



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS



LORRANE SANTOS DE OLIVEIRA

**APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DO PROCESSAMENTO DE CUPUAÇU
(*Theobroma grandiflorum*) POR MEIO DE PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO**

PATOS DE MINAS - MG

2023

LORRANE SANTOS DE OLIVEIRA

**APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DO PROCESSAMENTO DE CUPUAÇU
(*Theobroma grandiflorum*) POR MEIO DE PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Corrêa de Santana

PATOS DE MINAS- MG

2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse.

Agradeço a minha mãe, Délia da Penha Silva Santos e ao meu falecido avô Vicente Alves dos Santos, que me deu incentivo, estrutura e apoio incondicional.

A Universidade Federal de Uberlândia, em especial a Faculdade de Engenharia Química que oferta o curso de Engenharia de Alimentos campus Patos de Minas

Agradeço de forma geral toda a estrutura de apoio a permanência aos alunos da universidade, mas em específico a assistente social Carolina Poswar de Araújo Camenietzki e a psicóloga Daniela da Cunha Lopes Almeida.

Sou extremamente grata a todos os meus professores que me ajudaram no meu progresso acadêmico, e especialmente ao professor Dr. Ricardo Corrêa de Santana. Não somente responsável por orientar este trabalho, sou muito grata por todo esses anos de orientação e confiança na iniciação científica. É imensurável como sua pessoa foi importante para minha permanência na universidade. As pessoas que conheci ao longo desta caminhada, as habilidades que desenvolvi foi tudo graças ao senhor, sou muito grata!

Agradeço muito a professora Dra. Marta Fernanda Zotarelli, hoje banca deste trabalho, mas sempre atuando como minha coorientadora e apoiando a permanência na iniciação.

Agradeço com grande carinho a Eng^a Bárbara Lorrany Moreira Silva Vieira a sua ajuda indispensável para realização desse projeto. Mulher, muito obrigada pela amizade, pelo carinho, pela parceria, pelas horas de laboratório, por tudo!

À equipe do laboratório da Universidade Federal de Uberlândia campus Patos de Minas.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram ao longo desta jornada. A trajetória foi longa, árdua pode-se assim dizer, mas também interessante e bonita.

Muito obrigada!

RESUMO

O cupuaçu é um fruto tropical, bastante apreciado pelo sabor forte característico e benefícios a saúde associados ao seu consumo, como conter alto teor de fibras. Por ser um fruto característico da região norte, é comercializado em todo país na forma de polpa congelada. Durante a extração da polpa tem-se a geração de resíduos. Os resíduos resultantes do processamento de frutas, como no caso do cupuaçu, possuem uma rica composição e podem ser aproveitados. Os métodos de secagem quando aplicados nos resíduos viabilizam o aproveitamento dos mesmos. Diversos métodos podem ser utilizados na secagem de alimentos, entre os quais têm-se métodos tradicionais, como a secagem convectiva em estufa e métodos alternativos, como o *cast-tape drying*. Neste sentido, uma vez que na literatura são escassos trabalhos que investigam a secagem de resíduos de cupuaçu, este trabalho objetivou o estudo do processo de secagem dos resíduos da polpa de cupuaçu por *cast-tape drying* e secagem convectiva em estufa com circulação forçada de ar. Foi analisado efeito das variáveis de processo, ou seja, temperatura do meio secante (65, 75 e 85°C) e espessura do resíduo de cupuaçu (3, 4 e 5 mm). O estudo da cinética de secagem das amostras e a avaliação da influência das condições de processo, espessura da amostra e temperatura de secagem, sugerem que 85 °C e 3 mm foi a combinação de condições que alcançou o menor tempo de secagem, e a menor umidade em ambos os métodos de secagem. Houve diferença na coloração do produto seco obtido, sendo que os pós obtidos pela secagem convectiva apresentaram maior escurecimento que o resíduo obtido para *cast-tape drying*, quando comparado ao resíduo *in natura*. Foi observado maior higroscopicidade para os produtos secos com menores umidades, assim nas condições extremas de 85 °C e 3 mm. A distribuição cumulativa mostra que o material seco de resíduo de cupuaçu apresentou uma distribuição de tamanho de partícula heterogênea. O diâmetro médio de Sauter calculado foi de 0,459 mm.

Palavras-chave: Secagem. Resíduo de Cupuaçu. *Cast-tape Dryer*. Secagem convectiva em estufa.

ABSTRACT

Cupuaçu is a tropical fruit highly appreciated for its distinctive strong flavor and associated health benefits, such as its high fiber content. As it is a fruit characteristic of the northern region, it is commercialized throughout the country in the form of frozen pulp. During the extraction of the pulp, there is the generation of waste. The residues resulting from fruit processing, such as cupuaçu, have a rich composition and can be utilized. Drying methods, when applied to these residues, enable their utilization. Various methods can be used in food drying, including traditional methods such as convective drying in an oven, and alternative methods such as cast-tape drying. In this sense, since there is a scarcity of studies in the literature investigating the drying of cupuaçu residues, this work aimed to study the drying process of cupuaçu pulp residues using cast-tape drying and convective drying in an oven with forced air circulation. The effect of process variables, namely drying medium temperature (65, 75, and 85°C), and cupuaçu residue thickness (3, 4, and 5 mm) were analyzed. The study of the drying kinetics of the samples and the evaluation of the influence of process conditions, sample thickness, and drying temperature suggest that the combination of 85°C and 3 mm achieved the shortest drying time and the lowest moisture content in both drying methods. There was a difference in the color of the obtained dried product, with the powders obtained by convective drying showing more darkening than the residue obtained from cast-tape drying, when compared to the fresh residue. Higher hygroscopicity was observed for dried products with lower moisture content, particularly under extreme conditions of 85°C and 3 mm. The cumulative distribution shows that the dried cupuaçu residue material presented a heterogeneous particle size distribution. The calculated Sauter mean diameter was 0.459 mm.

Keywords: Drying. Cupuaçu Residue. Cast-tape Dryer. Convective drying.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas de produção de polpa de fruta congelada.....	15
Figura 2 - Cupuaçu.....	16
Figura 3 – Representação da curva carecterística de cinética de secagem	19
Figura 4 – Representação da secagem por <i>cast-tape</i>	21
Figura 5 - Diagrama de cor espaço $L^* C^* h^o$	23
Figura 6 - Resíduo de cupuaçu obtido de despoldadeira.	24
Figura 7 – Acondicionamento do resíduo de cupuaçu para os experimentos.	25
Figura 8 - Unidade Experimental de Secagem por <i>cast-tape</i> utilizada para a secagem do resíduo de cupuaçu.	26
Figura 9 - Padronização da espessura do resíduo de cupuaçu.	26
Figura 10-Estufa utilizada para secagem convectiva. (a) Estufa convectiva com circulação de ar (Ethik Technology, modelo 400-TD, Brasil) (b) amostra de cupuaçu para secagem.....	27
Figura 11 - Pesagem da amostra de resíduo de cupuaçu para realização da cinética de secagem do resíduo de cupuaçu durante secagem por estufa de convecção forçada.	28
Figura 12 - Variação da umidade (em base seca) em função do tempo (min) durante a secagem do resíduo de cupuaçu com: a), b) e c) para <i>cast-tape drying</i> , respectivamente, em 65, 75 e 85°C; e, d), e) e f) para secagem convectiva em estufa, respectivamente.	37
Figura 13 - Amostra de cupuaçu seca na espessura de 5 mm com temperatura de água circulante de 65°C seco por CTD após 300 min de secagem	39
Figura 14 - Superfícies de resposta para o tempo de secagem em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD; e, (b) secagem convectiva em estufa	41
Figura 15 - Superfícies de resposta para a umidade final em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD; e, (b) secagem convectiva em estufa	43
Figura 16 - Superfícies de resposta para a Luminosidade (L^*) em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD; e, (b) secagem convectiva em estufa	49
Figura 17 - Superfícies de resposta para a^* em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD; e, (b) secagem convectiva em estufa.....	53

Figura 18 - Superfícies de resposta para b^* em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD; e, (b) secagem convectiva em estufa.....	55
Figura 19 - Superfícies de resposta para ΔE em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD; e, (b) secagem convectiva em estufa.....	57
Figura 20 - Superfícies de resposta para C^* em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD; e, (b) secagem convectiva em estufa.....	59
Figura 21 - Superfícies de resposta para h^o em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD; e, (b) secagem convectiva em estufa.....	61
Figura 22 – Resíduo de cupuaçu seco a) processo <i>cast-tape drying</i> b) secagem convectiva em estufa.....	64
Figura 23 - Superfícies de resposta para higroscopicidade em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD; e, (b) secagem convectiva em estufa	67
Figura 24 - Distribuição cumulativa do resíduo seco moído de cupuaçu	69
Figura 25 - Histograma do resíduo de cupuaçu seco.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição por 100g de polpa congelada de cupuaçu.....	17
Tabela 2 - Fatores e níveis dos planejamentos 3^2 e 2^3	29
Tabela 3-Planejamento fatorial 3^2	30
Tabela 4 - Planejamento fatorial 2^3	30
Tabela 5 - Caracterização físico-química do resíduo de cupuaçu in natura.....	35
Tabela 6 - Tempo de secagem e umidade final para as diferentes condições de temperatura e espessura nos processos de cast-tape drying e secagem convectiva em estufa.....	38
Tabela 7 - Efeitos significativos para o tempo de secagem	40
Tabela 8 - Efeitos significativos para a umidade final.....	42
Tabela 9 - Taxas de secagem para a secagem por CTD e secagem convectiva.....	45
Tabela 10 - Parâmetros de cor do resíduo de cupuaçu seco em estufa convectiva.	47
Tabela 11 - Parâmetros de cor do resíduo de cupuaçu seco em CTD.....	47
Tabela 12 - Efeitos significativos para o parâmetro L^*	48
Tabela 13 - Efeitos significativos para o parâmetro a^*	51
Tabela 14 - Efeitos significativos para o parâmetro b^*	54
Tabela 15 - Efeitos significativos para a diferença total de cor (ΔE)	56
Tabela 16 - Efeitos significativos para a cromaticidade (C^*)	58
Tabela 17 - Efeitos significativos para o ângulo de tonalidade (h°)	60
Tabela 18 - Higroscopicidade do resíduo de cupuaçu seco por cast-tape e por estufa	66
Tabela 19 - Efeitos significativos na higroscopicidade	67
Tabela 20 - Classificação por tamanho de partícula	70

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	PROCESSAMENTO DE FRUTAS	14
2.2	CUPUAÇU	16
2.3	SECAGEM	18
2.3.1	<i>Cinética de secagem</i>	19
2.3.2	<i>Cálculo de umidade e da taxa de secagem</i>	20
2.4	SECAGEM POR CAST-TAPE	21
2.5	ALIMENTOS DESIDRATADOS	22
2.5.1	<i>Higroscopicidade</i>	22
2.5.2	<i>Cor Instrumental</i>	22
3	MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1	OBTENÇÃO E ARMAZENAMENTO DAS AMOSTRAS DE RESÍDUO DE CUPUAÇU	24
3.2	SECAGEM DO RESÍDUO DE CUPUAÇU POR CAST-TAPE DRYING (CTD)	25
3.2.1	<i>Determinação da cinética de secagem por cast-tape</i>	27
3.3	SECAGEM DO RESÍDUO DE CUPUAÇU POR CONVECÇÃO EM ESTUFA COM CIRCULAÇÃO FORÇADA	27
3.3.1	<i>Determinação da cinética de secagem por estufa do resíduo de cupuaçu</i>	28
3.4	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	29
3.5	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO RESÍDUO DE CUPUAÇU SECO POR CAST-TAPE DRYING	32
3.5.1	<i>Determinação da umidade</i>	32
3.5.2	<i>Determinação da Cor Instrumental</i>	32
3.5.3	<i>Determinação da Higroscopicidade</i>	33
3.5.4	<i>Análise granulométrica</i>	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CUPUAÇU <i>IN NATURA</i>	35
4.2	CINÉTICA DE SECAGEM DO RESÍDUO DE CUPUAÇU POR CAST-TAPE DRYING E POR ESTUFA CONVECTIVA COM CIRCULAÇÃO FORÇADA DE AR	36

4.3	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO RESÍDUO DE CUPUAÇU SECO.....	46
4.3.1	<i>Cor Instrumental</i>	46
4.3.2	<i>Higroscopicidade</i>	65
4.3.3	<i>Análise granulométrica</i>	69
5	CONCLUSÃO	72
	REFERENCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

O consumo de frutas é de extrema importância para a saúde e nutrição. Elas são fontes de vitaminas, sais minerais e fibras (BRASIL, 2014). O Brasil possui uma grande diversidade de frutas, sejam elas nativas, como caju, jabuticaba e maracujá ou que foram trazidas de outros países de climas diversos e adaptadas ao nosso ecossistema, como a uva, maçã e banana (AMORIN, 2016; LAGO; MAIA; MATTA, 2016). A produção brasileira de frutas ultrapassa as 40 milhões de toneladas, dados que fazem o país ocupar a terceira colocação mundial de produtores de frutas, ficando atrás da China e Índia (VIDAL, 2021).

Entre as frutas nativas do Brasil, o cupuaçu é uma fruta tropical originária da região amazônica, juntamente com o açaí, comercializados em todo o país (COSTA et al., 2017). Possui sabor forte e ácido, sendo que sua polpa é muito usada para o preparo de sucos, sorvetes e vinhos. Já as sementes podem ser usadas para a fabricação de produtos de beleza. É uma fruta rica em fibras alimentares, vitaminas (A, B1, B2, B3 e C) e teobromina, nutrientes com propriedades benéficas para a saúde, como auxílio no funcionamento do intestino, fortalecimento do sistema imunológico, efeito antioxidante no combate a radicais livres e estimulante natural, a teobromina atua no organismo melhorando a disposição e a concentração (PUGLIESE, 2010).

Frutas como o cupuaçu na sua forma *in natura* apresentam alta perecibilidade além de nem sempre estarem disponíveis durante o ano todo (BARBIERI; VIZZOTTO, 2012). Portanto, para ter aumento na vida útil e nas formas de uso, elas são processadas para obtenção de produtos como polpas congeladas, geleias, doces, minimamente processados entre outras formas de processamento e industrialização. Estas soluções resolvem parcialmente as dificuldades e limitações inerentes a perecibilidade e a sazonalidade das frutas (CRIZEL, 2017; OLIVEIRA; FEITOSA; SOUZA, 2018).

As polpas de frutas são obtidas a partir do processamento da sua parte comestível (BRASIL, 2018). Este processamento gera como resíduos, cascas, talos, bagaços e sementes, que são descartados causando impactos ambientais e desperdício (LIMA et al, 2019). Mas estudos vem mostrando que esses resíduos

possuem uma rica composição de nutrientes assim podendo ser utilizados no desenvolvimento de novos produtos como farinhas para a produção de panificação, barra de cereal (ABUD; NARAIN, 2010; OLIVEIRA et al., 2019; ANDRADE et al., 2020) e extração de biomoléculas para utilização como aditivos (AYALA-ZAVALA et al. 2011; SOUZA et al., 2015; DURANTE et al., 2017; LIMA et al., 2019).

O descarte de resíduos é uma preocupação global, portanto o desenvolvimento de técnicas e processos que visem ao melhor aproveitamento das matérias-primas e dos resíduos gerados é importante para minimizar no impacto ambiental (SANTOS; STEVENS; GONÇAVELS, 2014). Nessa perspectiva, a utilização da secagem para a exploração das potencialidades de resíduos da indústria alimentícia é uma alternativa intensamente investigada (FILHA et al., 2016; LIMA et al., 2019; GORJANOVIĆ et al., 2020).

A secagem é um dos processos conservativos mais antigos do mundo (MARTINS et al., 2020). Com a redução do teor de água, é possível prolongar a vida útil de produtos alimentícios, visto que a água é um importante fator par a ocorrência de reações deteriorantes (CELESTINO, 2010). A secagem quando realizada de forma controlada e adequada em determinados métodos e condições de processo, permite a preservação de características físico-química e sensoriais como cor, sabor e nutrientes (SILVA, 2021).

Existem vários métodos e equipamentos de secagem que podem ser utilizados, por isso, é necessário que testes sejam realizados para definir os métodos e condições que melhor se aplicam, visando à preservação das propriedades como a composição nutricional dos resíduos e também os melhores resultados de resíduos para aplicação no mercado (BABU, 2018).

Os processos incluem métodos já conhecidos e tradicionais como a secagem por convecção utilizando estufa com circulação forçada de ar, e metodologias desenvolvidas mais recentemente como a secagem por *cast-tape* (CTD) (PICH, 2019). Na secagem por CTD, predominantemente por mecanismos de condução, o material a ser seco é espalhado sobre uma superfície, geralmente um polímero, de forma que a face inferior fica em contato com uma corrente de água quente circulante, utilizada para transmitir o calor para a secagem. A secagem por CTD utiliza

temperaturas relativamente baixas, com valores máximos próximos à temperatura de ebulição da água (ZOTARELLI., 2014; DURIGON, 2016)

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho foi estudar o processo de secagem do resíduo gerado do processamento de polpa de cupuaçu. Como objetivos específicos têm-se:

- Estudar a cinética da perda de umidade do resíduo de cupuaçu utilizando *Cast-tape Drying* e secagem convectiva em estufa com circulação forçada de ar;
- Analisar o efeito das variáveis de processo (como temperatura de secagem, espessura da camada espalhada e método de secagem, nas características do material seco obtido;
- Caracterizar e comparar (quando aplicável o confrontamento) o produto seco em relação ao *in natura* quanto à: umidade, cor e higroscopicidade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Processamento de frutas

A produção mundial de frutas apresenta crescimento contínuo, sendo que em 2021 foram colhidas 865,2 toneladas (VIDAL, 2021). Os três maiores produtores globais são China, Índia e Brasil que juntos acumularam neste ano de 2021 aproximadamente 46% do volume mundial. O Brasil foi responsável por 4,6% do volume colhido, equivalente a 40 milhões de toneladas (ANDRADE, 2020). As principais frutas produzidas no Brasil são laranja (49% da produção total), banana (16,2%) e abacaxi (8,4%) (ANDRADE, 2020). Fatores como extensão territorial, posição geográfica e condições de clima e solo e investimentos em pesquisa e tecnologia possibilitam a presença do país no mercado externo (AMORIM, 2016).

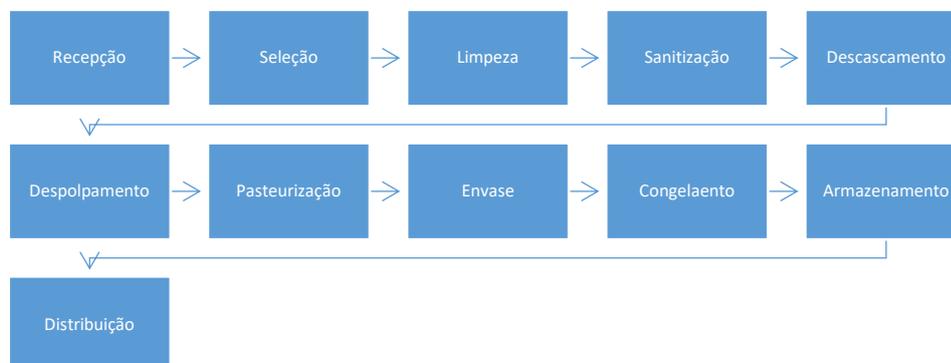
Segundo a Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados (ABRAFRUTAS, 2022) as regiões mais produtoras de frutas no Brasil são o Nordeste, 52%, seguido pelo Sudeste responsável por 26%. Do total de frutas produzidas no Brasil, 53% destina-se à comercialização como frutas frescas e os 47% restantes vão para a indústria de processamento (AMORIM, 2016).

A produção de polpas congeladas, é uma alternativa para a comercialização de frutas em todo território nacional (SANTOS et al., 2019). A extração de polpa e congelamento de frutas típicas da região amazônica, possibilita a sua comercialização em regiões distantes como no sul e sudeste do Brasil, regiões para o qual o transporte da fruta na forma fresca é inviável devido a longos tempos de transporte e custos elevados (NEGRI et al., 2016). Além da praticidade, o congelamento preserva propriedades destes frutos (SOUZA; ALVES; SOUZA, 2017).

Portanto o processamento, com a finalidade de obtenção de polpa, é uma das maneiras encontradas para aumentar a variedade de produtos disponíveis em todo o mercado, agregando valor econômico ao produto, estendendo a vida útil e mantendo a qualidade (NEGRI et al., 2016).

No fluxograma mostrado na Figura 1 são apresentadas as etapas gerais do processo de produção da polpa de fruta.

Figura 1 - Etapas de produção de polpa de fruta congelada



Fonte: Adaptado de Matta e Freire (2005)

As etapas de recepção e seleção das frutas, tem como finalidade descarte das que não estiverem maduras e ou impróprias para o consumo (MATTA; FREIRE, 2005). Os frutos então seguem para limpeza com água corrente, sanitização com solução apropriada e seguidas de enxague (MATTA; FREIRE, 2005). O descascamento irá ocorrer a depender do tipo de fruta a ser processada (FIDÉLIS, 2018). A polpa é obtida do despoldamento (em despoldadeira) etapa que resulta na maior parte dos resíduos sólidos (MATTA; FREIRE, 2005). Em seguida a polpa pode ou não passar por um processo de pasteurização (FIDÉLIS, 2018). Por fim, são envasadas e seguem para armazenamento em câmaras frigoríficas com temperaturas entre -18 e -22°C (MATTA; FREIRE, 2005; FIDÉLIS, 2018). No processo amostras de polpa devem ser coletadas para análises microbiológicas e físico-químicas, sendo que os padrões de identidade e qualidade devem estar de acordo com a instrução normativa nº 37 de 1º de outubro de 2018 (BRASIL, 2018).

Após a extração da polpa, é estimado que aproximadamente de 20 a 60% da matéria-prima que foi utilizada é descartada em forma de resíduo. Este material é caracterizado por cascas, polpa residual da despoldadeira, sementes, talos, pedúnculos, bagaço e folhas (LAZZARI, 2021). Estas partes possuem uma rica composição nutricional que permite serem utilizados para extração de biomoléculas/compostos ou como ingredientes na produção de alimentos (FERREIRA et al., 2013).

Estudos vêm sendo realizados buscando agregar valor aos resíduos do processamento de frutas. Outro benefício é a promoção da sustentabilidade, visto que toneladas de alimentos com potencial utilização são descartadas (FREITAS et al., 2014; ALBUQUERQUE et al., 2021). As pesquisas buscam não apenas o aproveitamento para o consumo animal ou produção de fertilizante orgânico, mas também para o desenvolvimento de novos produtos para a alimentação humana (SOUSA et al., 2011; INFANTE et al., 2013; FAI et al., 2015; UCHOA et al., 2015; SANTOS et al., 2020).

2.2 Cupuaçu

O cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), é uma das frutas nativas da Amazônia (GONDIM et al., 2001). É um fruto grande e volumoso (Figura 2), que pode medir cerca de 10-40 cm de comprimento e pesar entre 400 g e 1,2 kg. A casca é dura, de cor marrom, espessa e resistente. As sementes são revestidas por uma polpa branca, de consistência cremosa, sabor característico forte e ácido (SOUZA et al., 2017). A composição média do fruto é de cerca de 35 % de polpa, 20 % de sementes e 45 % de casca (FREITAS et al., 2014).

Figura 2 - Cupuaçu



Fonte: Verdes do Vale (2022)

A polpa é o principal produto do cupuaçu e é consumida na forma de suco, geleia, creme, sorvete e licor (PUGLIESE, 2010). Na Tabela 1 está apresentada a composição da polpa dos frutos cupuaçu.

Tabela 1 – Composição por 100g de polpa congelada de cupuaçu

Descrição	Polpa congelada de cupuaçu
Umidade (%)	86,6
Energia (kcal)	49
Proteína (g)	0,8
Lipídios (g)	0,6
Carboidratos (g)	11,4
Fibra alimentar (g)	1,6
Cinzas (g)	0,6
Sólidos solúveis (°Bx a 20°C) *	9
pH*	3
Acidez Total (g ácido cítrico/100g) *	1,5
Açúcares Totais (g/100g) *	6
Ácido ascórbico (mg/100g) *	18

Fonte: Adaptado da Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO, 2011. *Características mínimas que a polpa do cupuaçu deve apresentar de acordo com a IN 37/2018 (BRASIL,2018).

Segundo dados do censo agropecuário (IBGE, 2020) a produção de cupuaçu se concentra na região norte do Brasil, destacando os estados da Amazônia, Pará, Maranhão e Roraima, mas também há produção no estado da Bahia e Mato Grosso. A média de produção anual alcança a marca de 29 mil toneladas (IBGE, 2020).

Os resíduos resultantes do processamento da polpa de cupuaçu são cascas, bagaço e sementes, que podem ser utilizados para obtenção de outros produtos alimentícios (SOUSA et al., 2011). Biasi (2016) utilizou do resíduo de despulpadeira de cupuaçu para a produção de barra de cereal, a farinha obtida era rica em fibras. Da semente é possível a produção de cupulante, produto semelhante ao chocolate (NAZARE et al., 1990). A casca do cupuaçu possui alto valor de combustão podendo ser utilizado na produção de energia (MARAFON, 2016). Além de ser aproveitada como adubo, a casca do fruto é usada na confecção de artesanato (GONDIM, 2001).

2.3 Secagem

A secagem é definida como a operação unitária que transforma um material sólido, semissólido ou líquido em um produto sólido de umidade consideravelmente baixa, por meio da transferência de umidade do material para uma fase gasosa não saturada (GEANKOPOLIS, 2006; MARTINS et al., 2020). A retirada de água acontece por evaporação e envolve a aplicação de energia térmica, a qual provoca a mudança de fase da água líquida para o estado gasoso (McCABE, 1991). A secagem é geralmente a etapa final de uma série de operações na indústria, e o produto de um secador está muitas vezes pronto para a embalagem final (MARTINS et al., 2020)

Na secagem ocorrem dois processos simultâneos: transferência de calor para evaporar o líquido, normalmente no sentido da superfície do sólido para o seu interior e transferência de massa na forma de líquido ou vapor no interior do sólido e, superfície exposta do sólido. As condições que governam as velocidades destes processos determinam a velocidade de secagem (FOUST, 1982).

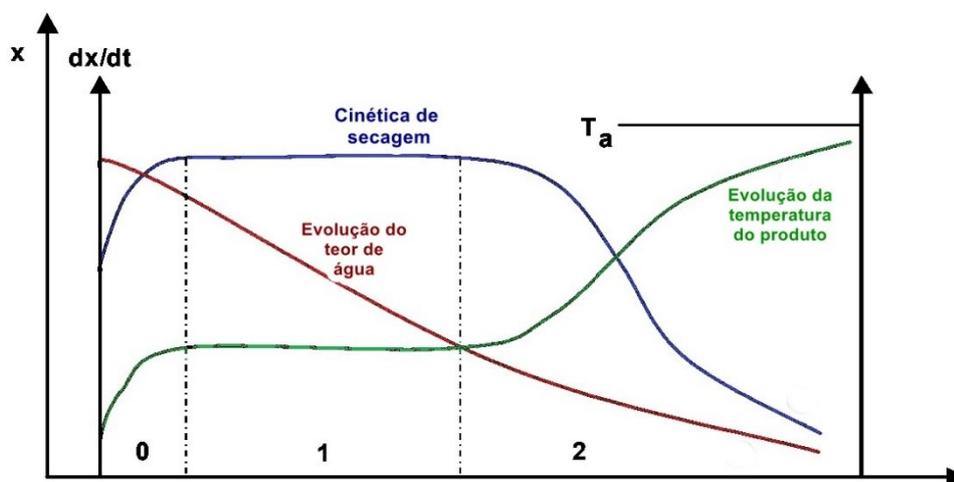
O principal objetivo da secagem de alimentos é prolongar sua vida útil (ORDÓÑEZ et al., 2005; GAVA, 2009). O conteúdo de água de um alimento é o principal fator causador da deterioração por microrganismos e alterações por reações químicas e enzimáticas. A diminuição desse conteúdo é um modo de conservação (OETTERER; SPOTO, 2006).

Durante a execução da operação de secagem, pode acontecer alteração nas propriedades físicas e sensoriais dos alimentos, como cor, sabor, textura e aroma, visto que muitos dos compostos presente na matriz alimentícia são sensíveis a altas temperatura (MARCHESE; FIGUEIRA, 2005). Sendo assim, a correta seleção de condições secagem visa minimizar essas mudanças (PARK et al., 2006).

2.3.1 Cinética de secagem

Por meio da cinética de secagem, é possível determinar o comportamento da perda de umidade em função do tempo do material sólido, sendo que este comportamento é representado pelas curvas de secagem e de taxa de secagem (Figura 3) (FOUST, 1982). Na Figura 3, X corresponde ao teor de umidade.

Figura 3 – Representação da curva característica de cinética de secagem



Fonte: adaptado Marches e Figueira (2005)

O intervalo 0 da Figura 3, representa o período inicial da secagem, em que a temperatura do sólido é mais baixa que a do meio de secagem, ocorrendo assim um ajuste da temperatura da amostra ao meio, e a taxa de secagem aumenta até entrar no segundo estágio da secagem, o qual é representado pelo intervalo 1, período de taxa constante (FOUST, 1982; MARTINS et al., 2020).

No período de taxa constante, as temperaturas da superfície e do interior do sólido úmido tendem a ser iguais à temperatura de secagem (MARCHESI; FIGUEIRA, 2005; MARTINS et al., 2020). Neste período, toda a superfície exposta do sólido está saturada de água, e esta age como se o sólido não estivesse presente. Sendo assim a secagem ocorre como se o sistema fosse água pura evaporando. Este estado ocorre até que a umidade no interior do sólido seja muito baixa, diminuindo a difusão da água para a superfície do sólido (Park et al., 2006).

Uma vez em que as forças de resistência à transferência de massa sejam maiores do que a vaporização da água presente na superfície do sólido, ocorre um

decréscimo na taxa de secagem e um aumento na temperatura da superfície do material, correspondente ao período 2 da Figura 3. A quantidade de umidade removida neste período é menor que no período a taxa constante, necessitando de maiores tempos de secagem para a mesma massa de água ser removida (MARTINS et al., 2020).

Com o avanço do processo, a taxa de secagem aproxima-se de zero, quando se atinge a umidade de equilíbrio, que é a menor umidade atingível no processo de secagem com o sólido nas condições a que está submetido (MARTINS et al., 2020).

2.3.2 Cálculo de umidade e da taxa de secagem

A obtenção dos dados experimentais nos processos de secagem se dá pelo registro da variação da massa do produto durante o tempo dos ensaios. De acordo com a Equação 1, a umidade do produto em base seca é estabelecida pela razão entre a massa de água e a massa de sólidos secos (McCABE, 2006).

$$X_{bs} = \frac{M - M_s}{M_s} \quad (1)$$

Em que X_{bs} é a umidade do produto em base seca [kg água.kg sólido seco⁻¹], M é a massa do sólido úmido e M_s é a massa do sólido seco.

A umidade em base úmida pode ser obtida através da Equação 2.

$$X_{bu} = \frac{M - M_s}{M} \quad (2)$$

Em que X_{bu} é a umidade do produto em base úmida [kg água.kg sólido úmido⁻¹], M é a massa do sólido úmido (kg) e M_s é a massa do sólido seco (kg).

As curvas de secagem são construídas a partir dos dados de umidade em função do tempo e as taxas de secagem são obtidas a partir da derivada destas curvas fornecendo os valores de dX/dt para determinados tempos de secagem, de acordo com a Equação 3 (McCABE, 2006).

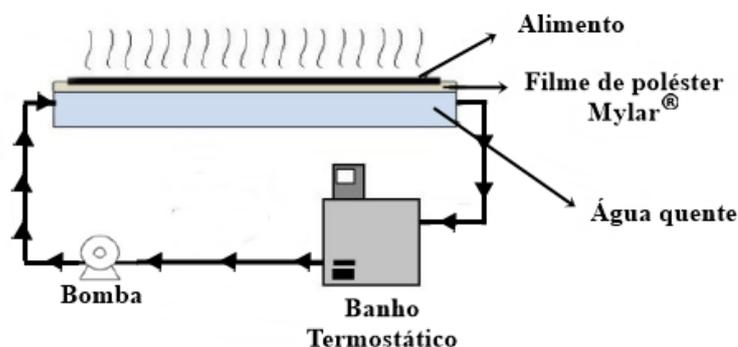
$$R_s = -\frac{M_s}{A} \cdot \frac{dX}{dt} \quad (3)$$

Em que R_s é a taxa de secagem [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$], M_s é a massa de sólidos secos [kg], A é a área da superfície exposta a fonte de calor [m^2] e dX/dt é a velocidade de secagem em base seca [$\text{kg}\ \text{água}\cdot\text{kg}\ \text{sól}\cdot\text{seco}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$].

2.4 Secagem por *cast-tape*

Neste método de secagem uma fina camada de amostra úmida (sólida, semissólida ou pastosa) é espalhada sobre um filme polimérico que possui sua face inferior em contato com a água aquecida, sistema esquematizado na Figura 4 (ZOTARELLI, 2014). O suporte é, em geral, um filme de poliéster, comercialmente chamado de Mylar (DuPont®). A energia térmica para a secagem é oriunda da água quente e é transferida para o material úmido espalhado através da interface do filme (ORTIZ-JEREZ; GULATI; DATTA, 2015; DURIGON et al., 2016)

Figura 4 – Representação da secagem por *cast-tape*



Adaptado de ZOTARELLI (2014)

Na secagem por *cast-tape*, a remoção da umidade do alimento ocorre devido à energia térmica transferida principalmente por condução e convecção (ZOTARELLI, 2014; DURIGON, 2016). A transferência de calor por condução acontece entre o suporte e o produto espalhado sobre o suporte e no interior do material a ser seco; e a transferência de calor por convecção ocorre do meio secante (água aquecida ou vapor) para o suporte polimérico, na superfície do material, entre o material e o ar em seu entorno (podendo ser natural ou forçada), e no interior do material por difusão. Neste processo ocorre a evaporação da água superficial e interna no material (CASTOLDI, 2012).

2.5 Alimentos desidratados

A desidratação é um processo que agrega valor ao produto e diversifica sua utilização. Assim propriedades como higroscopicidade e cor devem ser levadas em consideração., uma vez que são propriedades que podem afetar tanto a vida de prateleira do produto quanto a aceitabilidade do material pelo consumidor.

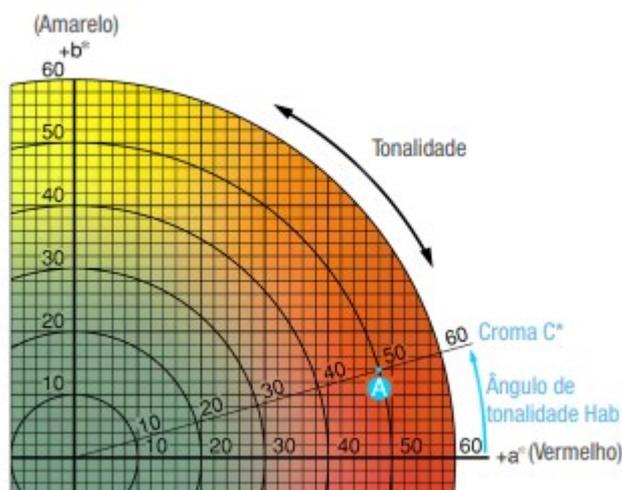
2.5.1 Higroscopicidade

A higroscopicidade é definida como a capacidade de produtos secos adsorverem umidade a partir de um ambiente de elevada umidade relativa (ULLMAN et al., 2016). Alimentos em pó com altas higroscopicidades podem estar susceptíveis a um fenômeno conhecido como *caking* ou aglomeração, que dificulta a utilização desses produtos, e diminui sua vida de prateleira. A higroscopicidade de um alimento está ligada à sua estabilidade física, química e microbiológica; desta forma, torna-se imprescindível o conhecimento do comportamento higroscópico desses produtos (OLIVEIRA; COSTA; AFONSO, 2014).

2.5.2 Cor Instrumental

Cor pode ser definida como a propriedade dos corpos em absorver e refletir luz. É o aspecto gerado pelas percepções do sistema visual de comprimentos de onda de radiação eletromagnética visível. Comumente as cores são apresentadas na forma de coordenadas que são plotadas em espaços de cores, sendo mais usual o CIE $L^* a^* b^*$, e CIE $L^* C^* h^*$ (FERREIRA; SPRICIGO, 2017). O espaço de cores $L^* C^* h^*$, utiliza o mesmo diagrama que o espaço de cores $L^* a^* b^*$, porém utiliza coordenadas cilíndricas ao invés de coordenadas retangulares (Figura 5).

Figura 5 - Diagrama de cor espaço $L^* C^* h^\circ$



Fonte: Konica Minolta (2023)

O L^* indica luminosidade, e é o mesmo L^* do espaço de cores $L^*a^*b^*$, variando do preto ao branco. O parâmetro C^* indica a cromaticidade ou saturação, a intensidade de uma cor. A saturação é definida como a distância radial do centro do espaço até o ponto da cor. A saturação corresponde a concentração do elemento corante e representa um atributo quantitativo para intensidade. No centro do espaço $L^*C^*h^\circ$, estão os valores mínimos de saturação e, à medida que se caminha para as extremidades, aumenta-se este valor. Quanto maior o cromina maior a saturação das cores perceptíveis aos humanos. Cores neutras possuem baixa saturação, enquanto cores puras possuem alta saturação e, portanto, mais brilhantes na percepção humana (FERREIRA; SPRICIGO, 2018). O ângulo de tonalidade começa no eixo $+a^*$, e se movimenta em sentido anti-horário. O ângulo de 0° é considerado como a cor vermelha, o ângulo de 90° , amarelo, o ângulo de 180° , verde, e o ângulo de 270° , azul.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Obtenção e armazenamento das amostras de resíduo de cupuaçu.

O resíduo do processamento de cupuaçu foi cedido pela agroindústria de polpa de frutas Novo Pomar Produtos Alimentícios Ltda, situada em Presidente Olegário-MG. O cupuaçu passa por operação de extração em despulpadeira (resultando na polpa de fruta como produto final), e gera o resíduo do cupuaçu, constituído por casca, sementes e polpas aderidas como visualizado na Figura 6.

Figura 6 - Resíduo de cupuaçu obtido de despulpadeira.



Fonte: A Autora

O resíduo obtido foi acondicionado em embalagens de polietileno transparente, cada pacote contendo aproximadamente 1,0 kg (Figura 7) e congeladas em ultrafreezer (Indrel, modelo IULT335D, Brasil) a -60°C. Previamente à realização dos experimentos, as amostras foram descongeladas em geladeira (Consul, Brasil) na temperatura entre 6 e 10 °C durante 24 h.

Figura 7 – Acondicionamento do resíduo de cupuaçu para os experimentos.



Fonte: A Autora

3.2 Secagem do resíduo de cupuaçu por *cast-tape drying* (CTD)

Para a realização da secagem por CTD foi utilizado um aparato experimental, operando em batelada, montado no Laboratório de Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia, no *campus* Patos de Minas.

A unidade experimental de secagem (Figura 8) foi composta de um reservatório (bandeja de dimensões 0,30m×0,70m×0,05m) na qual circulava água quente proveniente de um banho termostático (SOLAB, modelo SL 152/18, Brasil) associado a uma bomba peristáltica (Cole-Parmer, Masterflex® L/S 77250-62, Estados Unidos). O filme polimérico (nome comercial Mylar® fabricado pela Dupont, USA), era fixado no topo da bandeja de forma que a face inferior ficou em contato com a água quente circulante e a face superior servia de suporte para a camada de resíduo de cupuaçu que era submetida a secagem. Foi utilizado um sistema de exaustão com ventiladores, (conforme estrutura pode ser observada na Figura 8), o que proporcionou uma convecção forçada e auxiliou a retirada da água evaporada durante a secagem.

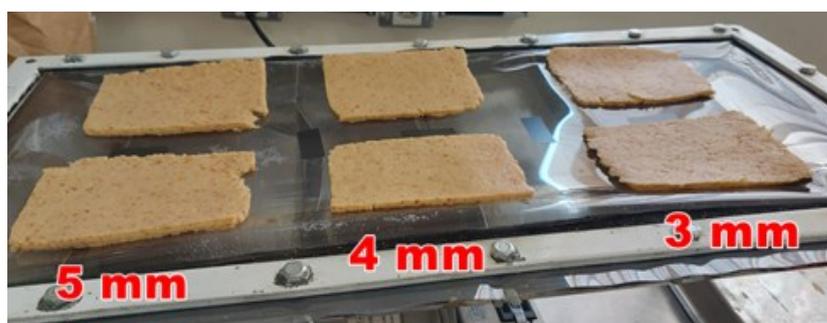
Figura 8 - Unidade Experimental de Secagem por *cast-tape* utilizada para a secagem do resíduo de cupuaçu.



Fonte: A Autora

Foram avaliadas temperaturas de água circulante de 65, 75 e 85°C e espessura de 3, 4 e 5 mm. Para padronizar a espessura do resíduo de cupuaçu, o espalhamento foi realizado na bancada sobre papel filme com auxílio de molduras de acrílico, que depois foram vertidas sobre o filme Mylar® (Figura 9). A faixa experimental escolhida para cada variável foi definida a partir de revisão da literatura e testes preliminares.

Figura 9 - Padronização da espessura do resíduo de cupuaçu.



Fonte: A Autora

3.2.1 Determinação da cinética de secagem por cast-tape.

A cinética de secagem foi realizada retirando amostras em triplicata, de posições distintas da camada do resíduo de polpa de cupuaçu espalhado sobre o filme polimérico, durante intervalos de tempos pré-determinados. Para cada retirada, as amostras foram pesadas em balança analítica (Shimadzu do Brasil, modelo AUW320, Brasil) e a umidade foi determinada conforme metodologia descrita no tópico 3.4.1. As taxas de secagem, no período de taxa constante, foram calculadas a partir da inclinação da equação da reta obtida na regressão linear realizada com o software SciDAVis nos dados experimentais de umidade em função do tempo.

3.3 Secagem do resíduo de cupuaçu por convecção em estufa com circulação forçada

A secagem convectiva do resíduo de cupuaçu foi realizada em estufa com circulação (Ethik Technology, modelo 400-TD, Brasil) do Laboratório de Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia na cidade de Patos de Minas, visualizada na Figura 10.

Figura 10-Estufa utilizada para secagem convectiva circulação de ar quente



Fonte: A Autora

Foram avaliadas temperaturas de 65, 75 e 85°C e espessura de 3, 4 e 5 mm. Para padronizar a espessura do resíduo de cupuaçu, o espalhamento foi realizado na bancada sobre placas de Mylar® com auxílio de molduras de acrílico (Figura 9). Para facilitar a realização da cinética de secagem, as amostras foram colocadas sobre forma assadeira doméstica (Figura 10 (b)).

3.3.1 Determinação da cinética de secagem por estufa do resíduo de cupuaçu.

A cinética de secagem foi realizada fazendo a pesagem de cada uma das placas de resíduo nas diferentes espessuras durante intervalos de tempos pré-determinados (Figura 11). Para cada retirada, as amostras foram pesadas em balança semianalítica (Shimadzu do Brasil, modelo BL320H, Brasil). A umidade inicial das amostras espalhadas sobre as placas foi determinada conforme metodologia descrita no tópico 3.4.1.

Figura 11 - Pesagem da amostra de resíduo de cupuaçu para realização da cinética de secagem do resíduo de cupuaçu durante secagem por estufa de convecção forçada.



Fonte: A Autora

3.4 Planejamento experimental

Para realização dos experimentos de secagem do cupuaçu (por CTD e convectiva em estufa), foi realizado um planejamento experimental do tipo planejamento fatorial a três níveis com dois fatores (3^2) e com duas réplicas no ponto central, com o objetivo de estimar os efeitos de dois fatores envolvidos no processo (espessura de espalhamento e temperatura da fonte de calor – água quente em CTD e ar aquecido secagem convectiva) sobre as variáveis resposta, tempo de secagem, umidade, cor (L , a^* , b^* , ΔE , C^* e h°) e higroscopicidade. A partir da execução desses dois planejamentos 3^2 (um para a secagem convectiva e outro para a secagem por CTD) foi obtido um terceiro planejamento fatorial, neste caso um planejamento fatorial a dois níveis com três fatores (2^3), acrescentando uma terceira variável independente além das duas investigadas nos planejamentos 3^2 com o objetivo de analisar, também o efeito do método de secagem utilizado. Para este planejamento não foram realizados novos experimentos, apenas utilizou os resultados dos planejamentos originais.

Na Tabela 2 são apresentados os planejamentos fatoriais 3^2 e 2^3 executados, com os fatores e os níveis avaliados.

Tabela 2 - Fatores e níveis dos planejamentos 3^2 e 2^3

Fator	Planejamento				
	2^3		3^2		
	-1	+1	-1	0	+1
Temperatura do meio secante ($^{\circ}\text{C}$) (X_1)	65	85	65	75	85
Espessura da camada a ser seca (mm) (X_2)	3	5	3	4	5
Método de secagem (X_3)	<i>Cast-tape drying</i>	Secagem convectiva em estufa	*	*	*

* não se aplica ao planejamento.

Fonte: A Autora

Na Tabela 3 é apresentada a matriz dos planejamentos fatoriais 3^2 executados, com duas réplicas no ponto central para os dois métodos de secagem. Enquanto que na Tabela 4 é mostrado a matriz do planejamento fatorial 2^3 analisado.

Tabela 3-Planejamento fatorial 3^2

Experimento	Variável Codificada		Variável Real	
	X_1	X_2	Temperatura (°C)	Espessura (mm)
1	-1	-1	65	3
2	-1	0	65	3
3	-1	+1	65	3
4	0	-1	75	4
5	0	0	75	4
6	0	+1	75	4
7	+1	-1	85	5
8	+1	0	85	5
9	+1	+1	85	5
10	0	0	75	4
11	0	0	75	4

Fonte: A Autora

Tabela 4 - Planejamento fatorial 2^3

Exp.	Variável codificada			Variável real		
	X_1	X_2	X_3	Temperatura (°C)	Espessura (mm)	Método de Secagem
1	-1	-1	-1	65	3	<i>cast-tape drying</i>
2	1	-1	-1	85	3	<i>cast-tape drying</i>
3	-1	+1	-1	65	5	<i>cast-tape drying</i>
4	1	+1	-1	85	5	<i>cast-tape drying</i>
5	-1	-1	+1	65	3	convectiva em estufa
6	1	-1	+1	85	3	convectiva em estufa
7	-1	+1	+1	65	5	convectiva em estufa
8	1	+1	+1	85	5	convectiva em estufa

Fonte: A Autora

Os resultados experimentais de caracterização do resíduo de cupuaçu seco foram analisados estatisticamente por regressão múltipla com suporte do *software* STATISTICA, a um nível de significância de 10% ($p \leq 0,10$). A análise estatística realizada para cada um dos 3 planejamentos fatoriais investigados permitiu quantificar os efeitos relacionados a cada variável independente (temperatura da água circulante e espessura de espalhamento da amostra para os planejamentos fatoriais a três

níveis, e além destas, o método de secagem no planejamento fatorial a dois níveis) nas variáveis respostas analisadas. Para o planejamento fatorial a dois níveis foram quantificados os efeitos relacionados às variáveis independentes de forma isolada, assim como os efeitos de interação. Já para os planejamentos a três níveis, além dos efeitos principais e de interação entre as variáveis, foram determinados os efeitos quadráticos. Então, também a partir das regressões múltiplas para os planejamentos a três níveis foram obtidas equações empíricas (superfícies de respostas) para melhor visualizar o efeito das variáveis nas respostas. Os resíduos das regressões foram distribuídos de forma independente e aleatória de acordo com uma distribuição normal com média zero e variância constante.

As variáveis independentes avaliadas foram adimensionalizadas, conforme mostrado nas Equações 4 e 5. Estas variáveis são X_1 para temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e X_2 para espessura (mm).

$$X_1 = \frac{T[^{\circ}\text{C}] - 75}{10} \quad (4)$$

$$X_2 = E[\text{mm}] - 4 \quad (5)$$

A Equação 6, uma equação polinomial quadrática, apresenta a forma da superfície ajustada da resposta estudada em função das variáveis de interesse por meio da metodologia da superfície de resposta (CUNICO, 2008; SANTANA, 2011).

$$Z = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_{11}X_{11}^2 + B_{22}X_{22}^2 + B_{12}X_1X_2 \quad (6)$$

Em que Z é a variável dependente (resposta) e B_{ij} são os coeficientes a serem estimados.

Para este trabalho foi utilizado a designação \hat{y}_i = resposta para secagem em *cast-tape dryer* no planejamento 3² e \hat{y}_j = resposta para secagem em estufa convectiva no planejamento 3².

3.5 Caracterização físico-química do resíduo de cupuaçu seco por *Cast-tape Drying*.

3.5.1 Determinação da umidade

A umidade das amostras foi determinada segundo a metodologia A.O.A.C. (2005). Cadinhos de alumínio foram previamente aquecidos em estufa a 105 °C por 1 h, em seguida foram resfriados em dessecador até temperatura ambiente e com massa conhecida, as amostras foram coletadas e pesadas. Na sequência, os cadinhos de alumínio contendo as amostras foram colocados em estufa (Ethik Technology, modelo 400-TD, Brasil) a 105 ± 2 °C por 24 h. Ao final das 24 h, as amostras foram retiradas da estufa, colocadas em dessecador até atingirem a temperatura ambiente e pesadas em balança analítica (Shimadzu do Brasil, modelo AUW320, Brasil). A umidade das amostras, em base seca (b.s.) foi calculada de acordo com a Equação 1.

3.5.2 Determinação da Cor Instrumental

A cor foi avaliada por refletância utilizando colorímetro digital (CR400 – Minolta Company, Japão), com escala CIELab (L^* , a^* , b^*). As medidas de coloração são expressas em termos da luminosidade L^* ($L^*=0$ preto e $L^*=100$ branco), e da cromaticidade definida por a^* (+60 a^* =vermelho e - 60 a^* =verde) e b^* (+ 60 b^* =amarelo e - 60 b^* =azul). Com os valores de L^* , a^* e b^* foram obtidos a diferença total de cor (ΔE), sendo utilizado para L_0^* , a_0^* e b_0^* os valores da amostra *in natura*.

A diferença total de cor, a cromaticidade e o ângulo de tonalidade foram calculados usando as equações 4, 5 e 6 respectivamente. Os valores de L_0 , a_0 e b_0 foram obtidos do resíduo *in natura*.

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (7)$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (8)$$

$$h^\circ = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (9)$$

3.5.3 Determinação da Higroscopicidade

A higroscopicidade do sólido seco foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Cai e Corke (2000), com algumas modificações. Aproximadamente 1 g de cada amostra foi colocada em um dessecador contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,29 %) a 25°C e, após uma semana, as amostras foram pesadas e a higroscopicidade expressa como g de umidade adsorvida por 100 g de massa seca da amostra ($\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$) e calculada conforme apresentado na Equação 10.

$$H = \frac{m_i}{x} \cdot 100 \quad (10)$$

Em que, H representa a higroscopicidade (g de água adsorvida/100 g de sólidos); m_i é a massa inicial da amostra (g); x é a massa de umidade adsorvida (g).

3.5.4 Análise granulométrica

Para as amostras do produto seco, foi determinada a distribuição granulométrica e calculado o diâmetro médio de Sauter das partículas após a desaglomeração das mesmas em liquidificador (Black e Decker, modelo Le420, Brasil). Assim, 100 g de amostras foram pesadas em balança analítica e colocadas sobre um conjunto contendo 17 peneiras padronizadas (mais o fundo ou peneira “cega”), da série Tyler na faixa de 14 a 200 mesh. As peneiras foram colocadas sobre agitador vibratório (Haver & Boecker, modelo Haver EML Digital Plus, Alemanha), durante 10 min sob amplitude de vibração de 2 mm. Ao final do tempo as peneiras e o fundo foram pesados para verificar a quantidade de material particulado retido em

cada um deles. O diâmetro médio de Sauter foi calculado a partir das frações mássicas retidas em cada peneira através da Equação 11.

$$\bar{D} = \frac{1}{\sum \frac{\Delta x_i}{D_i}} \quad (11)$$

Em que \bar{D} é o diâmetro médio de Sauter, Δx_i é a fração em massa retida em cada faixa e D_i é o diâmetro médio em cada faixa da distribuição.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do resíduo de cupuaçu *in natura*

Na Tabela 5, são apresentados os resultados da caracterização físico-química do resíduo de cupuaçu *in natura*.

Tabela 5 - Caracterização físico-química do resíduo de cupuaçu *in natura*.

Característica		Valor médio \pm Desvio Padrão
Umidade (b.u.)		0,80 \pm 0,022
Parâmetros de Cor	L^*	32,11 \pm 0,086
	a^*	1,65 \pm 0,116
	b^*	10,09 \pm 0,028
	h°	80,71 \pm 0,66
	C^*	10,22 \pm 0,02

Fonte: A Autora

O teor de umidade (b.u.) do resíduo de cupuaçu está próximo aos encontrados por Sousa et al. (2011), que foi 85%, que quantificaram a composição centesimal e de compostos antioxidantes de diferentes resíduos de polpas de frutas, sendo um deles o cupuaçu obtido de despoldadeira. O elevado teor de umidade do produto torna susceptível à deterioração tanto físico-química como microbiológica (FENNEMA, 2010).

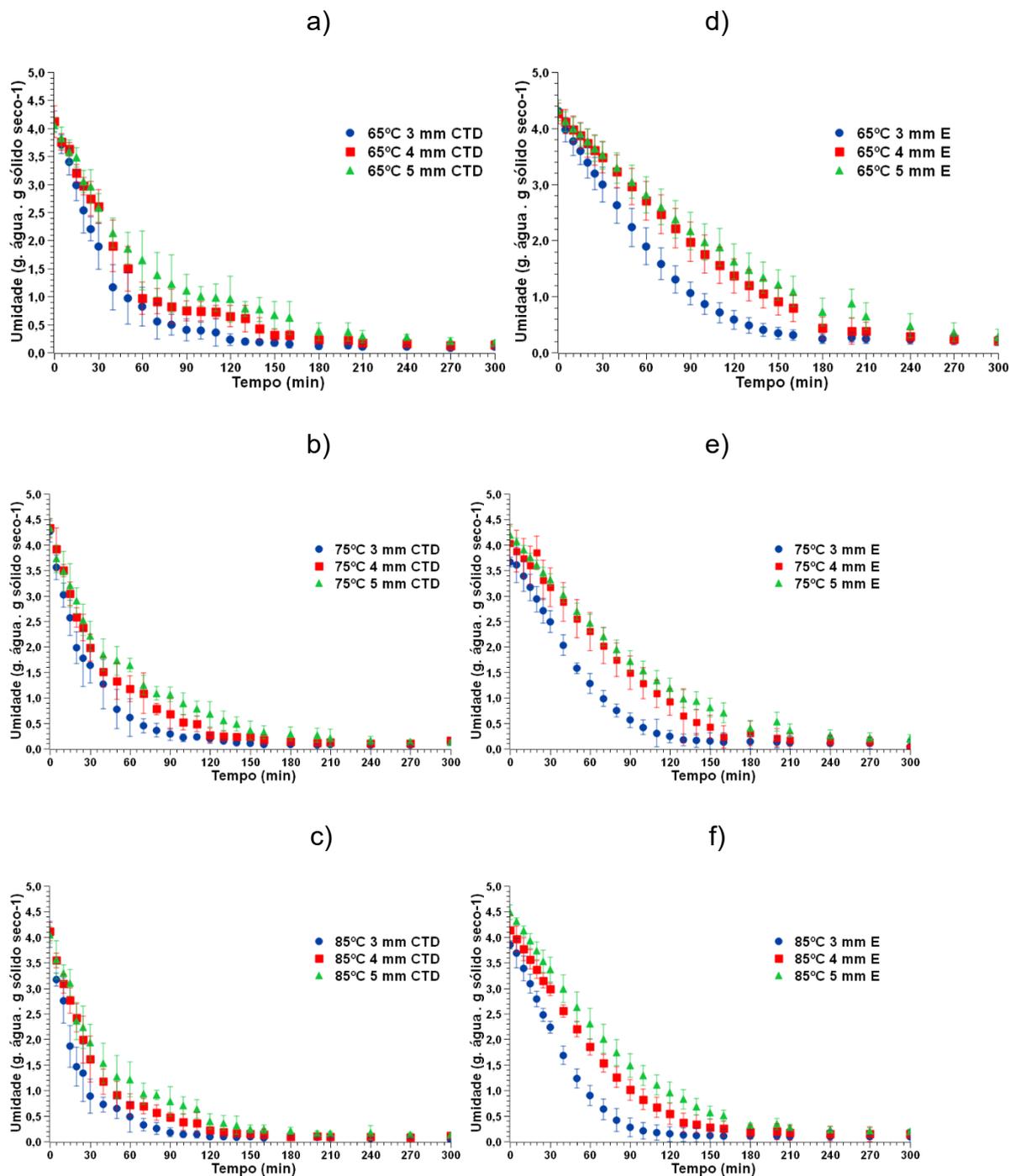
O cupuaçu é caracterizado por possuir tonalidades de amarelo (BIASI, 2016; FREITAS et al., 2010). Para o resíduo de cupuaçu analisado foi obtido valor do parâmetro de cor instrumental de b^* de 10,09 indicando tendência ao amarelo valores semelhantes ao encontrado por Pereira et al., (2019) que para sementes do cupuaçu encontrou 10,77 o valor de b^* .

4.2 Cinética de secagem do resíduo de cupuaçu por cast-tape drying e por Estufa convectiva com circulação forçada de ar

Por meio da cinética de secagem, é possível determinar o comportamento da perda de umidade em função do material sólido que é seco, sendo que este comportamento é representado pelas curvas de cinética de secagem.

Os experimentos realizados para secagem do resíduo de cupuaçu por *cast-tape drying* (CTD) e por secagem convectiva em estufa aconteceram conforme apresentado no planejamento experimental descrito no item 3.4, avaliando a influência da temperatura do meio secante e da espessura de espalhamento da amostra. As curvas de cinética de secagem para o resíduo de cupuaçu mostrando a variação da umidade em base seca ($\text{g água. g sólido seco}^{-1}$) em função do tempo de secagem (min) nas temperaturas da água circulante de 65, 75 e 85 e espessuras de 3, 4 e 5 mm, são apresentadas na Figura 12.

Figura 12 - Variação da umidade (em base seca) em função do tempo (min) durante a secagem do resíduo de cupuaçu com: a), b) e c) para cast-tape drying, respectivamente, em 65, 75 e 85°C; e, d), e) e f) para secagem convectiva em estufa, respectivamente.



Fonte: A Autora

O tempo de secagem necessário para cada uma das condições aplicadas, foi definido com base no tempo para atingir o período de taxa decrescente da curva e que se tenha atingido valores inferiores a 13% de umidade. Estudos mostram que

umidade inferior a 15% são ideias para a estabilidade de alimentos secos (STORCK et al., 2015). Na Tabela 6 são mostrados os tempos de secagem e umidade final do sólido seco obtido para cada condição.

Tabela 6 - Tempo de secagem e umidade final para as diferentes condições de temperatura e espessura nos processos de cast-tape drying e secagem convectiva em estufa

Temperatura (°C)	Espessura (mm)	Tempo (min)		Umidade (%)	
		CTD	Secagem convectiva	CTD	Secagem convectiva
65	3	180	240	6,98±0,60	8,05±0,15
65	4	240	270	10,63±2,24	9,73±0,28
65	5	300	300	17,29±2,56	10,34±0,22
75	3	160	270	6,46±1,97	8,60±0,16
75	4	180	210	9,38±0,38	9,88±0,15
75	5	270	270	12,11±0,38	11,81±0,19
85	3	120	160	5,94±1,31	8,71±0,20
85	4	170	200	7,32±1,11	8,65±0,39
85	5	240	240	11,68±1,55	8,88±0,21
75	4	210	210	10,43±1,87	10,43±0,43
75	4	210	210	10,79±1,65	9,74±0,36

OBS.: Dados apresentados na forma Média ± Desvio Padrão

Fonte: A Autora

A menor espessura de espalhamento (3 mm), combinada com a maior temperatura (85 °C) foi a condição que conduziu ao menor tempo de secagem, aproximadamente 120 min para as amostras secas por CTD e 160 min para as amostras secas em estufa convectiva. Nessas condições, como apresentado na Tabela 6, a umidade final em base úmida foi de 5,94% para a amostra seca em CTD e 8,71% para amostra submetidas a secagem convectiva. Para as demais espessuras, de 4 e 5 mm, mantendo a mesma temperatura, os tempos necessários foram em torno de 170 e 240 min para as amostras secas por CTD e cerca de 200 e 240 min secas em estufa, respectivamente.

A condição que apresentou o maior tempo de secagem foi a espessura de 5 mm associada a temperatura de secagem de 65°C secando no CTD, para esta condição mesmo com 300 min de secagem (tempo máximo em que se realizou os experimentos) não foi atingido valor de umidade inferior a 13%, tendo ao final do experimento 17% de umidade, necessitando assim de maior tempo de secagem para atingir menor umidade. Por outro lado, para essa mesma condição de espessura e temperatura para a secagem convectiva em estufa foi alcançado umidades inferiores

a 13%, com 300 min. Para a temperatura 75 °C, foram requeridos tempos de secagem de 160, 180 e 270 min para as espessuras de 3, 4 e 5 mm respectivamente, secas em *cast-tape drying*. Já na secagem convectiva em estufa, nas mesmas condições de temperatura e espessura, foram necessários 160, 200 e 240 min para as espessuras de 3, 4 e 5, respectivamente.

Durante a secagem do resíduo de cupuaçu por *cast-tape* e por convecção forçada foi observado enrijecimento e encolhimento do material (Figura 13), reduzindo a superfície de contato entre a interface amostra-superfície de secagem, assim resultando em mais uma resistência para a transferência de calor e massa.

Figura 13 - Amostra de cupuaçu seca na espessura de 5 mm com temperatura de água circulante de 65°C seco por CTD após 300 min de secagem



Fonte: A Autora

Pereira (2007) observou na secagem de banana por micro-ondas durante secagem acontecia um “fenômeno” de endurecimento superficial. Segundo o autor, durante a secagem a altas temperaturas, o endurecimento é esperado para alimentos que contenham solutos dissolvidos em altas concentrações. Esse endurecimento dos tecidos, causado pelo ressecamento, dificulta o transporte da água do interior do material para a superfície, prolongando o tempo de remoção de umidade (ou o tempo da secagem) ou diminuindo a taxa. (DIONELLO et al., 2009; JORGE, 2018). Assim além da resistência da espessura, o fenômeno de endurecimento superficial prolongou os tempos de secagem.

Conforme foi mostrado na Figura 13 e na Tabela 6, a temperatura da água circulante (65, 75, 85°C), a espessura de espalhamento da amostra (3, 4 e 5 mm) e o

método de secagem (CTD e estufa) tenderam a influenciarem no tempo e umidade final de secagem do resíduo de cupuaçu.

Na Tabela 7 para os 3 planejamentos analisados (2^3 , 3^2 para CTD e 3^2 para estufa convectiva), são apresentados os valores dos efeitos dos fatores obtidos para o tempo de secagem, sendo X_1 temperatura, X_2 espessura da camada de resíduo de cupuaçu e X_3 (método de secagem).

Tabela 7 - Efeitos significativos para o tempo de secagem

Fator	Planejamento					
	2^3			3^2		
	Efeito	p-valor	Cast-tape drying		Secagem convectiva em estufa	
			Efeito	p-valor	Efeito	p-valor
	R²=0,9974		R²=0,9603		R²=0,9842	
Média	*	*	202,00	0,0000	209,29	0,0000
X_1	-35,00	0,0198	-43,34	0,0406	-50,00	0,0023
X_2	125,00	0,0016	146,66	0,0001	98,92	0,0003
X_3	25,00	0,0378	*	*	*	*
X_1X_2	35,00	0,0198	30,00	0,114	40,00	0,0105
X_1X_3	-	-	*	*	*	*
X_2X_3	-25,00	0,0378	*	*	*	*
X_1X_1	*	*	-	-	53,58	0,0142
X_2X_2	*	*	49,34	0,0864	26,78	0,1002

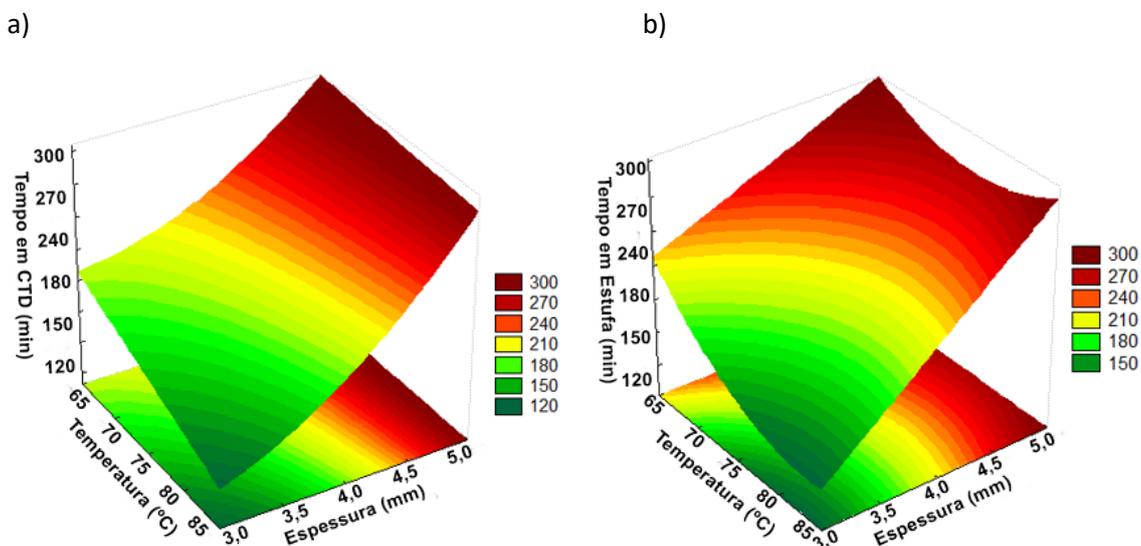
(*) não se aplica ao planejamento ou análise aqui realizada; (-) efeito com p-valor maior que 0,1. OBS.: para essa resposta foi realizado um *outlier* a partir da análise residual, sendo desconsiderado o experimento 6 no 3^2 para CTD e o experimento 4 para a secagem convectiva em estufa. Fonte: A autora.

As equações empíricas obtidas por regressão múltipla, para representar a variação do tempo de secagem em função das variáveis independentes estudadas são apresentadas nas Equações 12 e 13, respectivamente, para os resultados dos planejamentos fatoriais a três níveis para as secagens por *cast-tape* e em estufa convectiva. Para melhor visualizar os efeitos dos fatores (Tabela 7), as superfícies de resposta representadas por estas equações de regressão são mostradas na Figura 14.

$$\hat{y}_1 = 202,00 - 21,67X_1 + 73,33X_2 + 24,67X_2X_2 + 15,00X_1X_2 \quad (12)$$

$$\hat{y}_1 = 202,00 - 21,67X_1 + 73,33X_2 + 24,67X_2X_2 + 15,00X_1X_2 \quad (13)$$

Figura 14 - Superfícies de resposta para o tempo de secagem em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD; e, (b) secagem convectiva em estufa



Fonte: A Autora

Conforme apresentado na Tabela 7, analisando os resultados obtidos a partir do planejamento 2³, verifica-se que os três fatores investigados apresentaram efeito significativo no tempo de secagem, sendo que a espessura foi a variável que afetou de forma mais intensa. Destaca-se ainda que o método de secagem se mostrou significativo de forma isolada e com interação, sendo que o sinal positivo de seu efeito principal indica a tendência de menor tempo no método de *cast-tape drying*. Contudo, esse comportamento não pode ser afirmado devido ao efeito significativo da interação entre método de secagem e a espessura da camada de material submetido ao processo térmico. O coeficiente de determinação (R^2) de regressão obtido foi de 0,9974.

Analogamente, por meio dos planejamentos em três níveis para os dois distintos métodos de secagem, nota-se que temperatura e espessura influenciaram no tempo de secagem de forma isolada, e por meio de interação e termo quadrático, sendo que o efeito mais intenso na secagem convectiva em estufa e por CTD foi o efeito principal da variável espessura da camada de material submetido à operação de redução de umidade. Nesse sentido, os modelos empíricos e suas superfícies de resposta mostram que o tempo da operação foi mais curto associando menores espessuras e temperaturas mais elevadas. Em geral, devido a intensidade do efeito da espessura e de seu sinal positivo, observa-se que um aumento na espessura resultou em incremento no tempo de secagem. Em relação à temperatura, devido à

intensidade dos efeitos de interação e/ou quadrático em comparação com o efeito principal, ao contrário do que ocorreu para a espessura, a influência no tempo de secagem não pode ser relevada somente pelo sinal do efeito principal. Por conseguinte, percebe-se que em ambos os métodos de secagem, para menores espessuras, a elevação da temperatura conduziu em diminuição no tempo do processo. Por outro lado, para maiores níveis de espessura, no método de *cast-tape drying* o aumento da temperatura praticamente não alterou o tempo, enquanto que no método de secagem convectiva em estufa, visualiza-se um menor tempo de operação para temperaturas intermediárias (maiores tempos nos níveis extremos). Para os planejados 3^2 , (para *cast-tape drying* e secagem convectiva em estufa) os valores de coeficiente de determinação (R^2) foram de 0,9603 e 0,9842, respectivamente.

Na Tabela 8 para os 3 planejamentos analisados (2^3 , 3^2 para CTD e 3^2 para estufa convectiva), encontram-se os valores dos efeitos obtidos para a umidade final.

Tabela 8 - Efeitos significativos para a umidade final.

Fator	Planejamento					
	2^3			3^2		
	Efeito	p-valor	<i>Cast-tape drying</i>		Secagem convectiva em estufa	
			Efeito	p-valor	Efeito	p-valor
	$R^2 = 0,8932$		$R^2 = 0,9346$		$R^2 = 0,8453$	
Média	*	*	0,0991	0,0000	0,1009	0,0000
X ₁	-	-	-0,0332	0,0048	-	-
X ₂	0,0463	0,0343	0,0724	0,0000	0,01900	0,0057
X ₃	-	-	*	*	*	*
X ₁ X ₂	-	-	-0,0228	0,0568	-	-
X ₁ X ₃	-	-	*	*	*	*
X ₂ X ₃	-0,0340	0,0727	*	*	*	*
X ₁ X ₁	*	*	-	-	-0,0206	0,0215
X ₂ X ₂	*	*	-	-	-0,0106	0,1022

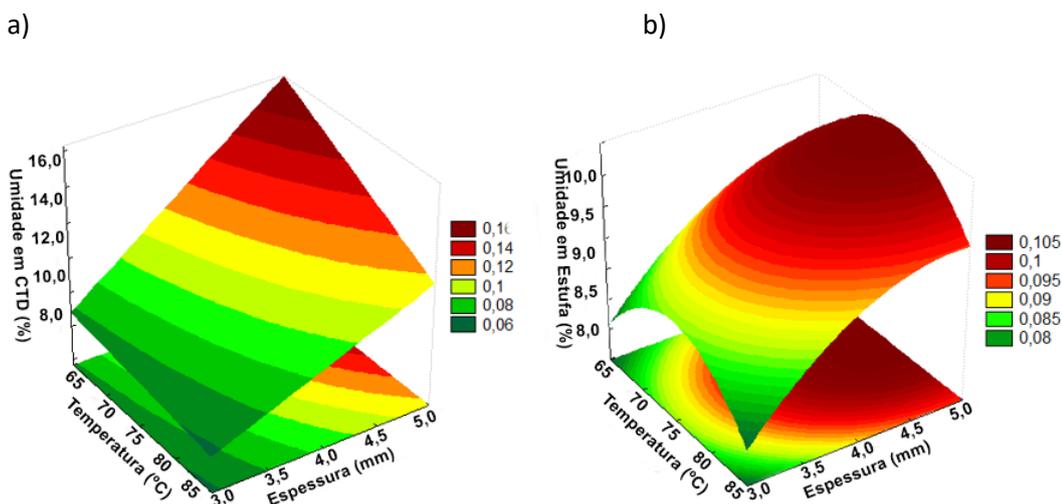
(*) não se aplica ao planejamento ou análise aqui realizada; (-) efeito com p-valor maior que 0,1. Fonte: A autora.

As equações empíricas obtidas para representar a variação da umidade final do produto seco são apresentadas nas Equações 14 e 15, respectivamente, para os resultados dos planejamentos fatoriais a três níveis para as secagens por *cast-tape* e em estufa convectiva. As superfícies de resposta representadas por estas equações de regressão são mostradas, respectivamente, na Figura 15.

$$\widehat{y}_2 = 0,0991 - 0,0166X_1 + 0,0362X_2 - 0,0114X_1X_2 \quad (14)$$

$$\widehat{J}_2 = 0,1009 + 0,0095X_2 - 0,0103X_1X_1 - 0,0053X_2X_2 \quad (15)$$

Figura 15 - Superfícies de resposta para a umidade final em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD; e, (b) secagem convectiva em estufa



Fonte: A Autora

Como observado na Tabela 8, a partir da quantificação dos efeitos e da determinação daqueles que foram significativos, considerando 10% de nível de significância, verificou-se que a temperatura de operação, a espessura da camada submetida ao processo e o método de secagem, influenciaram na umidade final, seja de forma isolada, interação ou por meio de termo quadrático. Conforme observado na Figura 15 para os dois métodos de secagem, em geral, menores teores de umidade final do produto seco foram encontrados com a combinação de menores espessuras e maiores temperaturas. O coeficiente de determinação (R^2) de regressão obtido foi de 0,8932 para o planejamento 2^3 , e para os planejados 3^2 (para *cast-tape drying* e secagem convectiva em estufa) foram obtidos valores de coeficiente de determinação (R^2) 0,9346 e (R^2) 0,8453 respectivamente.

Conforme observado na análise dos efeitos para tempo de secagem e umidade final nas Tabela 7 e 8 e nas Figura 14 e 15, em geral a espessura foi o fator que mais influenciou a umidade final e o tempo de secagem do resíduo de cupuaçu seco, analisando os três planejamentos analisados. A transferência de calor e massa durante a secagem depende principalmente dos mecanismos de transporte nas camadas superficiais do sólido e da resistência ao transporte de umidade dentro do material que é seco (CARMO, 2000). Maiores espessuras das amostras resultou em

aumento da distância entre o interior e a superfície, assim aumentando a resistência ao transporte da umidade no interior do material.

Maiores temperaturas de secagem e uma diminuição da espessura de espalhamento resultaram em produto seco com menor umidade final. É esperado que conforme aumenta a temperatura maior é a força motriz para remoção da umidade (PARK et al., 2006). A maior temperatura conduz a um maior gradiente de temperatura entre a amostra e o ar próximo a sua superfície, havendo maior transferência de calor e redução do tempo de secagem. A menor espessura de espalhamento do resíduo de cupuaçu, 3 mm, quando associada à maior temperatura da água circulante, 85°C resultou em menores tempos de secagem em ambos os métodos. Por outro lado, maiores tempos de secagem foram necessários com a espessura de 5 mm na menor temperatura 65°C.

Da mesma forma pode ser interpretado pelas taxas de secagem. As taxas de secagem para a secagem do resíduo de cupuaçu são apresentadas na Tabela 9 para a secagem por *cast-tape* e para a secagem convectiva.

Tabela 9 - Taxas de secagem para a secagem por CTD e secagem convectiva.

Método de secagem	Temperatura (°C)	Espessura (mm)	CTD	
			Taxa (g água/g sólido seco. min)	R ²
CTD	65	3	0,0742 ± 0,0013	0,9982
	65	4	0,0519 ± 0,0012	0,9957
	65	5	0,0397 ± 0,0020	0,9776
	75	3	0,0893 ± 0,0081	0,9602
	75	4	0,0627 ± 0,0049	0,9582
	75	5	0,0612 ± 0,0034	0,9816
	85	3	0,1031 ± 0,0099	0,9552
	85	4	0,0736 ± 0,0037	0,9847
	85	5	0,0643 ± 0,0046	0,9698
	75	4	0,0721 ± 0,0036	0,9847
	75	4	0,0635 ± 0,0051	0,9845
	Estufa convectiva	65	3	0,0359 ± 0,0008
65		4	0,0245 ± 0,0002	0,9986
65		5	0,0222 ± 0,0003	0,9956
75		3	0,0373 ± 0,0012	0,9869
75		4	0,0258 ± 0,0005	0,9941
75		5	0,0259 ± 0,0005	0,9932
85		3	0,0455 ± 0,0025	0,9803
85		4	0,0331 ± 0,0010	0,9875
85		5	0,0318 ± 0,0008	0,9901
75		4	0,0277 ± 0,0003	0,9874
75		4	0,2930 ± 0,0007	0,9863

OBS.: Dados apresentados na forma Média ± Desvio Padrão. Fonte: A Autora

As maiores taxas de secagens foram obtidas para as maiores temperaturas e menores espessura. Quando comparado os métodos, a secagem por *cast-tape* obteve maiores taxas em comparação à secagem convectiva em estufa. A secagem por convecção forçada com ar quente apresentou menor eficiência, em geral, devido à baixa condutividade térmica do ar. O processo por *cast-tape drying* (método predominantemente condutivo) apresentou maiores taxas de secagem pois, diferentemente da estufa, em que a transferência de calor acontece majoritariamente por convecção do ar de secagem para a superfície do alimento que está em contato com ele e, então, para o interior do material, no sistema de CTD a transferência para o alimento ocorre por condução entre o filme polimérico aquecido (*mylar*) e a superfície

do alimento em contato com esse polímero. Em relação a espessura, uma maior camada resulta em maior resistência interna à migração de umidade (transferência de massa) no interior do alimento e, também, a transferência de calor nas seções mais internas durante o processo de aquecimento é baixa (PEREIRA, 2007). E em relação à temperatura, conforme explicado repostado anteriormente, níveis mais elevados conduzem à maior força motriz para a transmissão da energia térmica.

Comportamento semelhante foi observado por Pich (2019) na secagem de pasta de pimenta rosa (*Schinus terebinthifolius R.*) por CTD em que elevadas temperaturas da água circulante e menores espessuras de espalhamento levaram a maiores taxas de secagem. No mesmo sentido Silva (2021) verificou, na secagem por CTD de hortelã (*Mentha Spicata L.*) que camadas mais finas de espalhamento da polpa apresentaram maiores taxas de secagem. Durigon (2016) concluiu que a produção de tomate em pó desidratado por CTD é uma alternativa viável para aplicação industrial, tendo em vista os tempos reduzidos.

Estudos em desenvolvimento na área de secagem de alimentos visam à manutenção das propriedades nutritivas e sensoriais do produto seco além da aplicação rápida e eficiente de processos térmicos. Assim, metodologias recentes vêm sendo estudadas como o processo de *cast-tape drying* em alternativa a métodos convencionais de secagem de alimentos como a secagem convectiva com ar quente em estufa.

4.3 Caracterização físico-química do resíduo de cupuaçu seco

4.3.1 Cor Instrumental

A cor é um importante atributo para os alimentos indicando a qualidade e, muitas vezes, determinando o seu valor. A mudança de cor de um produto alimentício durante a secagem é uma indicação de quão intensas são as condições de secagem e pode interferir na avaliação sensorial do consumidor (FERREIRA; SPRICIGO, 2017).

Os resultados dos parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*) do resíduo de cupuaçu *in natura* e seco são mostrados nas Tabela 10 e Tabela 11 para *cast-tape drying* (CTD) e secagem convectiva em estufa, respectivamente. Foram realizadas cinco repetições para cada experimento.

Tabela 10 - Parâmetros de cor do resíduo de cupuaçu seco em estufa convectiva.

Amostra / Experimento	Estufa					
	L^*	a^*	b^*	ΔE	C^*	h°
<i>In natura</i>	32,11±0,09	1,65±0,12	10,09±0,03	-	10,22±0,02	80,71±0,66
1	28,73±0,04	2,85±0,03	10,22±0,02	3,58±0,03	10,61±0,02	74,43±0,14
2	29,69±0,05	2,71±0,04	10,41±0,01	2,65±0,03	10,76±0,02	75,42±0,18
3	29,90±0,02	2,50±0,03	10,42±0,01	2,38±0,02	10,71±0,01	76,49±0,15
4	26,66±0,11	3,54±0,04	10,67±0,03	5,79±0,09	11,24±0,03	71,66±0,18
5	26,50±0,03	2,94±0,03	9,96±0,02	5,75±0,04	10,38±0,02	73,57±0,18
6	26,44±0,02	2,72±0,04	10,03±0,01	5,76±0,02	10,39±0,01	74,81±0,20
7	23,86±0,09	3,53±0,02	9,42±0,04	8,49±0,09	10,06±0,04	69,46±0,06
8	22,52±0,03	3,24±0,04	8,31±0,02	9,88±0,03	8,92±0,02	68,68±0,28
9	22,58±0,44	3,78±0,06	8,90±0,02	9,83±0,43	9,67±0,03	66,99±0,30
10	27,89±0,13	3,39±0,02	10,72±0,02	4,60±0,12	11,24±0,86	72,45±0,03
11	27,63±0,10	3,51±0,03	10,77±0,01	4,89±0,02	11,33±0,16	71,95±0,03

OBS.: Dados apresentados na forma Média ± Desvio Padrão. Fonte: A Autora

Tabela 11 - Parâmetros de cor do resíduo de cupuaçu seco em CTD.

Amostra/ Experimento	CTD					
	L^*	a^*	b^*	ΔE	C^*	h°
<i>In natura</i>	32,11±0,09	1,65±0,03	10,09±0,12	-	10,22±0,02	80,71±0,66
1	28,56±0,04	2,83±0,03	10,29±0,02	3,75±0,04	10,67±0,02	74,61±0,15
2	28,42±0,07	2,64±2,68	8,78±0,04	4,49±1,51	9,21±2,49	71,48±8,20
3	28,98±0,02	2,19±0,02	9,79±0,04	3,19±0,02	10,04±0,03	77,37±0,23
4	31,08±0,04	2,39±0,01	10,84±0,17	1,47±0,09	11,10±0,04	77,55±0,86
5	30,76±0,04	2,41±0,03	10,72±0,03	1,67±0,03	10,99±0,03	77,31±0,16
6	30,10±0,13	2,39±0,09	10,94±0,06	2,29±0,33	11,20±0,02	77,66±0,19
7	30,23±0,06	2,61±0,01	10,85±0,04	2,24±0,05	11,16±0,01	76,49±0,19
8	31,87±0,06	2,18±0,04	10,57±0,04	0,76±0,03	10,79±0,04	78,33±0,19
9	30,48±0,03	2,15±0,02	10,27±0,04	1,71±0,03	10,49±0,01	78,18±0,22
10	29,9±0,05	2,22±0,03	10,31±0,08	2,29±0,09	10,55±0,02	77,85±0,02
11	29,81±0,04	2,28±0,04	10,26±0,05	2,39±0,09	10,51±0,23	77,47±0,09

OBS.: Dados apresentados na forma Média ± Desvio Padrão. Fonte: A Autora

A partir dos resultados apresentados nas Tabelas 10 e 11, o parâmetro (b^*), o qual indica tendência ao amarelo (quanto mais positivo o valor for), verificou-se que as amostras mesmo após a secagem tenderam a manter o valor próximo ao *in natura* de $10,09 \pm 0,03$. Comportamento semelhantes aos encontrados por Pereira et al., (2019) na secagem de resíduos de diferentes frutas como o cupuaçu. A variação do parâmetro L^* (que varia do branco ao preto) das amostras secas comparada a amostra *in natura*, mostram que durante a secagem ocorreu escurecimento do resíduo de cupuaçu. O escurecimento é uma das reações que pode acontecer nos alimentos durante o processo de secagem, seja por ação de fatores enzimáticos ou químicos (CELESTINO, 2010). O parâmetro a^* , que indica tendência do verde ao vermelho, aumentou em todos os experimentos indicando intensidade deste tom no resíduo seco.

4.3.1.1 Parâmetro de cor L^*

Os resultados da análise estatística (estimativa dos efeitos), aplicada aos dados experimentais para o parâmetro de luminosidade (L^*) (Tabelas 10 e 11) são mostrados na Tabela 12.

Tabela 12 - Efeitos significativos para o parâmetro L^*

Fator	Planejamento					
	2^3			3^2		
	Efeito	p-valor	<i>Cast-tape drying</i>		Secagem convectiva em estufa	
			Efeito	p-valor	Efeito	p-valor
	$R^2 = 0,9879$		$R^2 = 0,8031$		$R^2 = 0,9665$	
Média	*	*	30,33	0,0000	27,03	0,0000
X_1	-2,2585	0,0074	1,6994	0,0047	-6,4594	0,0000
X_2	-	-	-	-	-	-
X_3	-3,2925	0,0019	*	*	*	*
X_1X_2	-	-	-	-	0	0
X_1X_3	-3,8415	0,0010	*	*	*	*
X_2X_3	-	-	*	*	*	*
X_1X_1	*	*	1,6596	0,0250	-1,6230	0,0514
X_2X_2	*	*	-	-	-1,2224	0,0694

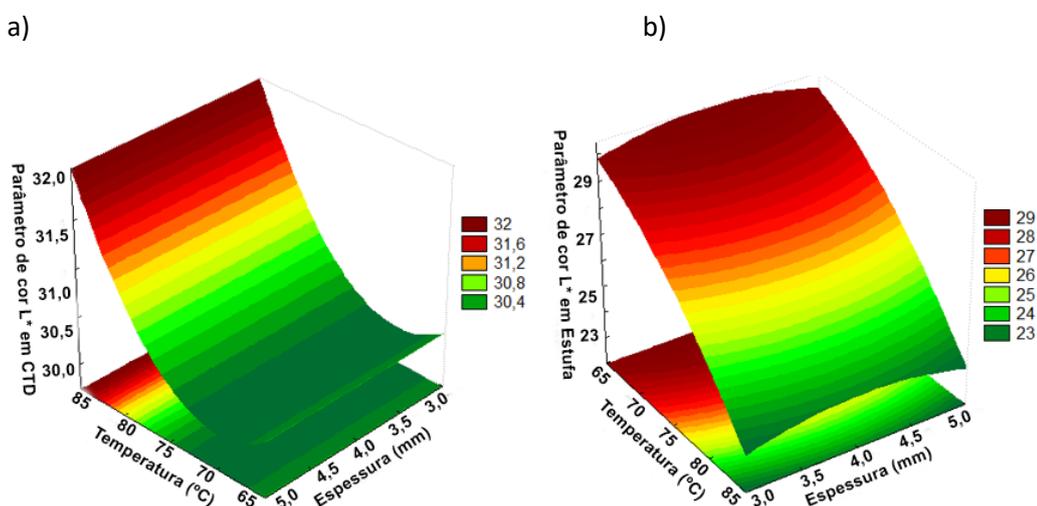
* não se aplica ao planejamento ou análise aqui realizada; - efeito com p-valor maior que 0,1. OBS.: para essa resposta foi realizado um outlier a partir da análise residual, sendo desconsiderado o experimento 8 no 3^2 para CTD.

As equações empíricas obtidas para representar a variação da luminosidade no produto seco nas diferentes condições investigadas são apresentadas nas Equações 16 e 17, respectivamente, para os resultados dos planejamentos fatoriais a três níveis para as secagens por cast-tape e em estufa convectiva. As superfícies de resposta representadas por estas equações de regressão são mostradas na Figura 16.

$$\widehat{y}_3 = 30,33 + 0,8497X_1 + 0,8298X_1X_1 \quad (16)$$

$$\widehat{y}_3 = 27,03 - 3,2297X_1 - 0,8115X_1X_1 - 0,6112X_2X_2 \quad (17)$$

Figura 16 - Superfícies de resposta para a Luminosidade (L^*) em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD; e, (b) secagem convectiva em estufa



Fonte: A Autora

A partir dos resultados apresentados na Tabela 12 (análise dos efeitos quantificados) é observado para o parâmetro L^* , em geral, que a temperatura do meio secante e o método de secagem apresentaram efeitos significativos nos processos de secagem, enquanto que a variável espessura da camada de resíduo teve efeito significativo somente para a secagem convectiva no planejamento a três níveis. Vale destacar que o efeito de interação entre temperatura e método de secagem estatisticamente significativo no planejamento 2^3 indica, conforme também observado na comparação dos valores de L^* nas Tabelas 10 e 11, que o efeito da temperatura foi diferente nos dois métodos, sendo mais forte na secagem convectiva em estufa. Da mesma forma, de acordo com essa interação, a mudança de método de secagem teve efeitos diferentes para menores e maiores temperaturas, de acordo com os efeitos de X_1 dos planejamentos 3^2 . Conforme essa interação, o efeito da temperatura

apresentou intensidade e sentidos diferentes comparando as secagens pelos dois processos tendendo a levar a uma diminuição no valor da luminosidade nos ensaios de secagem convectiva, e a um aumento na secagem por *cast-tape*, fato que pode ser confirmado pelos sinais opostos do efeito principal da variável temperatura nos dois planejamentos a três níveis. Para a regressão múltipla nos dados do planejamento 2³ o coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,9879 para o planejamento.

Conforme mostrado na Figura 16 nas superfícies de respostas construídas a partir dos resultados dos planejamentos 3², nota-se que no método de *cast-tape drying* somente a temperatura teve efeito estatístico significativo e para a secagem convectiva em estufa, embora a espessura tenha apresentado efeito significativo por meio do termo quadrático, uma vez que o efeito principal da temperatura foi relativamente maior, isso implica em maior intensidade no efeito da temperatura (o efeito da espessura, ainda que significativo, foi menor). De acordo com o que foi descrito na análise dos efeitos as superfícies mostram que na secagem convectiva em estufa, o aumento da temperatura conduziu a uma redução da luminosidade, ou seja, o produto seco tendeu a ser mais escuro para temperaturas mais elevadas do ar de secagem. Por outro lado, para o processo de CTD observa-se comportamento contrário, uma vez que o valor do parâmetro L^* tendeu a crescer com a elevação da temperatura. Porém, essa propensão (visualizado na superfície de resposta) a uma maior luminosidade à medida que se aumentou a temperatura ocorreu a partir de valores próximos a uma região de um nível intermediário desta variável sendo que, para níveis inferiores, a elevação temperatura não resultou em aumento do parâmetro L^* . Esse comportamento distinto nos níveis extremos investigados se expressa por meio do efeito do termo quadrático. Desta forma na secagem por CTD longos tempos de exposição da amostra ao calor (devido a menores temperaturas) resultaram em escurecimento da amostra (o maior tempo de contato foi mais danoso em comparação com uma maior temperatura), já na secagem convectiva o produto obtido foi mais escuro nos experimentos com duração mais curta, devido ao fato da temperatura mais elevada nesses ensaios. Vale destacar, conforme reportado, que os métodos apresentam predominância de mecanismos de transmissão de calor diferente, ou seja, em *cast-tape drying* tem-se transferência de calor por condução a partir do contato do alimento com o polímero aquecido (por água quente), e na estufa tem-se transferência de calor por convecção de ar quente. Das regressões múltiplas nos

dados dos planejamentos a três níveis, o coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,8031 e 0,9666, respectivamente, para secagem por cast-tape e na secagem convectiva em estufa.

Assim, é concluído que considerando os dois métodos (CTD e secagem convectiva), houve discordância no efeito da luminosidade das amostras. Com aumento da temperatura de secagem de 65 para 85°C na estufa, teve tendência de diminuição do parâmetro L^* , resultando em escurecimento da amostra, mesmo que a secagem ocorrendo em tempos inferiores, enquanto que para a secagem por CTD, o aumento da temperatura de 65 para 85°C resultou na obtenção de claridade da amostra com valores próximos àquela da amostra *in natura*. Então longos períodos de exposição da amostra ao meio de secagem (CTD), mesmo que em menores temperaturas ocasionaram o escurecimento da amostra seca.

4.3.1.2 Parâmetro de cor a^*

Os resultados da análise estatística (estimativa dos efeitos), aplicada aos dados experimentais para o parâmetro de a^* (Tabelas 10 e 11) são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Efeitos significativos para o parâmetro a^*

Fator	Planejamento					
	2^3			3^2		
	Efeito	p-valor	Cast-tape drying		Secagem convectiva em estufa	
			Efeito	p-valor	Efeito	p-valor
	$R^2 = 0,9599$		$R^2 = 0,8332$		$R^2 = 0,7151$	
Média	*	*	2,2653	0	3,2076	0
X ₁	-	-	-0,2426	0,0478	0,8314	0,0251
X ₂	-	-	-0,4898	0,0043	-	-
X ₃	0,7185	0,0438	*	*	*	*
X ₁ X ₂	-	-	-	-	-	-
X ₁ X ₃	0,5575	0,0698	*	*	*	*
X ₂ X ₃	-	-	*	*	*	*
X ₁ X ₁	*	*	0,3374	0,0043	-	-
X ₂ X ₂	*	*	-	-	-	-

* não se aplica ao planejamento ou análise aqui realizada; - efeito com p-valor maior que 0,1. OBS.: para essa resposta foi realizado um outlier a partir da análise residual, sendo desconsiderado o experimento 6 no 32 para CTD.

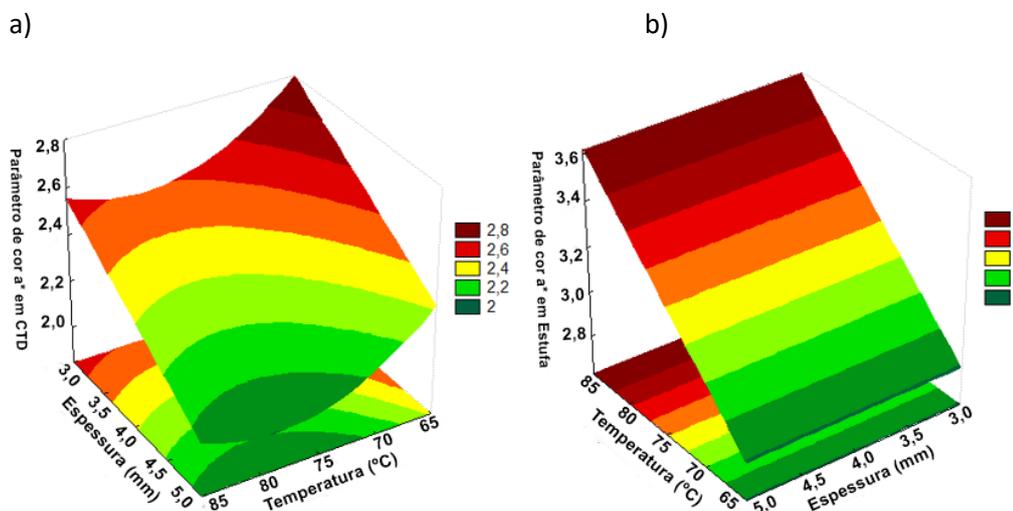
A partir dos resultados apresentados na Tabela 13, verifica-se que para o parâmetro a^* , em geral, a temperatura da fonte de calor e o método de secagem apresentaram efeitos significativos nos processos de secagem (assim como observou-se na análise dos resultados para a luminosidade), enquanto que a variável espessura da camada de resíduo teve efeito significativo somente para o processo de *cast-tape drying* no planejamento a três níveis. No planejamento 2^3 o efeito significativo da interação entre temperatura e método de secagem revela que o efeito do método de secagem foi diferente considerando temperaturas mais baixas e mais altas, sendo que para o método de *cast-tape drying* em comparação à secagem convectiva houve menor variação no valor do parâmetro a^* . conforme os efeitos de X_1 dos planejamentos 3^2 . O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,9599 para a regressão nos dados do planejamento 2^3 . Nos planejamentos 3^3 para a secagem por *cast-tape* foi observado maior efeito negativo da espessura da amostra e somente como variável isolada, indicando que a mudança de espessura do menor nível para o maior nível levou a uma redução no valor do parâmetro a^* . O R^2 foi de 0,8332 e 0,7151, respectivamente, para secagem por *cast-tape* e secagem convectiva em estufa.

As equações empíricas obtidas para representar a variação do parâmetro a^* são apresentadas nas Equações 18 e 19, respectivamente, para os resultados dos planejamentos fatoriais a três níveis para os processos de *cast-tape drying* e secagem convectiva em estufa. As superfícies de resposta representadas por estas equações de regressão são mostradas na Figura 17.

$$\widehat{y}_4 = 2,2653 - 0,1213X_1 - 0,2449X_2 + 0,1687X_1X_1 \quad (18)$$

$$\widehat{J}_4 = 3,2076 + 0,4157X_1 \quad (19)$$

Figura 17 - Superfícies de resposta para a^* em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD; e, (b) secagem convectiva em estufa



Fonte: A Autora

Analisando a Figura 17, para a secagem do resíduo de cupuaçu em *cast-tape* ocorreu maiores valores do parâmetro a^* em menor temperatura, 65°C, combinada menor espessuras, 3 mm, com tendência ao vermelho. Por outro lado, em altas temperaturas, entre 75 e 85°C, associadas com maior espessura, 5 mm, foram obtidos produtos com menores valores para o parâmetro a^* . Para a estufa foi observado que não houve variação com a alteração de espessura (o efeito de X_2 não foi significativo), e no que diz a respeito X_1 , observa-se efeito de aumentar o parâmetro a^* com elevação da temperatura, obtendo produtos com mais tendência ao vermelho e com valor deste parâmetro mais distante do resíduo *in natura*.

4.3.1.3 Parâmetro de cor b^*

Os resultados da análise estatística (estimativa dos efeitos), aplicada aos dados experimentais para o parâmetro b^* (Tabelas 10 e 11) são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Efeitos significativos para o parâmetro b^*

Fator	Planejamento					
	2^3			3^2		
	Efeito	p-valor	<i>Cast-tape drying</i>		Secagem convectiva em estufa	
			Efeito	p-valor	Efeito	p-valor
$R^2 = 0,9241$			$R^2 = 0,7409$		$R^2 = 0,8493$	
Média	*	*	10,4000	0,0000	10,3745	0,0000
X ₁	-	-	0,9386	0,0182	-1,4714	0,0092
X ₂	-	-	-	-	-	-
X ₃	-0,563	0,0552	*	*	*	*
X ₁ X ₂	-	-	-	-	-	-
X ₁ X ₃	-0,836	0,0201	*	*	*	*
X ₂ X ₃	-	-	*	*	*	*
X ₁ X ₁	*	*	-1,3336	0,0254	1,7066	0,0268
X ₂ X ₂	*	*	1,091	0,0538	-	-

* não se aplica ao planejamento; - efeito com p-valor maior que 0,1.

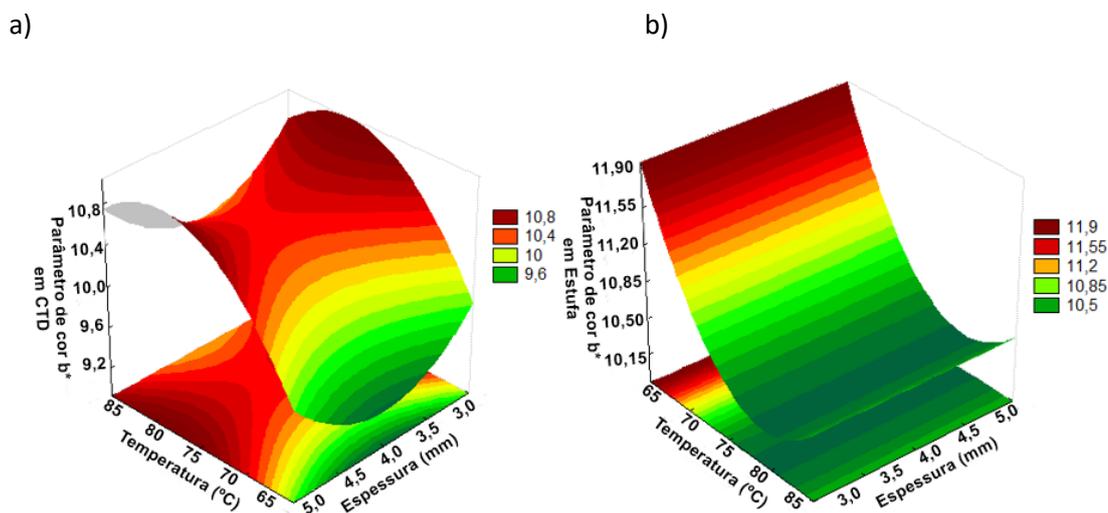
A partir dos resultados apresentados na Tabela 14, observa-se que para o parâmetro b^* , em geral, nas condições investigadas, a temperatura de processo e o método de secagem mostraram efeito significativo na resposta, enquanto que o fator espessura do material submetido ao tratamento térmico foi significativo apenas para o processo de *cast-tape drying* no planejamento a três níveis. Assim como foi verificado anteriormente para a quantificação dos efeitos significativos para os parâmetros L^* e a^* , o efeito de interação significativo entre temperatura e método de secagem no planejamento 2^3 mostra que o efeito da temperatura não teve mesmo comportamento (sentido e/ou intensidade) quando se avalia os dois métodos, conforme os efeitos de X₁ dos planejamentos 3^2 . Para a regressão múltipla nos dados do planejamento 2^3 o R^2 foi de 0,9241 para os planejamentos 3^2 foi de 0,7409 e 0,8493, respectivamente, para secagem por *cast-tape* e secagem convectiva em estufa.

As equações empíricas obtidas para representar a variação do parâmetro a^* são apresentadas nas Equações 20 e 21, respectivamente, para os resultados dos planejamentos fatoriais a três níveis para os processos de *cast-tape drying* e secagem convectiva em estufa. As superfícies de resposta representadas por estas equações de regressão são mostradas na Figura 18.

$$\widehat{y}_5 = 10,4 + 0,4693X_1 - 0,6668X_1X_1 + 0,5455X_2X_2 \quad (20)$$

$$\widehat{J}_5 = 10,3745 - 0,7357X_1 + 0,8533X_1X_1 \quad (21)$$

Figura 18 - Superfícies de resposta para b^* em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD; e, (b) secagem convectiva em estufa



Fonte: A Autora

Analisando a Figura 18, para a secagem do resíduo de cupuaçu em *cast-tape* foi obtido maiores valores do parâmetro b^* em altas temperaturas, para níveis entre valores intermediários e elevados, com uma região de máximo em torno de 75 a 80°C, combinadas com níveis extremos de espessura na faixa estudada, isto é, para 3 e 5 mm. Menores espessuras associadas com temperaturas próximas da máxima significaram um menor tempo de exposição ao calor (secagem mais rápida) em um nível de temperatura que não foi o mais prejudicial. Uma maior espessura pode ter contribuído para a preservação desse parâmetro de cor pelo fato de proporcionar uma menor exposição ao calor e ao ar ambiente no interior da estrutura sólida. Ainda em relação à espessura, a cor amarela tendeu a ser alterada na secagem por CTD, para níveis intermediários, por volta de 4 mm. Provavelmente isso ocorreu porque demandou um longo tempo para secar numa espessura que não protegia de forma satisfatória as camadas intermediárias do interior do material. Para a menor temperatura, 65°C, em geral, a produto seco tendeu a sofrer alteração na cor amarelo, provavelmente como consequência de um longo tempo de processo para reduzir a umidade em teores desejados. Além disso, na maior temperatura, 85°C a taxa de calor transferido foi deletéria à manutenção da cor amarelo. Para a secagem convectiva em estufa foi observado, em geral, que o aumento da temperatura tendeu a conduzir a

uma redução na cor amarelo. O efeito quadrático visualizado na superfície de resposta mostra que essa degradação do pigmento aconteceu com o aumento da temperatura até valores próximos a uma região antes do nível máximo desta variável, a partir da qual, a elevação da temperatura resultou em tendência de elevação parâmetro b^* , ou seja, preservação do amarelo característico. A maior deterioração da cor amarelo na menor temperatura, de 65°C, possivelmente se deu como resultado do tempo mais longo de processo com o material exposto ao calor.

4.3.1.4 Diferença total de cor ΔE

Os resultados da análise estatística (estimativa dos efeitos), aplicada aos dados experimentais para a diferença total de cor (ΔE) são apresentados na Tabela 15. Diminuir a diferença global de cor (ΔE) é importante visando manter a cor natural em produtos secos (Prathapan et al. 2009) e uma clara diferença de percepção na cor pode ser notada no caso em que o valor ΔE está acima de 3,5 (Mokrzycki e Tatol 2011), o que de acordo com as Tabelas 10 e 11, foi alcançado em diferentes condições de temperatura e espessura para os dois métodos de secagem. Porém, em geral, esse parâmetro tendeu a ser mais favorável nos ensaios de *cast-tape drying*.

Tabela 15 - Efeitos significativos para a diferença total de cor (ΔE)

Fator	Planejamento					
	2^3			3^2		
	Efeito	p-valor	<i>Cast-tape drying</i>		Secagem convectiva em estufa	
			Efeito	p-valor	Efeito	p-valor
	$R^2 = 0,9703$		$R^2 = 0,9541$		$R^2 = 0,9751$	
Média	*	*	2,0967	0,00000	5,3612	0,0000
X ₁	2,3447	0,0088	-1,4592	0,0029	6,5286	0,0000
X ₂	-	-	-	-	-	-
X ₃	3,3499	0,0024	*	*	*	*
X ₁ X ₂	-	-	-	-	-	-
X ₁ X ₃	3,8331	0,0014	*	*	*	*
X ₂ X ₃	-	-	*	*	*	*
X ₁ X ₁	*	*	2,5334	0,0014	1,5518	0,0361
X ₂ X ₂	*	*	-1,3126	0,031	1,272	0,0371

* não se aplica ao planejamento; - efeito com p-valor maior que 0,1.

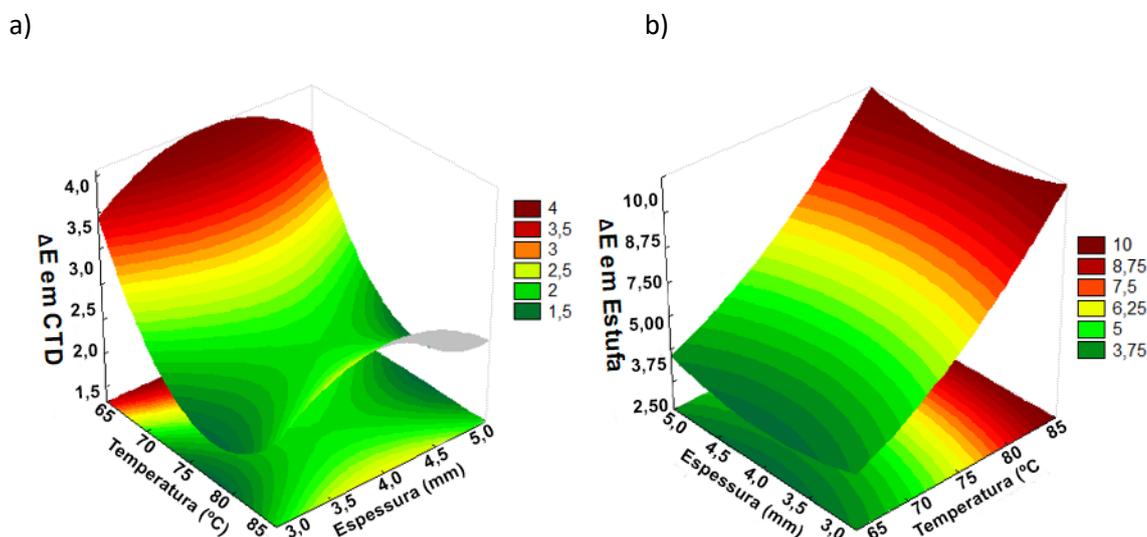
A partir dos resultados apresentados na Tabela 15, considerando os três planejamentos fatoriais analisados verifica-se que os três fatores afetaram de forma significativa na diferença total de cor. O coeficiente de determinação foi de 0,9703 para a regressão dos dados do planejamento fatorial a dois níveis e para os planejamentos fatoriais a três níveis igual a 0,9541 e 0,9751, respectivamente, para secagem por *cast-tape* e secagem convectiva em estufa.

As equações empíricas obtidas para representar a variação da diferença global de cor são apresentadas nas Equações 22 e 23, respectivamente, para os resultados dos planejamentos fatoriais 3^2 para os processos de *cast-tape* drying e secagem convectiva em estufa. As superfícies de resposta representadas por estas equações de regressão são mostradas na Figura 19.

$$\widehat{y}_6 = 2,0967 - 0,7296X_1 + 1,2667X_1X_1 - 0,6563X_2X_2 \quad (22)$$

$$\widehat{J}_6 = 5,36123 + 3,2643X_1 + 0,7759X_1X_1 + 0,636X_2X_2 \quad (23)$$

Figura 19 - Superfícies de resposta para ΔE em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD; e, (b) secagem convectiva em estufa



Fonte: A Autora

Analisando a Figura 19, para a secagem do resíduo de cupuaçu por *cast-tape* foi obtido maiores variações do produto seco comparado a amostra *in natura* (utilizada como zero) para as menores temperaturas, sendo mais intensa (acima de 3,5) abaixo de 70°C. Já os menores valores ocorreram para uma temperatura intermediária entre 75 e 80°C. Portanto, os longos períodos de exposição da matéria-prima ao calor em baixa temperatura provavelmente contribuíram para a degradação global da cor da

amostra. Em relação à espessura, o valor de ΔE foi menor nos níveis extremos, isto é, para 3 e 5 mm. Provavelmente o resultado foi mais satisfatório na menor espessura devido ao fato da secagem ter ocorrido em tempo mais curto e, no caso da maior espessura, por uma maior proteção de camadas internas da pasta do resíduo espalhada no secador. Para a secagem convectiva, a variável espessura, mesmo que tenha apresentado efeito significativo, ele foi relativamente menor em comparação ao da temperatura e, por isso, pouco pronunciado na superfície. Destaca-se ainda que na secagem com ar quente, em geral, ao contrário do observado no processo de CTD, a elevação da temperatura do ar de secagem levou a uma maior variação na diferença total de cor, sendo que quanto maior foi a temperatura de secagem maior foi a variação total de cor verificada. Além disso, na secagem convectiva foi observado maiores variações de ΔE em comparação ao *cast-tape drying*, chegando a diferenças da ordem de 10 (significativamente maior do que o desejado, ou seja abaixo do 3,5).

4.3.1.5 Cromaticidade (C^*)

Os resultados da análise estatística (estimativa dos efeitos), aplicada aos dados experimentais para o parâmetro de croma (C^*) (Tabelas 10 e 11) são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Efeitos significativos para a cromaticidade (C^*)

Fator	Planejamento					
	2^3			3^2		
	Efeito	p-valor	<i>Cast-tape drying</i>		Secagem convectiva em estufa	
			Efeito	p-valor	Efeito	p-valor
	$R^2 = 0,9277$		$R^2 = 0,7746$		$R^2 = 0,7549$	
Média	-	-	10,652	0,0000	10,8593	0,0000
X ₁	-	-	0,8522	0,0466	-1,1424	0,0407
X ₂	-0,3973	0,0635	-	-	-	-
X ₃	-0,3287	0,0972	*	*	*	*
X ₁ X ₂	-	-	-	-	-	-
X ₁ X ₃	-0,6317	0,0195	*	*	*	*
X ₂ X ₃	-	-	*	*	*	*
X ₁ X ₁	*	*	-1,2516	0,0539	-1,6694	0,0481
X ₂ X ₂	*	*	1,0816	0,0823	-	-

* não se aplica ao planejamento; - efeito com p-valor maior que 0,1. Fonte: A autora.

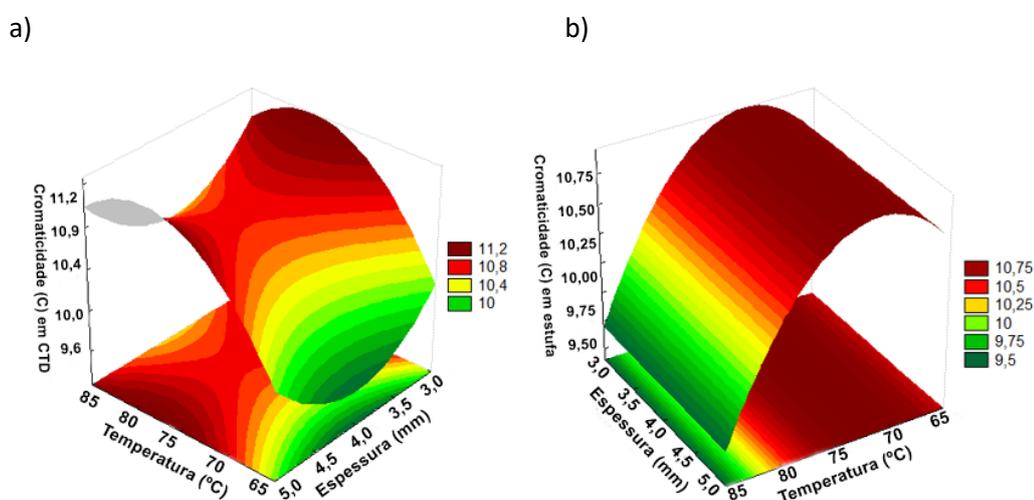
A partir dos resultados apresentados na Tabela 16, levando em conta os diferentes planejamentos experimentais avaliados, observa-se que as variáveis investigadas influenciaram significativamente na cromaticidade do produto obtido na secagem do resíduo de cupuaçu. O R^2 foi de 0,9277 para o 2^3 e respectivamente de 0,7746 e 0,759 para o 3^2 para o processo de CTD e para o 3^2 para a secagem com ar quente em estufa.

As equações empíricas obtidas para representar a variação da cromaticidade são apresentadas nas Equações 24 e 25, respectivamente, para os resultados do planejamento *cast-tape* dos planejamentos fatoriais 3^2 para as secagens por *cast-tape* e convectiva com ar quente. As superfícies de resposta representadas por estas equações de regressão são mostradas na Figura 20.

$$\widehat{y}_7 = 10,652 + 0,4261X_1 - 0,6258X_1X_1 + 0,5408X_2X_2 \quad (24)$$

$$\widehat{J}_7 = 10,8593 - 0,5712X_1 - 0,8347X_1X_1 \quad (25)$$

Figura 20 - Superfícies de resposta para C^* em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD; e, (b) secagem convectiva em estufa



Fonte: A Autora

Analisando a Figura 20, para a secagem do resíduo de cupuaçu em *cast-tape* observou-se que à medida que se aumentou a temperatura a cromaticidade tendeu a aumentar, até uma região de máximo, a partir da qual, o incremento na temperatura conduziu a uma propensão de queda no valor desse parâmetro. Os maiores valores de C^* foram obtidos numa região em torno de 80°C, na qual observa-se uma intensificação da saturação da cor do resíduo de cupuaçu. A influência da espessura, mostrou que a saturação foi mais intensa nas condições extremas, 3 e 5 mm. Para a

secagem convectiva em estufa foi observado que ao contrário do *cast-tape*, a redução da temperatura tendeu a levar a diminuição da intensidade da saturação até uma região de baixa temperatura (considerando a faixa analisada), por volta de 70°C, na qual a cromaticidade foi máxima sendo que para o nível inferior de temperatura, 65°C, o valor de C^* tendeu a cair.

4.3.1.6 Ângulo de Tonalidade ou ângulo de hue (h°)

Os resultados da análise estatística (estimativa dos efeitos), aplicada aos dados experimentais para o ângulo de hue (Tabelas 10 e 11) são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Efeitos significativos para o ângulo de tonalidade (h°)

Fator	Planejamento					
	2^3			3^2		
	Efeito	p-valor	<i>Cast-tape drying</i>		Secagem convectiva em estufa	
			Efeito	p-valor	Efeito	p-valor
$R^2 = 0,9061$			$R^2 = 0,7908$		$R^2 = 0,9226$	
Média	*	*	77,5812	0,0000	72,8878	0,0000
X ₁	-2,9472	0,0611	2,5813	0,0258	-7,0683	0,0001
X ₂	-	-	2,172	0,0715	-	-
X ₃	-4,8186	0,0134	*	*	*	*
X ₁ X ₂	-	-	-	-	-2,2656	0,057
X ₁ X ₃	-4,2875	0,0198	*	*	*	*
X ₂ X ₃	-	-	*	*	*	*
X ₁ X ₁	*	*	-3,6721	0,0553	0	0
X ₂ X ₂	*	*	-	-	-	-

* não se aplica ao planejamento; - efeito com p-valor maior que 0,1. OBS.: para essa resposta foi realizado um *outlier* a partir da análise residual, sendo desconsiderado o experimento 6 no 3^2 para CTD.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 17, verificou-se que para o parâmetro h° , em geral, a temperatura de operação da fonte de calor, a espessura da camada de resíduo submetida ao processo e o método de secagem apresentaram efeitos significativos na secagem. No planejamento 2^3 o efeito significativo da interação entre temperatura e método de secagem revelou que o efeito do método de secagem foi diferente (em sentido e/ou intensidade), considerando temperaturas mais baixas e mais altas, sendo que para o método de *cast-tape drying* em comparação à

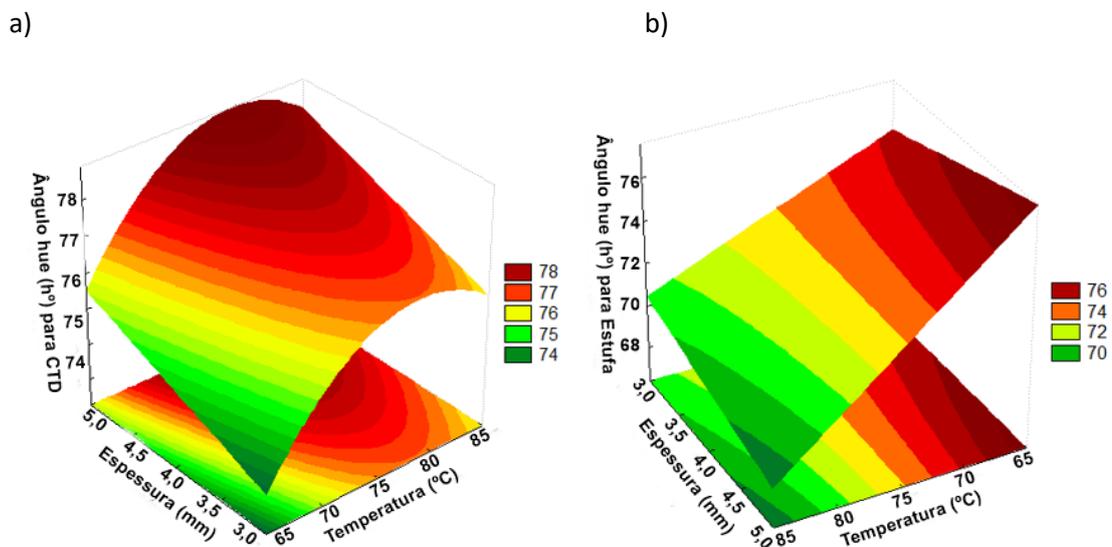
secagem convectiva houve menor variação no valor do ângulo de hue. Esse comportamento distinto é comprovado pelo fato do sinal do efeito principal da variável temperatura ter sinais opostos nos dois planejamentos 3^2 , e também, pelo fato desse efeito da variável isolada ser relativamente maior no processo de secagem convectiva em comparação ao CTD. No planejamento 3^2 para a secagem convectiva em estufa, o fato da variável espessura ser estatisticamente significativa somente em interação com a variável temperatura indica comportamento diferente em sentido e/ou intensidade no efeito da espessura no valor de h° , considerando níveis inferiores e superiores de temperatura. O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,9061 para a regressão nos dados do planejamento 2^3 , e 0,7908 e 0,9226, respectivamente, para secagem por *cast-tape* e secagem convectiva em estufa.

As equações empíricas obtidas para representar a variação do ângulo de tonalidade são apresentadas nas Equações 26 e 27, respectivamente, para os resultados dos planejamentos dos planejamentos fatoriais 3^2 para as secagens por *cast-tape* e convectiva com ar quente em estufa. As superfícies de resposta representadas por estas equações de regressão são mostradas na Figura 21.

$$\widehat{y}_8 = 77,5812 + 1,2907X_1 + 1,0860X_2 - 1,8361X_1X_2 \quad (26)$$

$$\widehat{y}_8 = 72,8878 - 3,5342X_1 - 1,1328X_1X_2 \quad (27)$$

Figura 21 -Superfícies de resposta para h° em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD; e, (b) secagem convectiva em estufa



Fonte: A Autora

Observando as superfícies de resposta da Figura 21 para secagem com ar quente em estufa e para *cast-tape drying*, percebe-se que para os dois métodos, os valores de h° , a depender das condições de processo tenderam a se aproximar do valor obtido para o resíduo *in natura*, $80,71 \pm 0,66$ (Tabelas 10 e 11) que por sua vez não foi distante de $+90^\circ$, indicando proximidade ao amarelo característico do cupuaçu. No processo de CTD foi observado uma tendência de diminuição do ângulo de hue para os extremos de temperatura, 65 e 85°C e propensão de elevação com o crescimento da espessura. Valores máximos, mais próximos do amarelo característicos da polpa de cupuaçu, foram obtidos para temperaturas intermediárias entre 75 e 80°C, e espessuras no maior nível, 5 mm. Para a secagem convectiva em estufa foi observado comportamento somente linear, e contrário ao *cast-tape drying*, o aumento da temperatura levou a diminuição do ângulo de tonalidade, sendo que quanto menor foi a temperatura, maior foi o ângulo observado e, mais preservada foi a cor amarelo característica. Em relação à espessura, devido à interação significativa entre essa variável e a temperatura, verifica-se comportamento em sentidos opostos quando se analisa o efeito da espessura em níveis inferiores e superiores de espessura, ou seja, para a maior temperatura, 85°C, o aumento da espessura proporcionou uma elevação do h° (ou um menor afastamento do valor *in natura*), por outro lado, para a menor temperatura, 65°C, o aumento da espessura conduziu em uma queda do ângulo hue (degradação da cor amarelo).

Como visto nos resultados apresentados para a cor (L^* , a^* , b^* , C^* , ΔE e h°) as variáveis analisadas, espessura, temperatura e método de secagem, a depender das condições, influenciaram na coloração do produto seco obtido em maior ou menor intensidade, indicando degradação de alguns pigmentos, em relação a cor original, da amostra *in natura*.

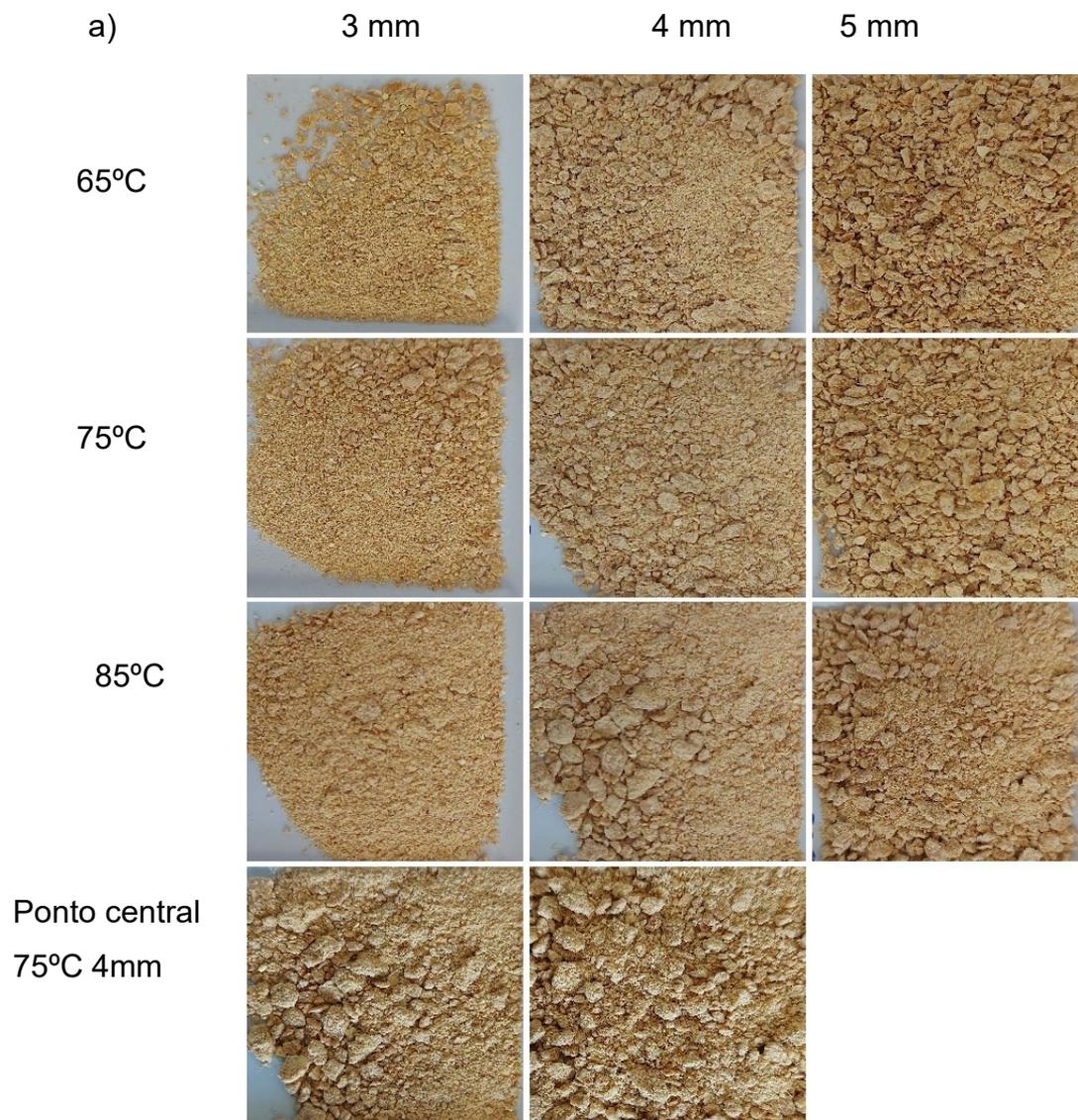
De um modo geral, os pós obtidos para a secagem por CTD, tiveram menor variação total de cor quando comparado aos obtidos na estufa convectiva. Em geral para a uma mesma temperatura é visto que o produto obtido por secagem convectiva em estufa sofreu maior escurecimento, como observados nas Tabelas 10 e 11 foram os resíduos secos que tiveram maior redução do parâmetro L^* . Também foi observado maior tendência de coloração vermelha ($+a^*$) para os produtos obtidos por secagem com ar quente. O amarelo característico do resíduo do cupuaçu, de maneira geral, foi mais preservado no processo de *cast-tape drying*, sendo que os resultados mostrados

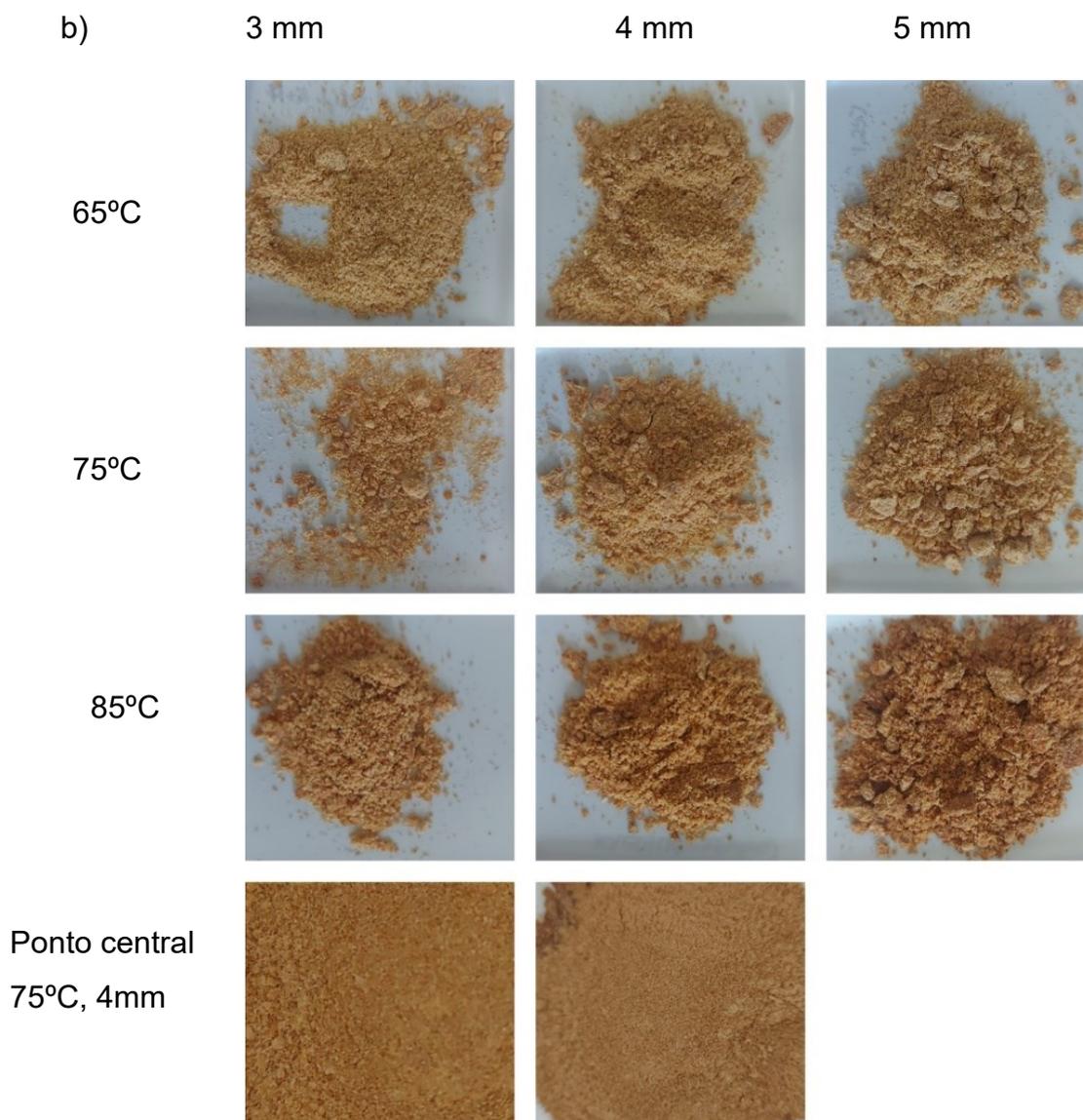
nas Tabelas 10 e 11 tenderam a valores mais próximos ao *in natura*. Já na secagem convectiva em estufa, o efeito da temperatura tendeu a degradação do pigmento, diminuindo o valor de b^* , e com maior tendência ao vermelho, tendo os pós aumentado o parâmetro a^* . Os valores de ângulo de tonalidade para o processo de CTD e para a secagem convectiva em estufa indicam que o h° tende ao eixo (+b, 90°).

Castoldi (2012) realizou a secagem de tomate por *cast-tape drying*, observou que o método preservou a cor, tendendo a manter baixos valores de ΔE , e resultados de h° próximos ao da amostra *in natura*, como observado neste estudo. Em contrapartida a secagem por radiação infravermelho resultou na degradação dos pigmentos e maior escurecimento das amostras. Costa (2015) na secagem de tucupi por *refractance window contínuo com baixas espessuras de espalhamento (processo similar ao cast-tape drying)*, observou escurecimento da amostra, mas não tão significativo, concluindo que o método preservou a coloração próxima a aquela inicial da amostra. Caparino et al., (2012) observaram para polpas de manga reconstituídas a partir dos pós secos por *cast-tape drying*, liofilização, *spray drying*, e *drum drying* que as menores diferenças globais de cor foram observadas para o *refractance window*, e as maiores para o *drum drying*.

Na Figura 22 são apresentadas imagens do resíduo de cupuaçu seco.

Figura 22 – Resíduo de cupuaçu seco a) processo *cast-tape drying* b) secagem convectiva em estufa





4.3.2 Higroscopicidade

A higroscopicidade é a propriedade de adsorver água da atmosfera. Dependendo do tipo de produto alimentício, a higroscopicidade pode ser benéfica, como no caso de pães e bolos, ou prejudicial como no caso de balas, preparos sólidos para refresco, açúcares, filmes/ plásticos /revestimentos comestíveis etc (COSTA, 2015).

Na Tabela 18 são apresentados os valores da higroscopicidade para o resíduo de cupuaçu seco por *cast-tape* e por ar quente em estufa, obtidos em diferentes

condições de processo de acordo com os experimentos do planejamento experimental descrito no item 3.4.

Tabela 18 - Higroscopicidade do resíduo de cupuaçu seco por cast-tape e por estufa

Temperatura (°C)	Espessura (mm)	Higroscopicidade (g . água/g . sólido seco)	
		Cast-tape	Convectiva em estufa
65	3	0,0884±0,0024	0,0999±0,0029
65	4	0,0949±0,0179	0,0963±0,0111
65	5	0,0693±0,0120	0,0746±0,0036
75	3	0,1097±0,0046	0,1176±0,0100
75	4	0,0846±0,0117	0,0974±0,0074
75	5	0,0627±0,0021	0,0834±0,0148
85	3	0,1083±0,0037	0,1099±0,0031
85	4	0,0942±0,0017	0,1061±0,0030
85	5	0,0726±0,0015	0,1014±0,0016
75	4	0,1149±0,0020	0,1175±0,0131
75	4	0,1175±0,0108	0,1108±0,0147

OBS.: Dados apresentados na forma Média ± Desvio Padrão

Fonte: A Autora

Conforme os resultados apresentados na Tabela 18, o menor valor de higroscopicidade (6,30%) obtido para o resíduo de cupuaçu seco por *cast-tape drying* foi com a condição de 75°C a 5 mm e, para a secagem convectiva em estufa, o menor valor (7,46%) foi obtido para a condição de 65°C, na espessura de 5 mm. Já os valores máximos foram obtidos nas condições de 75°C, 4 mm para o processo de *cast-tape* (11,75%) e, para secagem com ar quente em estufa (11,76%) nas condições de 75°C e 3 mm. De modo geral em todas as condições de secagem avaliadas, os valores de higroscopicidade para as amostras secas por CTD foram menores que as amostras secas em estufa. Foi observado por Caparino et al. (2012) que temperaturas mais altas produziram pós mais higroscópicos na secagem da manga por CTD, sendo que presente trabalho, para o mesmo método de secagem também foi observado aumento da higroscopicidade com o aumento da temperatura.

Na Tabela 19 para os 3 planejamentos analisados (2^3 , 3^2 para CTD e 3^2 para secagem convectiva), são apresentados os valores dos efeitos significativos obtidos para a higroscopicidade.

Tabela 19 - Efeitos significativos na higroscopicidade

Fator	Planejamento					
	2 ³			3 ²		
	Efeito	p-valor	<i>Cast-tape drying</i>		Secagem convectiva em estufa	
			Efeito	p-valor	Efeito	p-valor
R ² =0,888			R ² =0,7471		R ² =0,8093	
Média	*	*	0,1037	0,0000	0,1079	0,000
X ₁	0,015	0,0445	-	-	0,0156	0,070
X ₂	-0,0221	0,013	-0,034	0,0273	-0,0228	0,020
X ₃	0,0118	0,0851	*	*	*	*
X ₁ X ₂	-	-	-	-	-	-
X ₁ X ₃	-	-	*	*	*	*
X ₂ X ₃	-	-	*	*	*	*
X ₁ X ₁	*	*	-	-	-	-
X ₂ X ₂	*	*	-	-	-	-

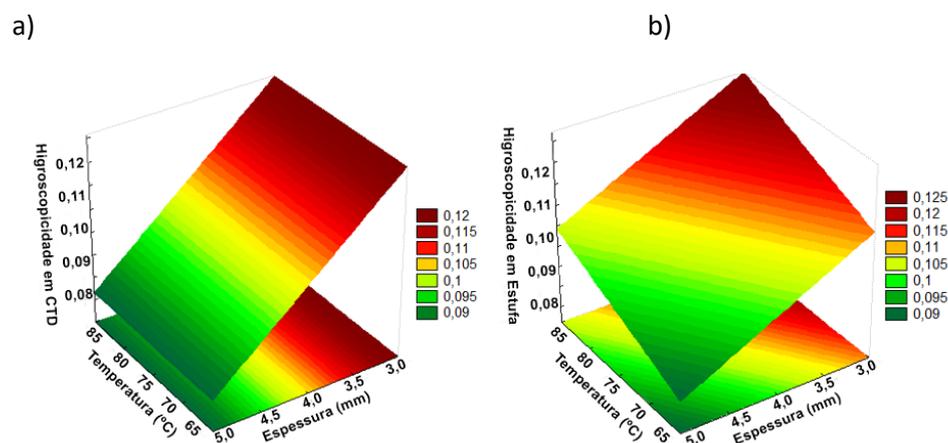
* não se aplica ao planejamento; - efeito com p-valor maior que 0,1. Fonte: A Autora

As equações empíricas obtidas para representar a variação da higroscopicidade são apresentadas nas Equações 28 e 29, respectivamente, para os resultados dos planejamentos fatoriais 3² para as secagens por *cast-tape* e convectiva em estufa. As superfícies de resposta representadas por estas equações de regressão são mostradas na Figura 23.

$$\widehat{y}_9 = 0,1037 - 0,017X_2 \quad (28)$$

$$\widehat{y}_9 = 0,1079 + 0,0078X_1 - 0,0114X_2 \quad (29)$$

Figura 23 - Superfícies de resposta para higroscopicidade em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD; e, (b) secagem convectiva em estufa



Fone: A Autora

A partir dos resultados apresentados na Tabela 19, observa-se que os três fatores analisados afetaram significativamente na higroscopicidade do material seco. Somente os efeitos principais foram significativos nos três planejamentos avaliados e, por consequência, a interpretação da influência das variáveis independentes na resposta pode ser feita diretamente pela intensidade e pelo sinal do efeito. Nesse sentido, o sinal positivo do efeito de X_3 no planejamento 2^3 indica que, em geral, quando se muda do processo de *cast-tape drying* para a secagem convectiva, o material tendeu a ficar mais higroscópico. Em relação à temperatura (que foi significativa somente no método de CTD), o sinal positivo do efeito estimado para X_1 mostra que o aumento da temperatura resultou em maior higroscopicidade. Ademais, o sinal negativo do efeito do fator X_2 nos três planejamentos analisados, determina que quando se aumentou a espessura da camada de resíduo submetida à secagem, obteve-se material seco com menor higroscopicidade. O coeficiente de determinação foi de 0,888 para regressão nos dados do 2^3 e igual a 0,7471 e 0,8093, respectivamente, os planejamentos 3^2 para secagem por *cast-tape* e secagem com ar quente.

Pela superfície de resposta Figura 23 (a), visualiza-se que houve redução da higroscopicidade dos pós com o aumento da espessura de secagem. Como discutido no tópico 4.2 para umidade, foi visualizado que o aumento da espessura influenciou na umidade final, sendo reportada aumento do teor de umidade final do produto seco com o aumento da espessura. Assim como higroscopicidade corresponde a capacidade de adsorção de umidade, os pós obtidos por CTD com menores umidades tenderam a maior capacidade de absorção de umidade. Para a secagem convectiva em estufa, as condições de menor temperatura e maior espessura, tiveram menor valor de higroscopicidade.

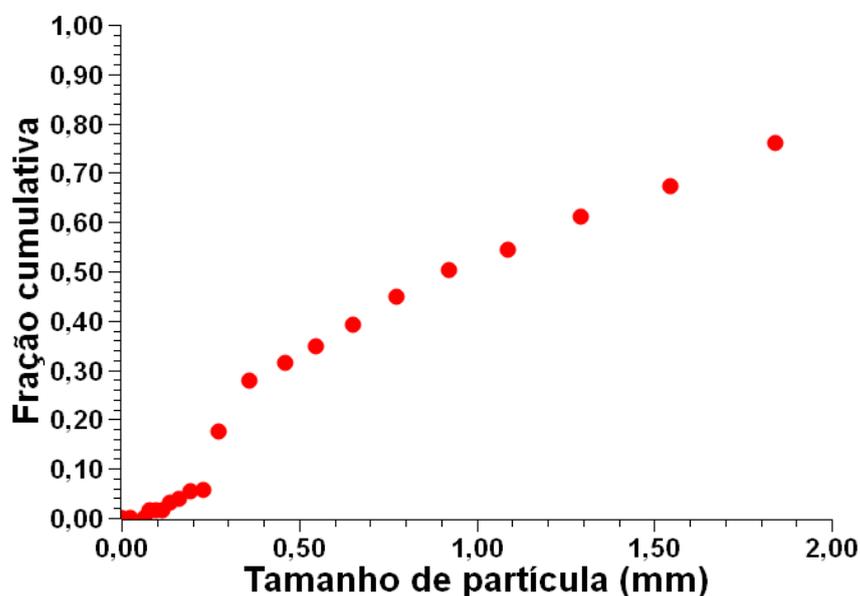
Os resultados estão de acordo com acordo com Nascimento (2016), o trabalho avaliou a influência da temperatura de secagem (25 e 70°C) na higroscopicidade de abricó desidratado por *cast-tape drying*. Temperaturas de secagem mais altas conduziram à produtos com umidades mais baixas e maior facilidade em adsorver água. Isto está relacionado ao gradiente de concentração de água que existe entre o produto e o ambiente, ou seja, quanto maior o gradiente, maior é a higroscopicidade de um material (ANSELMO, 2008). Silva (2021) na secagem de hortelã por *cast-tape*

drying também observou que o aumento da temperatura de secagem, influenciou na umidade final e aumento da higroscopicidade do pó obtido.

4.3.3 Análise granulométrica

Após realização da caracterização de umidade, cor e higroscopicidade do resíduo seco de cupuaçu por CTD e secagem convectiva em estufa, os pós resultantes de cada experimento foram acumulados e homogeneizados para realização da caracterização do tamanho de partícula. Essa caracterização teve por objetivo conhecer o tamanho de partícula do material particulado obtido, não sendo relacionado as variáveis de secagem. Na Figura 24 está apresentada a distribuição cumulativa do resíduo seco moído de cupuaçu.

Figura 24 - Distribuição cumulativa do resíduo seco moído de cupuaçu

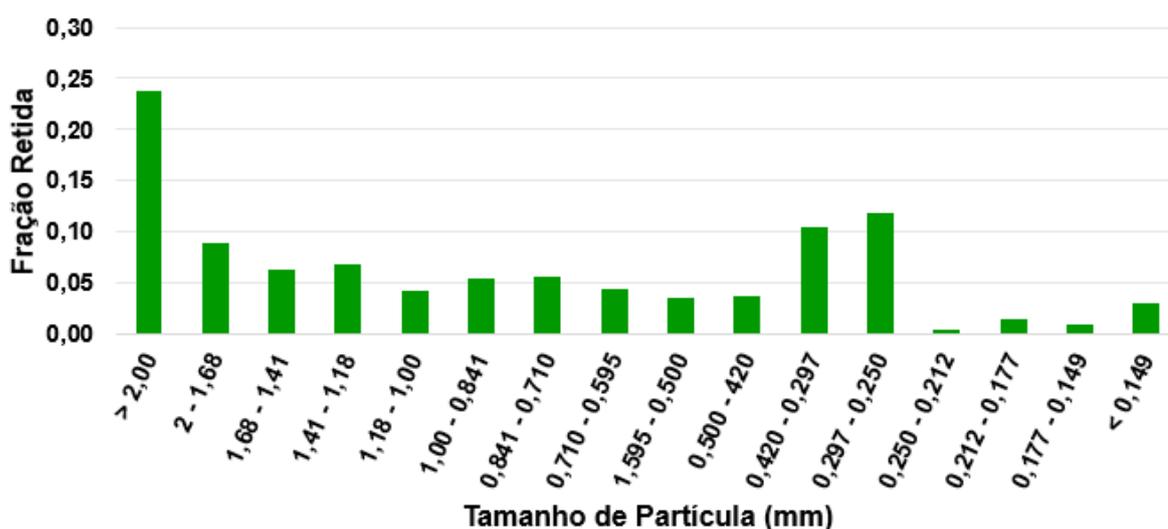


Fonte: A autora

A distribuição cumulativa apresentada na Figura 24 mostra que o material seco de resíduo de cupuaçu apresentou uma distribuição de tamanho de partícula heterogênea, em concordância com o material seco mostrado na Figura 22 para as diferentes condições de processo, na qual se visualiza que, em geral, foram obtidos materiais mais finos e mais grossos. É verificado que 50,22% das partículas possuem

diâmetro inferior a 0,841 mm (correspondente a peneira de abertura de 20 mesh). Assim 49,78% das partículas apresentaram granulometria mais grossa, sendo que acima de 20% do material apresentou diâmetro de peneira maior que 2 mm. Com os resultados experimentais do peneiramento é possível representar a análise granulométrica por meio de um histograma (Figura 25) a partir do qual é verificado que a maior fração mássica de partículas ficou retida na peneira de 2 mm. O endurecimento observado durante a secagem foi um fator que dificultou a desaglomerar as partículas do material seco.

Figura 25 - Histograma do resíduo de cupuaçu seco



Fonte: A Autora

Segundo Chaguri (2019), os pós podem ser classificados conforme o tamanho de partícula, faixas estas visualizadas na Tabela 21.

Tabela 20 - Classificação por tamanho de partícula

Faixa de Tamanhos	
Pós	Partículas de 0,001 mm até 0,5 mm
Sólidos granulares	Partículas de 0,5 a 10 mm
Blocos pequenos	Partículas de 1 a 5 cm
Blocos médios	Partículas de 5 a 15 cm
Blocos grandes	Partículas > 15 cm

Fonte: Adaptado de Chaguri (2019)

O diâmetro médio de Sauter é um diâmetro médio muito utilizado para representar o tamanho de partícula de sistemas particulados. Foi encontrado através da equação 8, para o resíduo de cupuaçu seco e fragmentado um diâmetro de Sauter de 0,459 mm, sendo assim conforme a Tabela proposta por Chaguri (2019) o produto seco fragmentado tende a ser classificado como pó.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo permitem concluir que foi possível a produção de resíduo de cupuaçu seco por *cast-tape drying* e por secagem convectiva com ar quente em estufa, sendo possível alcançar teores de umidade final inferior a 10% em base úmida.

As variáveis analisadas temperatura e espessuras influenciaram significativamente nas propriedades físico-química do produto seco. Em geral, menores tempos de secagem, maiores taxas de secagem e menores umidade final foram observadas em temperatura mais elevada para espessura de espalhamento menores.

A secagem convencional de alimentos realizada em estufa convectiva apresentou desempenho geral inferior a secagem por *cast-tape*, resultando na degradação mais intensa das cores do resíduo de cupuaçu, distanciando dos parâmetros de controle, a amostra *in natura*. Além disso, resultou em taxas de secagem mais lentas em relação ao CTD para as condições avaliadas.

A secagem por *cast-tape drying* possibilitou a produção de produtos secos com coloração mais preservada em comparação à matéria-prima *in natura*, com menores variações para a luminosidade, e maior conservação da intensidade de amarelo, medidos pelos valores de b^* e h° .

Foi observado aumento da higroscopicidade para o resíduo de cupuaçu seco nas menores espessuras de espalhamento. Essa mesma condição foi propensa em apresentar menor umidade do pó seco, resultando, portanto, em maior capacidade de adsorção de umidade.

REFERENCIAS

ABIA. **INFOGRAFICO 2022**. 2022. ed. Brasília: ABIA, 2022. 1 p. Disponível em: <https://abia.org.br/downloads/Infografico2022.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2022.

ABRAFRUTAS. Dados de exportação do Primeiro trimestre de 2022. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2022/05/dados-de-exportacao-do-primeiro-trimestre-de-2022/>. Acesso em: 19 jul. 2022.

ABUD, A. K. de S.; NARAIN, N. Incorporação da farinha de resíduo do processamento de polpa de fruta em biscoitos: uma alternativa de combate ao desperdício. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 12, n. 04, p. 257–265, 2010. <https://doi.org/10.4260/BJFT200980090002>

AOAC. Association of Official Analytical Chemistry. Official Methods of Analysis of the AOAC International. 17th, Virginia, 2005.

ALBUQUERQUE, A. P., RODRIGUES, T. J. A., CAVALCANTE NETO, J. L., & ROCHA, A. P. T. (2021). Utilization of powdered fruit pulp probiotic loaders as a functional food: general aspects and perspectives. *Brazilian Journal of Food Technology*, 24, e2019310. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.31019>.

AMORIM, Q. S. Resíduos da indústria processadora de polpas de frutas: capacidade antioxidante e fatores antinutricionais. 2016. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2016. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/5052>. Acesso em: 19 jul. 2022.

ARAUJO, I. C.; SANTOS, E. R. M. Aproveitamento de subprodutos do processamento de frutas e hortaliças. *Revista Brasileira de Agrotecnologia*, Ponta Grossa, v. 12, n. 1, p. 9-16, jan. 2022. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/REBAGRO/article/view/9373/11083>. Acesso em: 29 maio 2023.

ARAUJO, D. M *et al.* DIGESTIBILIDADE DE FARINHAS DE COPRODUTOS DE ABACAXI, MANGA E MARACUJÁ PELO TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*). *Holos*, v. 5, n. 36, p. 1-10, 19 ago. 2020. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2020.9380>.

ARAUJO, A. D. A. *et al.* HIGROSCOPICIDADE DO SUCO DE ACEROLA DESIDRATADO EM LEITO DE JORRO. *Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química*, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 1-4, fev. 2015. Editora Edgard Blücher. <http://dx.doi.org/10.5151/chemeng-cobeq2014-1599-18482-172727>. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/higroscopacidade-do-suco-de-acerola-desidratado-em-leito-de-jorro-172727>. Acesso em: 29 maio 2023.

AMADEU, L. T. S. *et al.* Resíduos de frutas na elaboração de geleia de melão Pele de Sapo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 2, p. 153-159, 1 abr. 2020. Grupo Verde de Agroecologia e Abelhas. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v15i2.7716>.

ANDRADE, P. F. S. **PROGNÓSTICO FRUTICULTURA 2020**. Curitiba: Departamento de Economia Rural – Deral, 2020. 8 p. Disponível em: https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2020-01/fruticultura_2020.pdf. Acesso em: 19 jul. 2022.

ANSILIERO, R. *et al.* ALTERNATIVAS PARA APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE FRUTAS – UMA REVISÃO. Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc Videira, [S. l.], v. 5, p. e24976, 2020. Disponível em: <https://periodicos.unoesc.edu.br/apeuv/article/view/24976>. Acesso em: 6 jun. 2023.

ANSELMO, G. C. S *et al.* Comportamento higroscópico do extrato seco de urucum (Bixa Orellana L). **Ciência e Agrotecnologia**, [S.L.], v. 32, n. 6, p. 1888-1892, dez. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542008000600030>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/nZwDmRZW8Zvjzw3STynB4Kp/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 29 maio 2023.

AYALA-ZAVALA, J.F. *et al.* Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. **Food Research International.**, v. 44, n.7, p.1866–1874, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.021>

BABU, A.K. *et al.* Review of leaf drying: Mechanism and influencing parameters, drying methods, nutrient preservation, and mathematical models. **Renew. Sustain. Energy Rev.**, v. 90, p. 536–556, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.002>

BAEGHBALI, V., NIAKOUSARI, M. Evaluation of a batch refractance window dryer in drying of some heat sensitive food stuff. Iran. **Journal of Food Science and Technology**, v. 13, p. 185-192, 2015.

BAPTISTA, J. L. M.; RODOLPHO, D. GESTÃO DOS RESÍDUOS NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA. **Revista Interface Tecnológica**, v. 18, n. 1, p. 567-579, 30 jul. 2021. Interface Tecnológica. <http://dx.doi.org/10.31510/infa.v18i1.1139>.

BARBIERI, R. L.; VIZZOTTO, M. Pequenas frutas ou frutas vermelhas. In: BARBIERI, Rosa Lia *et al.* **Pequenas Frutas: tecnologias de produção**. 33. ed. Belo Horizonte: Embrapa, 2012. p. 7-10. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/938851/1/RosaliaInfoagropec.p710.pdf>. Acesso em: 29 maio 2023.

BASTOS, M. S. R. **Processamento mínimo de frutas**. Brasília: Embrapa Agroindústria Tropical, 2006. 38 p. (Coleção Agroindústria Familiar). ISBN: 85-7383-370-X. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/122579>. Acesso em: 29 maio 2023.

BIASI, R. P. **SUBPRODUTOS DO DESPOLPAMENTO DE CUPUAÇU NA PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BARRAS DE CEREAIS**. 2016. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Farmácia, Instituto de Ciências da Saúde, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, 2016. Disponível em: <https://bdm.ufmt.br/bitstream/1/1399/1/TCC-2016-ROSANE%20PIETRO%20BIASI.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2022.

BRASIL. Decreto nº 6871, de 04 de junho de 2009. Brasília. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2009/decreto/d6871.htm. Acesso em 19 jul. 2022.

BRASIL. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 49, DE 26 DE SETEMBRO DE 2018. Brasília. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/42586576/do1-2018-09-27-instrucao-normativa-n-49-de-26-. Acesso em 19 jul. 2022.

BRASIL. PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Brasília. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/agendaambientalurbana/lixao-zero/plano_nacional_de_residuos_solidos-1.pdf. Acesso em 19 jul. 2022.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spraydried *Amaranthus betacyanin* pigments. **Journal of Food Science**, Chicago 65 (6), p.1248-1252, 2000.

CAPARINO, O.A. *et al.* Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. **Journal Of Food Engineering**, v. 111, n. 1, p. 135-148, jul. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.010>.

CARMO, J. E. F. do. **DIFUSAO EM SÓLIDOS ESFEROIDAIS OBLATOS: MODELAGEM E SIMULACAO**. 2000. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Curso de Pós Graduação, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2000. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/11231/3/JO%c3%83O%20EVANGELISTA%20FRANCO%20DO%20CARMO%20-%20DISSERTA%c3%87%c3%83O%20PPGEM%202000.pdf>. Acesso em: 29 maio 2023.

CASTOLDI, M. **Estudo do processo de secagem de polpa de tomate por Refractance Window**. 2012. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/100527>. Acesso em: 29 maio 2023.

CAVALCANTI, M. A. *et al.* PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS USANDO RESÍDUOS DE FRUTAS REGIONAIS: INOVAÇÃO E INTEGRAÇÃO NO MERCADO COMPETITIVO. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, São Carlos, v. 1, n. 30, p. 1-9, out. 2010. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_sto_121_788_17305.pdf. Acesso em: 29 maio 2023.

CELESTINO, S. M. C. Princípios de secagem de alimentos. Embrapa Cerrados, p. 51, 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/883845>. Acesso em: 19 jul. 2022.

CENCI, S. A. **Processamento mínimo de frutas e hortaliças**: tecnologia, qualidade e sistemas de embalagem. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2011. 144 p. (ISBN 978-85-62158-04-9). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/907934/1/LivroProcessamentoMinimo.pdf>. Acesso em: 29 maio 2023.

CHAGUIRI, L. **Operações em sistemas particulados**. São Paulo, 2019. 29 slides. Perry et. al., Perry*s Chemical engineers handbook, 2008. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4661616/mod_resource/content/1/Apostila_dinamica_particulas_rev03.pdf. Acesso em 29 maio 2023.

COSTA, R. D. S. da. **OBTENÇÃO DE UM PRODUTO ALIMENTÍCIO À BASE DE PUPUNHA E TUCUPI POR REFRACTANCE WINDOW**. 2015. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015. Disponível em: <https://ppgcta.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2015/Rebeca%20Desiree.pdf>. Acesso em: 29 maio 2023.

COSTA FILHO, D. V. *et al.* 2º CONGRESSO INTERNACIONAL AS CIENCIAS AGRARIAS COINTER PDVAGRO 2017, 2017., 2017, Brasil. Aproveitamento de resíduos agroindustriais na elaboração de subprodutos. Brasil: Pdv Agro, 2017. 8 p. Disponível em: <https://cointer-pdvagro.com.br/wp-content/uploads/2018/02/APROVEITAMENTO-DE-RES%3%8DDUOS-AGROINDUSTRIAIS-NA-ELABORA%3%87%3%83O-DE-SUBPRODUTOS.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2022.

CRIZEL, T. de M. **APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA E NUTRACÊUTICA NO DESENVOLVIMENTO DE INGREDIENTES ATIVOS PARA APLICAÇÃO EM FILMES BIODEGRADÁVEIS**. 2017. 211 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências e Tecnologia de Alimentos, Instituto de Ciências e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/163803/001025465.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 29 maio 2023.

CUNICO, M. W. M. *et al.* PLANEJAMENTO FATORIAL: uma ferramenta estatística valiosa para a definição de parâmetros experimentais empregados na pesquisa científica.. **Visão Acadêmica**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 23-43, 30 jun. 2008. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/acd.v9i1.14635>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/academica/article/view/14635>. Acesso em: 29 maio 2023.

DALLARIVA, K. L. P. Secagem e caracterização da grama de trigo (*Triticum aestivum* L.) por *cast-tape drying* e liofilização. 2021. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2021. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.17>

DAMIANI, C.; MARTINS, G. A de S.; BECKER, F. S. **APROVEITAMENTODE RESÍDUOSVEGETAIS: potenciais e limitações**. Palmas: Eduft, 2020. 14 p. (ISBN 978-65-89119-61-6). Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/editora/article/view/9108/18072>. Acesso em: 29 maio 2023.

DANTAS, É. J. de M. *et al.* Uso de resíduo da fabricação da farinha de mandioca para produção otimizada de biodiesel. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 419-427, 20 jan. 2021. Companhia Brasileira de Producao Cientifica. <http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2021.002.0036>. Disponível em: <https://sustenere.co/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2021.002.0036>. Acesso em: 29 maio 2023.

DE FARIAS SILVA, C. E. *et al.* USE OF 'LIME' ORANGE AND THEIR WASTES IN THE DEVELOPMENT OF NEW PRODUCTS. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tup, v. 10, n. 1, p. 69–96, 2016. DOI: 10.18011/bioeng2016v10n1p69-96. Disponível em: <http://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/405>. Acesso em: 14 jun. 2023.

DIONELLO, R. G. *et al.* Secagem de fatias de abacaxi in natura e pré-desidratadas por imersão-impregnação: cinética e avaliação de modelos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Porto Alegre, v. 29, n. 1, p. 232-240, mar. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612009000100036>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/tLX9jNtCJG4gYpDYFv5LmRc/?lang=pt>. Acesso em: 29 maio 2023.

DURIGON, A. *et al.* *Cast-tape drying* of tomato juice for the production of powdered tomato. *Food and Bioproducts Processing*, v. 100, p. 145–155, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2016.06.019>.

DUPONT. Mylar, ¥ polyester film. Disponível em: http://usa.dupontteijinfilms.com/informationcenter/downloads/Physical_And_Thermal_Prope_rties.pdf. Acesso em: 19 de julho de 2022.

DURANTE, M. *et al.* Seeds of pomegranate, tomato and grapes: an underestimated source of natural bioactive molecules and antioxidants from agri-food by-products. **Journal Of Food Composition And Analysis**, Elsevier BV, v. 63, p. 65-72, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2017.07.026>.

FAI, A. E. C. *et al.* Production of edible coating based on fruit and vegetable residues: application on minimally processed carrot (*daucus carota* L.). **Scientia Agropecuaria**, [S.L.], p. 59-68, 20 mar. 2015. Universidad Nacional de Trujillo. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.01.06>. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3576/357635328006.pdf>. Acesso em: 29 maio 2023.

FERREIRA, M. D.; SPRICIGO, P. C. Colorimetria: princípios e aplicações na agricultura. In: INSTRUMENTAÇÃO, Embrapa. **Colorimetria - princípios e aplicações na agricultura**. São Carlos: Embrapa, 2017. p. 209-220. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=1084379&biblioteca=v>

azio&busca=1084379&qFacets=1084379&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1.
Acesso em: 29 maio 2023.

FRABETTI, A. C. C.; DURIGON A.; LAURINDO, J. B. Effect of process variables on the drying of guava pulp by *cast-tape drying*. *Food Science and Technology*, v. 96, p. 620–626, 2018.

FERREIRA, M. S. L. *et al.* Formulation and characterization of functional foods based on fruit and vegetable residue flour. **Journal Of Food Science And Technology**, v. 52, n. 2, p. 822-830, 20 jun. 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-013-1061-4>.

FELLOWS, P. J. *Tecnologia do Processamento de Alimentos. Princípios e Prática*. 2ª Edição, Porto Alegre: Ed. Artmed, 2006.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. *Química de Alimentos de Fennema – 4ª ed.* - Editora Artmed, 2010.

FOUST, A.S., WENZEL, L. A., CLUMP, C.W., MAUS, L., ANDERSEN, L.B. *Princípio das Operações Unitárias*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1982.

FIDÉLIS, J. M. A. da S. **Processamento de frutas para produção de polpa congelada**. 2018. 17 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Unidade Acadêmica Sede, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018. Disponível em: https://repository.ufrpe.br/bitstream/123456789/1162/1/tcc_eso_jacyaramoniqueamorimdasilvafidelis.pdf. Acesso em: 29 maio 2023.

FILHA, M. C. S. C. *et al.* Cinética de secagem do resíduo da goiaba (*Psidium guajava* L.) em camada fina. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 4, p. 99, 15 nov. 2016. Grupo Verde de Agroecologia e Abelhas. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v11i4.4546>.

FREIRE J., M; SOARES, A. G. (2017). *Redução do desperdício de alimentos*. Embrapa. Acesso em 19/07/2022 <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/164602/1/Foler-CGPE-13931.pdf>

FREITAS, E.C. *Avaliação do potencial nutricional e funcional de resíduos do morango (*Fragaria* sp.) e do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*)*. 2014. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB.

FREITAS, E.C. *et al.* *Processamento e Caracterização Físico-química de Farinhas de Resíduos de Polpas de Frutas Congeladas da *Theobroma grandiflorum* e *Fragaria vesca**. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 17, n. 4, p. 425-432, 30 dez. 2015. *Revista Brasileira de Productos Agroindustriais*. <http://dx.doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v17n4p425-432>. Disponível em: https://web.archive.org/web/20181229215433id_/http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev174/Art17410.pdf. Acesso em: 29 maio 2023.

FREITAS, D. G. C. *et al.* M. Avaliação sensorial de polpa de cupuaçu congelada e irradiada. In: SIMPÓSIO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 2.; CONGRESSO DO INSTITUTO NACIONAL DE FRUTOS TROPICAIS, 1., 2010, Aracaju. Avanços em tecnologia de alimentos: anais. Aracaju: Universidade Federal de Sergipe, 2010. p. 778-781. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=871705&biblioteca=va zio&busca=871705&qFacets=871705&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1> Acesso em: 29 maio 2023.

GAVA, A. J. *et al.*, Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações. São Paulo: Nobel. 2009.

GEANKOPLIS, C. J., Transport Processes and Unit Operations. 3a ed. Prentice-Hall International, Inc., 2006. 921 p.

GONDIM, T. M. S. L. *et al.* **Aspectos da Produção de Cupuaçu**. Rio Branco: Embrapa, 2001. 43 p. (Documentos 67). ISSN 0104-9046. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/498481/1/doc67.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2022.

GORJANOVIĆ, S. *et al.* Evaluation of Apple Pomace Flour Obtained Industrially by Dehydration as a Source of Biomolecules with Antioxidant, Antidiabetic and Antiobesity Effects. **Antioxidants**, v. 9, n. 5, p. 413, 2020. <http://dx.doi.org/10.3390/antiox9050413>.

GUIMARÃES, M. L. L. *et al.* Potential of use tropical fruit co-products in the elaboration of new food products. Research, Society and Development, [S. l.], v. 12, n. 2, p. e14312240012, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v12i2.40012. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/40012>. Acesso em: 6 jun. 2023.

IBGE. **Produção de Cupuaçu**. 2017. CENSO AGROPECUARIO 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cupuacu/br>. Acesso em: 19 jul. 2022.

IBGE. **Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira: 2020**. Brasília: Brasil, 2020. (ISBN 978-65-87201-28-3). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101760.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2022.

INFANTE, Juliana *et al.* ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS DE FRUTAS TROPICAIS. **Alimentos e Nutrição: Brazilian Journal of Food and Nutrition**, Araraquara, v. 24, n. 1, p. 87-91, mar. 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Marta-Spoto/publication/291043716_Atividade_antioxidante_de_residuos_agroindustriais_e_frutas_tropicais/links/56a9f92808ae7f592f0ef353/Atividade-antioxidante-de-residuos-agroindustriais-e-frutas-tropicais.pdf. Acesso em: 23 set. 2023.

KOBORI, C. N.; JORGE, N. Caracterização dos óleos de algumas sementes de frutas como aproveitamento de resíduos industriais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 5,

p. 1008-1014, out. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542005000500014>.

LAGO, R. C. A.; MAIA, M. L. L.; MATTA, V. M. **O Sabor das Frutas Tropicais no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2016. 49 p. (ISBN 978-85-7035-560-7 1.). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1046107/o-sabor-das-frutas-tropicais-no-brasil>. Acesso em: 19 jul. 2022.

LAZZARI, A. *et al.* Antioxidant potential of agro-industrial waste from tropical fruits: review. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. e29710313357, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i3.13357. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/13357>. Acesso em: 15 jun. 2023.

LIMA, A. R. N. *et al.* Caracterização Físico-Química e Microbiológica de Biscoitos Confeccionados com Farinha de Resíduos de Frutas. **Research, Society And Development**, v. 8, n. 11, p. 1981-11452, 24 ago. 2019. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v8i11.1452>.

MARAFON, A. C. *et al.* **Uso da Biomassa para a Geração de Energia**: documentos 211. Aracaju: Embrapa, 2016. 28 p. (ISSN 1678-1953). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1063559/uso-da-biomassa-para-a-geracao-de-energia>. Acesso em: 17 jul. 2022.

MARCHESE, J; FIGUEIRA, G M. O uso de tecnologias pré e pós-colheita e boas práticas agrícolas na produção de plantas medicinais e aromáticas. **Rev.Bras.PI.Med**, Botucatu, v. 7, n. 3, p. 86-96, mar. 2005. Disponível em: https://www.sbpmed.org.br/admin/files/papers/file_S0YMLwrGqDsW.pdf. Acesso em: 29 maio 2023.

MARTINS, F. P. *et al.* The Journal of Engineering and Exact Sciences, Viçosa/MG, BR, v. 6, n. 4, p. 0600–0607i, 2020. DOI: 10.18540/jcecvl6iss4pp0600-0607i. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/11743>. Acesso em: 19 jul. 2022.

MATTA, V. M. da *et al.* **Polpa de Fruta Congelada**. Brasília: Embrapa, 2005. 38 p. (ISBN 85-7383-288-6). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/114308/1/00076180.pdf>. Acesso em: 29 maio 2023.

MCCABE, W.L.; SMITH, J.C., HARRIOTT, P., Unit operations of chemical engineering, Boston: McGraw-Hill, 2005.

MINOLTA, Konica. **Compreendendo o Espaço de Cor CIE L*C*h**. 2023. Disponível em: <https://sensing.konicaminolta.us/br/blog/compreendendo-o-espaco-de-cor-cie-lch/>. Acesso em: 29 maio 2023.

MINOLTA, Konica. **Compreendendo o Espaço de Cor CIE L*C*h**. 2023. Disponível em: <https://sensing.konicaminolta.us/br/blog/compreendendo-o-espaco-de-cor-cie-lch/>. Acesso em: 29 maio 2023.

MOKRZYCKI, W.; TATOL, M.. **Colour difference ΔE** : a survey. Olsztyn: Machine Graphic & Vision, 2011. 29 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/236023905_Color_difference_Delta_E_-_A_survey. Acesso em: 29 maio 2023.

NAZARE, R. F. R. de; BARBOSA, W. C.; VIEGAS, R. M. F. **Processamento das sementes de cupuaçu para a obtenção de cupulate**. Belém: Embrapa-Cpatu, 1993. 37 p. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=381906&biblioteca=vazio&busca=381906&qFacets=381906&sort=&paginaAtual=1>. Acesso em: 29 maio 2023

NEGRI, T. C.; BERNI, P. R. A.; BRAZACA, S. G. C. Valor nutricional de frutas nativas e exóticas do Brasil. **Biosaúde**. Londrina, p. 1-15. fev. 2016. Disponível em: <https://www.uel.br/revistas/uel/index.php/biosaude/article/viewFile/27615/20445#:~:text=Para%20as%20caracter%C3%ADsticas%20nutricionais%2C%20os,%2C9%20mg%2F100g%20respectivamente>. Acesso em: 17 jul. 2022.

NOGUEIRA, G. D. R. Carbonização hidrotérmica de resíduos de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.): estudo de otimização, caracterização do hidrocarvão e aplicação. 2020. 135 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2020.249>.

OETTERER, M.; SPOTO, M. H. F. Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Manole, 2006.

OLIVEIRA, E. N. A.; FEITOSA, B. Fo.; SOUZA, R. L. A. de. **Tecnologia e processamento de frutas: doces, geleias e compotas**. Natal: Ifrn, 2018. 315 p. (ISBN: 978-85-94137-48-7). Disponível em: <http://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/1822/Tec.%20e%20Proc.%20de%20Frutas%20-%20E-Book.pdf?sequence=1>. Acesso em: 23 maio 2023.

OLIVEIRA, P. D. F. **Elaboração de sobremesa láctea do tipo mousse adicionada de farinha do resíduo de frutas: análise física e sensorial**. 2019. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Nutrição, Unidade Acadêmica de Saúde Curso, Universidade Federal de Campina Grande, Cuité, 2019.

OLIVEIRA, G. S.; COSTA, J. M. C. da; AFONSO, M. R. A. Caracterização e comportamento higroscópico do pó da polpa de cajá liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 18, n. 10, p. 1059-1064, out. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n10p1059-1064>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/YvH7kwxysrDb9tcxDDc538k/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 29 maio 2023.

ORDÓÑEZ, J.A. Tecnologia de Alimentos: Componentes dos Alimentos e Processos. Porto Alegre: Artmed; 2005.

ORTIZ-JEREZ, M. J.; GULATI, T.; DATTA, A. K.; OCHOA-MARTÍNEZ, C. I. Quantitative understanding of Refractance Window™ drying. **Food And Bioproducts**

Processing, v. 95, n. 8, p. 237-253, jul. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2015.05.010>.

PARK, K. J. *et al.* Seleção de Processos e Equipamentos de Secagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. Palestra. Campinas: Unicamp, 2006. p. 1-11. Disponível em: <https://silو.tips/download/seleao-de-processos-e-equipamentos-de-secagem>. Acesso em: 19 jul. 2022.

PRATHAPAN, A. *et al.* Effect of heat treatment on curcuminoid, colour value and total polyphenols of fresh turmeric rhizome. **International Journal Of Food Science & Technology**, [S.L.], v. 44, n. 7, p. 1438-1444, jul. 2009. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.01976.x>.

PEREIRA, N. R. **Estudo da aplicação de microondas na secagem de bananas tratadas osmoticamente**. 2007. 165 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimento, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/397353>. Acesso em: 29 maio 2023.

PEREIRA, J. D. da S. *et al.* Armazenamento de amêndoas fermentadas e despelculadas de cupuaçu. In: SEMINÁRIO DA EMBRAPA ACRE DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO, 1., 2018, Rio Branco. **Anais e Proceedings de eventos**. Rio Branco: Pesquisa e Inovação Para A Agropecuária no Acre: Anais, 2019. p. 45-49. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1110978>. Acesso em: 29 maio 2023.

PEREZ, L. G. *et al.* Cinética de secagem da polpa cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) pré desidratada por imersão-impregnação. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 102-106, mar. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-66902013000100013>. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000100013>. Acesso em: 29 maio 2023.

PICH, R. C. Obtenção e caracterização do produto seco da pimenta rosa (*Schinus terebinthifolius* R.) por cast tape drying. 2019. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2019. DOI <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.361>.

POMBO, J. C. P. OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM DA POLPA DE CUPUAÇU EM SPRAY DRYER. 2017. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017. Disponível em: <https://ppgcta.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2017/JOSEANE%20POMB> O.pdf. Acesso em: 29 maio 2023.

PUGLIESE, A. G. **Compostos fenólicos do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) e do cupulate: Composição e possíveis benefícios**. 2010. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciencia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos Área de Bromatologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/9/9131/tde-29092011-150656/publico/Alexandre_Gruber_Dissertacao.pdf. Acesso em: 19 jul. 2022.

RANDOLPHO, G. A. *et al.* Resíduos de frutas transformados em novos produtos alimentícios: uma revisão sistemática. *Multitemas*, [S. l.], v. 25, n. 61, p. 297–311, 2021. DOI: 10.20435/multi.v25i61.2363. Disponível em: <https://multitemasucdb.emnuvens.com.br/multitemas/article/view/2363>. Acesso em: 6 jun. 2023.

SÁ, A. A. de *et al.* Avaliação físico-química e nutricional de farinhas de banana verde com casca elaboradas a partir de variedades distintas. **Brazilian Journal Of Food Technology**, Campinas, v. 24, n. 8, p. 327-345, fev. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.02020>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/fZ55cRLLZRNxPYCjCNNM9KM/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 29 maio 2023.

SANTANA, R. C. de. **Análise da influência do tamanho da partícula na flotação da apatita em coluna**. 2007. 184 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/15241?locale=es>. Acesso em: 29 maio 2023.

SANTOS, L. B. dos. **Bioplásticos produzidos a partir de subprodutos de processamento de laranja**. 2022. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência dos Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2022. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/235670/santos_lb_me_arafcf_int.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 29 maio 2023.

SANTOS, A. B. *et al.* Resíduo de fruta cítrica como precursor de Carbon dots: um estudo de reprodutibilidade. **Scientia Plena**, v. 16, n. 2, p. 327-345, 18 mar. 2020. Associação Sergipana de Ciência. <http://dx.doi.org/10.14808/sci.plena.2020.027201>.

SANTOS, C. A. C. Elaboração e caracterização da farinha da casca de melão (*Cucumis melo* L.) e utilização na produção de pães. 2020. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Nutrição) – Curso de Nutrição, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

SANTOS, C. S.; GONÇALVES, C. V.; STEVENS, D. CARACTERIZAÇÃO E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM UMA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA. 2014. 15 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso Técnico em Química, Universidade do Vale do Taquari, Taquari, 2014. Disponível em: https://www.univates.br/tecnicos/media/artigos/Caroline_Sartori_dos_Santos_Debora_Stevens_e_Catia_Viviane_Goncalves.pdf. Acesso em: 19 jul. 2022.

SANTOS, K. L. *et al.* Perdas e desperdícios de alimentos: reflexões sobre o atual cenário brasileiro. **Brazilian Journal Of Food Technology**, v. 23, n. 8, p. 327-345, nov. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.13419>.

SILVA, J. L. Secagem e caracterização da hortelã (*Mentha Spicata* L.) pelo método *cast-tape drying*. 2021. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2021. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.272>.

SILVA, J. M. M.; ANGIOLETTO, E. **Estudo comparativo entre refractance window e liofilização na secagem de polpa de maracujá-azedo**. 2018. 6 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Engenharia Química, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/handle/1/6780?mode=full>. Acesso em: 29 maio 2023.

SOUSA, M. S. B. *et al.* Caracterização nutricional e compostos antioxidantes em resíduos de polpas de frutas tropicais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 3, p. 554-559, jun. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542011000300017>.

SOUZA, A. G. C.; ALVES, R. M.; SOUZA, M. G. de. **CUPUAÇU *Theobroma grandiflorum***. Brasília: Embrapa, 2017. 24 p. Disponível em: https://www.procisur.org.uy/adjuntos/procisur_cupuacu_0a7.pdf. Acesso em: 19 jul. 2022.

SOUZA, M. R. A. *et al.* (2015). Utilização de revestimento biodegradável a base de resíduo de frutas e hortaliças na conservação de cenoura (*Daucus carota* L.) minimamente processada. (pp. 3218–3225). **Editora Edgard Blucher, Ltda.** <https://doi.org/10.5151/chemeng-cobeq2014-0199-26564-161936>

STORCK, C. R. *et al.* Qualidade microbiológica e composição de farinhas de resíduos da produção de suco de frutas em diferentes granulometrias. **Brazilian Journal Of Food Technology**, [S.L.], v. 18, n. 4, p. 277-284, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.1615>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/fYhwDbYXN4bTDFZMBw6BR6d/?lang=pt>. Acesso em: 29 maio 2023.

TEIXEIRA, A. C. C. *et al.*, Why is it so hard to belong? The difficulties of refugees in their integration processes within Brazilian society and labor market. **Cadernos EBAPE.BR** [online]. 2021, v. 19, n. 2], pp. 265-277. Available from: <<https://doi.org/10.1590/1679-395120200016>>. ISSN 1679-3951.

TOLEDO, N. M. V. de. Aproveitamento de subprodutos da industrialização do maracujá para elaboração de iogurte. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64135/tde-20092013-092603/>. Acesso em: 06 jun. 2023.

TRINDADE NETO, M. A. *et al.* Resíduo de polpas de frutas desidratadas na alimentação de leitões em fase de creche. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 5, p. 1254-1262, out. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-35982004000500018>.

UCHOA, A. M. A. *et al.* Parâmetros físico-químicos, teor de fibra bruta e alimentar de pós alimentícios obtidos de resíduos de frutas tropicais. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 15, n. 2, p. 58-65, 4 fev. 2015. Universidade Estadual de Campinas. <http://dx.doi.org/10.20396/san.v15i2.1817>.

ULLMANN, R. *et al.* Higroscopicidade das sementes de sorgo-sacarino. Engenharia Agrícola, [S.L.], v. 36, n. 3, p. 515-524, jun. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v36n3p515-524/2016>. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n3p515-524/2016>. Acesso em: 29 maio 2023.

VALENTE, T.N.P. Utilização de resíduos de frutas na alimentação de ruminantes. PUBVET, Londrina, V. 5, N. 15, Ed. 162, Art. 1099, 2011. Disponível em: https://www.nutritime.com.br/arquivos_internos/artigos/Artigo222.pdf . pdf. Acesso em: 19 jul. 2022.

VALENTE, J. M. L. D. Subprodutos Alimentares: Novas Alternativas e Possíveis Aplicações Farmacêuticas. 2015. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Farmacia, Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2015. Disponível em: https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/5312/1/PPG_23519.pdf. Acesso em: 29 maio 2023.

VIDAL, M. F. **Produção comercial de frutas na área de atuação do bnb**. 168. ed. Fortaleza: Banco do Nordeste, 2021. 14 p. CADERNO SETORIAL ETENE. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/822/1/2021_CDS_168.pdf. Acesso em: 19 jul. 2022.

ZOTARELLI, M. F. PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MANGA DESIDRATADA EM PÓ POR DIFERENTES PROCESSOS DE SECAGEM. 2014. 165 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/123212/326560.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 29 maio 2023.