Norte), Natal, Brasil. 2019.

RESENDE, O.; FERREIRA, L. U.; ALMEIDA, D. P. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão Adzuki (*Vigna angularis*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.12, n.2, p.171-178, 2010.

SANTOS, D. C.; LEITE, D. D. F.; LISBÔA, J. F.; FERREIRA, J. P. L.; SANTOS, F. S.; LIMA, T. L. B.; FIGUEIREDO, R. M. F.; COSTA, T. N. Modelling and thermodynamic properties of the drying of acuri slices. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.22, 2019.

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. 27-37,2017.

SANTOS, N.; LEITE, D.; CÂMARA, G.; BARROS, S.; SANTOS, F.; SOARES, T.; LIMA, A.; SOARES, T.; ALBUQUERQUE, A.; OLIVEIRA, M.; VASCONCELOS, U.; QUEIROZ, A. Modelagem matemática da cinética de secagem de cascas da toranja (*Citrus paradisi* Macf.). **Research, Society and Development**, v.9, n.1, 2020.

SHAFAEI, S. M.; NOURMOHAMADI-MOGHADAMI, A.; KAMGAR, S. An insight into thermodynamic aspects of ultrasonication effect on hydration mechanism of wheat. **Journal of Food Process Engineering**, v. 41, n. 7, 2018.

ZOGZAS, N. P.; MAUROULIS, Z. B.; MARINOS, D. K. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, v. 14, n.10, p. 2225-2253, 1996.

## 5. CONCLUSÃO GERAL

Com os resultados obtidos da cinética de secagem da folha e do extrato concentrado da folha da Jaramataia, expressos matematicamente no presente estudo, é possível concluir que a cinética de secagem teve resultados satisfatórios e relevantes, comparadas aos artigos observados na literatura, os modelos matemáticos aplicados em ambos estudos de secagem, tanto para a folha como para o extrato concentrado, apresentam taxas elevadas de  $R^2$ , comportamento adequado graficamente, para os modelos selecionados para cada estudo, o que comprova a boa adequação dos modelos aplicados.

As taxas obtidas para as propriedades termodinâmicas de ambos materiais também, com suas variações, apresentam um comportamento esperado, tendo em vista que materiais de origem vegetal, como folhas e cascas, bem como líquidos, aos quais foram comparados o extrato, apresentam valores semelhantes aos obtidos na pesquisa em discussão, com esses resultados expressos em nosso estudo de secagem pode-se afirmar que ele foi realizado criteriosamente e com êxito, abrindo assim, margem para outros tipos de estudos e análises que possam ser feitos com a Jaramataia, tendo em vista que se tem poucos dados literários mais muitos meios a serem explorados.

## 6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA GERAL

BARBOSA, P. A. E. **Avaliação da funcionalidade dos excipientes de cápsulas de furosemida manipuladas nas farmácias de manaus/AM**. Dissertação (mestrado em ciências farmacêuticas) – UFAM. 2017.

BARRETO, I. C. **Caracterização química e molecular de quatro espécies de vitex (lamiaceae) e bioatividade contra o ácaro-da-necrose-do-coqueiro aceria guerreronis (acari: eriophyidae)**. Dissertação (mestrado em Ciências Farmacêuticas) – UFS. São Cristovão. 2017.

BARRETO, L.C.L.; XAVIER, H. S.; BARBOSA-FILHO, J. M.; BRAZ-FILHO R. **Rev. Bras. Farmacogn.** v. 15, p. 51-4, 2005

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, 2012.

COSME-DE VERA, F. H.; SORIANO, A. N.; DUGOS, N. P.; RUBI, R. V. C. A comprehensive review on the drying kinetics of common tubers. **Applied Science and Engineering Progress**, v. 14, n.2, p.146-155 2021.

COSTA, J. C. F. D.; HOSCHEID, J. Perfil fitoquímico e avaliação da atividade antimicrobiana de extratos aquoso e etanólico de folhas de *Cecropia pachystachya*. **Revista Fitos**. v. 12, n. 2, p.175-185, 2018.

DEBOTTON, N.; DAHAN, A., Applications of Polymers as Pharmaceutical Excipients in Solid Oral Dosage Forms. **Medicinal Research Reviews**, p.1-46, 2016.

DOYMAZ, İ. Drying kinetics, rehydration and colour characteristics of convective hot-air drying of carrot slices. **Heat and Mass Transfer**, v.53, p.25-35, 2017.

FARMACOPÉIA BRASILEIRA. 4.ed. São Paulo: Andrei, 1988. p. IV.7.

FERNANDES, M. R. V.; DIAS, A. L. T.; CARVALHO, R. R.; SOUZA, C. R. F.; OLIVEIRA, W. P. Antioxidant and antimicrobial activities of *Psidium guajava* L. spray dried extracts. **Industrial Crops and Products**, v. 60, p. 39-44, 2014.

HUNG, P. V.; DUY, T. L. Effects of drying methods on bioactive compounds of vegetables and correlation between bioactive compounds and their antioxidants. **International Food Research Journal**, v.19, n.1, p.327, 2012.

LARA, A. C.; OLIVEIRA, C. M.; MENDES, V. A.; STOCCO, P.; HEIN, M. M. F.; LISBOA, H. C. F. Avaliação do consumo de produtos naturais por usuários de estratégias de saúde da família do município de Rondonópolis–MT. **Revista Univap**, v. 25, n. 47, p. 98-109, 2019.

LUCAS, B.F.; ZAMBIAZI, F.C.; COSTA, J.A.V. Biocompounds and physical properties of açai pulp dried by different methods. **Food Science and Technology**, 98, 335-340. 2018.

MATHUR, S.; C. HOSKINS. Drug development: lessons from nature. **Biomed. Rep.** v. 6, p. 612–614, 2017.

MELO, K. S.; DE FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FERNANDES, T. K., S.; BEZERRA, M. D. C. T. Secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru: experimentação e ajustes de modelos matemáticos. **Revista Caatinga**, v.26, n.2, p.9-17, 2013.

MENEZES, M. L.; STRÖHER, A. P.; PEREIRA, N. C.; DE BARROS, S. T. D. Análise da cinética e ajustes de modelos matemáticos aos dados de secagem do bagaço do maracujá-amarelo. **Engvista**, v.15, n.2, p.176-186, 2013.

MONTEIRO, L. C. C. F.; ARAÚJO, E. I. M.; OLIVEIRA, A. M. S.; ALVES, L. A.; BERTINI, L. M. Atividade antioxidante, teor de fenóis e atividade larvicida frente ao *aedes aegypti* de *vitex gardneriana schauer*. **Blucher chemistry proceddings**, v.3, n. 1, p.1-8, 2015.

MORAIS, S. M.; ALVES, D. R.; FROTA, L. S.; PINHEIRO, S. D. O. P.; SILVA, A. C.; DA SILVA, W. M. B. Atividades antioxidantes e anticolinesterásicas do extrato das folhas de Jaramataia (*Vitex gardneriana* Schauer). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 28802-28810, 2020.

MURA, P.; VALLERI, M.; FABIANELLI, E.; MAESTRELLI, F.; CIRRI, M. Characterization and evaluation of different mesoporous silica kinds as carriers for the development of effective oral dosage forms of glibenclamide. **International journal of pharmaceutics**, v. 563, p.43-52, 2019.

NG, Z. X.; YONG, P. H.; LIM, S. Y. Customized drying treatments increased the extraction of phytochemicals and antioxidant activity from economically viable medicinal plants. **Industrial Crops and Products**, v.155, 2020.

OLIVEIRA, O. W.; PETROVICK, P. R. Secagem por aspersão (spray drying) de extratos vegetais: bases e aplicações. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, p.641-650, 2010.

PAPOUTSIS, K.; GOLDING, J. B.; VUONG, Q.; PRISTIJONO, P.; STATHOPOULOS, C. E.; SCARLETT, C. J.; BOWYER, M. Encapsulation of citrus by-product extracts by spray-drying and freeze-drying using combinations of maltodextrin with soybean protein and ι-carrageenan. **Foods**, v. 7, n. 7, p.115, 2018.

PASTORINI, L. H.; BACARIN, M. A.; ABREU, C. M. Secagem de material vegetal em forno de microondas para determinação de matéria seca e análises químicas. **Ciência agrotécnica**, v.26, p. 1252-1258, 2002.

PEREIRA, E. J. P.; SILVA, H. C.; HOLANDA, C. L.; DE MENEZES, J. E. S. A.; SIQUEIRA, S. M. C.; RODRIGUES, T. H. S.; SANTOS, H. S. Chemical composition, cytotoxicity and larvicidal activity against *Aedes aegypti* of essential oils from *Vitex gardineriana* Schauer. **Bol Latinoam Caribe Plant Med Aromat**, v. 17, n. 3, p. 302 – 309, 2018.

PEREIRA, M. C. L.; MARIANO, M. R.; MACIEL, N. S. Use of medicinal plants in care of women with gynecological diseases: integrative review. **International Journal of Development Research**, v. 09, n. 03, p. 26373-26380, 2019.

PLANOWSKI, Luiz. Francisco. **Desenvolvimento fármacos de um produto fitoterápico**. 153 f. Dissertação (mestrado em tecnologia farmacêutica) – Universidade de Porto, Porto, 2000.

PUDZIUVELYTE, L.; MARKSA, M.; SOSNOWSKA, K.; WINNICKA, K.; MORKUNIENE, R.; BERNATONIENE, J. Freeze-drying technique for microencapsulation of *Elsholtzia ciliata* ethanolic extract using different coating materials. **Molecules**, v. 25, n.9, 2020.

RIBEIRO, J. C. Qualidade de plantas medicinais de uso popular no Brasil: uma visão experimental: roteiro de práticas. **Editora Universitária UNIFAE**, 2021. 45p.

SABO, V. A.; KNEZEVIC, P. Antimicrobial activity of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. plant extracts and essential oils: A review. **Industrial crops and products**, v.132, p. 413-429, 2019.

SHISHIR, M. R. I.; CHEN, W. Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. **Trends in food science & technology**, 65, 49-67, 2017.

SILVA, J. A. S. L. **Desidratação de ervas condimentares: análise do processo de secagem**. 43 F. Trabalho de Conclusão de Curso. (Curso de Graduação em Nutrição) – UFPE, Vitória de Santo Antão. 2018.

SILVA, R. W. V. D.; MARTINS, G. M. G.; NASCIMENTO, R. A. D.; VIANA, A. F. D. S.; AGUIAR, F. S. D.; SILVA, B. A. D. Uso da metodologia de superfície de resposta na otimização da extração de compostos fenólicos da casca dos frutos de *Hymenaea courbaril* L.(Jatobá). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, 2019.

SOUZA, A.; FERNANDES, J.; TRALLI, J.; GALVÃO, P.; PEDRO, M. A. M. Aplicação da secagem por spray drying para a produção de extratos vegetais secos, 2013.

VALE, J. P. C.; DE FREITAS RIBEIRO, L. H.; DE VASCONCELOS, M. A.; SÁ-FIRMINO, N. C.; PEREIRA, A. L.; DO NASCIMENTO, M. F.; TEIXEIRA, E. H. Chemical composition, antioxidant, antimicrobial and antibiofilm activities of *Vitex gardneriana* schauer leaves's essential oil. **Microbial pathogenesis**, v. 135, 103608, 2019.

VALE, J. P. C.; GON, F. B.; DA SILVA, P. T.; BANDEIRA, P. N.; TEIXEIRA, E. H.; DE VASCONCELOS, M. A.; BRAZ-FILHO, R. Isolation and antioxidant activity of chemical constituents from *Vitex gardneriana* Schauer. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 6, n. 6, p. 1806-1811, 2017.

VLACHOU, M.; KIKIONIS, S.; SIAMIDI, A.; KYRIAKOU, S.; TSOTINIS, A.; IOANNOU, E.; ROUSSIS, V. Development and Characterization of Eudragit<sup>®</sup>-Based Electrospun Nanofibrous Mats and Their Formulation into Nanofiber Tablets for the Modified Release of Furosemide. **Pharmaceutics**, v.11, p.480, 2019.

WANG, J.; LAW, C. L.; NEMA, P. K.; ZHAO, J. H.; LIU, Z. L.; DENG, L. Z.; XIAO, H. W. Pulsed vacuum drying enhances drying kinetics and quality of lemon slices. **Journal of Food Engineering**, v. 224, p. 129-138, 2018.

XU, B; LAN, J. C.; SUN, Q.; HSUEH, C.; CHEN, B. Y. Deciphering optimal biostimulation strategy of supplementing anthocyanin-abundant plant extracts for bioelectricity extraction in microbial fuel cells. **Biotechnology for biofuels**, v. 12, n. 1, p. 1-12, 2019.

## ANEXO I – SUBMISSÃO DO PROJETO AO CEUA- CFP/UFMG (PARECER)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE FORMAÇÃO DE PROFESSORES - CFP  
COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS



Número 04/2019

### CERTIDÃO

Certifico, para os devidos fins, que o Processo 23096.011557/19-32, tendo como interessada **Drª Giliara Carol Diniz de Luna Gurgel** e projeto intitulado “*Produção do extrato seco de Anacardium occidentale L. e avaliação do desempenho de gel terapêutico à base do mesmo na cicatrização cutânea in vivo*”, constou na pauta da 3ª Reunião Ordinária da COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS - CEUA, do Centro de Formação de Professores - Campus de Cajazeiras, da Universidade Federal de Campina Grande, realizada sob a presidência do professor Dr. Udson Santos, no dia 23 de outubro de 2019, tendo o plenário aprovado por unanimidade, o parecer do (a) Relator (a) da matéria, Dr. José Cezário de Almeida, favorável ao pleito do (a) requerente, conforme consta da respectiva ata, e registrado sob o número, **04/2019**.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE COMITÊ DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS					
LIVRO	01	FOLHA	02	REGISTRO	04/2019
DATA:	23/10/2019	RESP.			

Cajazeiras, 23 de outubro de 2019.

**Dr. Udson Santos**  
Presidente da CEUA  
Centro de Formação de Professores  
- CFP Campus de Cajazeiras /  
UFMG

Rua Sérgio Moreira de Figueiredo, SN – Térreo – Casas Populares – 58900-000 – Cajazeiras –  
Paraíba Fone : (83)-3532-2000 / ramal 2162 / fax : (83)-3531-3046 / e-mail :  
ceua.cfp@ufcg.edu.br

## ANEXO II – COMPROVANTE DE CADASTRO E ACESSO SISGEN



**Ministério do Meio Ambiente  
CONSELHO DE GESTÃO DO PATRIMÔNIO GENÉTICO**

SISTEMA NACIONAL DE GESTÃO DO PATRIMÔNIO GENÉTICO E DO CONHECIMENTO TRADICIONAL ASSOCIADO

**Comprovante de Cadastro de Acesso**

**Cadastro nº AD311A1**

A atividade de acesso ao Patrimônio Genético, nos termos abaixo resumida, foi cadastrada no SisGen, em atendimento ao previsto na Lei nº 13.123/2015 e seus regulamentos.

Número do cadastro: **AD311A1**  
Usuário: **GILIARA CAROL DINIZ DE LUNA GURGEL**  
CPF/CNPJ: **010.287.614-22**  
Objeto do Acesso: **Patrimônio Genético**  
Finalidade do Acesso: **Pesquisa**

**Espécie**

**Anacardium occidentale**

Título da Atividade: **Produção do extrato seco de Anacardium occidentale L. e avaliação do desempenho de de gel terapêutico à base do mesmo na cicatrização cutânea "in vivo".**

**Equipe**

<b>GILIARA CAROL DINIZ DE LUNA GURGEL</b>	<b>UFCG</b>
<b>Wellington Bezerra de Sousa</b>	<b>UFCG</b>
<b>Ana Paula Trindade Rocha</b>	<b>UFCG</b>

Data do Cadastro: **08/08/2019 13:10:12**

Situação do Cadastro: **Concluído**

Conselho de Gestão do Patrimônio Genético  
Situação cadastral conforme consulta ao SisGen em **19:49** de **25/08/2019**.



SISTEMA NACIONAL DE GESTÃO  
DO PATRIMÔNIO GENÉTICO  
E DO CONHECIMENTO TRADICIONAL  
ASSOCIADO - **SISGEN**