



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO  
PERNAMBUCANO - CAMPUS SALGUEIRO  
COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ALIMENTOS  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ALIMENTOS

Marina Porcina Ribeiro dos Angelos

**CINÉTICA E MODELAGEM MATEMÁTICA DE SECAGEM EM LEITO FIXO DE  
TEMPEROS NATURAIS *TIPO LEMON PEPPER* OBTIDOS A PARTIR DE  
CASCAS DE FRUTAS CÍTRICAS**

SALGUEIRO - PE

2026

Marina Porcina Ribeiro dos Angelos

**CINÉTICA E MODELAGEM MATEMÁTICA DE SECAGEM EM LEITO FIXO DE  
TEMPEROS NATURAIS *TIPO LEMON PEPPER* OBTIDOS A PARTIR DE  
CASCAS DE FRUTAS CÍTRICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, campus Salgueiro, como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Alimentos.

Orientadora: Dra. Janaine Juliana Vieira de Almeida Mendes

SALGUEIRO – PE

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

A584 Angelos, Marina Porcina Ribeiro dos.

CINÉTICA E MODELAGEM MATEMÁTICA DE SECAGEM EM LEITO FIXO DE TEMPEROS NATURAIS TIPO LEMON PEPPER OBTIDOS A PARTIR DE CASCAS DE FRUTAS CÍTRICAS / Marina Porcina Ribeiro dos Angelos. - Salgueiro, 2026.  
63 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos) -Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Salgueiro, 2026.  
Orientação: Profª. Drª. JANAINE JULIANA VIEIRA DE ALMEIDA MENDES.

1. Processamento de produtos. 2. Resíduos agroindustriais. 3. análises. 4. tratamentos. 5. processamento. I. Título.

CDD 637

---

Marina Porcina Ribeiro dos Angelos

**CINÉTICA E MODELAGEM MATEMÁTICA DE SECAGEM EM LEITO FIXO DE  
TEMPEROS NATURAIS TIPO LEMON PEPPER OBTIDOS A PARTIR DE  
CASCAS DE FRUTAS CÍTRICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a  
Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em  
Alimentos do Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano,  
campus Salgueiro, como requisito parcial à  
obtenção do título de Tecnólogo em Alimentos.

Aprovado em: 13 de março de 2026.

NOTA: 100 (cem)

**BANCA EXAMINADORA**

Profa. Janaine Juliana Vieira de Almeida  
Mendes (Orientadora)  
IF Sertão PE – Campus Salgueiro

---

Profa. Dra. Camilla Salviano Bezerra Aragão  
IF Sertão PE – Campus Salgueiro  
(Coordenadora)

---

Profa. Dra. Luciana Façanha Marques  
IF Sertão PE – Campus Salgueiro  
(Vice - Coordenadora)

---

Prof. Dr. Rodrigo de Araújo Soares  
IF Sertão PE – Campus Salgueiro

---

SALGUEIRO - PE

2026

Dedico *in memoriam* ao meu pai e a todas as pessoas que me acompanharam neste percurso incentivado na realização desse sonho dando apoio, compreensão e paciência.

## **AGRADECIMENTOS**

A Professora. Janaine Juliana Vieira de Almeida Mendes, pela excelente orientação, dedicação, paciência e valiosas contribuições ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores integrantes da banca examinadora, pelo tempo disponibilizado, pelas importantes observações, sugestões e contribuições que enriqueceram este estudo.

A todos os docentes do curso, que ao longo da graduação contribuíram de forma significativa para minha formação acadêmica e profissional.

Aos colegas da turma, pelas reflexões, trocas de conhecimentos, apoio e companheirismo durante essa trajetória acadêmica.

À minha família, pelo incentivo constante, compreensão e apoio em todos os momentos, especialmente nos períodos de maior dedicação aos estudos.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

“Inteligência é a habilidade das espécies  
para viver em harmonia com o meio  
ambiente.”

Paul Atson, cofundador do Greenpeace

## RESUMO

Os resíduos gerados pelas agroindústrias de maior representatividade são aqueles provenientes do processamento de frutas cítricas, uma vez que a indústria de sucos gera grandes volumes de cascas e bagaços. Uma das alternativas que mais se destacam são aquelas que são empregadas para o aproveitamento desses subprodutos e consiste na desidratação. Este trabalho tem como objetivo estudar a cinética de secagem em leito fixo e a aplicação de modelos matemáticos na produção de temperos naturais tipo *lemon pepper*, obtidos a partir de cascas de frutas cítricas, especificamente laranja pera e tangerina. As matérias-primas foram sanitizadas, trituradas e submetidas à secagem em estufa com circulação de ar forçado nas temperaturas de 50 °C, 60 °C e 70 °C. A cinética de secagem foi avaliada por meio da razão de umidade em função do tempo, e os dados experimentais foram ajustados aos modelos matemáticos de Page, Midilli e Henderson e Pabis. Observou-se que o aumento da temperatura reduziu significativamente o tempo de secagem, sendo os menores tempos registrados a 70 °C. O modelo de Midilli apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais, com coeficientes de determinação superiores a 98% em todos os tratamentos. As análises físico-químicas indicaram variações nos teores de umidade com valores variando entre 15,14% e 15,95% para o tempero de casca de laranja e 10,79% a 12,00% para o de tangerina., o teor de cinzas entre 3,57% e 3,83% para o tempero de casca de laranja e 3,46% a 3,62% para ele de tangerina , pH entres 4,09% e 4,10% para o de laranja e de 3,09% e 4,26% por de tangerina, acidez entre 2,09% e 3,40% o de laranja já o de tangerina variou entre 1,43% e 1,44% e lipídios entres 0,96% e 1,28% o de laranja e o de tangerina 0,92% e 1,23% em função da temperatura e do tipo de resíduos. Conclui-se que a secagem em leito fixo de cascas de frutas cítricas é uma alternativa viável para a produção de temperos naturais, aliando eficiência tecnológica e sustentabilidade ambiental.

**Palavras-chave:** Resíduos agroindustriais; análises; Tratamentos; Processamento.

## ABSTRACT

The most representative waste products generated by agro-industries are those from citrus fruit processing, since the juice industry generates large volumes of peels and pulp. One of the most prominent alternatives for utilizing these byproducts is dehydration. This work aims to study the drying kinetics in a fixed bed and the application of mathematical models in the production of natural lemon pepper-type seasonings obtained from citrus fruit peels, specifically Valencia oranges and tangerines. The raw materials were sanitized, crushed, and subjected to drying in a forced-air oven at temperatures of 50 °C, 60 °C, and 70 °C. The drying kinetics were evaluated by means of the moisture content as a function of time, and the experimental data were fitted to the Page, Midilli, and Henderson and Pabis mathematical models. It was observed that increasing the temperature significantly reduced the drying time, with the shortest times recorded at 70 °C. The Midilli model showed the best fit to the experimental data, with coefficients of determination greater than 98% in all treatments. Physicochemical analyses indicated variations in moisture content, with values ranging from 15.14% to 15.95% for the orange peel seasoning and from 10.79% to 12.00% for the tangerine seasoning; ash content between 3.57% and 3.83% for the orange peel seasoning and from 3.46% to 3.62% for the tangerine seasoning; pH between 4.09% and 4.10% for the orange seasoning and between 3.09% and 4.26% for the tangerine seasoning; acidity between 2.09% and 3.40% for the orange seasoning, while the tangerine seasoning varied between 1.43% and 1.44%; and lipids between 0.96% and 1.28% for the orange seasoning and between 0.92% and 1.23% for the tangerine seasoning, depending on temperature and type of seasoning. Waste. It is concluded that fixed-bed drying of citrus fruit peels is a viable alternative for the production of natural spices, combining technological efficiency and environmental sustainability.

**Keywords:** Agro-industrial waste; analyses; treatments; processing.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Sanitização das cascas de laranja pera ( <i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck, e tangerina ( <i>Citrus reticulata</i> ) .....	22
<b>Figura 2</b> – Cascas de laranja-pera (A) e tangerina (B) trituradas para aplicação do processo de secagem em leito fixo .....	23
<b>Figura 3</b> – Processo de secagem realizado em estufa com circulação de ar forçado (A) em três repetições (B) .....	23
<b>Figura 4</b> – Cinética e ajuste dos modelos matemáticos do T1 (tempero de casca de laranja a 70 °C) .....	28
<b>Figura 5</b> – Cinética e ajuste dos modelos matemáticos do T2 (casca de laranja a 60 °C) .....	29
<b>Figura 6</b> – Cinética e ajuste dos modelos matemáticos do T3 (casca de laranja a 50 °C) .....	30
<b>Figura 7</b> – Cinética e ajuste dos modelos matemáticos do T4 (casca de tangerina a 70 °C) .....	31
<b>Figura 8</b> – Cinética e ajuste dos modelos matemáticos do T5 (casca de tangerina a 60 °C) .....	32
<b>Figura 9</b> – Cinética e ajuste dos modelos matemáticos do T6 (casca de tangerina a 50 °C) .....	33

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Descrição do planejamento experimental 3x2, totalizando 6 tratamentos e 3 repetições, para o processo de secagem .....	24
<b>Tabela 2</b> - Modelos matemáticos aplicados na cinética de secagem de farinha das cascas de laranja pera e tangerina .....	25
<b>Tabela 3</b> – Rendimento dos temperos naturais de cascas de frutas cítricas desidratadas nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C .....	26
<b>Tabela 4</b> – Média de valores do teor de umidade em relação à temperatura dentro do tratamento e tratamento dentro do tempo .....	34
<b>Tabela 5</b> – Média de valores de cinzas de desdobramentos temperatura dentro do tratamento e tratamento dentro do tempo .....	35
<b>Tabela 6</b> – Média de valores de pH de desdobramentos temperatura dentro do tratamento e tratamento dentro do tempo .....	36
<b>Tabela 7</b> – Média de valores de acidez de desdobramentos temperatura dentro do tratamento e tratamento dentro do tempo .....	37
<b>Tabela 8</b> – Média de valores de lipídios de desdobramentos temperatura dentro do tratamento e tratamento dentro do tempo .....	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA – Análise de Variância  
DIC – Delineamento Inteiramente Casualizado  
IAL – Instituto Adolfo Lutz  
RX – Razão de Umidade  
RU – Razão de Umidade  
t – Tempo de secagem  
k – Coeficiente de secagem  
a, b, n – Constantes dos modelos matemáticos  
R<sup>2</sup> – Coeficiente de determinação  
°C – Graus Celsius  
min – Minutos  
h – Horas  
ppm – Partes por milhão

## LISTA DE SÍMBOLOS

X – Umidade do produto (base seca)

Xi – Umidade inicial (base seca)

Xe – Umidade de equilíbrio (base seca)

RX – Razão de umidade (adimensional)

t – Tempo de secagem

k – Constante de secagem

a, b, n – Constantes dos modelos matemáticos

°C – Graus Celsius

% – Porcentagem

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

± - Mais ou menos

= - Igual

> - Maior

< - Menor

+ - Mais

- - Menos

0,026), em quase todas

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.1 - Objetivo geral.....	15
2.2 - Objetivos específicos.....	15
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>16</b>
3.1 Aproveitamento de Resíduos Agroindustriais .....	16
3.2 Produção de Farinhas a Partir de Resíduos .....	17
3.3 Resíduos de frutas cítricas.....	18
3.4 Cinética de Secagem .....	19
3.4.1 - Modelos Matemáticos Aplicados à Secagem .....	20
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>22</b>
4.1 Aquisição e preparo das matérias-primas .....	22
4.2 Produção das farinhas por meio de secagem em leito fixo .....	23
4.3- Cinética de secagem .....	24
4.4 - Aplicação dos modelos matemáticos .....	24
4.5 Análises físico-químicas dos temperos.....	25
4.6 Tabulação dos dados estatísticos das análises físico-químicas.....	25
<b>5- RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>26</b>
5.1 Rendimento.....	26
5.2 Cinética de secagem.....	26
5.3 Verificação do ajuste dos dados aos modelos matemáticos .....	27
5.4 - Caracterização dos parâmetros físico-químicos.....	34
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>41</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>46</b>
<b>Apêndice A – Análise estatística dos resultados da caracterização físico-química .....</b>	<b>46</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O forte crescimento da agroindústria vem contribuindo para o aumento da geração de resíduos sólidos gerados a partir do processamento de frutas e vegetais, os quais, quando descartados de forma irregular, gerando impactos ambientais relevantes, como poluição do solo, da água e emissão de gases provenientes da decomposição orgânica (Oliveira; Oliveira, 2021; Silva *et al.*, 2023). Os resíduos gerados pelas agroindústrias de maior representatividade são aqueles provenientes do processamento de frutas cítricas, uma vez que a indústria de sucos gera grandes volumes de cascas e bagaços (Silva *et al.*, 2014; Barbosa *et al.*, 2018).

Uma das alternativas que mais se destacam são aquelas que são empregadas para o aproveitamento desses subprodutos e consiste na desidratação, processo que visa à remoção parcial da água presente no material, reduzindo a atividade de água, prolongando a vida útil e permitindo a produção de farinhas e temperos naturais (Vieira, 2006; Silva *et al.*, 2020).

Assim, a secagem em leito fixo torna-se uma técnica em que é utilizada para desidratar produtos agrícolas, por proporcionar um maior controle e eficiência na remoção de umidade e uniformidade do processo (Gonçalves, 2025). Assim, a aplicação de modelos matemáticos tem sido bastante utilizada para descrever a secagem e possibilitando prever o comportamento da umidade, (Medeiros; Santos, 2022; Santos; Di Domenico, 2023).

Diante desse cenário, o aproveitamento de cascas de frutas cítricas por meio da secagem em leito fixo e da modelagem matemática do processo configura-se como uma alternativa sustentável e tecnologicamente viável, promovendo a valorização de resíduos agroindustriais e a obtenção de produtos naturais de maior valor agregado. Assim, este trabalho propôs o estudo da cinética de secagem de cascas de laranja pera e tangerina, bem como a aplicação de modelos matemáticos para descrever o comportamento do processo, visando à produção de temperos naturais tipo *lemon pepper* e contribuindo para práticas sustentáveis no setor agroindustrial.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 - Objetivo geral**

O objetivo deste trabalho foi estudar a cinética e aplicar modelos matemáticos na secagem em leito fixo de temperos naturais tipo *lemon pepper* obtidos a partir do cascas de frutas cítricas.

### **2.2 - Objetivos específicos**

- Realizar o estudo da cinética de secagem;
- Verificar o ajuste dos dados por meio de aplicação de modelagem matemática;
- Caracterizar físico-quimicamente os temperos produzidos a partir das cascas de frutas cítricas.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 *Aproveitamento de Resíduos Agroindustriais*

Os resíduos agroindustriais são materiais produzidos a partir de algumas etapas de processamento de matérias-primas agrícolas e agropecuárias. Silvério; Ribeiro; Oliveira (2025) afirma que:

“A safra de laranjas em 2025/26 foi estimada hoje em 314,6 milhões de caixas, alta de 36,2% em comparação com a temporada passada, segundo o Fundecitrus. A estimativa da safra nessa magnitude é justificada pela entrada em produção de 12,7 milhões de árvores de plantios recentes, além do elevado número de frutos por árvore”.

como cascas, bagaços, sementes, folhas e talos, que são descartados de forma inadequada (Oliveira; Oliveira, 2021). De acordo com as autoras, o crescimento da agroindústria aumenta a geração desses resíduos, tornando necessária a medidas de práticas que façam reaproveitamento, contribuindo para a redução de impactos ambientais e possibilitando o retorno desses materiais ao ciclo produtivo.

Segundo Pelizer *et al.* (2007) “os resíduos agroindustriais correspondem aos materiais gerados durante o processamento de produtos agrícolas...”

Segundo Vaz Júnior (2020) a prática de aproveitamento de resíduos das agroindústrias, representa uma alternativa sustentável, pois transforma resíduos em matérias-primas renováveis para a produção de bioprodutos, bioenergia, biocombustíveis entre outros materiais. O mesmo autor ressalta que a biomassa residual oriunda da agroindústria possui elevado potencial econômico e ambiental, uma vez que sua reutilização contribui para a redução da pressão sobre recursos naturais, além de minimizar problemas relacionados ao acúmulo e à destinação inadequada de resíduos sólidos.

Grande parte dos resíduos produzidos por agroindústrias, apresentam alto valor nutricional, desde fibras, minerais entre outros, possibilitando à aplicação em diferentes setores industriais. Para os autores, o reaproveitamento desses resíduos pode resultar na criação de subprodutos com propriedades funcionais e potencial benéfico à saúde humana, além de reduzir os danos ambientais associados ao descarte irregular desses materiais (Silva *et al.*, 2023).

Junior; Nunes e Maraschin (2024) afirmam que o aproveitamento desses resíduos agroindustriais vem firmando-se como uma estratégia e que, a utilização desses resíduos como matéria-prima não apenas reduz custos produtivos, mas contribui para processos industriais mais sustentáveis.

O reaproveitamento de resíduos agroindustriais também contribui para a redução de problemas ambientais associados ao descarte irregular, como a contaminação do solo, lençóis freáticos e do ar. Quando esses resíduos não são direcionados a processos de reaproveitamento ou tratamento adequado, podem gerar impactos negativos à saúde humana e animal (Silva *et al.* 2023).

### **3.2 Produção de Farinhas a Partir de Resíduos**

Vieira (2006) afirma que a produção de farinhas que são criadas a partir de resíduos agroindustriais vem firmando-se como uma alternativa para a reutilização de subprodutos gerados com o processamento de alimentos, principalmente os de origem vegetal. Menezes Filho; Castro (2020) destaca que as indústrias que processam frutas e seus sucos geram diariamente grande volume de resíduos, que na maioria das vezes não são reaproveitados e de forma inadequada são descartados, gerando impacto ambiental negativo.

“A indústria de processamento de frutas gera um grande volume de resíduos sólidos, que muitas vezes, são descartados de maneira inadequada.” (Vieira *et al.*, 2019., p. 1).

Silva *et al.* (2020) ressaltam que todo ciclo para criação de farinhas a partir de resíduos, envolvem etapas de higienização, secagem e moagem, onde a secagem, principal é um dos fatores determinantes para a qualidade do produto. Raia (2024) afirma que, farinhas produzidas através de resíduos agroindustriais, vem apresentando cada vez mais elevado potencial funcional devido as fibras alimentares, vitaminas, minerais e compostos fenólicos, o que melhora seus valores nutricionais e contribui para a saúde intestinal, saciedade da fome e favorecendo a práticas de sustentabilidade.

Com o reaproveitamento destes resíduos não se limita apenas a criação de farinhas, também são criados subprodutos de origem animal, tais como resíduos do processamento de pescado, onde apresentam um elevado teor proteico (Abreu; Ribeiro; Araújo, 2012)

O desenvolvimento dessas farinhas é fundamental para garantir sua aplicação segura e eficiente na alimentação humana, além de proporcionar qualidade química, microbiológica e toxicológica. (Vieira, 2006)

### **3.3 Resíduos de frutas cítricas**

Conhecido como citricultura, ramo dedicado ao cultivo de frutas cítricas, vem tornando-se relevante na economia do Brasil, principalmente pela expressiva produção de Laranja e Limão destinados a indústria do Suco. Silva *et al.* (2014), fala que 50% do total das frutas cítricas processadas transforma-se em resíduos, composto por cascas, bagaços e sementes. Quando descartados de forma inadequada, representam um desafio ambiental, porém apresentam um grande potencial para reaproveitamento.

“Como consequência da produção de suco, milhões de toneladas de resíduos são geradas, representando aproximadamente 45% da massa total da fruta.” (Barbosa *et al.*, 2018).

Nogueira (2025) afirma que os resíduos gerados a partir do processamento de frutas cítricas são fontes elevadas de fibras alimentares, óleos essenciais e outros compostos bioativos, mas que grandes partes destes resíduos ainda são destinados a alimentação animal. Silva *et al.* (2014) evidenciam que cascas e bagaços de frutas cítricas possuem grandes quantidades de minerais essenciais, como cálcio, ferro, magnésio, além de fibras solúveis e insolúveis. Resíduos de laranja tem se destacado como fontes promissoras de enzimas e compostos bioativos, e que apresentam atividades antioxidantes importantes.

“Em estudos com frutos cítricos, verificou-se que as cascas apresentam elevados teores de minerais, como potássio, cálcio e magnésio, além de compostos fenólicos associados a propriedades funcionais.” (Barros *et al.*, 2012).

Algumas pesquisas têm demonstrado a presença de compostos como a hesperidina em altas concentrações nos resíduos, além de atividades biológicas associadas à redução de radicais livres, o que reforça o potencial biotecnológico desses subprodutos para aplicações nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética (Pereira, 2017).

Victor *et al.* (2020) destacam que as cascas de frutas apresentam compostos e propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e neuroprotetoras, sendo amplamente utilizados na indústria farmacêutica e de alimentos funcionais. Além disso, o

aproveitamento dessas biomassas contribui para a redução da geração de resíduos orgânicos e das emissões associadas à sua decomposição inadequada. De acordo com Mattos *et al.* (2010), o manejo destes resíduos cítricos deve estar associado a boas práticas agrícolas, para um controle sanitário e ambiental dos produtos gerados, seja na produção de insumos industriais, biofertilizantes ou ingredientes alimentícios.

### **3.4 Cinética de Secagem**

A cinética de secagem compreende o comportamento de remoção de umidade de materiais agrícolas quando são submetidos a diversas temperaturas, o que permite avaliar o tempo para atingir o teor de água de equilíbrio do produto (Ferreira, 2021).

Segundo Araújo *et al.* (2021), a cinética de secagem nos mostra informações sobre os fenômenos de transferência de calor e massa entre o produto e o ar aquecido, sendo usualmente representada por modelos matemáticos que descrevem a razão de umidade ao longo do tempo.

“A cinética de secagem fornece informações sobre o comportamento da transferência de calor e massa entre o produto e o agente de secagem, normalmente o ar, e pode ser descrita por modelos matemáticos, que possibilitam a obtenção de estimativas do tempo necessário para redução do teor de água do produto, em diferentes condições de secagem” (Araújo *et al.*, 2021)

Sousa *et al.*, (1996) mostra que a análise da cinética de secagem permite avaliar o efeito da espessura da camada do material. Este fator influencia a velocidade de remoção da umidade, pois as camadas mais finas apresentam secagem mais rápida, e a elevação da temperatura promove um aumento do parâmetro cinético dos modelos matemáticos utilizados.

Em estudos sobre secagem de mix frutas, Araújo *et al.* (2021) ressalta que “o aumento da temperatura do ar de secagem promoveu redução no tempo necessário para a remoção de água das polpas combinadas de noni com umbu”

A cinética de secagem apresenta comportamento de umidade com o passar do tempo, possibilitando a determinação da difusividade efetiva. Este parâmetro apresenta uma facilidade no transporte de água do interior do material para seu eixo externo. No estudo com folhas de *Phormium tenax*, Fogaça *et al.*, (2021) verificaram

que o aumento da temperatura elevou os valores de difusidade e reduziu o tempo necessário para atingir a umidade de equilíbrio.

Segundo Silva *et al.* (2015), a modelagem matemática da cinética de secagem é de grande importância no que diz respeito a otimização de processos industriais, visto que, permite prever o comportamento de diferentes materiais e condições operacionais. Seu estudo mostrou que o aumento da temperatura reduziu de forma drástica o tempo de secagem e elevou o coeficiente de difusão efetivo tal comportamento é descrito pela equação de Arrhenius, que relaciona a difusidade com a energia de ativação dos processos.

### **3.4.1 - Modelos Matemáticos Aplicados à Secagem**

Segundo Santos *et al.* (2023), os modelos matemáticos desempenham papel fundamental na descrição da cinética de secagem, pois permitem representar quantitativamente a variação da umidade em função do tempo e das condições operacionais do processo.

Segundo Costa *et al.* (2015),

“(…) Durante a secagem dos produtos agrícolas, a representação matemática do processo de secagem de diversos produtos agrícolas vem, já há algum tempo, sendo estudada e utilizada na tentativa de prever os fenômenos que ocorrem durante este processo”

Na secagem solar de abacaxi, os autores destacam que a modelagem auxilia na compreensão do comportamento do produto frente às variáveis ambientais, contribuindo para a escolha de equações capazes de prever com maior precisão a remoção de água durante o processo.

De acordo com Medeiros e Santos (2021), diversos modelos semiempíricos são amplamente empregados para representar curvas de secagem de frutas, entre eles os modelos de Midilli, Dois Termos, Henderson e Pabis, Logarítmico e Page. Conforme Silva Filho (2016), “os modelos de Henderson e Pabis, Logarítmico, Page e Exponencial de dois termos foram os que melhor se ajustaram aos dados experimentais”. Os autores destacam que modelos como Page, Midilli, Henderson e Pabis e Wang e Singh são amplamente difundidos na literatura científica por apresentarem bom desempenho na representação do fenômeno de transferência de massa durante a secagem de grãos e materiais agrícolas.

Segundo Macedo *et al.* (2022), os modelos matemáticos aplicados à secagem podem ser classificados em teóricos, empíricos e semiempíricos, sendo estes últimos os mais utilizados em produtos agrícolas devido à simplicidade de aplicação e boa representatividade dos dados experimentais. No estudo da secagem da forragem de maniçoba, foram testados diversos modelos, como Henderson e Pabis, Wang e Singh, Page e Midilli, os quais apresentaram elevados valores de coeficiente de determinação, indicando eficiência na descrição da cinética de secagem em estufa de circulação de ar.

Conforme Corrêa *et al.* (2007), a modelagem matemática em camadas delgadas é essencial para a simulação de processos de secagem de produtos vegetais, pois relaciona a razão de umidade ao tempo sob diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar.

Segundo Albuquerque *et al.* (2018), na secagem da borra de café em estufa com circulação de ar, os modelos Logarítmico, Dois Termos e Lewis foram ajustados aos dados experimentais, sendo observado que o modelo Logarítmico apresentou o melhor desempenho estatístico, com coeficientes de determinação superiores a 99%. Esse resultado evidencia a importância da aplicação de modelos matemáticos para identificar equações que representem com precisão o comportamento da cinética de secagem de resíduos agroindustriais.

Dessa forma, observa-se que a aplicação de modelos matemáticos é indispensável para a análise da cinética de secagem em sistemas de leito fixo, como no caso dos temperos naturais produzidos a partir de cascas de frutas cítricas. A utilização de modelos como Midilli, Page, Henderson e Pabis, Wang e Singh e Logarítmico possibilita descrever de forma eficiente a remoção de umidade, fornecendo subsídios técnicos para a otimização do processo, melhoria da qualidade do produto final e maior aproveitamento de resíduos agroindustriais.

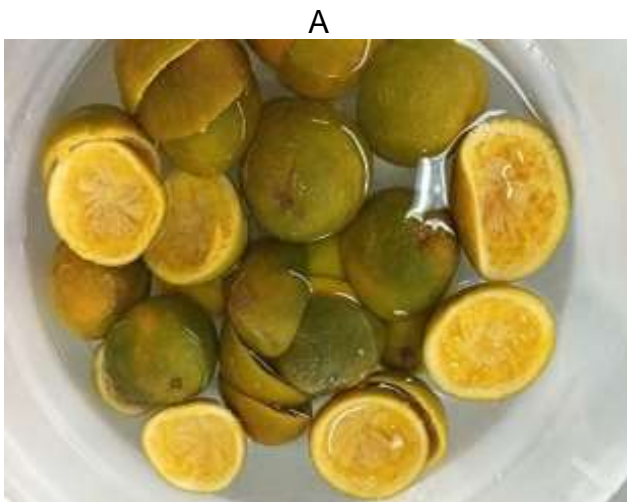
## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Aquisição e preparo das matérias-primas

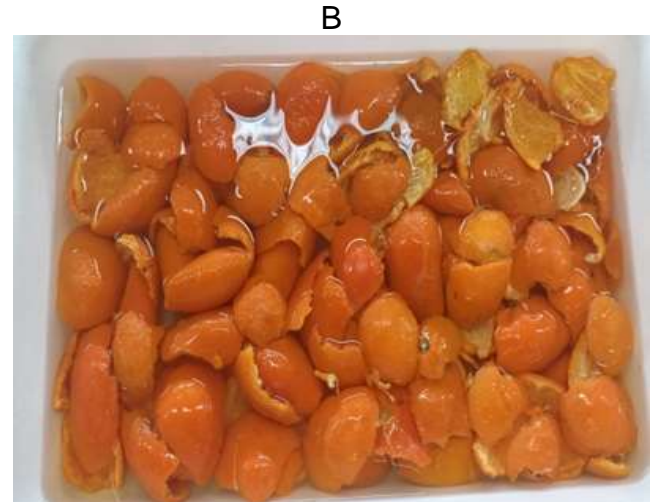
As cascas de laranja pera e tangerina foram obtidas das frutas utilizadas em aulas práticas realizadas no laboratório de processamento de produtos de origem vegetal, as quais foram coletadas nos dias da preparação, sanitizadas, trituradas e armazenadas em sacos plásticos sob congelamento.

As cascas das frutas foram colocadas em solução clorada a 200 ppm durante 15 minutos (Figura 1A e 1B), enxaguadas em água corrente e colocadas em peneiras para drenagem do excesso de água. Em seguida foram trituradas (Figura 2A e 2B) e, posteriormente, congeladas até o momento da secagem.

**Figura 1** – Sanitização das cascas de laranja pera (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck, e tangerina (*Citrus reticulata*)



Fonte: Autoria própria.



Fonte: Autoria própria.

**Figura 2** – Cascas de laranja-pera (A) e tangerina (B) trituradas para aplicação do processo de secagem em leito fixo

A



Fonte: Autoria própria.

B



Fonte: Autoria própria.

#### **4.2 Produção das farinhas por meio de secagem em leito fixo**

O processo de secagem em leito fixo foi realizado em estufa com circulação de ar forçado em três repetições, como pode ser visualizado na Figura 3.

**Figura 3** – Processo de secagem realizado em estufa com circulação de ar forçado (A) em três repetições (B)

A



Fonte: Autoria própria.

B



Fonte: Autoria própria.

Para tanto, foi utilizado Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), apresentado na Tabela 1. Os tratamentos consistiram em três temperaturas (50, 60 e 70 °C) e duas cascas de frutas (laranja pera e tangerina).

**Tabela 1** – Descrição do planejamento experimental 3x2, totalizando 6 tratamentos e 3 repetições, para o processo de secagem

Tratamentos	Variáveis	
	Temperatura (°C)	Casca da fruta
1	+ 1 (70)	-1 (laranja pera)
2	0 (60)	-1 (laranja pera)
3	-1 (50)	-1 (laranja pera)
4	+ 1 (70)	+1 (tangerina)
5	0 (60)	+1 (tangerina)
6	-1 (50)	+1 (tangerina)

#### 4.3- Cinética de secagem

As razões de água (RX) e as curvas de razão de água em função do tempo de secagem foram calculadas e construídas a partir dos dados de perda de massa das amostras durante as secagens, em intervalos iniciais de 5 minutos com duração de 1 hora; 10 minutos durante 2 horas, de 15 minutos durante 2 horas, 30 minutos durante 2 horas e de hora em hora, sendo o processo interrompido quando atingido o ponto equilíbrio. Os teores de água foram determinados de acordo com a Equação 1.

(Eq. 1)

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e}$$

Em que,

RX: razão de água do produto (adimensional);

X: umidade do produto; (base seca)

Xi: umidade inicial do produto, e; (base seca)

Xe: umidade de equilíbrio do produto (base seca).

#### 4.4 - Aplicação dos modelos matemáticos

Foram aplicados os modelos matemáticos modelos de Page, Midilli, Henderson e Pabis (Tabela 2). para verificação do ajuste dos dados obtidos do processo de secagem. Para tanto, foi usado o software STATISTIC 7.0® por meio de análise de regressão não linear.

**Tabela 2** - Modelos matemáticos aplicados na cinética de secagem de farinha das cascas de laranja pera e tangerina

<b>Modelo</b>	<b>Equação</b>
Page	$RX = \exp(-k \cdot t^n)$
Midilli	$RX = a \exp(-kt^n) + bt$
Henderson e Pabis	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t)$

Fonte: Doymaz (2004); Mohapatra e Rao (2005).

Em que,

*RX* ou *RU*: é razão de umidade do produto, variável adimensional;

*t*: é o tempo de secagem em minutos;

*k*: é um coeficiente de secagem;

*a*, *b* e *n*: são constantes dos modelos

#### **4.5 Análises físico-químicas dos temperos**

As análises foram realizadas no laboratório de físico-química do IFSERTÃOPE (Campus Salgueiro), a caracterização dos temperos foi realizada quanto ao pH, acidez titulável, umidade e cinzas utilizando os métodos descritos pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008), enquanto que para a determinação dos lipídios foi utilizado o método descrito por Folch, Lees, Sloane Stanley (1957). As análises foram realizadas em triplicatas.

#### **4.6 Tabulação dos dados estatísticos das análises físico-químicas**

Para avaliação dos dados foi utilizado o *Sisvar* versão 5.6 (Apêndice A), a partir da análise de variância - Anova, com Delineamento Inteiramente Casualizado, sendo utilizado o Teste de Tukey para comparação das médias.

## 5- RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 *Rendimento*

A verificação do rendimento é importante para estimar a quantidade de matéria-prima para a produção da quantidade de um produto, favorecendo um melhor dimensionamento da linha de produtividade. Na elaboração dos temperos naturais a partir de cascas das frutas cítricas foram observados maiores valores de rendimento para os tratamentos com a laranja pera, nas três temperaturas estudadas (50, 60 e 70 °C), com variação de 19,8% a 22,4%, conforme pode ser visualizado na Tabela 3.

**Tabela 3** – Rendimento dos temperos naturais de cascas de frutas cítricas desidratadas nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C

<b>Tratamento</b>	<b>Rendimento (%)</b>
T1 (laranja pera a 70 °C)	19,8
T2 (laranja pera a 60 °C)	20,5
T3 (laranja pera a 50 °C)	22,4
T4 (tangerina a 70 °C)	17,8
T5 (tangerina a 60 °C)	17,3
T6 (tangerina a 50 °C)	16,2

### 5.2 *Cinética de secagem*

A respeito da cinética de secagem, foi observado comportamentos semelhantes para as farinhas da casca de laranja e a da tangerina, sendo constatado taxa de secagem constante no início (remoção da água superficial), com decréscimo linear e, posteriormente, taxa decrescente e de desempenho não linear.

Em relação aos tempos de secagem (Figura 4, 5, 6, 7, 8 e 9), foram observados maiores tempos para o T6 (casca de tangerina a 50 °C) e o T3 (casca de laranja a 50 °C), com 10 horas (600 min.) e 9,5 horas (570 min.), respectivamente. Isso se deve por ser a menor temperatura utilizada. Com o aumento de 10 °C na temperatura, foi verificado que houve redução considerável no tempo de desidratação, reduzindo entre 2,5 a 2 horas de elaboração do produto, representando vantagem na elevação da temperatura, resultando em diminuição da duração do processo.

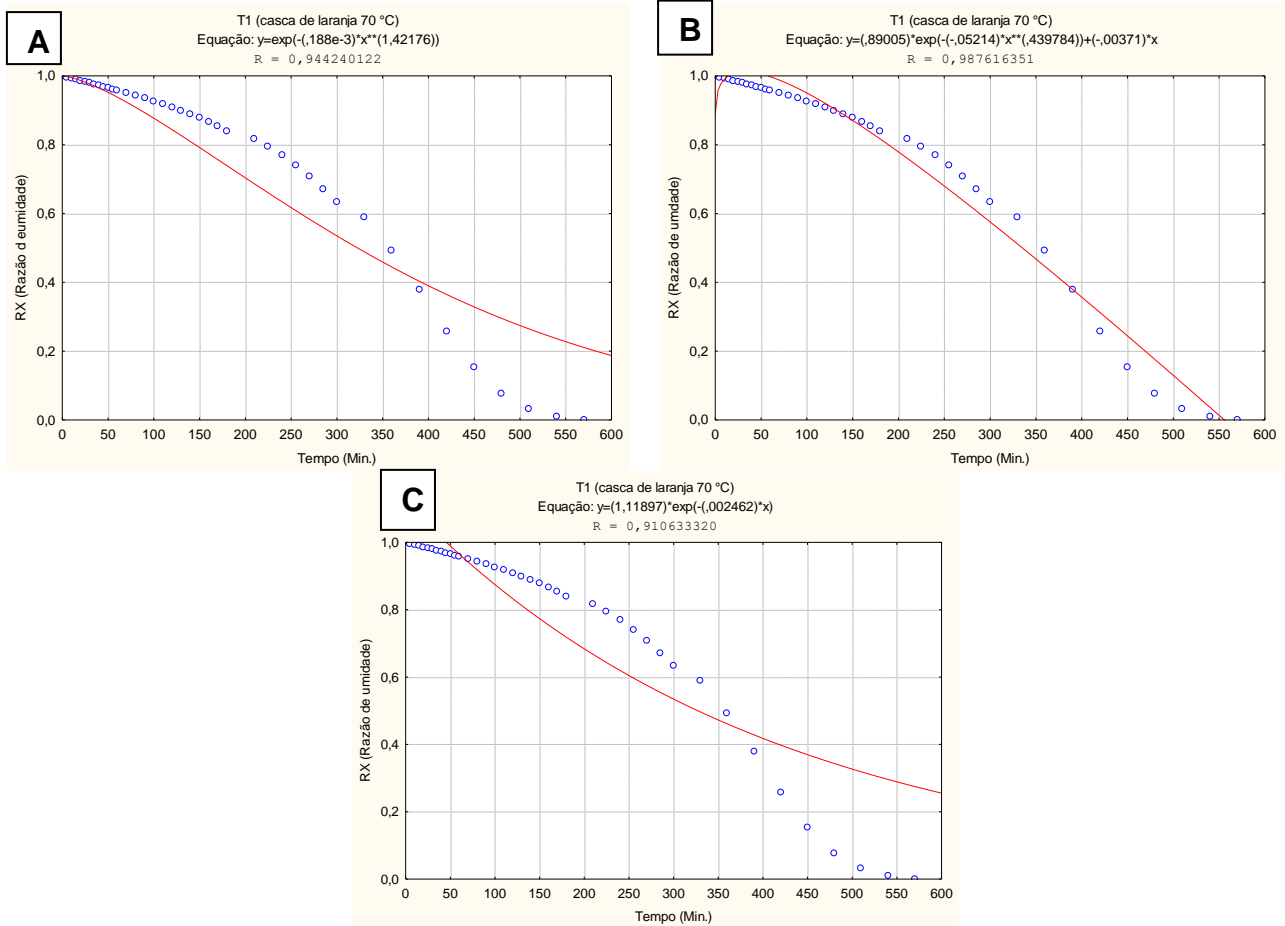
Quando utilizado a temperatura de 70 °C, pode-se destacar a redução de mais de 50% do tempo de produção em relação à temperatura de 50 °C, com duração do processo de 4,75 horas (285 min.) para o T6 (casca de tangerina a 70 °C) e, 4,5 horas (270 min.) para o T3 (casca de laranja a 70 °C). Se tornando o melhor custo-benefício e redução de custos com gasto energético, no entanto é importante avaliar mais especificamente o efeito da elevação da temperatura em relação às características dos temperos.

### ***5.3 Verificação do ajuste dos dados aos modelos matemáticos***

O ajuste aos modelos matemáticos são importantes parâmetros a serem estudados para o aprimoramento do processo de secagem. Este ajuste é verificado pela aproximação dos dados experimentais (pontos azuis) com os dados estimados pelo modelo (reta em vermelho). Quanto mais próximos os pontos experimentais estiverem da reta, mais adequados ou ajustados estão os dados coletados no processo de secagem.

Em relação ao T1, foi observado melhor ajuste dos dados ao modelo de Midilli, com coeficiente de variação ( $R^2$ ) de 98,8%, como mostra a Figura 4B. Os demais tratamentos obtiveram valores de  $R^2$  de 94,4% (Page) e 91,1% (Henderson e Pabis), como pode ser observado nas figuras 4A e 4B.

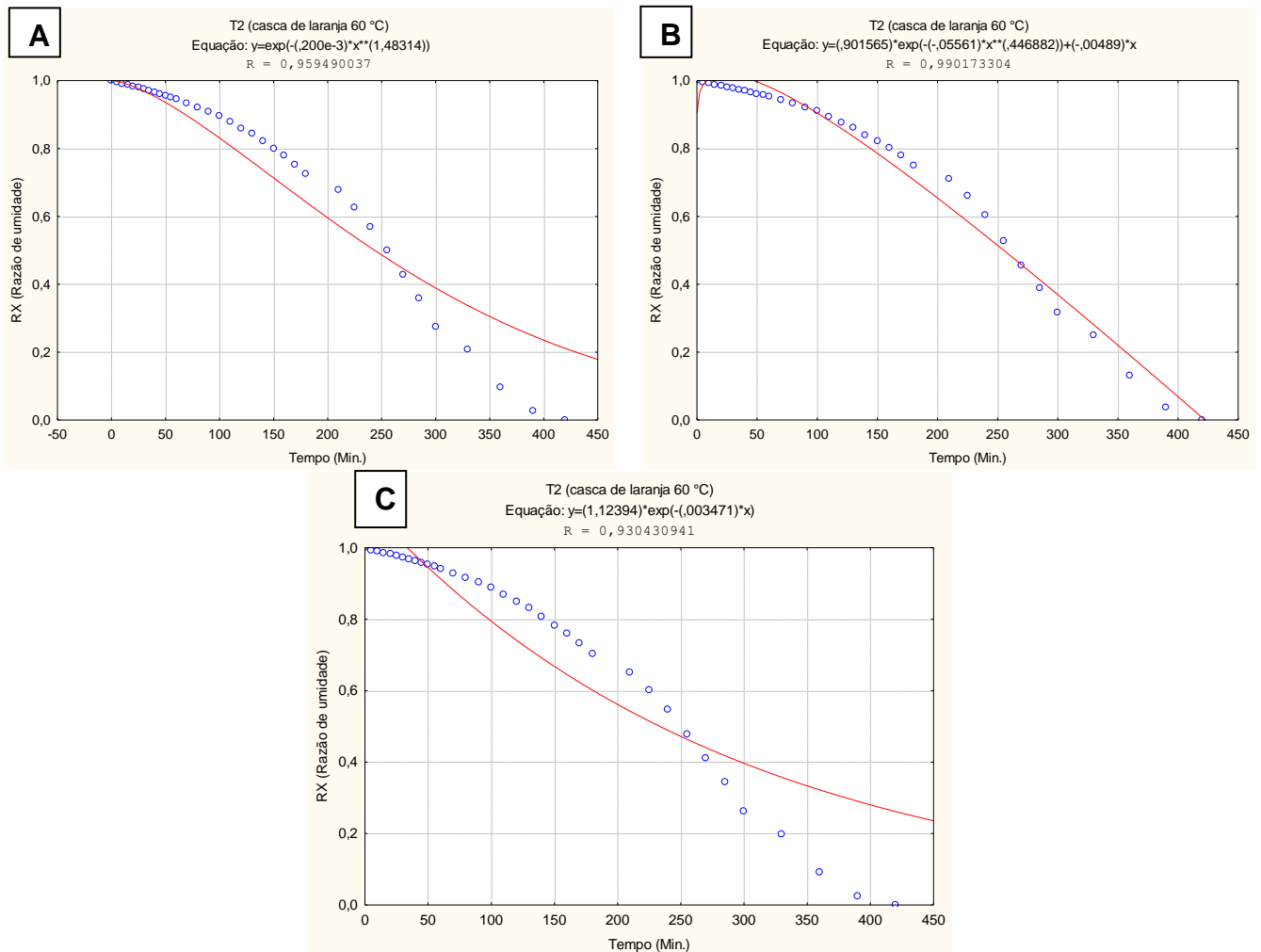
**Tabela 4** – Média de valores do teor de umidade em relação à temperatura dentro do tratamento e tratamento dentro do tempo



\* Figura a (modelagem de Page); Figura b (modelagem de Midilli); Figura c (modelagem Henderson e Pabis).

No tocante ao ajuste do tratamento T2, foi verificado  $R^2$  de 99% para modelo matemático de Midilli (Figura 5B), enquanto que para as outras equações aplicadas, obteve-se os seguintes resultados:  $R^2=96\%$  (Modelo de Page) e  $R^2=93,4\%$  (Modelo de Henderson e Pabis), como pode ser visualizado nas Figuras 5A e 5B, respectivamente.

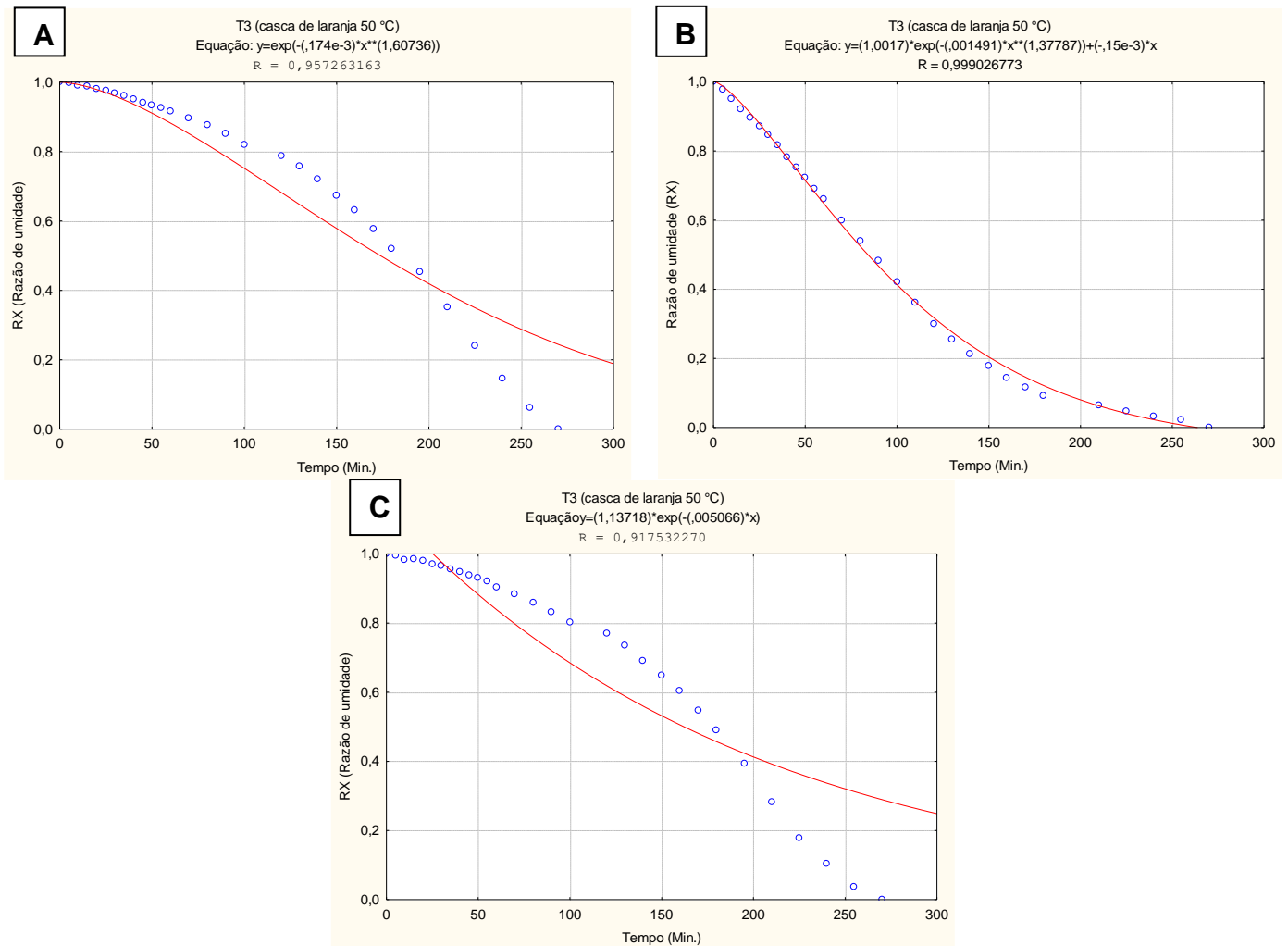
**Figura 5 – Cinética e ajuste dos modelos matemáticos do T2 (casca de laranja a 60 °C)**



\* Figura a (modelagem de Page); Figura b (modelagem de Midilli); Figura c (modelagem de Henderson e Pabis).

A respeito da aplicação dos modelos matemáticos ao T3, foi identificado maior ajuste dos dados quando utilizado a equação de Midilli, com  $R^2=99,9\%$  de adequação (Figura 6B), onde pode ser observado que os pontos experimentais se encontram mais proximidade aos pontos preditos pelos modelos. Para o modelo de Page foi encontrado  $R^2=95,7\%$  e para a equação de Henderson e Pabis  $R^2=91,8\%$  (Figura 6A e 6B, respectivamente).

**Figura 6 – Cinética e ajuste dos modelos matemáticos do T3 (casca de laranja a 50 °C)**

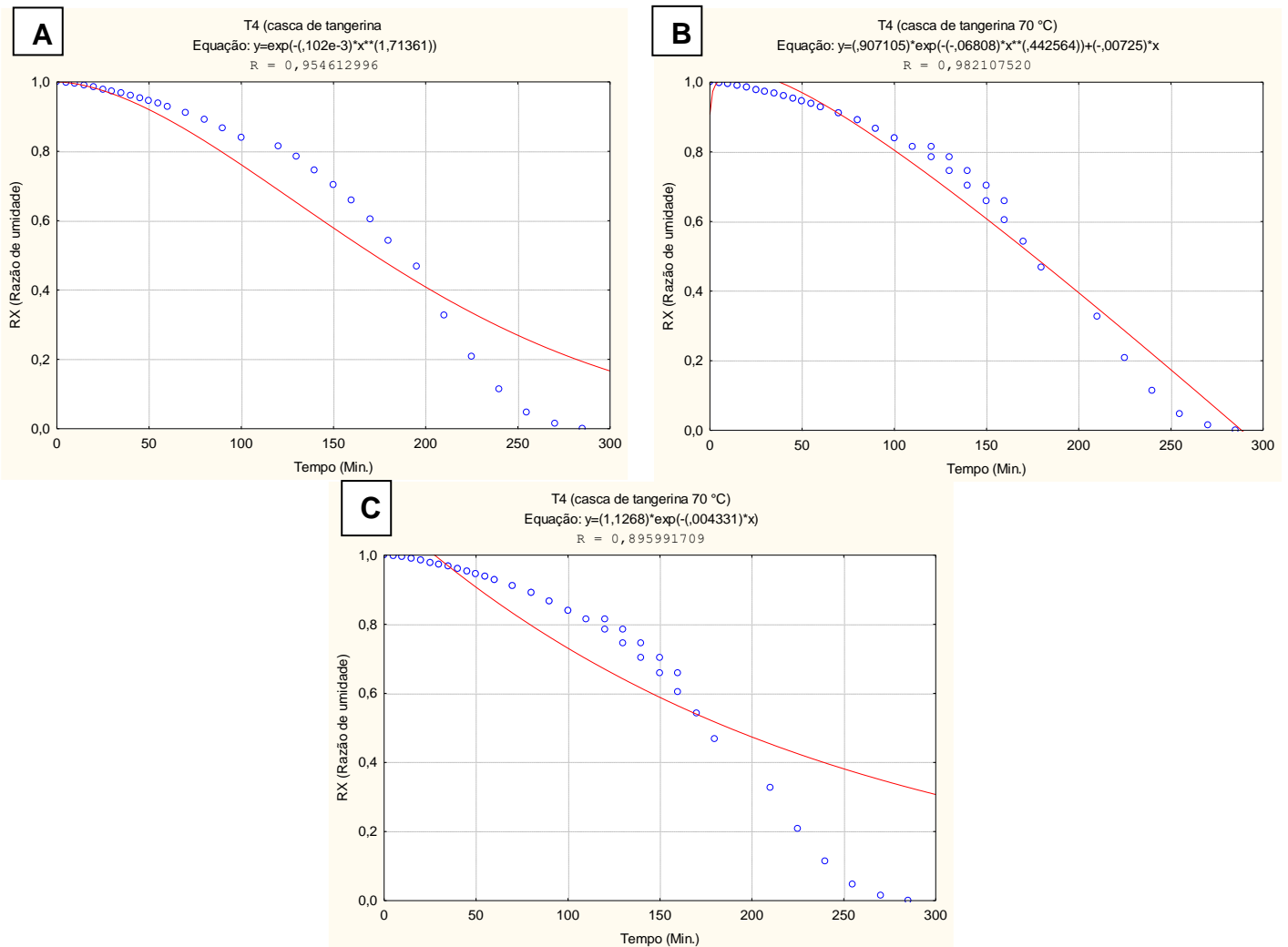


\* Figura a (modelagem de Page); Figura b (modelagem de Midilli); Figura c (modelagem de Henderson e Pabis).

Para a verificação do ajuste dos dados do tratamento T4 aos modelos matemáticos propostos, foi identificada adequação relevante dos dados experimentais com os dados estimados para a equação de Midilli, com  $R^2$  entre 98,2% (Figura 7B).

Para as modelagens de Page foi constatado ajuste de 95,5%, já em relação à equação de Henderson e Pabis, foi registrado  $R^2 = 98,6\%$ , como mostram as figuras 7A e 7B, respectivamente.

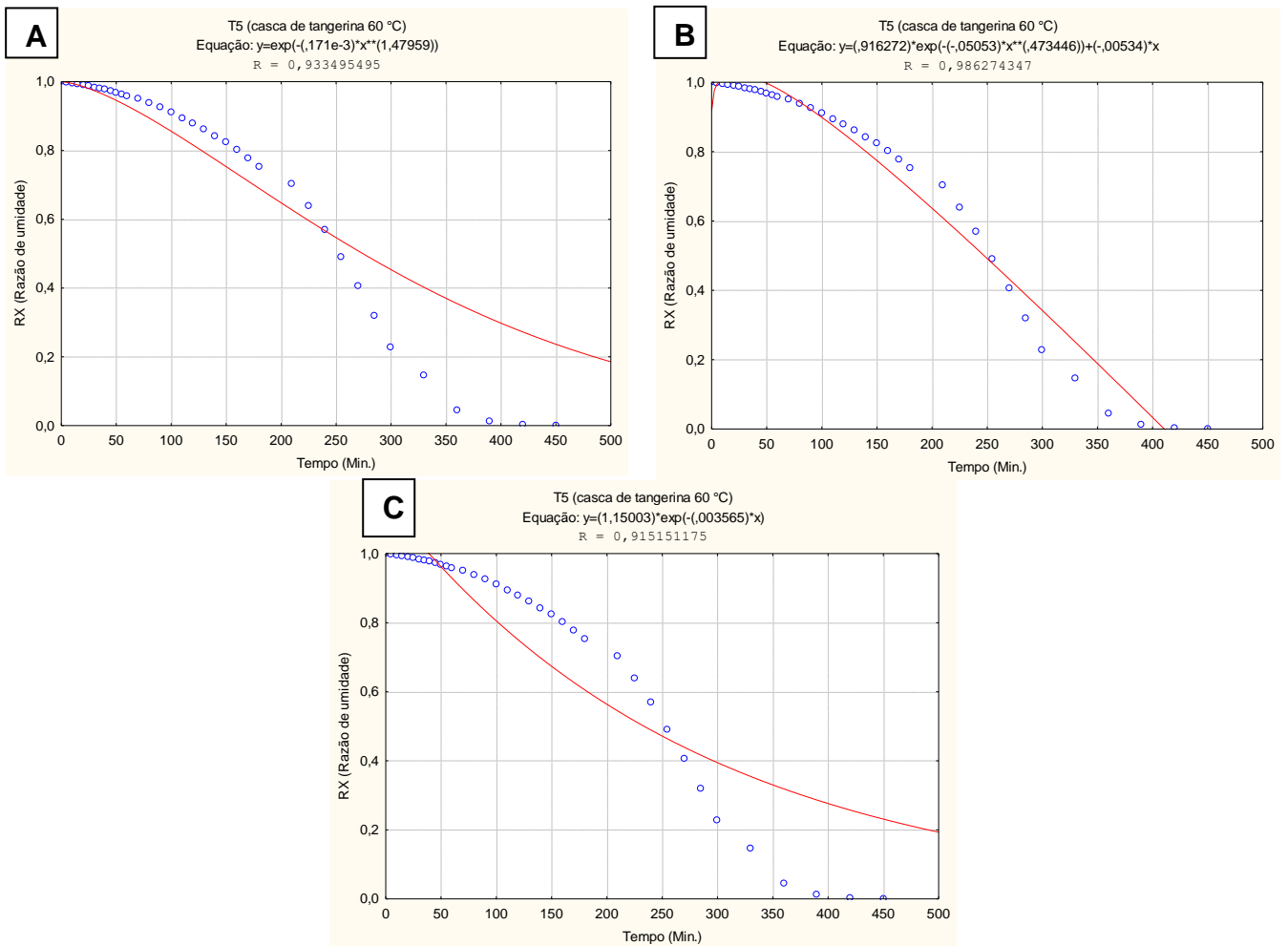
**Figura 7 – Cinética e ajuste dos modelos matemáticos do T4 (casca de tangerina a 70 °C)**



\* Figura a (modelagem de Page); Figura b (modelagem de Midilli); Figura c (modelagem de Henderson e Pabis).

A adequação dos dados pode ser observada pelo comportamento dos pontos experimentais e os dados preditos pelas equações estudadas. No emprego das modelagens matemáticas para verificação do ajuste dos dados do T5, foi constatado melhor adequação para a equação de Midilli, com  $R^2=98,6\%$  (Figura 8B). Vale destacar que a equação de Page também obteve ajuste de  $R^2=93,4\%$  (Figura 8A), assim como a modelagem de Henderson e Pabis, com  $R^2=91,5\%$  de adequação (Figura 8C).

**Figura 8 – Cinética e ajuste dos modelos matemáticos do T5 (casca de tangerina a 60 °C)**



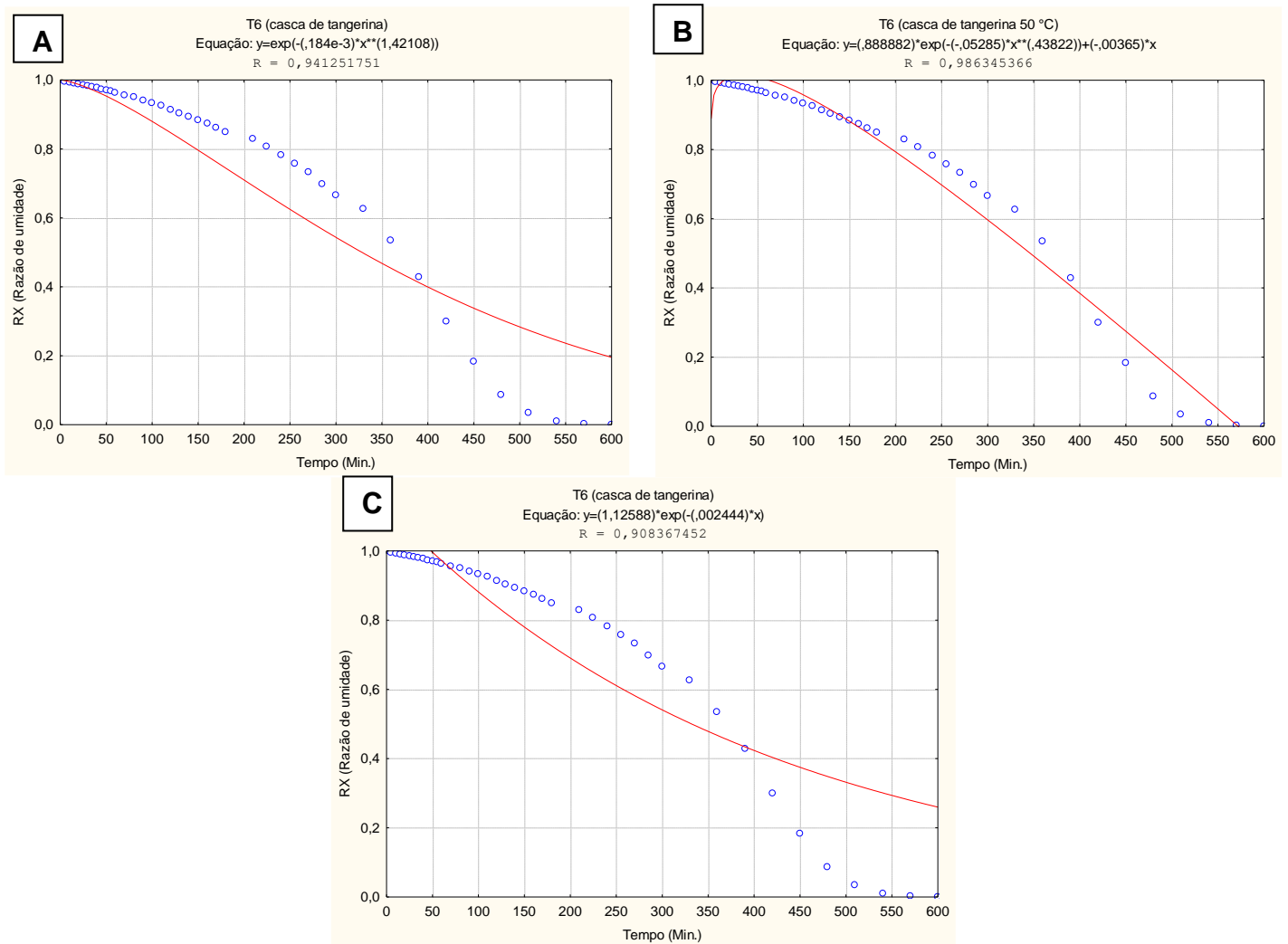
\* Figura a (modelagem de Page); Figura b (modelagem de Midilli); Figura c (modelagem Henderson e Pabis).

A cerca do estudo do ajuste dos dados experimentais do T6 às equações propostas no presente trabalho, foi registrado melhor adequação para o modelo matemático de Midilli, com  $R^2=98,6\%$  (Figura 9B). Já para a equação de Page e Henderson e Pabis, foram observados coeficiente de variação,  $R^2=94,1\%$  e  $R^2=90,8\%$ , respectivamente (Figura 9A e 9C).

De forma geral, os dados experimentais de secagem se ajustaram mais ao modelo matemático de Midilli, com  $R^2$  entre 98,2% e 99,9%. No entanto, ressalta-se que os dados do trabalho também apresentaram ajustes pertinentes às equações de Page e Henderson e Pabis.

Resende (2011) encontrou resultados semelhantes quando aplicou as mesmas equações avaliadas neste estudo, constatando a equação de Midilli com melhores ajustes aos dados. Já Araújo *et al.* (2021) o modelo de Page apresentou o maior valor de coeficiente de determinação ajustado ( $>0,99$ ) e o menor valor do desvio quadrático médio ( $<0,026$ ), em quase todas as temperaturas, ou seja, melhor ajustes dos dados a modelagem matemática.

**Figura 9 – Cinética e ajuste dos modelos matemáticos do T6 (casca de tangerina a 50 °C)**



\* Figura a (modelagem de Page); figura b (modelagem de Midilli); figura c (modelagem Henderson e Pabis).

#### 5.4 - Caracterização dos parâmetros físico-químicos

Os resultados do teor de umidade do tempero obtido da casca de laranja se mostraram superiores aos de casca de tangerina, com variação entre 15,14% a 15,59%, apresentando diferença significativa entre os temperos. No entanto, não houve influência significativa das temperaturas estudadas, conforme Tabela 4.

**Tabela 4** – Média de valores do teor de umidade em relação à temperatura dentro do tratamento e tratamento dentro do tempo

Tempero da casca de frutas	Temperaturas (°C)		
	50	60	70
Laranja	15,14 ± 0,33 <sup>Ab</sup>	15,59 ± 1,09 <sup>Ab</sup>	15,95 ± 0,28 <sup>Ab</sup>
Tangerina	11,81 ± 1,43 <sup>Aa</sup>	10,79 ± 1,69 <sup>Aa</sup>	12,00 ± 0,29 <sup>Aa</sup>

\* As médias seguidas de letras maiúsculas iguais na mesma linha não apresentam diferença estatística entre si.

\*\* As médias seguidas de letras minúsculas iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística entre si.

As variações de temperatura não exerceram influência significativa sobre o teor de umidade das cascas de fruta, uma vez que não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre as temperaturas avaliadas.

Segundo Oliveira, Afonso e Costa (2011), a umidade, entre outros fatores, favorece a ação de micro-organismos deteriorantes nos alimentos. Nesse sentido, a desidratação apresenta-se como uma alternativa eficaz, pois reduz a água disponível e minimiza a atividade desses agentes deteriorantes. Os valores de teor de umidade variaram de 15,14 a 15,95% (tempero elaborado a partir da casca de laranja) e de 10,79 a 12,00% (tempero de casca de tangerina), evidenciando que ambos os produtos apresentaram redução de umidade característica do processo de secagem. De modo geral, a casca de laranja apresentou maior retenção de umidade e comportamento mais estável em relação às variações de temperatura, enquanto a casca de tangerina apresentou menores valores de umidade, com pequena variação entre as temperaturas avaliadas, sendo o menor valor observado a 60 °C (10,79%) e o maior a 70 °C (12,00%).

Em relação a este parâmetro foi observado que o tempero de casca de tangerina apresenta conformidade com o limite estabelecido pela legislação para farinhas, que determina valores inferiores a 15% (Brasil, 2005).

Resultados semelhantes são descritos na literatura para produtos desidratados, nos quais o teor de umidade final geralmente se encontra na faixa de 8% a 15%, dependendo das condições de secagem e da matéria-prima utilizada. Estudos realizados com resíduos de frutas desidratadas apresentam valores próximos aos encontrados neste trabalho, indicando que a umidade tende a se estabilizar após o processo de secagem, sem variações significativas quando submetida a temperaturas moderadas (Cecchi, 2003; Fellows, 2006).

Sousa (2024), avaliando pós de palma forrageira obtidas em diferentes temperaturas, observou que o teor de umidade em seu estudo variou de 11,13 a 13,14%. Resultados semelhantes foram observados por Rocha (2023), que ao analisar a polpa de manga Tommy Atkins em pó encontrou teor de umidade de 10,07%.

Em relação aos resultados de cinzas (Tabela 5), foi observado que a temperatura não exerceu influência significativa sobre o teor de cinzas em nenhum dos temperos das cascas avaliadas (laranja e tangerina). Além disso, a maioria dos valores apresenta letras minúsculas iguais, indicando ausência de diferença significativa entre as cascas de laranja e tangerina em cada temperatura analisada.

Os valores de cinzas observados neste estudo variaram de 3,57% a 3,83% para o tempero elaborado a partir da casca de laranja e de 3,46% a 3,62% para o tempero de casca de tangerina, não sendo verificadas diferenças significativas em função da temperatura de secagem. Esses resultados indicam que o teor de cinzas, diretamente relacionado ao conteúdo mineral dos produtos, permaneceu relativamente estável durante o processo de secagem.

**Tabela 5** – Média de valores de cinzas de desdobramentos temperatura dentro do tratamento e tratamento dentro do tempo

Tempero da casca de frutas	Temperaturas (°C)		
	50	60	70
Laranja	3,57 ± 0,08 <sup>Aa</sup>	3,83 ± 0,07 <sup>Ab</sup>	3,68 ± 0,04 <sup>Aab</sup>
Tangerina	3,46 ± 0,08 <sup>Aa</sup>	3,62 ± 0,07 <sup>Aa</sup>	3,60 ± 0,04 <sup>Aa</sup>

\* As médias seguidas de letras maiúsculas iguais na mesma linha não apresentam diferença estatística entre si.

\*\* As médias seguidas de letras minúsculas iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística entre si.

Resultados semelhantes são descritos na literatura para produtos obtidos a partir de frutas desidratadas, nos quais o teor de cinzas não apresenta variações significativas com o aumento da temperatura de secagem, visto que os minerais são compostos estáveis ao calor. Estudos realizados com resíduos de frutas e hortaliças desidratadas relatam valores próximos aos encontrados neste estudo, geralmente entre 2% e 5% de cinzas, variando de acordo com a matéria-prima e as condições de processamento (Cecchi, 2003; Fellows, 2006).

O tempero da casca de laranja apresentou valores de pH estáveis em todas as temperaturas avaliadas, não sendo observado diferença significativa nas temperaturas estudadas. Em contrapartida, no tempero da casca de tangerina observou-se variação significativa do pH em função da temperatura. Na comparação entre os temperos, verificaram-se diferenças significativas entre as temperaturas, destacando o tempero da casca de tangerina obtido a 70 °C, com pH mais ácido (3,95). Este resultado foi previsto devido ao caráter ácido típico de frutas cítricas. De modo geral, a casca de laranja apresentou maior estabilidade do pH em relação às variações de temperatura, enquanto a casca de tangerina apresentou maior variação e, conseqüentemente diferença estatística significativa com valor de 50 °C (4,26) e redução para 3,95 a 70 °C.

**Tabela 6** – Média de valores de pH de desdobramentos temperatura dentro do tratamento e tratamento dentro do tempo

Tempero da casca de frutas	Temperaturas (°C)		
	50	60	70
Laranja	4,10 ± 0,05 <sup>Aa</sup>	4,10 ± 0,02 <sup>Aa</sup>	4,09 ± 0,00 <sup>Aa</sup>
Tangerina	4,26 ± 0,06 <sup>Abc</sup>	4,09 ± 0,06 <sup>Ab</sup>	3,95 ± 0,03 <sup>Aa</sup>

\* As médias seguidas de letras maiúsculas iguais na mesma linha não apresentam diferença estatística entre si.

\*\* As médias seguidas de letras minúsculas iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística entre si.

Esse comportamento pode estar associado à influência da temperatura na degradação de ácidos orgânicos e na concentração de sólidos ao longo do processo de secagem. Pesquisas indicam que o pH de produtos desidratados pode apresentar pequenas variações em função da perda de compostos voláteis e da concentração de constituintes químicos durante o aquecimento (Chitarra; Chitarra, 2005).

Resultados semelhantes foram observados em estudos com frutas cítricas e seus subprodutos, nos quais o pH apresentou variações dentro da faixa de 3,0 a 4,5, dependendo da matéria-prima e das condições de processamento. Segundo Kader (2002), o pH de frutas cítricas é fortemente influenciado pela presença de ácidos orgânicos, principalmente o ácido cítrico, podendo sofrer alterações durante o processamento térmico. Dessa forma, os resultados obtidos neste estudo estão de acordo com a literatura, demonstrando que a secagem pode provocar pequenas variações no pH, sem alterar significativamente o caráter ácido dos produtos.

Os resultados de acidez corroboram com os achados para o pH, onde o tempero de casca de laranja apresentou redução significativa da acidez à medida que a temperatura aumentou, enquanto o tempero de casca de tangerina manteve valores de acidez estáveis em todas as temperaturas avaliadas. Na comparação entre as frutas, observaram-se diferenças significativas em todas as temperaturas, com a laranja apresentando sempre maior acidez.

Os valores de acidez observados neste estudo variaram de 2,09 a 3,40 para o tempero elaborado a partir da casca de laranja e de 1,43 a 1,44 para o tempero de casca de tangerina, evidenciando diferenças no comportamento dos tratamentos em relação às variações de temperatura, como pode ser observado na Tabela 7. De modo geral, a casca de laranja apresentou maiores porcentagem de ácido cítrico, com destaque para a temperatura de 50 °C (3,40), seguida de redução progressiva a 60 °C (2,62) e 70 °C (2,09), indicando a influência da temperatura sobre esse parâmetro, ao qual foi observado diferença estatística significativa.

**Tabela 7** – Média de valores de acidez de desdobramentos temperatura dentro do tratamento e tratamento dentro do tempo

Tempero da casca de frutas	Temperaturas (°C)		
	50	60	70
Laranja	3,40 ± 0,09 <sup>Ac</sup>	2,62 ± 0,19 <sup>Ab</sup>	2,09 ± 0,16 <sup>Aa</sup>
Tangerina	1,43 ± 0,05 <sup>Aa</sup>	1,44 ± 0,12 <sup>Aa</sup>	1,43 ± 0,06 <sup>Aa</sup>

\* As médias seguidas de letras maiúsculas iguais na mesma linha não apresentam diferença estatística entre si.

\*\* As médias seguidas de letras minúsculas iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística entre si.

Os resultados obtidos estão de acordo com a literatura, na qual a acidez titulável de produtos derivados de frutas cítricas geralmente varia entre 1,0% e 4,0%, dependendo da espécie, da parte utilizada e das condições de processamento. Estudos com resíduos de frutas desidratadas relatam valores próximos aos encontrados neste trabalho, indicando que a acidez pode apresentar pequenas variações, mas tende a permanecer dentro dessa faixa característica (Cecchi, 2003; Fellows, 2006).

De modo geral, a redução da acidez em função do aumento da temperatura está associada à degradação de ácidos orgânicos, como o ácido cítrico, que apresentam sensibilidade ao calor. No presente estudo, observou-se que a acidez do tempero de casca de laranja reduziu de 3,40% para 2,09%, correspondendo a uma diminuição aproximada de 38,5% com o aumento da temperatura de 50 °C para 70 °C. Esse comportamento está de acordo com a literatura, que relata que processos térmicos podem promover reduções significativas na acidez de frutas, variando entre 20% e 50%, em função da degradação dos ácidos orgânicos durante o aquecimento (Chitarra; Chitarra, 2005; Fellows, 2006).

Ambos os temperos apresentaram variações no teor de lipídios em função da temperatura. Os valores de lipídios observados neste estudo variaram de 1,18% a 1,28% para o tempero elaborado a partir da casca de laranja e de 0,92% a 1,23% para o tempero de casca de tangerina, evidenciando diferenças no comportamento dos tratamentos em função da temperatura. De modo geral, a casca de laranja apresentou valores de lipídios relativamente estáveis, com leve redução com o aumento da temperatura, passando de 1,28% a 50 °C para 1,18% a 70 °C, como pode ser visualizado na Tabela 8.

**Tabela 8** – Média de valores de lipídios de desdobramentos temperatura dentro do tratamento e tratamento dentro do tempo

Tempero da casca de frutas	Temperaturas (°C)		
	50	60	70
Laranja	1,28 ± 0,06 <sup>Ab</sup>	1,18 ± 0,07 <sup>Ab</sup>	0,96 ± 0,13 <sup>Aa</sup>
Tangerina	1,22 ± 0,03 <sup>Ab</sup>	0,92 ± 1,21 <sup>Aa</sup>	1,23 ± 0,06 <sup>Ab</sup>

\* As médias seguidas de letras maiúsculas iguais na mesma linha não apresentam diferença estatística entre si.

\*\* As médias seguidas de letras minúsculas iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística entre si.

De acordo com a literatura, os teores de lipídios em resíduos e subprodutos de frutas geralmente se encontram em faixas baixas, variando entre 0,5% e 3,0%, dependendo da matéria-prima e das condições de processamento. Estudos com farinhas e pós obtidos a partir de cascas de frutas apresentam valores próximos aos observados neste estudo, confirmando a baixa concentração lipídica desses produtos e sua relativa estabilidade térmica (Cecchi, 2003; Fellows, 2006).

A diferença no teor de lipídios entre a tangerina e a laranja, especialmente na temperatura de 60 °C, pode ser explicada principalmente pela composição química das frutas e pelo efeito da temperatura durante o processo de secagem. O tempero de casca de laranja apresenta maior quantidade de compostos lipofílicos, como óleos essenciais, o que justifica seus maiores teores de lipídios. Já na casca de tangerina, esses compostos tendem a ser mais voláteis, podendo ocorrer maior perda durante a secagem, principalmente em temperaturas intermediárias. Além disso, a estrutura celular do material também influencia esse comportamento, pois matrizes mais porosas facilitam a liberação desses compostos, resultando em menores valores finais de lipídios.

Os valores encontrados no presente estudo foram próximos aos relatados por Alves (2019), que ao caracterizar a farinha de palma forrageira obteve baixo teor lipídico, com aproximadamente 1,41 g/100 g, evidenciando a baixa concentração desse componente em produtos sem adição de agentes emulsificantes. Por outro lado, estudos como o de Lira (2023), ao analisar farinha de pectina, encontraram teores de lipídios mais elevados, variando entre 14,39% e 20,73%, demonstrando que a composição do produto e os ingredientes adicionados influenciam diretamente no teor lipídico final.

## 6 CONCLUSÃO

O aumento da temperatura de secagem promoveu redução significativa do tempo de processamento, sendo a condição de 70 °C a mais eficiente, o que favorece a economia energética e maior produtividade do processo.

A modelagem matemática de Midilli apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais em todos os tratamentos, com coeficientes de determinação superiores a 98%. A caracterização físico-química evidenciou que os teores de umidade permaneceram em níveis adequados para produtos desidratados, indicando maior estabilidade e menor risco de deterioração microbológica. Os temperos apresentaram acidez moderada, comportamento típico de produtos derivados de frutas cítricas, fator que contribui para a conservação e estabilidade do produto final.

A secagem em leito fixo de cascas de frutas cítricas é uma alternativa tecnológica viável e sustentável para a produção de temperos naturais, proporcionando redução de resíduos agroindustriais e eficiência do processo. Para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação em produtos alimentícios e estudo de armazenamento.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, Laura Figueiredo; RIBEIRO, Suezilde da Conceição do Amaral; ARAÚJO, Éder Augusto Furtado de. **Processo agroindustrial: elaboração de farinha de resíduos de tabaqui (*Colossoma macropomum*) para uso como ingrediente de rações de pescado**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2012. Circular Técnica, n. 47. ISSN 1983-0491.
- ARAÚJO, Karoline Thays Andrade *et al.* **Cinética de secagem e determinação do coeficiente de difusão efetivo das polpas de noni e umbu**. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 4, e46710413985, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i4.13985.
- ARMOND, Monique Lara de Paula *et al.* **Cascas de frutas como fonte de compostos bioativos: extração e uso em alimentos funcionais**. Atena Editora, 2022. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/conan2025/1069648-cascas-de-frutas-como-fonte-de-compostos-bioativos--extracao-e-uso-em-alimentos-Funcionais/>. Acesso em: 12 nov. 2025.
- BARBOSA, P. P. M. *et al.* **Comparison of different Brazilian citrus by-products as sources of bioactive compounds**. *PLoS ONE*, 2018.
- BARROS, H. R. de M. *et al.* **Antioxidant capacity and mineral content of citrus peels**. *Food Chemistry*, 2012.
- BRASIL. **Resolução CNNPA nº 12, de 1978 / atualizações vigentes sobre padrões de farinhas**. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), 2005.
- CABRAL, C.; SANTOS, M. A.; OLIVEIRA, R. **Economia circular na produção de alimentos: desafios e perspectivas**. *Revista do Instituto Federal do Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 45–58, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ifrj.edu.br/>. Acesso em: 12 nov. 2025.
- CHAVES, J. B. P. *et al.* **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa: UFV, 2004.
- CHIACCHIO, F. P. B.; MESQUITA, A. S.; SANTOS, M. E. **Palma forrageira: uma alternativa para o semiárido**. 2006.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras (UFLA), 2005. 785 p. ISBN: 9788587692276.
- COSTA DE SOUZA, L. S. **Desenvolvimento de farinha funcional a partir de resíduos de tilápia**. *Revista da Universidade Federal do Maranhão*, São Luís, v. 12, n. 2, p. 88–97, 2025.
- COSTA, Zanelli Russeley Tenório *et al.* **Modelos matemáticos da cinética de secagem de banana (*Musa ssp*)**. In: CONTECC – Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, Maceió, AL, 2018. Disponível em: [https://www.confeca.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/agronomia/157\\_mm dcdsdbms.pdf](https://www.confeca.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/agronomia/157_mm dcdsdbms.pdf). Acesso em: 13 nov. 2025.

ECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2. ed. Campinas: UNICAMP, 2003.

FELLOWS, P. **Food Processing Technology: Principles and Practice**. 2. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2006.

FERREIRA, Samuel Viana. **Cinética de secagem e caracterização física e química dos grãos de soja**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) — Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2022.

FOGAÇA, Marina Borsuk et al. **Estudo da cinética de secagem de folhas de Phormium tenax para uso em compósitos poliméricos**. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 13, n. 1, p. 105–115, 2021.

GONÇALVES, William Silva. **Métodos de secagem de alimentos: uma revisão. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos)** – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2025. Disponível em: [https://sip.prg.ufla.br/arquivos/php/bibliotecas/repositorio/download\\_documento/baixar\\_por\\_anosemestre\\_matricula.php?arquivo=20242\\_202011126](https://sip.prg.ufla.br/arquivos/php/bibliotecas/repositorio/download_documento/baixar_por_anosemestre_matricula.php?arquivo=20242_202011126). Acesso em: 13 nov. 2025.

GONÇALVES, William Silva. **Métodos de secagem de alimentos: uma revisão. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos)** – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2025.

GUIMARÃES, Antonia Iorrane Kétili Sousa et al. **Resíduos de frutas cítricas: uma alternativa sustentável de nutrientes**. Food Science Today, v. 4, n. 1, 2025. Disponível em: <https://journals.royaldataset.com/fst/article/download/133/123/803>. Acesso em: 13 nov. 2025.

JUNIOR, Alvaro Alexandre; NUNES, Aline; MARASCHIN, Marcelo. **Transformando resíduos agroindustriais em produtos industriais de valor agregado: uma revisão sistemática**. 2024.

KADER, Adel A. **Postharvest Technology of Horticultural Crops**. 3. ed. California: University of California, Agriculture and Natural Resources, 2002. 535 p.

MAIA, H. R. **Secagem de alimentos por micro-ondas: eficiência e preservação de compostos bioativos**. Revista de Engenharia de Alimentos da UESB, Vitória da Conquista, v. 7, n. 1, p. 55–63, 2021. Disponível em: <https://www2.uesb.br/ppg/ppgecal/wp-content/uploads/2021/05/Tese-Hudson-Maia.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2025.

MATOS, Joana D’Arc Paz de et al. **Aproveitamento integral de cascas de frutas para produção de farinha**. In: CONTECC – Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2018. Disponível em: [https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/agronomia/22\\_aidcdfppdf.pdf](https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/agronomia/22_aidcdfppdf.pdf). Acesso em: 12 nov. 2025.

MEDEIROS, Iara Maria Souza; SANTOS, Damilson Ferreira dos. **Modelos matemáticos aplicados na modelagem de dados de secagem**. Mossoró:

UFERSA, 2022. Disponível em:  
<https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstreams/858bbc43-9a54-474e-ac00-dac00d46fd34/download>. Acesso em: 13 nov. 2025.

MENEZES FILHO, Antônio Carlos Pereira de; CASTRO, Carlos Frederico de Souza. **Avaliação físico-química e tecnológica de farinhas obtidas a partir dos resíduos de frutos**. Revista Eixo, Brasília, v. 9, n. 3, p. 4–13, 2020.

OLIVEIRA, V. S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Caracterização Físico-Química e Comportamento Higroscópico de Sapoti Liofilizado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n.2, p. 342-348, abr.-jun. 2011.

OLIVEIRA, Jéssica Santos de; OLIVEIRA, Cristiane Patrícia de. **Aproveitamento de resíduos sólidos agroindustriais: alternativas com base em princípios da economia circular**. Itapetinga: UESB, 2021. Cartilha.

OLIVEIRA, Jéssica Santos de; OLIVEIRA, Cristiane Patrícia de. **Aproveitamento de resíduos sólidos agroindustriais: alternativas com base em princípios da economia circular**. Itapetinga: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2021.

PELIZER, L. H. et al. **Utilização de resíduos agroindustriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 11, n. 1, p. 78-86, 2007.

RAIA, Rodrigo Zunta. **Potencial funcional de farinhas de resíduos agroindustriais na formulação de iogurtes e bebidas lácteas: uma revisão de literatura**. Food Science Today, v. 3, n. 1, p. 82–88, 2024. DOI: 10.58951/fstoday.2024.014.

ROCHA, M. V. G *et al.* Avaliação físico-química da polpa de manga (Tommy atkins) em pó obtida por meio da secagem em camada de espuma. **Revista Semiárido De Visu**, V. 11, n. 1, p. 01, mar. 2023. ISSN 2237-1966.

SANTOS, Julia Souza; DI DOMENICO, Camila Nicola Boeri. **Modelagem matemática do processo de secagem solar de abacaxi**. Curitiba: UTFPR, 2023. Disponível em: [https://wcti.fb.utfpr.edu.br/anais/individuais/2023/5\\_128\\_anais.pdf](https://wcti.fb.utfpr.edu.br/anais/individuais/2023/5_128_anais.pdf). Acesso em: 13 nov. 2025.

SCIRP. **Orange Peel Waste Valorization from Bioactive Compound Perspective**. Journal of Bioenergy and Food Science, 2025.

SILVA JÚNIOR, Marco Antônio Vasiliev da; DACANAL, Gustavo César. **Modelagem e simulação da secagem convectiva de materiais alimentícios via método de elementos finitos**. 2023. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade de São Paulo.

SILVA, Aline Priscila de França et al. **Obtenção de produto farináceo a partir de resíduos agroindustriais por diferentes métodos de secagem**. Research, Society and Development, v. 9, n. 9, e405997334, 2020.

SILVA, Laiane de Almeida Teodoro da et al. **Reaproveitamento de resíduos agroindustriais e seu potencial benéfico à saúde**. Revista Biodiversidade, v. 22, n. 3, p. 167–173, 2023.

SILVA, Laiane et al. **Resíduos da indústria de sucos cítricos: potencial de reaproveitamento e impactos ambientais**. Revista Brasileira de Agroindústria, 2014.

SILVA, Liliana A. et al. **Cinética de secagem e difusividade efetiva em folhas de jenipapo (*Genipa americana* L.)**. Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, v. 17, n. 4, supl. II, p. 953–963, 2015.

SILVA, Mariana. **A transformação de resíduos cítricos: potencial e desafios da bioeconomia circular**. 2023. Disponível em: <https://bioeconomia.eng.br/a-transformacao-de-residuos-citricos-potencial-e-desafios-da-bioeconomia-circular>. Acesso em: 12 nov. 2025.

SILVA, P. L.; DAWISON, A. D.; ASSIS, L. C. **Modelos matemáticos utilizados em processo de secagem**. Uberaba: Universidade de Uberaba, 2023.

SILVÉRIO, Luiz; RIBEIRO, Renato G.; OLIVEIRA, Felipe. CITROS/CEPEA: Fundecitrus estima safra 2025/26 de laranja em 314,6 milhões de caixas. HF Brasil. 9 maio 2025. Disponível em: <https://www.hfbrasil.org.br/br/citros-cepea-fundecitrus-estima-safra-2025-26-de-laranja-em-314-6-milhoes-de-caixas.aspx>. Acesso em: 09 mar. 2026.

SOUSA, Marcondes Barreto de et al. **Cinética de secagem da torta de mamona (*Ricinus communis* L.)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25., 1996. Anais... 1996.

SOUZA, Beatriz Gabriely de Fátima da Conceição de. **Produção de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) em pó por secagem em camada de espuma (foam-mat): cinética e caracterização físico-química**. 2024.

VAZ JÚNIOR, Silvio. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais: uma abordagem sustentável**. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2020.

VAZ JÚNIOR, Silvio. **Bioeconomia em progresso: resíduos da agroindústria**. Brasília: Embrapa, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/80070210/Bioeconomia+em+progresso+-+res%C3%ADduos+da+agroind%C3%BAstria+-+mega+1.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2025.

VIEIRA, Manoela Alano. **Caracterização de farinhas obtidas dos resíduos da produção de palmito da palmeira-real (*Archontophoenix alexandrae*) e desenvolvimento de biscoito fibroso**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina.

WAUGHON, Tonye Gil Matos; PENA, Rosinelson da Silva. **Modelagem da secagem em camada delgada da fibra residual do abacaxi**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, 2023. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/alimentos/article/download/13286/9016/44089>. Acesso em: 13 nov. 2025.

## APÊNDICE

### Apêndice A – Análise estatística dos resultados da caracterização físico-química

Variável analisada: UMIDADES

Codificação usada para o desdobramento

cod. TRATAMENTO

1 = Laranja

2 = Tangerina

Teste de Tukey para o desdobramento de TEMPERATUR dentro da codificação:

1. Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

-----  
Teste Tukey para a FV TEMPERATUR  
-----

DMS: 2,9255263875214 NMS: 0,05

-----  
Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,775012544701339  
-----

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
50		15.143333 a1
60		15.590000 a1
70		15.950000 a1

**Teste de Tukey para o desdobramento de TEMPERATUR dentro da codificação:**

2. Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente
-

Teste Tukey para a FV TEMPERATUR

---

DMS: 2,9255263875214 NMS: 0,05

---

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,775012544701339

---

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
60	10.790000	a1
50	11.806667	a1
70	12.006667	a1

---

**Variável analisada: CINZAS**

Codificação usada para o desdobramento

cod. TRATAMENTO

1 = Laranja

2 = Tangerina

**Teste de Tukey para o desdobramento de TEMPERATUR dentro da codificação:**

3. Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

---

Teste Tukey para a FV TEMPERATUR

---

DMS: 0,196615259074231 NMS: 0,05

---

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,052086111037041

---

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
50	3.570000	a1
70	3.680000	a1 a2
60	3.830000	a2

---

**Teste de Tukey para o desdobramento de TEMPERATUR dentro da codificação:**

4. Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

---

Teste Tukey para a FV TEMPERATUR

---

DMS: 0,196615259074231 NMS: 0,05

---

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,052086111037041

---

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
50	3.460000	a1
70	3.600000	a1
60	3.616667	a1

**Variável analisada: ACIDEZ**

Codificação usada para o desdobramento

cod. TRATAMENTO

1 = Laranja

2 = Tangerina

**Teste de Tukey para o desdobramento de TEMPERATUR dentro da codificação:**

5. Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV TEMPERATUR

DMS: 0,338527007525987 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,0896805028564882

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
70	2.093333	a1
60	2.620000	a2
50	3.396667	a3

**Teste de Tukey para o desdobramento de TEMPERATUR dentro da codificação:**

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV TEMPERATUR

DMS: 0,338527007525987 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,0896805028564882

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
70	1.433333	a1
50	1.433333	a1
60	1.436667	a1

**Variável analisada: PH**

Codificação usada para o desdobramento

cod. TRATAMENTO

1 = Laranja

2 = Tangerina

**Teste de Tukey para o desdobramento de TEMPERATUR dentro da codificação:**

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

-----  
Teste Tukey para a FV TEMPERATUR  
-----

DMS: 0,126454625463417 NMS: 0,05  
-----

Média harmônica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,0334995854037363  
-----

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
70	4.096667	a1
50	4.103333	a1
60	4.103333	a1

-----

Teste de Tukey para o desdobramento de TEMPERATUR dentro da codificação:

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

---

Teste Tukey para a FV TEMPERATUR

---

DMS: 0,126454625463417 NMS: 0,05

---

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,0334995854037363

---

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
70		3.946667 a1
60		4.086667 a2
50		4.263333 a3

---

**Variável analisada: LIPIDIOS**

Codificação usada para o desdobramento

cod. TRATAMENTO

1 = Laranja

2 = Tangerina

**Teste de Tukey para o desdobramento de TEMPERATUR dentro da codificação:**

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

-----  
Teste Tukey para a FV TEMPERATUR  
-----

DMS: 0,13434653147017 NMS: 0,05  
-----

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,0355902608401044  
-----

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
70	0.956667	a1
60	1.180000	a2
50	1.280000	a2

-----

Teste de Tukey para o desdobramento de TEMPERATUR dentro da codificação:

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

-----  
Teste Tukey para a FV TEMPERATUR  
-----

DMS: 0,13434653147017 NMS: 0,05

---

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,0355902608401044

---

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
60	0.920000	a1
50	1.223333	a2
70	1.233333	a2

---

**Variável analisada: UMIDADE**

Codificação usada para o desdobramento

cod. TEMPERATUR

1 = 50

2 = 60

3 = 70

Teste de Tukey para o desdobramento de TRATAMENTO dentro da codificação:

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

---

Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

---

DMS: 2,38805161867278 NMS: 0,05

---

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,775012544701339

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Tangerina	11.806667	a1
Laranja	15.143333	a2

Teste de Tukey para o desdobramento de TRATAMENTO dentro da codificação:

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 2,38805161867278 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,775012544701339

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Tangerina	10.790000	a1
Laranja	15.590000	a2

Teste de Tukey para o desdobramento de TRATAMENTO dentro da codificação:

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 2,38805161867278 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,775012544701339

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Tangerina		12.006667 a1
Laranja		15.950000 a2

**Variável analisada: CINZAS**

Codificação usada para o desdobramento

cod. TEMPERATUR

1 = 50

2 = 60

3 = 70

Teste de Tukey para o desdobramento de TRATAMENTO dentro da codificação:

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 0,160493301202381 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,052086111037041

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Tangerina		3.460000 a1
Laranja		3.570000 a1

Teste de Tukey para o desdobramento de TRATAMENTO dentro da codificação:

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 0,160493301202381 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,052086111037041

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Tangerina	3.616667	a1
Laranja	3.830000	a2

Teste de Tukey para o desdobramento de TRATAMENTO dentro da codificação:

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 0,160493301202381 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,052086111037041

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Tangerina	3.600000	a1
Laranja	3.680000	a1

**Variável analisada: ACIDEZ**

Codificação usada para o desdobramento

cod. TEMPERATUR

1 = 50

2 = 60

3 = 70

Teste de Tukey para o desdobramento de TRATAMENTO dentro da codificação:

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

-----  
Teste Tukey para a FV TRATAMENTO  
-----

DMS: 0,27633316579715 NMS: 0,05  
-----

Média harmônica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,0896805028564882  
-----

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Tangerina	1.433333	a1
Laranja	3.396667	a2

-----

Teste de Tukey para o desdobramento de TRATAMENTO dentro da codificação:

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

-----  
Teste Tukey para a FV TRATAMENTO  
-----

DMS: 0,27633316579715 NMS: 0,05  
-----

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,0896805028564882  
-----

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Tangerina	1.436667	a1
Laranja	2.620000	a2

-----

Teste de Tukey para o desdobramento de TRATAMENTO dentro da codificação:

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

---

Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

---

DMS: 0,27633316579715 NMS: 0,05

---

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,0896805028564882

---

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Tangerina	1.433333	a1
Laranja	2.093333	a2

---

**Variável analisada: PH**

Codificação usada para o desdobramento

cod. TEMPERATUR

1 = 50

2 = 60

3 = 70

Teste de Tukey para o desdobramento de TRATAMENTO dentro da codificação:

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

---

Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

---

DMS: 0,103222508713182 NMS: 0,05

---

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,0334995854037363

---

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Laranja	4.103333	a1

---

Tangerina 4.263333 a2

-----  
Teste de Tukey para o desdobramento de TRATAMENTO dentro da codificação:

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

-----  
Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

-----  
DMS: 0,103222508713182 NMS: 0,05

-----  
Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,0334995854037363

-----  
Tratamentos Médias Resultados do teste  
-----  
Tangerina 4.086667 a1  
Laranja 4.103333 a1  
-----

Teste de Tukey para o desdobramento de TRATAMENTO dentro da codificação:

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

-----  
Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

-----  
DMS: 0,103222508713182 NMS: 0,05

-----  
Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,0334995854037363

-----  
Tratamentos Médias Resultados do teste  
-----  
Tangerina 3.946667 a1  
Laranja 4.096667 a2  
-----

**Variável analisada: LIPIDIOS**

Codificação usada para o desdobramento

cod. TEMPERATUR

1 = 50

2 = 60

3 = 70

Teste de Tukey para o desdobramento de TRATAMENTO dentro da codificação:

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

-----  
Teste Tukey para a FV TRATAMENTO  
-----

DMS: 0,109664521676808 NMS: 0,05  
-----

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,0355902608401044  
-----

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Tangerina		1.223333 a1
Laranja		1.280000 a1

-----

Teste de Tukey para o desdobramento de TRATAMENTO dentro da codificação:

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

-----  
Teste Tukey para a FV TRATAMENTO  
-----

DMS: 0,109664521676808 NMS: 0,05  
-----

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,0355902608401044  
-----

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
-------------	--------	---------------------

-----

Tangerina	0.920000 a1
Laranja	1.180000 a2

Teste de Tukey para odesdobramento de TRATAMENTO dentro da codificação:

Obs. Identifique a codificação conforme valores apresentados anteriormente

---

Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

---

DMS: 0,109664521676808 NMS: 0,05

---

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 0,0355902608401044

---

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Laranja	0.956667	a1
Tangerina	1.233333	a2

---