



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E ALIMENTOS  
CURSO ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Rossano Muti

**Estudo sobre a produção de purês e molhos de tomate desidratados por  
método de secagem condutiva *Cast-Tape Drying***

Florianópolis  
2024

Rossano Muti

**Estudo sobre a produção de purês e molhos de tomate desidratados por  
método de secagem condutiva *Cast-Tape Drying***

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia de Alimentos do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos

Orientador: Prof. João Borges Laurindo, Dr.

Florianópolis

2024

Muti, Rossano

Estudo sobre a produção de purês e molhos de tomate desidratados por método de secagem condutiva Cast-Tape Drying / Rossano Muti ; orientador, João Borges Laurindo, 2024.

69 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia de Alimentos. 2. Desidratação. 3. Pós alimentícios. 4. Eficiência térmica. I. Laurindo, João Borges. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Alimentos. III. Título.

Rossano Muti

**Título: Estudo sobre a produção de purês e molhos de tomate desidratados por método de secagem condutiva *Cast-Tape Drying***

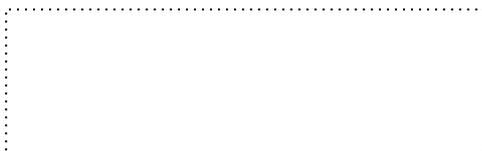
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro de Alimentos e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia de Alimentos

Local Florianópolis, 17 de Dezembro de 2024.



Coordenação do Curso

**Banca examinadora**



Prof. João Borges Laurindo, Dr.

Orientador



Prof. Bruno Augusto Mattar Carciofi, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Gérman Ayala Valencia, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2024.

*Dedico esse trabalho aos meus filhos, minha amada esposa Cibele, aos meus pais e aos meus queridos avós.*

## **AGRADECIMENTOS**

À minha amada esposa Cibele, pelo apoio, a paciência, o amor demonstrado em todos esses anos de estudos, conquistas, derrotas, sempre na união, na amizade e no amor.

Aos meus amados filhos, Vittorio, Francesco e Renan, que me apoiaram, me esperaram, com carinho e paciência, e me fizeram sentir orgulhoso dessa jornada.

Aos meus pais, Giuliana e Dorian, e minha irmã, Serena, que me encorajaram e sempre tiveram palavras de conforto nos momentos difíceis desse percurso.

Aos todos os professores do EQA, pelos ensinamentos valiosos, por abrir meus olhos, me fazer pensar e me fazer apaixonar todo semestre por novos assuntos e novas disciplinas.

Ao professor João, pela orientação e as aulas durante a graduação, pela oportunidade de me introduzir, me fazer explorar e olhar de maneira diferenciada os conceitos da engenharia.

Ao professor Bruno e o professor Gérman, pelas aulas durante a graduação, os conselhos valiosos e sorrisos, que sempre conseguiram tirar de mim.

A todos as meninas e meninos do PROFI, em particular a Raquel, o Ricardo e a Juliete, pela ajuda, o apoio e disponibilidade durante a execução desse trabalho.

Agradeço a Deus que vigiou por mim durante todos esses anos e sobretudo por ter me protegido na estrada no último ano de longas viagens.

A Universidade Federal de Santa Catarina, pela oportunidade de ter cursado e recebido ensinamentos dos seus professores, dos quais irei me orgulhar para sempre.

*“Um homem precisa viajar para lugares que não conhece para quebrar essa arrogância que nos faz ver o mundo como o imaginamos, e não simplesmente como é ou pode ser; que nos faz professores e doutores do que não vimos, quando deveríamos ser alunos, e simplesmente ir ver.”*

*(Klink, Amyr. Mar sem fim, 2000)*

## RESUMO

O objetivo principal do estudo foi avaliar a produção de purê ou molhos desidratados de tomate por meio do processo de *cast - tape drying* contínuo, e investigar suas aplicações como ingredientes em preparações gastronômicas. Ensaio deste trabalho, efetuados em escala piloto, visaram a identificação das melhores condições de processo e características iniciais da matéria-prima, para a obtenção de um produto nutricionalmente e tecnologicamente válido. O purê de tomate usado como matéria-prima necessita ser selecionado em base no conteúdo de sólidos totais, para que favoreça um espalhamento uniforme e contínuo e não acarrete perdas durante o processo. Purês de tomate incrementados com ervas, resultaram em uma secagem não adequada para conservação, comparando as condições de secagem dos purês não adicionados de ervas, o que indica que a presença de partículas maiores em suspensão ou na superfície do filme de purê espalhado, obstaculizam a transferência da umidade do produto para o ambiente de secagem. Assim, a adição de ingredientes adicionais secos diretamente no produto desidratado é mais viável para constituir um pó alimentício que resulte em um molho de tomate uma vez reidratado. Diferenças na cor do produto reconstituído, como escurecimento, foram observadas, relativamente aos produtos comerciais, o que pode afetar a aceitabilidade do produto. No entanto o produto possui boas propriedades de reidratação, o que confere versatilidade para ser usado em preparações gastronômicas ou pratos prontos desidratados, nos quais o pó de tomate faça parte da lista de ingredientes. Neste trabalho foi observado que o produto necessita possuir determinadas características físicas para poder ser armazenado e manter as propriedades de conservação e reidratação adequadas. Produtos armazenados com umidade não adequada apresentaram aglomerados, formação de bolos e aderência às paredes da embalagem. A eficiência do processo se encontra condizente aos outros estudos efetuados com equipamentos comparáveis como RWD, assim como a capacidade evaporativa, no entanto esse parâmetro necessita ser investigado com mais rigor, relacionando os fenômenos de transferência de calor e de massa envolvidos na secagem e as perdas energéticas para o ambiente, para projetar e estimar com mais precisão os parâmetros da eficiência energética.

**Palavras-chave:** Desidratação, pós alimentícios, eficiência térmica

## ABSTRACT

The main objective of the study was to evaluate the production of dehydrated tomato puree or sauces through the continuous cast-tape drying process and to investigate their applications as ingredients in culinary preparations. Trials conducted in this work, carried out on a pilot scale, aimed to identify the best processing conditions and initial characteristics of the raw material to obtain a product that is nutritionally and technologically valid. The tomato puree used as raw material needs to be selected based on the total solids content to ensure uniform and continuous spreading and to avoid losses during the process. Tomato purees enhanced with herbs resulted in inadequate drying for preservation when compared to the drying conditions of purees without added herbs, indicating that the presence of larger suspended particles or on the surface of the spread puree film hinders the transfer of moisture from the product to the drying environment. Thus, the addition of dry ingredients directly into the dehydrated product is more viable for creating a food powder that results in a tomato sauce once rehydrated. Differences in the color of the reconstituted product, such as darkening, were observed compared to commercial products, which may affect the product's acceptability. However, the product has good rehydration properties, providing versatility for use in culinary preparations or dehydrated ready-to-eat dishes, where tomato powder is part of the ingredient list. In this study, it was noted that the product needs to have certain physical characteristics to be stored properly and maintain adequate conservation and rehydration properties. Products stored with inappropriate moisture levels showed clumping, cake formation, and adherence to the walls of the packaging. The efficiency of the process aligns with other studies conducted using comparable equipment such as RWD, as well as the evaporative capacity; however, this parameter needs to be investigated more rigorously, relating the phenomena of heat and mass transfer involved in drying and the energy losses to the environment, in order to design and estimate the parameters of energy efficiency more accurately.

**Keywords:** Dehydration, food powders, thermal efficiency

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS.....	18
2.1	OBJETIVO GERAL.....	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1	PURÊ DE TOMATE.....	19
3.2	PROCESSOS DE SECAGEM DE ALIMENTOS.....	19
<b>3.2.1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Fenômenos e propriedades envolvidos em processos de secagem ...</b>	<b>20</b>
3.2.2.1	<i>Propriedades de um alimento em um processo de secagem.....</i>	<i>20</i>
3.2.2.2	<i>Curvas de secagem.....</i>	<i>21</i>
<b>3.2.3</b>	<b>Desidratação por espalhamento.....</b>	<b>23</b>
3.3	CARACTERIZAÇÃO E QUALIDADE DOS ALIMENTOS DESIDRATADOS EM PÓ	25
<b>3.3.1</b>	<b>Estrutura e comportamento dos alimentos em pó.....</b>	<b>25</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Conservação e <i>shelf-life</i> dos alimentos em pó.....</b>	<b>26</b>
3.3.2.1	<i>Atividade de água.....</i>	<i>26</i>
3.3.2.2	<i>Transição vítrea.....</i>	<i>28</i>
<b>3.3.3</b>	<b>Reidratação.....</b>	<b>29</b>
3.4	APLICAÇÃO DE MOLHOS E PURÊS DE TOMATE DESIDRATADOS.....	30
3.5	CONCEITOS DE AMPLIAÇÃO DE ESCALA.....	30
3.6	AMPLIAÇÃO DE ESCALA DO PRODUTO.....	32
3.7	PROCESSO DE SECAGEM EM ESCALA AMPLIADA.....	33
4	DESENVOLVIMENTO E PREPARAÇÃO DO PRODUTO.....	33
4.1	MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
<b>4.1.1</b>	<b>Processo de desidratação.....</b>	<b>34</b>
4.1.1.1	<i>CTD Breve descrição.....</i>	<i>34</i>
4.1.1.2	<i>Teste preliminar.....</i>	<i>36</i>
4.1.1.3	<i>Condições de secagem.....</i>	<i>37</i>
4.1.1.4	<i>Cinética de secagem.....</i>	<i>37</i>
<b>4.1.2</b>	<b>Moagem e peneiramento do produto.....</b>	<b>37</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Caracterização do pó.....</b>	<b>37</b>

4.1.3.1	<i>Umidade</i> .....	37
4.1.3.2	<i>Atividade de água</i> .....	38
4.1.3.3	<i>Transição vítrea</i> .....	38
<b>4.1.4</b>	<b>Armazenamento</b> .....	<b>38</b>
4.1.4.1	<i>Embalagem</i> .....	38
4.1.4.2	<i>Análise visual do pó durante o armazenamento</i> .....	38
<b>4.1.5</b>	<b>Análise de cor</b> .....	<b>39</b>
<b>4.1.6</b>	<b>Reconstituição</b> .....	<b>39</b>
4.1.6.1	<i>Reconstituição do pó</i> .....	39
4.1.6.2	<i>Razão de reidratação</i> .....	40
<b>4.1.7</b>	<b>Avaliação do produto reconstituído</b> .....	<b>40</b>
4.1.7.1	<i>Potencial de hidrogênio</i> .....	40
5	<b>AVALIAÇÃO PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA</b> .....	41
<b>5.1.1</b>	<b>Balancos materiais</b> .....	<b>41</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Consumo energético do CTD</b> .....	<b>43</b>
5.1.2.1	<i>Influência da exaustão e do movimento da esteira no consumo total</i> .....	43
<b>5.1.3</b>	<b>Projeção para o equipamento CTD em tamanho industrial/piloto</b> .....	<b>44</b>
6	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	44
<b>6.1.1</b>	<b>Processo de secagem</b> .....	<b>44</b>
6.1.1.1	<i>Testes preliminares</i> .....	44
6.1.1.2	<i>Avaliação do espalhamento</i> .....	45
6.1.1.3	<i>Cinética de secagem</i> .....	46
6.1.1.4	<i>Recuperação do produto</i> .....	47
<b>6.1.2</b>	<b>Manuseio do produto</b> .....	<b>48</b>
6.1.2.1	<i>Moagem</i> .....	48
6.1.2.2	<i>Peneiramento</i> .....	50
<b>6.1.3</b>	<b>Umidade e atividade de água</b> .....	<b>50</b>
<b>6.1.4</b>	<b>Análise do produto armazenado</b> .....	<b>51</b>
6.1.4.1	<i>Análise visual do produto</i> .....	51
6.1.4.2	<i>Umidade e atividade de água dos produtos após o armazenamento</i> .....	53
<b>6.1.5</b>	<b>Análise da cor ou colorimetria</b> .....	<b>55</b>
<b>6.1.6</b>	<b>Reidratação</b> .....	<b>56</b>
6.1.6.1	<i>Razão de reidratação</i> .....	58
<b>6.1.7</b>	<b>Análise da cor do produto reconstituído</b> .....	<b>59</b>

<b>6.1.8</b>	<b>Potencial de hidrogênio .....</b>	<b>60</b>
6.2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E PRODUTIVIDADE ESTIMADA EM ESCALA AMPLIADA.....	60
6.2.1.1	<i>Influência da exaustão e do movimento da esteira no consumo total .....</i>	<i>61</i>
7	CONCLUSÕES.....	62
8	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	63
9	REFERÊNCIAS .....	64

## LISTA DE ABREVIações

CNT – Purê de tomate concentrado

CNT-I – Purê de tomate concentrado com ingredientes: óleo, alho, sal

CNT-M – Purê de tomate concentrado com manjeriçã

CTD – Cast-Tape dryer

CTDE – Cast-Tape Dryer, escala laboratorial

CTDP – Cast-Tape Dryer, escala piloto

FLC – Amostra em flocos

$E_{el}$  – Energia elétrica

$E_{el}$  – Energia mecânica

$L$  – Calor latente de vaporização da água

$M_{ss}$  – massa de sólidos secos

PWD-30 – Amostra em pó obtida em 30 minutos de secagem

PWD\_60 – Amostra em pó obtida em 60 minutos de secagem

PWD – Amostra em pó

PWD-I – Amostra em pó derivadas do CNT-I

PWD-M – Amostra em pó derivada do CNT-M

RW – Refractance Window

RWD – Refractance Window Dryer

$Q$  – Energia térmica

$X_{BS}$  – Umidade em base seca

$X_{BU}$  – Umidade em base úmida

$\eta$  – Eficiência térmica

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Concentração do purê de tomate usado nos experimentos. ....	34
Tabela 2 Proporções de reidratação dos pós e flocos na temperatura de 60 °C.....	39
Tabela 3 Balanço material no ensaio analisado.....	42
Tabela 4 Atividade de água e umidade dos pós obtidos .....	50
Tabela 5 Umidade e atividade de água dos produtos após o armazenamento .....	53
Tabela 6 Parametro colorimetria dos pós após o armazenamento .....	55
Tabela 7 Características dos purês reidratados.....	58
Tabela 8 Razão de reidratação dos pós de tomate .....	58
Tabela 9 Parametros colorimetria pós reconstituídos .....	59
Tabela 10 Parâmetros energéticos .....	60
Tabela 11 Consumo total do equipamento .....	61
Tabela 12 Balanço de massa projetado para a escala ampliada .....	62
Tabela 13 Consumo energético.....	62

## LISTA DE FIGURAS

Figure 1 Curva de secagem e taxa de secagem.....	22
Figure 2 Curva de Labuza. ....	28
Figura 3 Etapas fundamentais do processo de escalonamento de tecnologia .....	31
Figure 4 <i>Cast-tape Dryer</i> .....	35
Figure 5 Esquema simplificado CTD.....	36
Figura 6 Foto do espalhamento purê de tomate .....	45
Figura 7 Curva de secagem .....	46
Figure 8 Foto da recuperação do filme seco oriundo de purê de tomate. ....	47
Figura 9 Recuperação do filme oriundo de purê de tomate adicionado de manjeriço. ....	48
Figura 10 Filme de produto retirado da esteira .....	48
Figura 11 Moagem do filme e recuperação dos flocos.....	49
Figure 12 Flocos após o armazenamento.....	52
Figure 13 Pó armazenado com Umidade 0,07 g.g-1 b.s.....	52
Figure 14 Pó armazenado com umidade acima de 0,09 g.g-1 b.s .....	53
Figure 15 Produto armazenado com umidades acima de 0,10 g.g-1 b.s. ....	53
Figure 16 Incremento da atividade de água dos pós e dos flocos durante o armazenamento.....	54
Figure 17 Amostras submetidas à colorimetria .....	56
Figure 18 - Purês reidratados .....	57
Figure 19 Pó reidratado oriundo da amostra com óleo .....	57
Figure 20 Purê reidratado na proporção 1:7,5. ....	58
Figure 21 Purês de tomate submetidos à colorimetria .....	59

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria alimentícia atravessa processos diários de expansão e desenvolvimento que abrangem todos os setores que a compõem. Processos, maquinários, produtos, embalagens, métodos de transporte, armazenamento devem acompanhar as exigências e as necessidades de fabricantes e comerciantes de alimentos que precisam, e querem, oferecer ao consumidor final produtos de alta qualidade, ou seja, seguros para o consumo, de alto valor nutricional, saborosos, de fácil preparo e consumo. Na atualidade, ao se desenvolver um novo produto alimentar, múltiplos aspectos necessitam ser considerados e avaliados, seja este ser destinado diretamente ao consumidor final, seja ser destinado como ingrediente para produções de outros alimentos na indústria ou em estabelecimentos de *food service*. Considerando o segmento, observamos a versatilidade de ingredientes e produtos desidratados para produção de refeições em nível doméstico e profissional, que proporcionam uma alta economia no espaço de armazenamento e no transporte (dispensa refrigeração), longa conservação, fácil manuseio e alto valor nutricional.

O tomate (*Lycopersicon esculentum*) é uma hortaliça que proporciona grande versatilidade de utilização, sabor apreciado, alto teor nutricional e fonte de licopeno (Castoldi et al., 2015). O tomate mantém elevadas características nutricionais após processamento térmico e uma ampla variedade de produtos processados de tomate pode ser encontrada no mercado na forma de molhos, purês, extratos, sendo usados na indústria de *food service* para o preparo de massas, pizzas, carnes, ensopados. Estas soluções oferecem qualidades de conservação elevadas devido ao utilizo de materiais de embalagens que proporcionam alta barreira e aos processamentos térmicos aos quais os produtos são submetidos, como pasteurização, evaporação, esterilização. No entanto, os tradicionais produtos derivados de tomate possuem algumas limitações em relação ao transporte e ao armazenamento, por não proporcionarem economia em questões de espaço, limitações em relação à conservação após a abertura da embalagem (por exemplo, a necessidade de refrigeração) e podem requerer um tempo adicional de cozimento ou concentração para poder alcançar uma determinada consistência desejada para a utilização. Entre as alternativas aos tradicionais produtos hidratados processados de tomate, existem os pós de polpa de tomate, os quais são frequentemente incluídos em preparações como suplementos, dada a presença de

licopeno (Srivastava, 2016), *snacks*, sopas, temperos, mas não possuem uso frequente em operações de preparo de refeições domésticas ou coletivas.

Pós de tomate são obtidos principalmente a partir de polpa de tomate crua, ou seja, a partir do tomate processado e filtrado, para retirada de sementes e casca (Castoldi et al., 2015), para seguir para o processo de desidratação. Outra metodologia para obtenção de pó tomate é a partir de tomates em fatias desidratados, processo no qual os tomates são lavados, fatiados e submetidos a secagem para em seguida serem transformados em pó (Osaretin N.I. Ebuehi, 2021). No entanto, pós de tomate obtidos com o método tradicional, derivam de polpa de tomate ou tomate crus, pode influenciar no tempo de conservação do produto, devido ao controle microbiológico, no tempo de preparo do alimento, pois o produto necessita de um tempo adicional para o cozimento e podem não representar uma alternativa válida em casos em que se necessite um uso frequente em contextos profissionais.

Desenvolver uma linha de produtos a partir de ingredientes já submetidos a um tratamento térmico pode ser uma alternativa interessante em situações em que um rápido preparo do alimento seja um diferencial para o processo. Para estabelecimentos em que se produzem um número elevado de refeições e se utiliza uma grande variedade de ingredientes, incluir o uso de produtos de fácil uso, rápido preparo e boa conservação é fundamental para as operações. Exemplos de produtos culinários desidratados após terem sido submetidos a processamento térmico são os caldos prontos, frequentemente usados em operações de alimentação profissional. Esses produtos proporcionam rápido preparo das refeições, otimização no armazenamento e conservação extensa, mesmo após a abertura das embalagens. Caldos juntamente aos molhos fazem parte das preparações básicas e fundamentais em processos de preparo de refeições. Diante disso, é interessante o desenvolvimento de uma linha de molhos de tomate desidratados a partir de molhos prontos, já tratados termicamente, sejam sem ingredientes adicionais, ou com adição de temperos, ervas ou especiarias.

O *Cast-Tape Drying (CTD)* é um equipamento para desidratação de alimentos em pasta ou polpa, o qual é constituído por uma esteira rotativa (operação em modo contínuo) de material polimérico (tais como, fibra de vidro revestida com Teflon®), sobre o qual o produto é espalhado em uma fina camada de maneira uniforme. A esteira avança de maneira contínua sobre um reservatório com água

mantida a temperatura de 98 °C. O vapor produzido pela água aquecida transfere calor por condução para evaporação da água contida no produto. O produto desejado é obtido em forma de filme ou floco que será moído em seguida para obtenção do pó. Em condições controladas, o processo é capaz de produzir um produto livre de contaminações e de boa qualidade, pronto para ser conservado em embalagem de alta barreira como sachês ou embalagem cartonada cilíndrica com tampa, de rápido manuseio no momento da reidratação e cozimento, e sabor inalterado em relação à própria versão hidratada.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a produção de purês e molhos de tomates desidratados por meio de Cast-Tape Drying, analisando o processo e a sua influência nas características físicas do produto, estimar a produtividade e determinar os critérios para selecionar a matéria-prima mais adapta para esse método de secagem.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as características físicas da matéria-prima a ser usada para produção do pó como umidade inicial, teor de sólidos totais, sólidos solúveis e a presença de ingredientes opcionais.
- Estudar a influência de diferentes teores de umidade residual do produto, sobre as operações de moagem e peneiramento.
- Avaliar as características físicas do produto armazenado em embalagem de alumínio multicamada, comparando as características de pós e flocos.
- Avaliar o processo de reidratação do produto.
- Avaliar as propriedades de reidratação comparando entre o produto em pó e em flocos.
- Analisar, por meio da diferença de cor, a influência do tempo de residência de secagem comparando a secagem por 30 e 60 minutos.
- Analisar a cor do produto reidratado e sua diferença respeito ao produto de origem.
- Estudar o rendimento e produtividade do processo em escala laboratorial e piloto.
- Determinar a eficiência energética do equipamento CTD laboratorial.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 PURÊ DE TOMATE**

O purê de tomate, produzido a partir polpa processada de tomate, é um produto industrial de recente introdução, tendo origem no ano de 1976 (Cimasa, 2014). Para sua obtenção, a polpa de tomate fresca é parcialmente concentrada até o teor de sólidos solúveis, expresso em graus Brix, entre 5 e 12 °Br, com tolerância de 3 %, não calculando o conteúdo de sal adicionado (MINISTRO DELLE ATTIVITÀ PRODUTTIVE, 2005). Na metade dos anos setenta, a indústria italiana do tomate percebeu que os consumidores não eram mais dispostos a gastar muito tempo na preparação das refeições e introduziu no mercado um produto já submetido a leve processo de concentração, mas não adicionado de ingredientes ou condimentos, de modo que pudesse ser utilizado para preparação de molhos caseiros ou adicionados a outros alimentos (Cimasa, 2014) e que fosse de rápido cozimento. O produto obteve um rápido sucesso comercial. O produto comercial não contém mais que 4 % de sementes e cascas, é obtido por prensagem direta, centrifugação, refinação mecânica do suco de tomate fresco, sadio e maduro, parcial concentração e pH inferior a 4,5. Após a concentração, o produto é pasteurizado e envasado. No Brasil os requisitos para purê de tomate são inclusos na Resolução N° 12 de 1978, da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos, que dispõe que o purê de tomate deve conter teor de substância seca não inferior a 9 % p/p, excluindo a adição de cloreto de sódio.

#### **3.2 PROCESSOS DE SECAGEM DE ALIMENTOS**

##### **3.2.1 Introdução**

A secagem ou desidratação é uma operação unitária que tem como objetivo obter um alimento sólido com baixa umidade, a partir de uma matriz alimentar que pode ser sólida, semissólida ou líquida. A desidratação é obtida por meio da transferência da água, que evapora para uma fase gasosa não saturada, com o uso da energia térmica (TELIS, MAURO, 2019, p.78). Processos de secagem de alimentos envolvem múltiplos fenômenos que influenciam a operação e a qualidade do produto. O estudo destes fenômenos se torna imprescindível no momento que iremos projetar a produção em larga escala de um alimento. O consumo energético

e as características do produto, como seus parâmetros de qualidade, conservação, uso e segurança microbiológica, são altamente suscetíveis aos parâmetros das operações unitárias envolvidas ao longo da planta produtiva.

### 3.2.2 Fenômenos e propriedades envolvidos em processos de secagem

No processo de secagem, a perda de umidade de um material para o ambiente, deve-se à diferença de pressão de vapor que a água exerce no alimento e a pressão de vapor da água no ambiente (Durigon, 2016) de secagem. Essa diferença é a principal força motriz para transferência da água do material para o ambiente, transferência que irá acontecer até que a pressão parcial da água no material se iguale à pressão parcial da água do ar (Durigon, 2016). A pressão de vapor da água no alimento depende da sua temperatura, da sua estrutura e de como a água está ligada (Durigon, 2016). A pressão parcial de vapor da água no ar depende da temperatura e da umidade relativa (Durigon, 2016). Alguns destes parâmetros precisam ser controlados para que possamos criar um ambiente de secagem que favoreça a transferência da água do alimento para o ar. É fundamental, portanto, conhecer as propriedades do alimento, do ar de secagem, sobretudo nos processos em que se utiliza ar aquecido como método, as propriedades termodinâmicas da água, assim como os fenômenos de transferência de calor e de massa envolvidos.

#### 3.2.2.1 *Propriedades de um alimento em um processo de secagem*

Conhecer o conteúdo de água inicial de um alimento, assim como sua composição, é necessário para o dimensionamento de um processo de desidratação. De fato, o processo de secagem irá alterar suas propriedades físico-químicas e os parâmetros que iremos controlar deverão proporcionar ao produto seco a menor alteração possível das características desejáveis para o alimento.

A umidade, em base seca, de um alimento é definida como a razão entre a massa de água e a massa seca do produto (Equação 3.1), expressa em kg de água por kg<sup>-1</sup> de matéria seca (TELIS, MAURO, 2019, p.78).

$$X_{BS} = \frac{m_{\text{água}}}{M_{SS}} \quad (3.1)$$

onde,  $X_{BS}$  é a umidade do produto em base seca,  $m_{\text{água}}$  é a massa da água presente no produto e  $M_{SS}$  é o conteúdo de matéria seca (sólidos totais) em base úmida expressa em kg de água por  $\text{kg}^{-1}$  total. A umidade em base,  $X_{BU}$  representa a fração mássica de água em kg por  $\text{kg}^{-1}$  de produto hidratado.

A umidade em base seca é usada para principalmente para definir as condições de processo, para os balanços de massa e conseqüentemente cálculos de capacidade evaporativa, por considerar no processo, somente a massa água na entrada e na saída, com relativas perdas por evaporação, por uma mesma massa de sólidos em entrada e saída. A umidade em base úmida é usada sobretudo para definir as condições de armazenamento, parâmetros nutricionais do produto. Para o processo, a umidade em base úmida, é importante para determinar as condições de secagem, como tempo de residência, temperatura, umidade do ar de secagem.

Um método comum para determinar a umidade de um alimento é o método gravimétrico, por secagem em estufa, no qual a umidade do alimento (em base seca) é dada pela razão da massa de água evaporada durante a secagem e a massa dos sólidos da amostra seca.

### 3.2.2.2 *Curvas de secagem*

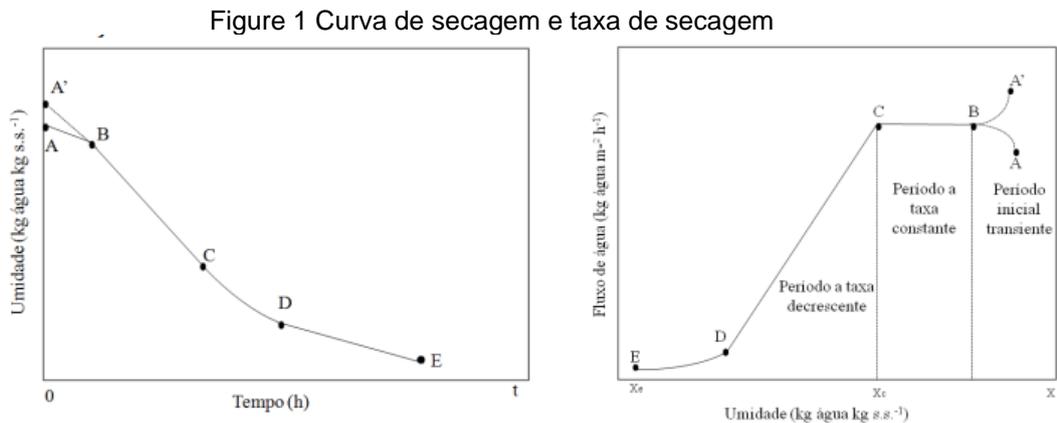
A curva de secagem é um recurso fundamental para o dimensionamento de processos e equipamentos. Curvas de secagem são obtidas a partir de ensaios experimentais, e representam a variação da umidade do alimento em função do tempo (TELIS, MAURO, 2019, p.78). Os parâmetros dos testes experimentais necessitam ser mais próximos possíveis àqueles que serão os dos processos na escala operativa (TELIS, MAURO, 2019, p.78), para que permitam projetar as características dos equipamentos, o gasto energético da planta, a eficiência e as características do produto obtido. Por meio da curva de secagem podemos determinar o tempo de secagem e, conseqüentemente, otimizar o processo, bem como a qualidade de um produto. Quanto maior o tempo ao qual o produto é exposto ao calor de secagem, seja este ar quente ou uma superfície aquecida, maior serão suas alterações do ponto de vista tecnológico, sensorial e nutricional. Portanto, a curva de secagem pode ser usada como recurso para monitorar quando o teor de umidade do produto alcançou o nível desejado e otimizar assim o tempo de secagem e o impacto no produto. Em uma curva de secagem, a umidade em base

seca é representada em função do tempo de secagem e conhecendo a área da superfície de secagem, podemos converter os dados obtidos da curva em taxa de secagem por meio da Equação 3.2, representada abaixo:

$$R_s = -m_s \frac{dX_{BS}}{dt} \frac{1}{A_T} = -m \frac{dX_{BU}}{dt} \frac{1}{A_T} \quad (3.2)$$

em que,  $R_s$  é a taxa de secagem em  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $m_s$  é a massa de matéria seca em  $\text{kg}$ ,  $\frac{dX_{BS}}{dt}$  é a velocidade de secagem em  $\text{kg} \text{ água} \cdot \text{kg}^{-1}$  de matéria seca  $\cdot \text{s}^{-1}$ ,  $m$  é a massa total em  $\text{kg}$ ,  $\frac{dX_{BU}}{dt}$  é a velocidade de secagem em base úmida em  $\text{kg} \text{ água} \cdot \text{kg}^{-1}$  de total  $\cdot \text{s}^{-1}$ , e  $A_T$  é a área de transferência de massa em  $\text{m}^2$ , que se assume que seja igual à área de transferência de calor (TELIS; MAURO, 2019).

Na Figura 1 são representadas a curva de secagem e curva da taxa de secagem típicas da secagem convectiva.



Fonte: Adaptado de Geankoplis (1993)

Na curva de secagem podem ser observadas diferentes segmentos que representam as fases da secagem. O período inicial (A-B ou A'-B) representa a adaptação do alimento às condições de secagem, ou seja, o aumento da temperatura, à umidade relativa do ambiente de secagem. O período de taxa constante (B-C), é caracterizado pela evaporação da água superficial do alimento e dos poros abertos superficiais (Telis; Mauro, 2019). Para que se tenha um período de taxa constante, a temperatura no interior do alimento deve atingir a temperatura de bulbo úmido do ar de secagem. Nesse período, o movimento de migração da

água do interior do alimento é suficiente para compensar a evaporação e manter a condição de saturação na superfície (Telis; Mauro, 2019). Nem todos os alimentos apresentam período de secagem a taxa constante, que depende da composição, estrutura e tamanho do alimento. O período de taxa decrescente (C-D), é caracterizado pela transferência de umidade por capilaridades, em que a velocidade de migração da água do interior do alimento é menor que a velocidade de evaporação da água na superfície (Simão, 2018). Esse período começa quando o teor de umidade cai abaixo do teor de umidade crítico, e a taxa de secagem cai lentamente até que se aproxime de zero no teor de umidade de equilíbrio (Fellows, 2019). O período de taxa decrescente é em geral o período mais longo do processo de secagem (Fellows, 2019).

### 3.2.3 Desidratação por espalhamento

Um método eficaz de desidratação de alimentos viscosos é a desidratação por espalhamento sobre uma superfície aquecida. A água é evaporada através do contato direto do produto com a superfície aquecida no qual este é espalhado. Essa tecnologia proporciona inúmeras vantagens na produção de pós alimentícios, incluindo consumo mínimo de energia e diminuição do tempo de residência (Courtois, 2013, p.85). Em secadores por contato não é necessário aquecer grandes volumes de ar, de fato para aquecer as superfícies se usa geralmente vapor ou água. Este processo pode proporcionar uma economia de até 50% para cada kg de água evaporada (Fellows, 2019, p.568) se comparado aos secadores de ar aquecido. A exaustão de ar em secadores por espalhamento é também minimizada (sendo, principalmente, usada como veículo carreador dos vapores produzidos durante a secagem), portanto existe uma economia em relação à limpeza deste ar, que também é pouco carregado de partículas. Outra vantagem do processo por espalhamento, é a possibilidade de acoplar outros tipos de tecnologia durante a secagem, como a aplicação de vácuo ou atmosfera modificada (Fellows, 2019, p.568) ou aplicação de raios infravermelhos, operações que preservam o produto da oxidação e de eventuais contaminações. Os secadores mais comuns em processos de secagem por superfície de contato são os secadores em tambores rotativos (Courtois, 2013, p.86) (em inglês, *roller dryer* ou *drum dryer*). Este equipamento é frequentemente usado para desidratar alimentos em pasta, como batatas ou alimentos com viscosidade alta. Secagem de polpa de tomate com *drum dryer* foi

estudada por Qiu et al. (2019), que utilizaram polpa de tomate com umidade entre 0,80 e 0,82 kg H<sub>2</sub>O/kg sólidos secos.

A secagem por *Cast-Tape Drying* (CTD) ou *Refractance window drying* (RWD) (um caso particular do CTD) é um método mais brando em relação à secagem em tambor rotativo, no qual o vapor para o aquecimento da superfície do tambor pode alcançar até 130 °C. Por sua vez, o CTD consiste em uma esteira de material polimérico que avança em contato com água aquecida com temperatura entre 65 e 98 °C. A face inferior da esteira se encontra em contato direto com a água ou vapor que transfere calor para a camada de alimento espalhada na face superior. A energia conduzida ao alimento proporciona a evaporação da água.

Pesquisas com RWD foram conduzidas por Castoldi, Zotarelli, Durigon, Carciofi, Laurindo (2014) para a secagem de polpa de tomate. Os autores avaliaram o efeito da temperatura da água de aquecimento (65, 75, 85 e 95 °C), usando um equipamento RWD operando em batelada, na cinética de secagem e nas características do produto. A caracterização do pó de tomate com secagem por RWD também foi estudada por Qiu, et al. (2019), que compararam o impacto de diferentes métodos de secagem por espalhamento na qualidade do produto.

Em operações de alimentação industrial o uso de alimentos em pó é difuso e proporciona praticidade, velocidade e organização nas preparações. No entanto, é importante, sobretudo no cenário atual, que os produtos utilizados também proporcionem a qualidade adequada para os consumidores, seja do ponto de vista nutricional, bem como sensorial. O uso de matéria-prima de alta qualidade é indispensável, assim como, a adoção de métodos de processamento que mantenham as propriedades do produto quanto mais próximas do alimento do qual provém. Processos de secagem por espalhamento como CTD ou RWD, como relatado em estudos por Qiu et al. (2019), demonstram ser menos impactantes para as características sensoriais do produto. Em relação à cor, Qiu et al. (2019) reportaram escurecimento em polpa de tomate desidratada por RWD, a partir de uma amostra com umidade inicial de 0,80 a 0,82 kg/kg em base úmida, e uma espessura de espalhamento de 1,5 mm, quando comparado ao método de secagem por *drum dryer*. O estudo atribuiu a mudança de cor ao tempo de exposição às condições de desidratação. Escurecimento do produto após a secagem foi reportado também por Castoldi et al. (2015), com método RWD em batelada, na faixa de temperatura da água de 95 °C. Em contrapartida, Qiu et al. (2019), concluíram que

pó de tomate obtido por desidratação com RWD apresentou maior potencial de retenção de compostos voláteis responsáveis pelo aroma do produto.

Os estudos comparativos envolvendo diferentes métodos de secagem de polpa de tomate efetuados Qiu et al. (2019), apontaram como limitação do processo por espalhamento RWD, a menor eficiência e capacidade devido à necessidade de maior tempo de secagem e da quantidade limitada de produto que é possível espalhar na esteira, quando comparado a métodos como *spray drying*, para obter o resultado desejado. No entanto, o gasto energético e o custo do equipamento poderiam ser uma vantagem econômica que supriria a uma produção limitada. A obtenção de um produto de qualidade superior pode também agregar valor ao alimento, se comparado a produtos obtidos por métodos mais rigorosos, como *spray drying* ou *drum drying*.

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO E QUALIDADE DOS ALIMENTOS DESIDRATADOS EM PÓ

#### 3.3.1 Estrutura e comportamento dos alimentos em pó

Pós alimentícios são particulados no estado sólido compostos por partículas que tem uma variação de diâmetro desde nanômetros até milímetros (Bhandary, 2013). O tamanho das partículas, a distribuição, forma, as características superficiais e a densidade são originárias de diferentes fatores tais como, métodos de obtenção e composição do alimento.

A microestrutura de uma partícula de um alimento em pó pode influenciar as suas propriedades funcionais e sua estabilidade. Através do estudo da microestrutura dos pós alimentícios conseguimos compreender o comportamento e a funcionalidade durante a produção, transporte e armazenamento até a reidratação e utilização.

Partículas de pó alimentícios desidratados podem apresentar dois tipos de microestrutura, cristalina ou amorfa, ou uma mistura das duas. Muitos alimentos em pó, como leite, sucos de frutas, proteínas hidrolisadas apresentam normalmente estrutura amorfa (Bhandary, 2013). Moléculas com estrutura amorfa se apresentam porosas, com maior área superficial e maior capacidade de absorção de água e outros voláteis. A estrutura cristalina, característica de alimentos como açúcar e sal, é não-higroscópica, estável e possui maior fluidez (Bhandary, 2013). Pós amorfos

apresentam maior potencial de adesão e coesão, que confere pegajosidade às partículas. Em pós alimentícios de origem vegetal, pode ocorrer a dissolução parcial das partículas amorfas e a recristalização do material cristalino, causando a adesão de mais partículas que pode levar à formação de bolo (Ermis, 2015). A pegajosidade é um dos maiores problemas no processo e no manuseio de pós após a secagem, interfere no processo de transporte do produto através dos dutos (Bhandary, 2013), em operações de envase e durante o armazenamento. O controle de temperatura e umidade durante os processos pode minimizar a adesão das partículas às superfícies e a formação de aglomerados indesejados devido à pegajosidade do produto.

O tamanho das partículas também influencia no comportamento dos pós alimentícios seja durante a produção e o transporte ao longo da planta, assim como nas operações de envase e armazenamento. Quanto menor o tamanho de uma partícula, maior será a sua área superficial e o poder de coesão e interação com as outras partículas, afetando negativamente a fluidez (Ermis, 2015).

### **3.3.2 Conservação e *shelf-life* dos alimentos em pó**

Na introdução deste trabalho foram apresentadas as vantagens que os alimentos em pó proporcionam às operações de preparo profissional de refeições, em processos industriais ou na utilização doméstica. Entre estas vantagens temos a facilidade de armazenamento e transporte. Entretanto, alimentos em pó possuem sensibilidade a fatores como temperatura, umidade do ambiente, contato com o oxigênio e exposição à luz (Hedegaard, Skibsted, 2013). A composição química destes alimentos determina o quanto se tornam suscetíveis a estes fatores (Hedegaard, Skibsted, 2013). Para garantir a estabilidade dos alimentos em pó é necessária a análise dos parâmetros característicos da interação do alimento com o ambiente podendo assim selecionar as melhores condições de envase, seleção de embalagem e condições de armazenamento.

#### **3.3.2.1 *Atividade de água***

Atividade de água é um conceito termodinâmico definido pela razão entre a pressão de vapor da água no alimento em uma dada temperatura, e a pressão de vapor da água pura na mesma temperatura. Essa relação indica quanto da água

presente no alimento está disponível para favorecer reações químicas, bioquímicas e microbiológicas, atuando como solvente (Durigon, 2016). A disponibilidade de água depende de como a água está associada aos componentes do produto. A água fortemente associada ou ligada aos constituintes não aquosos do produto, é menos capaz de dar suporte as atividades de degradação, como crescimento microbiano, reações químicas e bioquímicas, do que a água pouco associada (Fennema, 2010). A Equação 3.3 representa a definição de atividade de água.

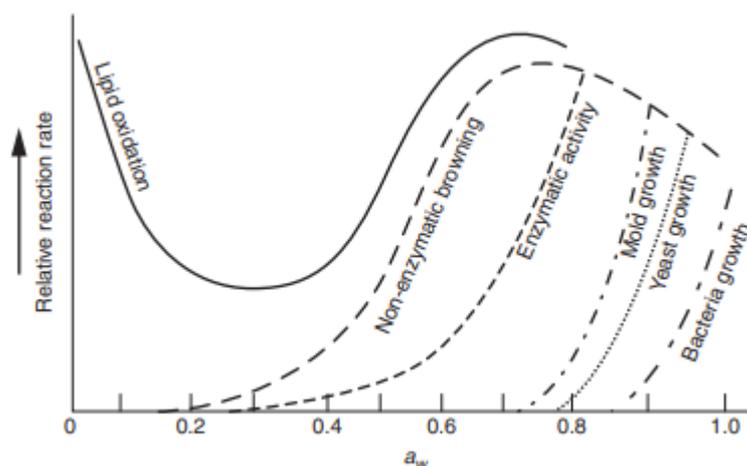
$$a_w = \left( \frac{p_w}{P_w} \right)_T \quad (3.3)$$

Em que,  $a_w$  é a atividade de água,  $p_w$  é a pressão de vapor da água no alimento em uma temperatura  $T$ , e  $P_w$  é a pressão de vapor da água no ambiente na mesma temperatura  $T$ .

É fundamental considerar que diferentes alimentos em pó com valores próximos de atividade de água, quando comparados, não possuem as mesmas características físico-químicas e, portanto, podem não ter o mesmo comportamento em condições de armazenamento e utilização e podem diferir significativamente em termos de perecibilidade (Fennema, 2010). A composição química de um alimento influencia o comportamento das partículas, a ocorrência de reações de oxidação e conseqüentemente a estabilidade das características sensoriais do produto, podendo alterar cor, aroma, sabor e perda dos valores nutritivos (R. V. Hedegaard, L. H. Skibsted, 2013). O *shelf-life* de um alimento é influenciado, portanto, por um conjunto de mudanças físico-químicas e microbiológicas controladas pela disponibilidade da água (Hedegaard, Skibsted, 2013). A qualidade de um pó alimentício é principalmente controlada pelas características físico-químicas, desde que a atividade de água garanta a estabilidade microbiológica (Labuza *et al.*, 1970). Apesar de possuir algumas limitações ligadas a aspectos de equilíbrio termodinâmico e às características específicas de cada alimento, a  $a_w$  é um indicativo adequado e mais exato se comparado ao conteúdo de água, para determinar a estabilidade de um alimento (Fennema, 2010).

A curva de labuza (Figura 2) é usada como referência para relacionar a atividade de água e as reações de deterioração bioquímica e biológicas.

Figure 2 Curva de Labuza.



Fonte: Adaptado de Labuza, 1971.

### 3.3.2.2 Transição vítrea

A temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) é a temperatura crítica na qual um alimento, ou as partículas de um alimento em pó, passam de um estado amorfo vítreo, para um estado amorfo “emborrachado” (Bhandari; Howes, 1999). A temperatura de transição vítrea é influenciada pelos componentes sólidos de um alimento, dos quais os carboidratos têm a maior influência nesse parâmetro (Hedegaard; Skibsted, 2013). Açúcares como frutose, lactose, sacarose possuem baixa temperatura de transição vítrea e, alimentos ricos nesses componentes tem a própria  $T_g$  notavelmente influenciada pela presença desses açúcares.

O conteúdo de água em um pó alimentício é o principal responsável pelo decréscimo da temperatura de transição vítrea. De fato, o colapso estrutural acontece a uma temperatura específica que depende da umidade do produto (Hedegaard; Skibsted, 2013). Durante o armazenamento, a deterioração de um pó, causada da umidade e da temperatura de estocagem, se inicia com a mudança do estado físico, que de pó vítreo se transforma em estado emborrachado, favorecendo a cristalização. Essa mudança favorece inúmeras mudanças físicas e químicas indesejadas, como reações que causam escurecimento não-enzimático. Por depender da umidade do produto, a  $T_g$  é, portanto, relacionada e dependente da atividade de água, e alimentos desidratados possuem, portanto, uma atividade de água crítica, a uma determinada temperatura, que separa o estado vítreo e não vítreo do produto (Hedegaard; Skibsted, 2013).

### 3.3.3 Reidratação

As propriedades de reconstituição são um importante parâmetro para avaliar a qualidade de um alimento em pó (Fang et al., 2008). Em operações de alimentação coletiva, boas propriedades de reidratação de um pó alimentício favorecem a velocidade de preparação dos alimentos assim como a sua qualidade. As propriedades de reidratação também revelam as mudanças físico-química que o alimento sofreu durante o processo de desidratação (Zalpouri et. al., 2022).

Pós alimentícios que não necessitam de tempo prolongados em altas temperaturas para reidratação e cocção, podem manter as próprias características sensoriais e nutritivas, além de proporcionar baixos custos de produção (Saggin e Coupland, 2002, Selomulya e Fang, 2013). As principais fases da reconstituição de um pó alimentícios são molhabilidade das partículas, imersão, dispersão e dissolução completa das partículas (Fang et al., 2008).

A molhabilidade é definida como a habilidade das partículas de romper a tensão superficial na interface sólido-líquido a uma temperatura específica, representa o tempo que o pó necessita para ser completamente molhado (Selomulya and Fang, 2013; Niro, 2005). Os principais fatores que favorecem a molhabilidade são a largura dos poros, quanto maior, maior a penetração de um líquido, isso se deve a presença de partículas maiores, alta porosidade e menor ângulo de contato possível das partículas com o líquido (Fang et al., 2008). Esses fatores dependem das características físico-químicas do pó, como a presença de componentes hidrofóbicos na superfície das partículas, que aumentam o ângulo de contato e diminuem a penetração do líquido (Fang et al., 2008, Durigon, 2016), ao contrário dos carboidratos que favorecem a molhabilidade (Durigon, 2016). O tamanho das partículas influencia também a molhabilidade, sendo que partículas muito pequenas favorecem a formação de uma camada viscosa que dificulta a penetração do líquido nos poros e a dispersão (Durigon, 2016).

A imersão é a habilidade das partículas ou aglomerados de partículas de afundar no líquido. Muitos fatores caracterizam essa propriedade, como o tamanho das partículas, densidade dos sólidos e ar ocluso nas partículas (Fang et al., 2008). Outro fator que influencia a imersão é a aglomeração de partículas que favorece o aumento da densidade e de consequência a velocidade de imersão.

A dispersão é favorecida pela presença de partículas grandes e com alta densidade e se desenvolve quando as partículas aglomeradas imersas se separam e se dispersam no líquido individualmente (Fang et al., 2008).

### 3.4 APLICAÇÃO DE MOLHOS E PURÊS DE TOMATE DESIDRATADOS

A aplicação de molhos e caldos desidratados é comum em operações gastronômicas de médio a grande porte. Considerando o molho de tomate, o mercado brasileiro oferece ainda poucas opções sob forma de pó ou flocos, e são exclusivamente reservadas às aplicações em serviços de alimentação coletiva. Na Europa, pós e flocos de tomate são produzidos para abastecer a indústria alimentícia, proporcionando assim economia no transporte e no espaço de armazenamento. Os mais comuns processos industriais de desidratação de polpa de tomate na Europa são *spray drying* e *drum drying*. Produção em grande escala é voltada para o comércio do produto reidratado adicionado de ingredientes para constituição de molhos prontos ou inserido em produtos desidratados como sopas, pratos prontos ou em produtos congelados (Amirante, 2017).

### 3.5 CONCEITOS DE AMPLIAÇÃO DE ESCALA

Chamamos de ampliação de escala ou escalonamento de tecnologia (*scale-up*), o processo de reprodução dos resultados técnicos obtidos em pesquisas laboratoriais, para levar um produto da pesquisa ao mercado, ampliando a escala desde miligramas ou gramas até quilos ou centenas de quilogramas (Vasconcellos et al., 2021). Esse processo necessita de um conhecimento abrangente desde o teórico até o prático baseado em experimentações científicas. Esse conhecimento é visto como conhecimento tácito (Vasconcellos et al., 2021), ou seja, o conhecimento pessoal e individual, composto por conceitos técnicos e cognitivos derivados da experiência e da prática durante as etapas de desenvolvimento em laboratório.

Vasconcellos et al. (2021) indicam as quatro etapas de um processo de escalonamento típicas das engenharias (Figura 3).

Figura 3 Etapas fundamentais do processo de escalonamento de tecnologia



Fonte: Adaptado de Vasconcellos, 2021

A primeira etapa é relacionada ao desenvolvimento da pesquisa em laboratório com conceitos relacionados à aplicação. Geralmente essa etapa é iniciada com uma pesquisa acadêmica com o objetivo de desenvolver ou ampliar as bases científicas para entender os fenômenos envolvidos e definir as características básicas de um produto e as potenciais aplicações.

A segunda etapa compreende o desenvolvimento com foco no produto, focando na primeira ampliação da escala, saindo de uma produção de miligramas até gramas, dezenas de gramas, ou no máximo um quilograma. Nesta etapa é importante que os experimentos sejam conduzidos utilizando matéria-prima de origem comercial, abandonando insumos de alta pureza típicos dos laboratórios. Essa fase objetiva verificar se os resultados obtidos na etapa anterior são reproduzíveis. Essa etapa é importante para aproximar a pesquisa ao mercado e a potenciais clientes, avaliando o desempenho do produto e se de fato pode gerar benefícios e funcionalidades de interesse (Vasconcellos et al., 2021).

A terceira etapa indicada é focada no processo, mas ainda em escala laboratorial. Essa etapa envolve a simulação das operações unitárias típicas da indústria e a ampliação da produção de dezenas de gramas até quilogramas. Essa fase é importante para avaliar os riscos ao longo do processo, a necessidade de eventuais mudanças de formulação, a verificação da validade do aumento de escala das superfícies de transferência de energia e massa em relação à escala laboratorial. Nessa etapa também é implementado o conceito de controle de qualidade para avaliar os desvios em relação aos resultados obtidos nas etapas anteriores. Para indústria de alimentos é de fundamental importância que a partir da etapa dois, sejam avaliados e cumpridos os requisitos de boas práticas de fabricação, de modo que o impacto seja avaliado ao longo da ampliação de escala.

A última etapa é o desenvolvimento de uma planta piloto, com foco em obter quantidades de produto para testes reais com eventuais clientes (Vasconcellos et al., 2021). As condições desses testes devem ser quanto mais próximas àquelas encontradas em processos industriais. Nessa fase, a infraestrutura deve ser completada levando em consideração instalação elétrica, estoque de matéria-prima e produto, o descarte dos rejeitos, que deve ser feito de forma controlada e autorizada. Essa etapa é importante para definir os custos envolvendo mão-de-obra, energia, espaço físico e os custos da matéria-prima que serão diferentes em relação às escalas menores.

### 3.6 AMPLIAÇÃO DE ESCALA DO PRODUTO

Seguindo os conceitos expostos por Vasconcellos (2021), podemos descrever as similaridades desse trabalho com as etapas típicas da ampliação de escalas em projetos de engenharia de processos. Entre as pesquisas acadêmicas que foram efetuadas através de experimentos laboratoriais focados no produto, encontramos as conduzidas por Castoldi; Zotarelli; Durigon; Carciofi; Laurindo (2015), por Durigon (2016). Os trabalhos visaram avaliar as propriedades dos produtos obtidos através de desidratação por espalhamento, construindo assim uma forte base para eventuais aplicações, seja para os produtos derivados de polpa ou purê de tomate, seja para outros produtos que se apresentam para o uso com consistências de cremes ou purês. Os trabalhos visaram também ao estudo das influências das condições de processo no produto, importantes para caracterizar o produto pensando nas condições de armazenamento, na qualidade e no utilizo. Esses tipos de trabalho se identificam, por similaridade, com a etapa 1, proposta nos conceitos de ampliação de escala por Vasconcellos, et. Al. (2021).

Esse trabalho se propus como uma etapa subsequente, podendo ser identificado como um primeiro estudo com foco seja no produto, seja processo, entendido como operação unitária, seja no cliente, objetivando a primeira ampliação de escala. Esse trabalho não incluiu a simulação fiel de todas as operações unitárias de uma escala piloto, como moagem ou pulverização, e operações de envase, portanto pode ser identificado como um processo em escala intermediária, onde são usadas matérias primas de origem comercial para verificar a reprodutibilidade dos resultados e as aplicações possíveis do produto.

### 3.7 PROCESSO DE SECAGEM EM ESCALA AMPLIADA

A ampliação de escala de um processo envolve o aumento da produção, que na escala laboratorial ou pré-piloto é de dezenas ou centenas de gramas, até centenas de quilos ou até toneladas da escala piloto ou industrial. De consequência temos um aumento superfícies de transferências de calor, da massa de vapor necessária para a nova quantidade de água que deve ser evaporada. Uma simulação dos cálculos de ampliação de escala da operação de secagem, envolvendo o impacto do aumento das superfícies de transferência de calor, para estimar o rendimento da planta, é importante para prever a produtividade do projeto, assim como para projetar as operações unitárias subsequentes, os espaços físicos, a necessidade do emprego de funcionários, os custos energéticos, entre outros. É importante ressaltar que os testes em planta piloto, ou seja, com equipamentos em escala próxima da real, são necessários para o ajuste do produto e da operação em todas as fases da elaboração.

## 4 DESENVOLVIMENTO E PREPARAÇÃO DO PRODUTO

### 4.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Os purês de tomate usados neste trabalho foram obtidos a partir de purês de tomate industrializados importados, das marcas San Frediano e Cirio, e de purê de tomate de origem nacional, da marca Cargill. Os purês foram concentrados por processo de evaporação, com o uso de fogão caseiro, partindo de um teor inicial de sólidos totais até atingir o teor de sólidos desejados para os experimentos. A concentração inicial de sólidos totais foi determinada pelo método gravimétrico em estufa a vácuo (TECNAL, model TE-395, Brasil), a 70°C por 24 horas, e o teor de sólidos solúveis (°Brix) foi determinado com, com refratômetro (ATAGO, Japan). Foram avaliados teores entre 10 e 15% de sólidos totais (Tabela 1). Utilizando sempre o mesmo equipamento para evaporação, foi determinada experimentalmente a taxa de evaporação de água durante a concentração para estimar a perda de água nos testes sucessivos.

Após o resfriamento, os purês foram processados em liquidificador (Mondial), com o objetivo de eliminar pedaços maiores que podiam obstruir a

passagem do material através do espalhador e desfavorecer a homogeneidade da camada. O purê processado foi armazenado em geladeira por 24 horas de modo a eliminar eventuais bolhas de ar formadas no processamento. Duas amostras foram adicionadas de ingredientes, tais como, sal, óleo de girassol, e alho, para amostra CNT-I, e manjerição para amostra CNT-M. A Tabela 1 mostra a caracterização das amostras em termos de umidade e sólidos solúveis antes e após a concentração, assim como os ingredientes adicionados.

Tabela 1 Concentração do purê de tomate usado nos experimentos.

Amostra	Ingredientes adicionados	Sólidos totais iniciais (g.g <sup>-1</sup> base úmida)	Sólidos solúveis iniciais (°Brix)	Sólidos totais finais (g.g <sup>-1</sup> base úmida)	Sólidos solúveis finais(°Brix)
CNT-I	Óleo, sal, alho	0,09 ± 0,01	8,1 ± 0,2	0,11 ± 0,02	10 ± 0,1
CNT 3	-	0,094	8,1 ± 0,1	0,109	9,4 ± 0,1
CNT-M	Manjerição	0,104 ± 0,013	9,37 ± 0,07	0,123 ± 0,016	10,9 ± 0
CNT-6	Sem ingredientes adicionados	0,081 ± 0,001	7,27 ± 0,04	0,0143 ± 0,003	13 ± 0,3
CNT-7	-	0,106 ± 0,006	8,50 ± 0,6	0,130 ± 0,002	11,23 ± 0,31

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

#### 4.1.1 Processo de desidratação

##### 4.1.1.1 CTD Breve descrição

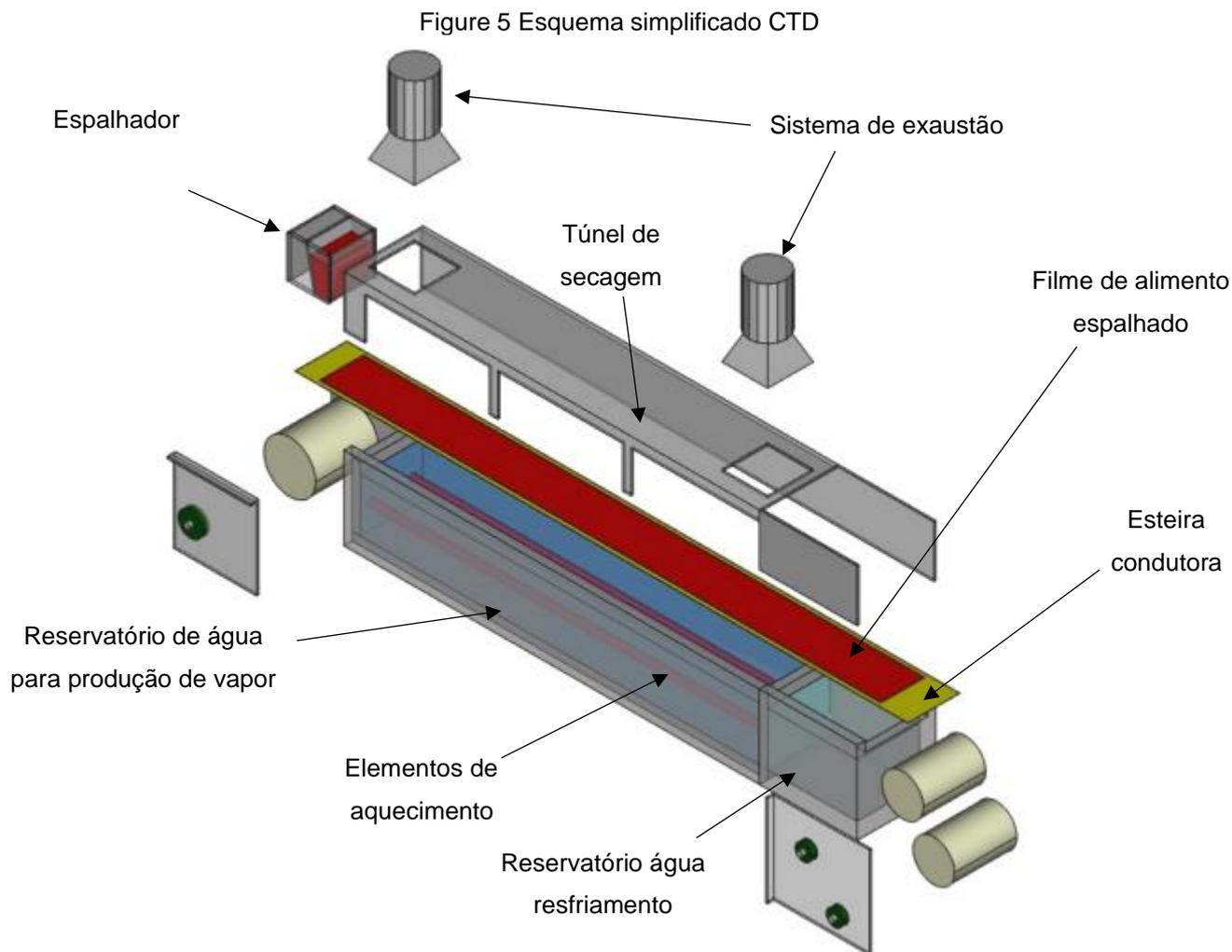
O equipamento de secagem condutiva por espalhamento de uma fina camada, *Cast-Tape Drying* (CTD), é composto por uma esteira de material polimérico (espessura  $0,32 \pm 0,05$  mm, *Teflon*), com largura de  $28,3 \pm 0,05$  cm, um túnel de secagem, sistema de exaustão e reservatório de água (Figuras 4 e 5). A esteira, sobre a qual o alimento que se deseja desidratar é espalhado, é conduzida de maneira contínua sobre o reservatório com água mantida à temperatura de  $98 \pm 1^\circ\text{C}$  por meio de resistências elétricas. O vapor gerado pela água entra em

contato com a esteira, transferindo calor por condução através da esteira ao produto. O aumento da temperatura do alimento provoca a evaporação da água, o aparato de exaustão, integrado ao túnel de secagem, auxilia a remoção do vapor liberado do produto durante o processo de secagem. O produto é espalhado na esteira de maneira uniforme utilizando um espalhador (*doctor blade*), que possibilita o controle da espessura da camada. A largura da camada de purê espalhada é de  $21 \pm 0,05$  cm. O tempo de residência do alimento no túnel de secagem é regulado pela velocidade da esteira.

Figure 4 Cast-tape Dryer



Fonte: Autor,2024.



Fonte: Elaborado pelo autor com FreeCAD ©, Version: 0.21.2.33771,2024.

#### 4.1.1.2 *Teste preliminar*

Foi conduzido um teste preliminar com amostra de molho de tomate comercial da marca Quero, usando o mesmo equipamento CTD deste trabalho. O molho possuía teor de sólidos solúveis entre 6 e 7 °Brix. O teste teve como objetivo avaliar o espalhamento do produto, considerando as espessuras de 1,5 e 2,0 ± 0,01 mm, em função da viscosidade e consistências e à presença de partículas maiores dos ingredientes. A recuperação do filme de produto também foi avaliada, assim como a moagem. O tempo de residência dos testes preliminares foram de 30 e 60 minutos.

#### 4.1.1.3 *Condições de secagem*

Para os purês de tomate concentrados, foram avaliados tempos de residência entre 28 e 60 minutos, espessura do alimento de 1,5 mm e 2,0 mm, com exaustão (velocidade dos exaustores de 10 m.s<sup>-1</sup>) em todos os ensaios. A temperatura inicial do purê de tomate variou entre 23,1 ± 0,1 °C e 25,1 ± 0,1 °C. A umidade relativa do ambiente variou entre 56,7 e 75,7%.

#### 4.1.1.4 *Cinética de secagem*

Para um ensaio, foi conduzida uma cinética de secagem, o objetivo foi comparar os dados obtidos a partir dos balanços de massa específicos com os dados obtidos da curva de secagem, da taxa de secagem e a capacidade evaporativa, além de monitorar a evolução da umidade do produto ao longo do processo. Durante a secagem foram retiradas amostras em triplicada em 14 pontos do processo, em intervalos de 3 minutos. As amostras passaram por análise gravimétrica para determinar as umidades e os dados foram plotados considerando a evolução da umidade em função do tempo de secagem.

### 4.1.2 **Moagem e peneiramento do produto**

O filme de tomate formado durante a secagem foi retirado da esteira e moído em moinho de facas (TECNAL, TE 631/2, Brasil), com pulsos de 10 a 20 segundos para obter partículas de pó, separadas por peneiramento. Foram usadas peneiras de malha de 841 µm (20 mesh) e 500 µm (35 mesh,) sendo as partículas com tamanho superior a 841 µm classificadas como flocos.

### 4.1.3 **Caracterização do pó**

#### 4.1.3.1 *Umidade*

O teor de umidade do produto foi determinado por secagem em estufa a vácuo. As amostras foram secas por 24 horas na temperatura de 70 °C. A pesagem das amostras foi realizada em balança analítica (Shimadzu, ATY224, Japão). Todas as pesagens foram realizadas em triplicada.

#### 4.1.3.2 *Atividade de água*

Atividade de água foi determinada usando um medidor de atividade de água (Aqualab, Decagon Devices, USA), em triplicata.

#### 4.1.3.3 *Transição vítrea*

Nesse trabalho não foi determinada a temperatura de transição vítrea dos pós obtidos, mas sim foram usados os conceitos de transição vítrea para explicar as características físicas e o comportamento do produto durante o manuseio e o armazenamento, com base nos resultados obtidos nos trabalhos com pós de tomate de Durigon (2016) e Palzer et al. (2009).

### **4.1.4 Armazenamento**

#### 4.1.4.1 *Embalagem*

O pó de tomate obtido foi armazenado em embalagem flexível (Folha de alumínio laminada e PET), contendo ar atmosférico. A embalagem foi selada sem aplicação de vácuo e armazenada por um período que variou entre 25 e 53 dias, em local seco, em temperatura e umidade ambiente. O objetivo desta avaliação foi observar as alterações físicas do pó em condições de armazenamento comercial, considerando que a atividade de água proporciona a estabilidade microbiológica do produto.

#### 4.1.4.2 *Análise visual do pó durante o armazenamento*

Durante o armazenamento, análise visual do pó foi realizada a fim de avaliar a formação de bolo ou aglomerados (Palzer; Hartmann, 2009; Ermis, 2015). Para isso, o pó foi despejado em um recipiente e foi observada a eventual formação de flocos, aglomerados menores, bolos, pegajosidade, comparando entre produto em pó e em flocos. Foram avaliadas também eventuais variações de cor com relação ao começo do armazenamento. Foram determinadas umidade e atividade de água dos pós e dos flocos.

#### 4.1.5 Análise de cor

A cor das amostras em pó e dos produtos reconstituídos foi realizada com um colorímetro (DeltaVista, Delta Color, Brasil), usando as escalas CIELab e CIELCh. Amostras em pó obtidas em tempos de secagem de 30 minutos foram comparadas com àquelas obtidas em 60 minutos de secagem.

Na escala CIELab,  $L^*$  indica a luminosidade ( $L^* = 0$ : preto;  $L^* = 100$ : branco), e  $a^*$  e  $b^*$  as coordenadas cromáticas ( $-a^*$ : verde;  $+a^*$ : vermelho;  $-b^*$  = azul;  $+b^*$  amarelo). A diferença de cor entre uma amostra selecionada para a análise e uma amostra selecionada como padrão é dada pela Equação 4.1.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (4.1)$$

em que,  $\Delta L^* = L_{amostra} - L_{padrão}$ ;  $\Delta a^* = a^*_{amostra} - a^*_{padrão}$ ;  $\Delta b^* = b^*_{amostra} - b^*_{padrão}$

O sistema CIALCh agrega as características que são percebidas pelo olho humano como tonalidade ( $h^*$ ), saturação ( $C^*$ ) e luminosidade ( $L^*$ ). A tonalidade é dada pela Equação 4.2.

$$\Delta h^* = \sqrt{\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} - \Delta C^{*2}} \quad (4.2)$$

#### 4.1.6 Reconstituição

##### 4.1.6.1 Reconstituição do pó

O produto foi reidratado de maneira a reconstituir o mesmo teor de sólidos solúveis do purê comercial de origem. Em um béquer com água foi adicionado o produto e misturado com uma espátula. Os ensaios foram conduzidos na temperatura de 60 °C e sob condições de fervura. PWD-I (Amostras de pó obtida de purê com óleo, sal e alho adicionados), FLC, amostra em flocos, PWD-5 e PWD-9 pós obtidos por purê de tomate.

Tabela 2 Proporções de reidratação dos pós e flocos na temperatura de 60 °C

Amostra	Ingrediente adicionais	Proporção de reidratação (pó:água)
---------	------------------------	------------------------------------

PWD-I	Óleo vegetal, sal, alho	1:8,5
PWD-5	Sem ingredientes adicionais	1:8,5
FLC	-	1:9
PWD-9	-	1:7,5

Fonte: Elaborado pelo autor,2024.

#### 4.1.6.2 Razão de reidratação

A razão de reidratação foi baseada na metodologia descrita por Srivastava et al. (2016), com pequenas modificações. Em resumo, 3 g de amostra de pó foi reidratada em 60 g água destilada, e mantida sob fervura por 10 minutos. Agitação, aquecimento e volume da solução foram monitorados durante todo o processo. A amostra reidratada foi em seguida filtrada em filtro de papel até o excesso de água parar de escoar. A amostra foi novamente pesada, descontando a umidade residual do filtro de papel. A razão de reidratação foi dada pela Equação 4.3.

$$\text{Reidratação} = \frac{\text{Massa da amostra reidratada}}{\text{Massa da amostra em pó}} \quad (4.3)$$

Com essa metodologia é possível obter um resultado comparativo entre a reidratação de pó e flocos, sendo também interpretável para o uso em operações de alimentação.

#### 4.1.7 Avaliação do produto reconstituído

Para os molhos e purês (pós reconstituídos) foram determinados teores de sólidos totais, °Brix, pH e cor. Os resultados foram comparados com aqueles dos purês originais.

##### 4.1.7.1 Potencial de hidrogênio

O pH dos produtos reidratados foi medido e comparado com aquele dos purês comerciais usados como matéria-prima. As medições foram conduzidas por meio de instrumento de medição de pH (pHmetro) (Testo, modelo 205, Alemanha).

## 5 AVALIAÇÃO PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

### 5.1.1 Balanços materiais

Por meio dos resultados obtidos no processo podemos obter os balanços materiais relacionados ao equipamento CTDE e projetá-los para o equipamento piloto CTDP. A metodologia para estimar a eficiência energética foi a mesma usada da Abonyi; Tang; Edwards, (1999), que usaram o método em trabalho de comparação na produção de pós alimentícios por diferentes processos de secagem.

Para o balanço de massa simples foi considerado o processo que proporcionou o filme com melhores características físicas adaptas para produção de flocos e pós. O balanço de massa da água é dado pela equação:

$$m_{ss} * X_{BSi} - m_{ss} * X_{BSf} = m_{H_2O} \text{Evaporada} \quad (5.1)$$

Em que  $m_{ss}$  é a massa de sólidos secos obtido da equação:

$$m_{ss} = \frac{\text{massa do filme do produto}}{X_{BS}+1} \quad (5.2)$$

$X_{BSi}$  é a umidade em base seca inicial em  $\text{g H}_2\text{O.g}^{-1}$  Sólidos secos, e  $X_{BSf}$  é a umidade em base seca final em  $\text{g H}_2\text{O.g}^{-1}$  Sólidos secos

Pode ser obtida a capacidade evaporativa do processo pela equação:

$$CAP. \text{Evaporativa} = \frac{m_{H_2O} \text{Evaporada}}{\text{Área sup. secagem} * \text{tempo secagem}} \quad (5.3)$$

A área de secagem do equipamento experimental é de  $0,42 \text{ m}^2$ , a massa de água evaporada por massa de produto,  $\text{kg H}_2\text{O.kg Produto}^{-1}$  é dada dividindo a massa de água evaporada pela massa de produto:

$$\frac{\text{kg H}_2\text{O evap}}{\text{kg produto}} = \frac{\text{massa H}_2\text{O evaporada}}{\text{massa filme de produto}} \quad (5.4)$$

Não sendo possível quantificar as perdas de matéria prima entrando no aparato experimental e, portanto, a massa de matéria prima inicial, há duas maneiras de calcular a massa de purê de tomate inicial.

Pode ser usada a umidade em base seca para calcular a massa de produto inicial, como da equação: adicionar o número:

$$M_{inicial} = M_{SS} * (1 + X_{BS}) \quad (5.5)$$

Em que  $M_{inicial}$  é a massa inicial da matéria prima,  $M_{SS}$  é a massa de sólidos secos dada pela massa do produto menos a massa de água residual, e  $X_{BS}$  é a umidade inicial em base seca. Conhecendo a massa de matéria prima processada podemos quantificar eventuais perdas. Podem ser calculadas também perdas na recuperação do produto pelo mesmo método, uma vez calculada a massa de matéria prima que foi processada.

Um outro método seria usando a massa específica do purê concentrado de tomate, determinada experimentalmente.

Dessa maneira pode-se determinar a massa de produto, calculada através do volume que é possível espalhar na esteira condutora.

A tabela mostra o balanço material experimental, baseado na massa do filme produzido.

Tabela 3 Balanço material no ensaio analisado

Amostra	Massa produto (g)	Umidade inicial em base seca (g H <sub>2</sub> O.g <sup>-1</sup> Sólidos secos)	Umidade final em base seca (g H <sub>2</sub> O.g <sup>-1</sup> Sólidos secos)	Massa inicial matéria prima (g)	Água evaporada (g)	Água evaporada (kg H <sub>2</sub> O.kg produto <sup>1</sup> )	Tempo de processo (segundos) (minutos)
PWD*	64	8,174	0,058	553,9	489,9	7,65	25 (28)

\*No processo em exame a umidade relativa do ar média foi de 72%

### 5.1.2 Consumo energético do CTD

O consumo energético foi monitorado através de medidor de consumo digital trifásico.

A energia relativa à produção do vapor necessário para secagem do ensaio foi de 3242 kJ, correspondente a 0,90 kWh. Podemos determinar assim a eficiência térmica do equipamento, que é dada pela equação 8 (Smith; Van Ness, 2008):

$$\eta = \frac{\text{Energia usada para evaporação}}{\text{Energia entrando no sistema}} * 100 \quad (5.6)$$

Em que a energia, sob forma de calor usada é dada por:

$$Q = m_{H_2O,Evap.} * L \quad (5.7)$$

Em que  $L$  é o calor latente de vaporização da água correspondente a 2256 kJ.kg<sup>-1</sup>.

O consumo energético específico é dado pela equação:

$$E_{esp} = \frac{\text{Energia entrando no sistema}}{\text{Massa de produto}} \quad (5.8)$$

Em que a energia entrando no sistema expressa em kJ/h ou kWh e a massa de produto em kg.

#### 5.1.2.1 *Influência da exaustão e do movimento da esteira no consumo total*

Na velocidade máxima de exaustão, o consumo foi monitorado através do medidor de consumo trifásico de modo a estimar o consumo médio horário do equipamento medido em kWh.

O consumo do motor acoplado ao mecanismo rotatório da esteira foi calculado em base às específicas do equipamento, que possui potência de 0,09 kW.

### 5.1.3 Projeção para o equipamento CTD em tamanho industrial/piloto

O equipamento de secagem CTD piloto (Projeto do Laboratório de Propriedades Físicas dos alimentos, *PROFI, EQA, UFSC*), é a reprodução em escala industrial do equipamento experimental e possui uma superfície de espalhamento com largura 0,9 metros e 6,5 metros de comprimento resultando em 5,85 m<sup>2</sup> de área de secagem e usa fonte de calor como aquecimento o vapor.

Enquanto os mecanismos de transferência de calor envolvidos nessa metodologia de secagem, não mudam com o aumento de escala podemos considerar a capacidade evaporativa igual para os dois equipamentos, portanto a produtividade é proporcional à superfície de secagem.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1.1 Processo de secagem

#### 6.1.1.1 *Testes preliminares*

A secagem nos testes preliminares mostrou que o molho comercial não se adapta às condições de secagem por CTD. A alta umidade e a presença de partículas maiores não confere uniformidade no espalhamento, acarreta separação de fases, com o líquido perdido escorrendo no sentido contrário da esteira. Como consequência obteve-se um filme de produto não uniforme, dificuldade de recuperação do produto, e secagem incompleta causada pela camada não uniforme e a alta umidade do molho. O purê de tomate usado neste trabalho foi submetido a um processo de concentração adicional, seja para melhorar o manuseio e a eficácia do processo de secagem, seja para obter diferentes teores de sólidos e analisar qual melhor se adapta ao uso do equipamento CTD, e proporciona um produto com as características desejadas.

### 6.1.1.2 Avaliação do espalhamento

Purê e molho que apresentaram melhor desempenho no espalhamento foram aqueles com teor de sólidos totais nas frações entre 0,11 e 0,12. A camada apresentou-se uniforme em ambas as espessuras 1,5 e 2,0 mm, sendo necessária somente agitação da amostra no espalhador. Durante o espalhamento não se verificou significativa separação de fase. Quando a massa de purê diminuiu no espalhador e se aproximou ao esvaziamento, a camada manteve-se com a espessura próxima às condições normais de processo. Purês de tomate com teor de sólidos acima de 0,13 apresentaram dificuldade no espalhamento na espessura de 1,5 mm, sendo necessário o auxílio manual do operador para forçar o espalhamento. Esse ensaio apresentou a retenção do purê no espalhador, separação de fase, acarretando a perda de sólidos, camada não uniforme. Com o espalhamento não uniforme teve um significativo aumento no tempo de processo dificultando as análises dos resultados em termos de características físicas relacionadas às condições de processo. Os resultados obtidos se encontram coerentes com os dos ensaios conduzidos por Durigon (2016), que relatou que o espalhamento da polpa de tomate, com espalhador *doctor blade*, apresentou-se uniforme nas concentrações 5,9 a 13% de sólidos solúveis. Nesse trabalho todos os experimentos conduzidos com temperaturas iniciais do purê de tomate entre 23 e 25 °C. Para possibilitar o espalhamento de purê com concentrações de sólidos maiores, o purê pode ser aquecido para diminuir a viscosidade.

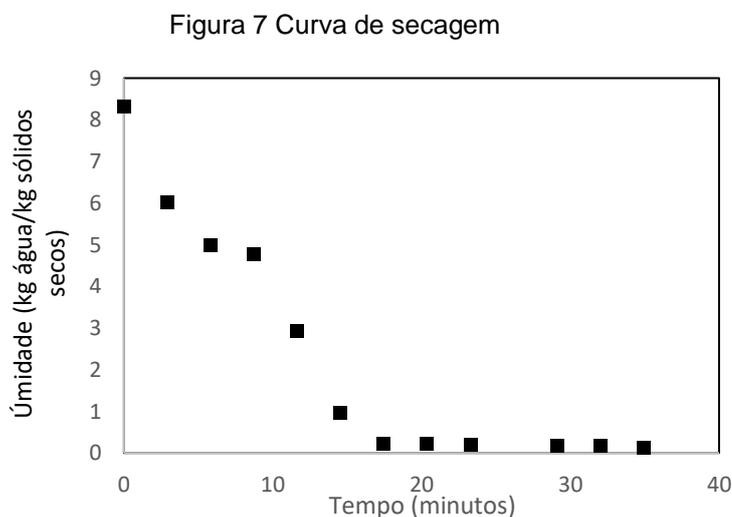
Figura 6 Foto do espalhamento purê de tomate



Fonte: Autor, 2024.

### 6.1.1.3 Cinética de secagem

A curva representa a variação da umidade em base seca com tempo de uma amostra com umidade inicial  $0,89 \text{ g.g}^{-1}$  em base úmida com espalhamento do purê de tomate de 1,5 mm.



Fonte: Autor, 2024.

O decréscimo abrupto da umidade no alimento nos primeiros minutos, se deve ao elevado teor inicial de umidade, onde a pressão de saturação da água na superfície do produto é próxima à pressão de vapor da água, a taxa de secagem constante estendeu-se até a umidade em base seca de  $0,2 \text{ g.g s.s}^{-1}$ . Quando a umidade superficial e nos capilares mais abertos esgotou-se a transferência de massa de água continuou por capilaridades, diminuindo até atingir o teor final

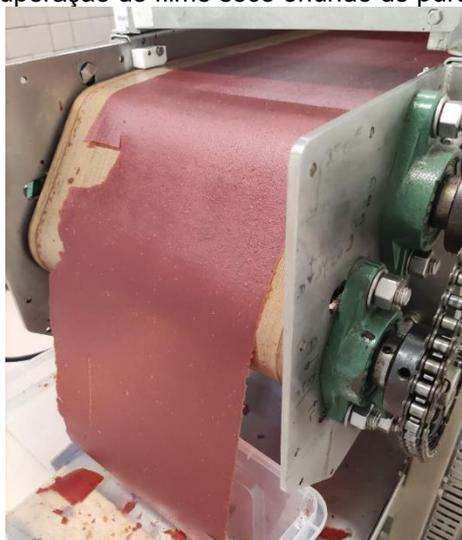
A taxa de secagem foi de  $0,25 \text{ g.g}^{-1}.\text{min}^{-1}$ . Diferentes estudos encontrados na literatura, relatam taxas de secagem variadas para secagem de polpa de tomate por esteiras condutoras, principalmente referente ao uso de água aquecida em sistemas RWD. Para polpa de tomate, em ensaio em batelada, Castoldi et al. (2015) reportaram taxas de secagem de  $1,20$  e  $0,84 \text{ g g}^{-1} \text{ min}^{-1}$  ao secar polpa de tomate com espessura de espalhamento de 2 e 3 mm (Durigon,2016) com calor transferido com água aquecida a  $95^{\circ}\text{C}$ . Durigon (2016), com suporte CTD, em batelada, e uso de vapor como fonte de aquecimento, relatou taxas de secagem de  $1,38 \text{ g.g}^{-1}.\text{min}^{-1}$  e  $1,53 \text{ g.g}^{-1}.\text{min}^{-1}$  com suporte de poliéster e filme teflonado respectivamente, com espessura do filme de tomate de 2 mm. Ssenyimba et al. (2021), reportara taxa de

secagem de  $1,31 \text{ g.g}^{-1}.\text{min}^{-1}$  e  $0,854 \text{ g.g}^{-1}.\text{min}^{-1}$ , para polpa de tomate, com 2 e 3 mm de espessura em ensaios em batelada, em estudos de avaliação de um projeto de um secador RWD em escala laboratorial. A diferença de taxa de secagem obtida nesse trabalho, em relação aos estudos citados, pode depender de vários fatores e precisa ser investigada com mais primor. Pode-se investigar e comparar, com as mesmas condições de secagem, o processo em batelada e o processo contínuo.

#### 6.1.1.4 *Recuperação do produto*

O produto oriundo de espalhamento uniforme apresentou facilidade de recuperação, o filme obtido se apresentou uniforme, fácil de manusear, sem perdas significativas. O produto obtido do purê de tomate adicionado de manjericão resultou em um filme maleável que se destacou da esteira com facilidade, mas mostrou alta adesão às superfícies do aparato onde foi coletado, derivada da retenção de água superior aos outros filmes obtidos.

Figure 8 Foto da recuperação do filme seco oriundo de purê de tomate.



Fonte: Autor 2024.

Figura 9 Recuperação do filme oriundo de purê de tomate adicionado de manjericão, resultou em um filme maleável com alta umidade residual.



Fonte: Autor, 2024.

Figura 10 Filme de produto retirado da esteira



Fonte: Autor, 2024.

## 6.1.2 Manuseio do produto

### 6.1.2.1 *Moagem*

A amostra de produto oriunda do purê adicionado de manjericão apresentou dificuldade na moagem por possuir ainda uma quantidade de água elevada. Não foi

possível a moagem e os resultados foram flocos coesos com consistência emborrachada, resultando em um produto não adaptado ao armazenamento e ao uso.

Produtos com teor de umidade inferior a 0,09 g/g em base úmida, apresentaram boa funcionalidade na moagem, sendo necessários um máximo de três pulsos para obter um resultado uniforme. Os pós com umidade superior a 0,065 g/g em base úmida apresentaram sinais de pegajosidade e aderência às superfícies do moinho, isso é devido também às condições de operação do moinho onde a temperatura se encontra acima da temperatura de transição vítrea para a umidade e a atividade de água desse produto. Os pós de tomate apresentaram  $a_w$  acima de 0,39. Resultados obtidos por Durigon (2016) e Palzer (2009) mostraram que pós de tomate possuem temperatura de transição vítrea próximas a 0 °C para esse valor de  $a_w$ . Considerando que a moagem e o manuseio aconteceram sempre em temperatura próxima de 24 °C, esse comportamento é esperado.

Figura 11 Moagem do filme e recuperação dos flocos.



Fonte: Autor, 2024.

### 6.1.2.2 Peneiramento

Para obtenção de flocos o produto é moído aplicando um pulso no moinho de facas, por 10 segundos, o produto resultante é peneirado, em peneira *mesh 20*, o produto retido é em forma de flocos e representa cerca de 1/3 do produto moído, há persistência de partes de filme maiores que podem ser novamente moídas. Usando uma peneira maior é possível separar o produto em flocos de dimensões distintas, para ser adaptados a usos diferentes. Os flocos podem ser também obtidos experimentalmente por quebra manual, inserindo o filme em uma embalagem flexível e proceder à quebra, no entanto, esse processo foi possível somente com filme com umidade máxima de 0,06 g/g b.s. e atividade de água próxima de 0,36, acima desses valores o filme se apresenta mais maleável e, portanto, dificulta a quebra manual.

### 6.1.3 Umidade e atividade de água

Na tabela 3 são mostrados os valores de teor de umidade e a atividade de água obtidos nos ensaios. Os teores de umidade atingidos nos processos variaram entre 0,057 e 0,12 g água/g produto b.u. (0,06 e 0,13 g.g<sup>-1</sup> base seca) e atividade de água entre 0,36 e 0,49. Os teores de umidades menores foram obtidos na secagem de 60 minutos, com espessura da camada de 2 mm, entre 0,057 e 0,058 g.g<sup>-1</sup> b.u. e na secagem de 28 minutos com espessura de 1,5 mm, 0,056 ± 0,007 g.g<sup>-1</sup> b.u. Os teores de umidades menores foram atingidos a partir de amostras com umidade inicial entre 0,87 e 0,89 g.g<sup>-1</sup> b.u., não sendo possível avaliar veridicamente a amostra CNT-6, com umidade inicial 0,857 ± 0,003 g.g<sup>-1</sup> b.u., por causa da não uniformidade do espalhamento. Em experimentos com equipamento *cast tape* em batelada, Durigon (2016), atingiu, na secagem de polpa de tomate, teor de umidade final inferior a 0,06 g.g<sup>-1</sup> b.s. com tempo de residência de 12 minutos. O maior valor de atividade de água foi para amostra adicionada de manjeriço, 0,4893 ± 0,0047, assim como o maior teor de umidade 0,13 ± 0,06 g.g<sup>-1</sup> b.s. onde o tempo de residência foi de 35 minutos.

Tabela 4 Atividade de água e umidade dos pós obtidos

Amostra	Umidade (g/g <sup>-1</sup> base seca)	a <sub>w</sub>	Tempo de secagem (minutos)
---------	---------------------------------------	----------------	----------------------------

PWI-I-1	0,072 ± 0,002	0,403 ± 0,007	30
PWD-I-2	0,062 ± 0,008	0,376 ± 0,007	60
PWD 5	0,06 ± 0,02	0,364 ± 0,001	28
FLC	0,06 ± 0,01	0,371 ± 0,001	28
PWD-M7	0,13 ± 0,06	0,489 ± 0,005	35
PWD9	0,099 ± 0,009	0,438 ± 0,008	35
PWD10	0,071 ± 0,008	0,394 ± 0,003	35

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

#### 6.1.4 Análise do produto armazenado

##### 6.1.4.1 Análise visual do produto

Os pós com umidade acima de  $0,067 \text{ g.g}^{-1}$  (base úmida), armazenados, apresentaram a formação de aglomerados e aderência às paredes e às superfícies das embalagens, apresentando nesse parâmetro baixa adaptabilidade em embalagens flexíveis. Pós com umidade abaixo de  $0,067 \text{ g.g}^{-1}$  (base úmida) e atividade de água inferiores ou próximas de 0,37, apresentaram baixa formação de aglomerados ou bolos, e não aderiram às paredes da embalagem, pós apresentaram leve pegajosidades. O manuseio de pós de tomate em temperatura acima da  $T_g$  para determinada atividade de água, fez com que as partículas do produto adquirissem características de partículas amorfas “emborrachadas”, o que conduziu o produto em um estado de instabilidade. O conhecimento da  $T_g$  para determinada umidade e atividade de água, é fundamental não somente para os cientistas, mas também para as empresas processadoras da cadeia de alimentos, como embaladoras, distribuidoras, de modo que auxilie no manuseio correto dos produtos.

O produto armazenado em flocos não apresentou aglomerações, isso é devido a menor área de contato entre os aglomerado e área superficial para reabsorção da umidade no armazenamento que contribuiu para estabilidade do produto.

Figure 12 Flocos após o armazenamento



Fonte: Autor 2024.

Figure 13 Pó armazenado com Umidade 0,07 g.g-1 b.s.



Fonte: Autor, 2024

Figure 14 Pó armazenado com umidade acima de 0,09 g.g-1 b.s



Fonte: Autor, 2024.

Figure 15 Produto armazenado com umidades acima de 0,10 g.g-1 b.s.



Fonte: Autor, 2024.

#### 6.1.4.2 Umidade e atividade de água dos produtos após o armazenamento

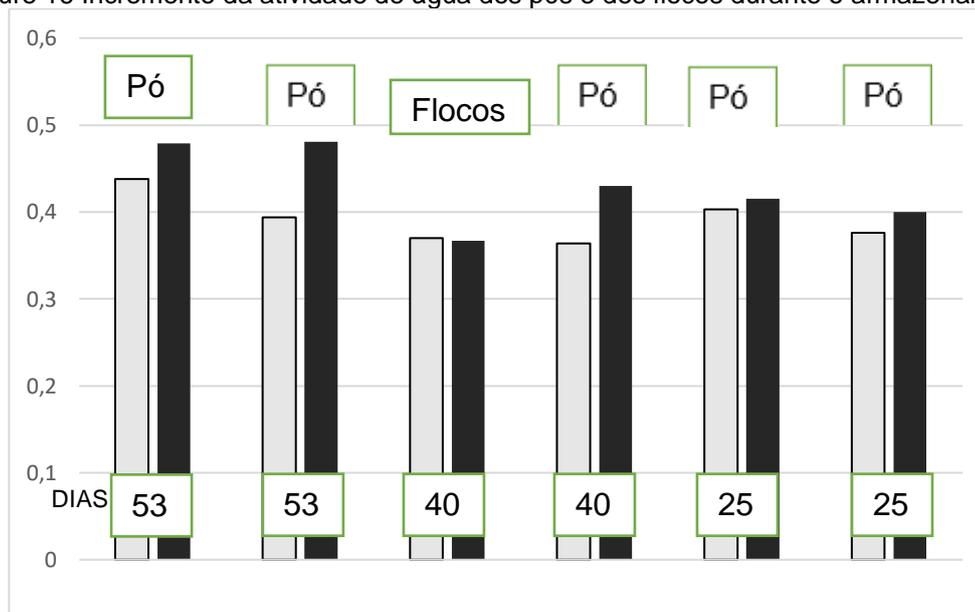
Tabela 5 Umidade e atividade de água dos produtos após o armazenamento

Amostra	Tempo armazenamento	Umidade (g/g ss <sup>-1</sup> base seca)	Umidade (g/g)	$a_w$ fim (início)
---------	---------------------	--	---------------	--------------------

	(dias)	Fim(início)		produto <sup>-1</sup> base Úmida) Fim(início)			
PDW-I1	53	0,0916 ± 0,002 (0,072)		0,084 ± 0,001		0,415 ± 0,001	(0,403)
PDW-I2	53	0,0818 ± 0,002 (0,062)		0,076 ± 0,001		0,40 ± 0,01	(0,376)
PWD	40	0,0911 ± 0,001 (0,06)		0,0835 ± 0,001		0,430 ± 0,002	(0,3636)
FLC (Flocos)	40	0,058 ± 0,001 (0,06)		0,055 ± 0,001		0,367 ± 0,002	(0,37)
PDW-9	25	0,138 ± 0,001 (0,099)		0,121 ± 0,001 (0,090)		0,481 ± 0,002	(0,438)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Figure 16 Incremento da atividade de água dos pós e dos flocos durante o armazenamento



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Pela tabela e o gráfico observamos o aumento da umidade e da atividade de água durante o armazenamento no período analisado. Farooq et al. (2021) reportaram um aumento de 1,04 % (4,9 para 5,94) de umidade em pós de tomate

armazenados por 30 dias em sachês *LDPE*, polietileno de baixa densidade, para amostras sem aditivos adicionados. Em amostras conservadas em embalagens de alumínio laminadas, Sarker et al. 2014 não observaram incremento de umidade durante 60 dias de armazenamento.

### 6.1.5 Análise da cor ou colorimetria

A tabela abaixo mostra os resultados da análise colorimétrica das amostras desidratadas testadas. Foram comparados pós submetidos a secagem por 30 minutos e por 60 minutos.

Tabela 6 Parametro colorimetria dos pós após o armazenamento

Parametro	PWD_30	PWD_60
L*	28,69 ± 0,05	29,03 ± 0,05
a*	23,71 ± 0,04	21,64 ± 0,05
b*	30,8 ± 0,1	31,9 ± 0,1
C*	38,87 ± 0,05	38,5 ± 0,1
h*	52,4 ± 0,1	55,84 ± 0,01
$\Delta E$	1,79 ± 0,02	
$\Delta h$	2,32 ± 0,02	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

A diferença de cor nas duas amostras não apresentou valores significativos entre o tempo de secagem de 30 e 60 minutos. Para tempos menores de exposição ao ambiente de secagem, em estudo envolvendo polpa de tomate desidratada por CTD em batelada, Durigon (2016), reportou valor de luminosidade de 51,04, com tempo de secagem de 8 minutos, esse valor é significativamente maior ao determinado nesse trabalho. Durante o aquecimento e a secagem o licopeno é liberado da matriz celular e sofre uma reação de isomerização irreversível que o torna mais oxidativo (Durigon, 2016) acarretando assim a perda da cor. Nas secagens desse trabalho, não teve diferença significativa de *L* entre o tempo de secagem de 30 minuto e de 60 minutos, isso sugere que as perdas maiores de cor devido a perda do carotenoide, reações não enzimáticas e oxidação de ácido ascórbico, acontecem em um período entre 10 minutos e 30 minutos de secagem como mostram os valores de *L* determinados por Durigon. Isso é demonstrado também pela diminuição dos valores de *a\** que identifica o vermelho e os menores valores de *b\** que identificam amarela. A reação de *Maillard* leva ao escurecimento, deslocando as cores vermelha e amarela para marrom, diminuindo assim os valores

de  $a^*$  e  $b^*$ . As análises calorimétricas foram efetuadas 60 dias depois do armazenamento. Sarke et al. (2014) reportaram, em estudo sobre o armazenamento de pó de tomate em diferentes tipos de embalagem, que a perda de licopeno após 60 dias foi cerca de 1/3 respeito ao teor inicial, com armazenamento em embalagem em folha de alumínio laminada, isso explica a diferença de cor entre as amostras desse trabalho e aquelas dos trabalhos referenciados.

Figure 17 Amostra submetidas à colorimetria com tempo de secagem diferentes



Fonte: Autor, 2024

### 6.1.6 Reidratação

Na reidratação com aquecimento contínuo (60°C) o produto oriundo do PWD-I não retornou às características originais de purê ou molho, apresentando partículas suspensas, verificou-se mudança de fase após alguns minutos de decantação. Isso pode depender da presença de óleo que foi adicionado ao purê que sendo um composto hidrofóbico aumenta o ângulo de contato entre a partícula do pó e a superfície do líquido, dificultando a molhabilidade das partículas e de consequências as etapas sucessivas da reidratação.

Flocos não apresentaram propriedades de reidratação instantânea. Os aglomerados hidrataram-se parcialmente, e verificou-se separação de fase. No entanto, flocos, apresentaram boas propriedades de reidratação em aquecimento contínuo, isso se deve aos aglomerados de partículas, que apresentam poros maiores em comparação com pós finos.

O resultado foi um purê com aspecto próximo ao do purê originário, apresentando escurecimento, com poucas partículas suspensas. Sólidos totais e

solúveis apresentaram valores comparáveis aos do purê original. Os dados de teor de sólidos totais, sólidos solúveis,  $a_w$  são mostrados na tabela a seguir, os dados dos purês originais foram colocados entre parênteses para comparação.

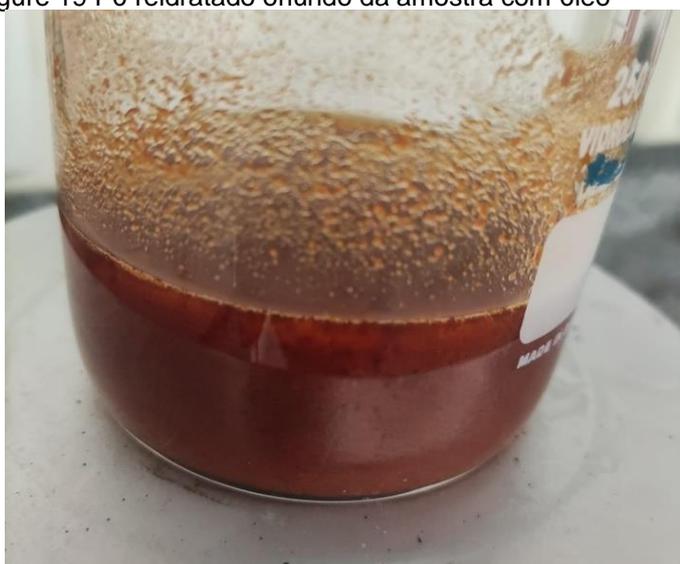
Foram testadas outras razões de reidratação para determinar

Figure 18 - Purês reidratados: 1, amostras com óleo; 2, amostra em flocos; e 3, purê original



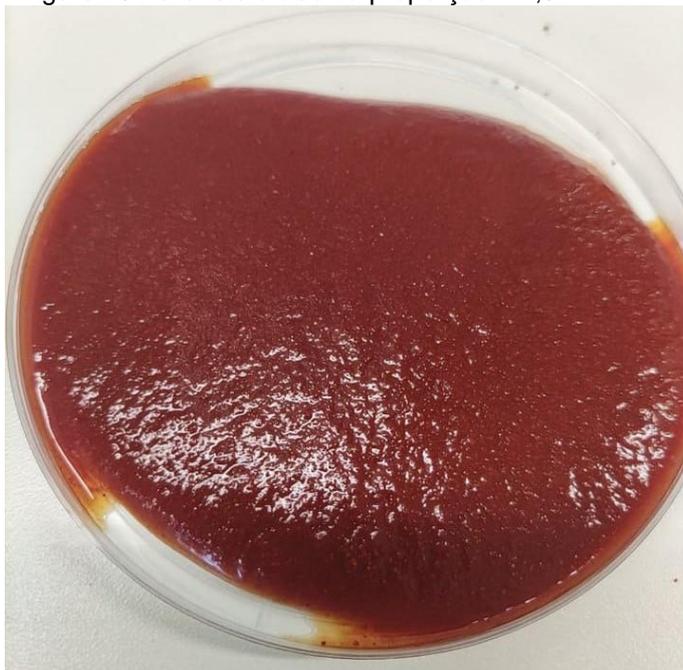
Fonte: Autor, 2024.

Figure 19 Pó reidratado oriundo da amostra com óleo



Fonte:Autor,2024.

Figure 20 Purê reidratado na proporção 1:7,5.



Fonte: Autor, 2024.

Tabela 7 Características dos purês reidratados

Amostra de origem	Sólidos totais (g sólidos.g produto <sup>-1</sup> )	°Brix	°Brix purê original
FLC	0,1121 ± 0,002	9,77 ± 0,04	9,4
PWD-I	0,083 ± 0,002	7,1 ± 0,3	9,35
PWD-5	0,107 ± 0,002	8,5 ± 0,2	8,1
PWD-9	0,1346 ± 0,0018	11,8 ± 0,1	12,97

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

#### 6.1.6.1 Razão de reidratação

A razão de reidratação de pós de tomate e flocos obtidas nos ensaios desse trabalho é mostrada na tabela abaixo:

Tabela 8 Razão de reidratação dos pós de tomate

Amostra	Razão de reidratação (Massa reidratado/massa pó)	Teor de sólidos produto finais	°Brix
Pó (PWD-9)	9,44 ± 0,45		4,33 ± 0, 56
Flocos	9,28 ± 0,55		4,3 ± 0,3

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Esses resultados mostram que nessas condições, não existe diferença de reidratação entre flocos e pós, isso é positivo do ponto de vista da comercialização do produto, de fato, o produto em flocos é mais estável durante o armazenamento por ter sua higroscopicidade reduzida a causa da menor área superficial exposta ao volume de ar durante armazenamento, dos aglomerados de partículas. Como esse parâmetro se igualou para os dois tipos de amostra, a opção de produzir o produto em flocos é viável com o fim de ser reutilizado como molho.

### 6.1.7 Análise da cor do produto reconstituído

Parâmetros de calorimetria dos produtos reconstituídos são mostrados na tabela a seguir.

Tabela 9 Parâmetros colorimetria pós reconstituídos

Parametro	Purê comercial	Purê reconstituído
L*	19,28 ± 0,05	16,34 ± 0,04
a*	16,87 ± 0,007	13,5 ± 0,1
b*	17,6 ± 0,1	15,31 ± 0,01
C*	24,4 ± 0,1	20,4 ± 0,1
h*	46,28 ± 0,19	48,64 ± 0,05
$\Delta E$	3,83	
$\Delta h$	0,9	

A perda de cor após os processos térmicos aos quais o alimento inicial foi submetido, denota a perda de compostos responsáveis por essa característica como o licopeno, e a influência das reações de escurecimento não enzimático como a reação de *Maillard*. Os limites de aceitabilidade de cor pelos consumidores, para purê e molhos de tomates precisam ser investigados.

Figure 21 Purês de tomate submetidos à colorimetria



Fonte: Autor, 2024

### 6.1.8 Potencial de hidrogênio

O pH das amostras reidratadas variou entre  $4,17 \pm 0,4$  e  $4,24 \pm 0,01$ , com °Brix entre 11,6 e 11,3, enquanto o purê de tomate comercial usado como matéria prima tem pH de 4,45.

Os pós de tomate reidratados apresentaram acidez maior respeito ao purê de tomate inicial, o que pode influenciar a aceitabilidade do produto, no entanto esse valor de pH se encontra condizente com a tipologia de produto, que é em geral comercializado com pH mínimo de 4,5. Durigon (2016) reportou valores de pH, para pó de tomate produzido por CTD reidratado, de 4,01 e 4,29 com 18,2 e 9,4 °Brix, os valores se encontram de acordo com aqueles determinados nesse trabalho.

## 6.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E PRODUTIVIDADE ESTIMADA EM ESCALA AMPLIADA

A tabela 10 mostra os resultados energéticos obtidos no processo experimental.

Tabela 10 Parâmetros energéticos

<b>Descrição</b>	<b>Valor</b>
Capacidade evaporativa ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )	2,800
Taxa de secagem ( $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )	1,176
Taxa de secagem (kg. $\text{H}_2\text{O} \cdot \text{kg SS}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )	0,29
Consumo energético kWh (kJ)	2,16 (7776)
Energia Evaporação kWh (kJ)	0,738 (2653,7)
Eficiência térmica (%)	34
Energia específica kWh.kg produto <sup>-1</sup> ( $\text{kJ} \cdot \text{kg produto}^{-1}$ $^1 \cdot \text{h}^{-1}$ )	14,1 (51000)

Fonte: Autor, 2024

Os resultados são comparáveis aos estudos comparativos de eficiência energética entre diferentes sistemas de secagem de alimentos em pasta ou creme efetuados por Abonyi et al. (1999). Os autores relataram eficiência térmica entre 27,9 e 39,9 % na secagem de purês de vegetais por meio de Refractance Windows, considerando que o trabalho foi conduzido com água a 95°C. Ssenyimba et al. (2021), avaliaram a eficiência de um sistema RWD em batelada, desenvolvido em escala laboratorial, e reportaram valores de 25,6 % para desidratação de polpa de tomate e 21,3 % para polpa de manga. Os fenômenos envolvendo transferência de calor para o ambiente, através da condução nas paredes do reservatório, ou por vazamento de vapor, do equipamento CTD, influenciando a eficiência do processo, precisam ser investigados.

#### 6.2.1.1 *Influência da exaustão e do movimento da esteira no consumo total*

O consumo total pode ser calculado somando os consumos dos equipamentos envolvidos no processo que inclui a energia térmica, energia elétrica (controlador) e, energia mecânica do motor e dos exaustores.

$$Energia\ total = Q + E_{el} + E_m \quad (6.1)$$

Tabela 11 Consumo total do equipamento

<b>Calor (kWh)</b>	<b>Consumo exaustão (kWh)</b>	<b>Consumo motor esteira (kWh)</b>	<b>Total (exaustão + motor esteira) (kWh)</b>	<b>Influência sobre o consumo de total (%)</b>
2,16	0,2	0,09	0,29	11,84

Fonte: Autor 2024

Esses valores são referentes equipamento CTD laboratorial, valores para o equipamento industrial precisam ser estimados para determinar a influência no processo e o consumo total.

As tabelas mostram os resultados projetados para o equipamento CTD em escala ampliada ou real com área superficial de troca térmica de 5,85 m<sup>2</sup>. Os resultados são referentes ao consumo energético para produção de vapor.

Tabela 12 Balanço de massa projetado para a escala ampliada

Massa matéria prima processada (kg/h)	18,54
Massa água evaporada (kg/h)	16,40
Massa produto (kg/h)	2,140

Fonte: Autor, 2024.

Tabela 13 Consumo energético

Descrição	Valor
Capacidade evaporativa ( $\text{kg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ )	2,800
Taxa de secagem (Experimental) ( $\text{kg. H}_2\text{O} . \text{kg SS}^{-1}.\text{min}^{-1}$ )	0,290
Energia evaporação (kJ)	37000

Fonte: Autor, 2024.

## 7 CONCLUSÕES

O Cast-Tape Drying é uma alternativa viável para produção de tomate e outros ingredientes em pó. No entanto, nos experimentos conduzidos nesse trabalho, em condições de secagem comparáveis aquelas dos purês de tomate puros, os purês de tomate adicionados de ingredientes como manjeriço, com objetivo de obter um pó que pudesse ser reconstituído como molho pronto, resultaram em uma secagem incompleta do produto inviabilizando o armazenamento e o uso.

Uma alternativa para produção de pós alimentícios, que possam ser reconstituídos como molhos pronto, é a de adicionar ingredientes secos de maneira separada, de modo que tenham condições de secagem adequadas para cada um deles. Considerando a eficiência energética levantada no estudo, estender o tempo de residência para obter a secagem do purê adicionado de ingredientes, pode não ser uma alternativa viável economicamente.

Os parâmetros físicos dos purês de tomate usados nesse trabalho, mostraram que a matéria-prima a ser selecionada para produção necessita ter características adequadas ao processo, seja para garantir um espalhamento uniforme e secagem adequada.

A cor do pó reidratado pode afetar a aceitabilidade do produto comercializado como molho ou purê de tomate desidratado; no entanto, o produto pode ser uma válida alternativa no preparo de alimentos em larga escala, no qual o pó é usado como ingrediente para caldos, guisados, preparação de carnes em geral.

Pós de tomate, assim como outros ingredientes em pó, produzidos com o CTD, podem ser inseridos no mercado varejista, em preparações de maior valor agregado, como risotos, massas ou sopas prontas desidratadas, de modo a oferecer uma gama de pratos ou refeições de preparo rápido (10 minutos), que não necessitem de congelamento.

## **8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Avaliar a qualidade e o uso de alimentos desidratados compostos por ingredientes produzidos por CTD;
- Realizar uma pesquisa de mercado para avaliar o interesse de fabricantes e produtores de alimentos para ingredientes desidratados produzidos por CTD;
- Avaliar a eficiência energética do equipamento em escala ampliada, envolvendo o estudo dos coeficientes globais de transferência térmica do processo;
- Realizar uma análise sensorial envolvendo refeições preparadas com ingredientes desidratados produzidos por CTD.
- Investigar meticulosamente o armazenamento dos pós de tomate produzidos por CTD em embalagens flexíveis ou embalagem cartonada cilíndrica.

## 9 REFERÊNCIAS

AATMANIRBHAR, B.. Handbook on processing of tomato powder. Indian Institute of Food Processing Technology Ministry of Food Processing Industries, Government of India Pudukkottai Road, Thanjavur.

ABONYI, B.I.; TANG, J. Ph.D; EDWARDS C.G. Ph.D.. Evaluation of Energy Efficiency and Quality Retention for the Refractance Window™ Drying System. Department of Biological Systems Engineering Washington State University, Pullman, WA. Dezembro, 1999.

ALMENA, A.; GOODE, K.R.; BAKALIS, S.; FRYER, P.J.; LOPEZ-QUIROGA, E.. Optimising food dehydration processes: energy-efficient drum-dryer operation. In: 2nd International Conference on Sustainable Energy and Resource Use in Food Chains, ICSEF, 2018, Paphos, Cyprus. Energy Procedia, 2019. p.174-181.

AMIRANTE, Paolo. Macchine ed impianti per l'industria dei derivati del pomodoro. Università degli Studi di Bari Aldo Moro. Janeiro, 2017.

ANKUR, S.; SIRISHA, A.; SIVALA, K.. Development of Process Technology for Making Tomato Powder and its Quality Evaluation. Indian Journal of Ecology. Dezembro. p. 533-536. 2016.

BHANDARI, B. Introduction to food powders. In: Handbook of food powders. BHANDARI B.; BANSAL, N.; ZHANG, M.; SCHUCK, P.. Edição 1. Cambridge. Woodhead Publishing Limited, 2013. p.1-28.

CASTOLDI, M.; ZOTARELLI, M. F.; DURIGON, A.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO J. B. (2014): Production of Tomato Powder by Refractance Window Drying, Drying Technology: An International Journal, DOI: 10.1080/07373937.2014.989327. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/07373937.2014.989327>. Acesso em: Novembro 2023.

CIMASA, M. L'oro rosso italiano. Analisi del comparto industriale delle conserve di pomodoro: focus sul distretto produttivo di Nocera. Libera Università Internazionale degli Studi Sociali (LUISS), Dipartimento di Impresa e Management Cattedra di Economia Industriale, 2014.

CUQ, B.; MANDATO, S.; JEANTET, R.; SALEH, K.; RUIZ, T. Agglomeration/granulation in food powder production In: Handbook of food powders. BHANDARI B.; BANSAL, N.; ZHANG, M.; SCHUCK, P.. Edição 1. Cambridge. Woodhead Publishing Limited, p.150-177. 2013.

DA SILVA, Jonas. Produção e caracterização de milho verde em pó por *cast tampe drying*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2021.

DAMODARAN, SRINIVASAN. Química de Alimentos de Fennema / Srinivasan Damoraran, Kirk L. Parkin, Owen R. Fennema; tradução Adriano Brandelli, [et al.]. – 4. Ed. – Porto Alegre: Artmed, 2010.

DURIGON, A. Produção e caracterização de tomate em pó por *cast-tape drying*, Florianópolis, 2016. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina.

ERMIS, E.. Food Powders: Properties and Characterization. *Gida*. p. 287-294. 10.15237/gida.GD14072. 2015.

FANG, Y.; SELOMULYA, C.; CHEN X. D.. On Measurement of Food Powder Reconstitution Properties, *Drying Technology*, 26:1, 3-14. (2007) DOI: 10.1080/07373930701780928

FAROOK, S.; RATHE, S.A.; GULL, A.; GANAI, S.A.; MASOODI, F.A.; WANI, S.M.; GANAIE, T.A.. Physicochemical and nutraceutical properties of tomato powder as affected by pretreatments, drying methods, and storage period. *International journal of food properties*. Vol. 23, N°1. p.797-808. 2020.

FELFÖLDI, Z.; RANGA, F.; ROMAN, I.A.; SESTRAS, A.F.; VODNAR, D.C.; PROHENS, J.; SESTRAS, R.E. Analysis of Physico-Chemical and Organoleptic Fruit Parameters Relevant for Tomato Quality. *Agronomy* 2022, 12, 1232. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051232>

FELLOWS, P.J. Processamento utilizando ar quente ou superfícies aquecidas. In: Fellows, P.J. *Tecnologia do processamento de alimentos*. 4ª Edição. Porto Alegre p. 536-582. 2019.

FENGXIA, L.; XIAMIN, C.; HOUYIN, W.; XIAOJUN, L. Changes of tomato powder qualities during storage. *Powder Technology*, 204. P. 159-166. 2010

FERNANDES ALMEIDA, R.; MACHADO, A.. SECAGEM DE ALIMENTOS E SEU IMPACTO NA PÓS-COLHEITA. In: II Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia. 10.5281/zenodo.5764189. 2021

GEANKOPLIS, C. J. Transport Processes and Unit Operations. Prentice-Hall International, Inc. 3. th. E.U.A, 1993.

HEDEGAARD, R. V. L.; SKIBSTED, H.. Shelf-life of food powders. In: Handbook of food powders. BHANDARI B.; BANSAL, N.; ZHANG, M.; SCHUCK, P.. Edição 1. Cambridge. Woodhead Publishing Limited,. P. 410-434. 2013.

KAROLINA, S; ANDRZEJ, L. Effect of composition on physical properties of food powders. Department of Food Engineering and Process Management, Warsaw University of Life Sciences, (2016). Disponível em: [intag-2015-0084.pdf](#). Acesso em: Outubro 2024.

OSARETIN N.I. EBUEHI. The Design of a Tomato Powder Processing Plant with a Capacity of 75,000 Tonnes Per Annum in Oyo State, Nigeria, West Africa. *European Journal of Engineering and Formal Sciences*. Department of Chemical and Petroleum Engineering, Faculty of Engineering, University of Lagos, Lagos, Nigeria. Vol. 4, Issue 2. p.46-63. Julho-Dezembro 2021.

DELTA COLOR. Palestra Colorimetria. [www.deltacolorbrasil](http://www.deltacolorbrasil.com.br). Disponível em: [COLORIMETRIA](#). Acesso em: 5, dezembro, 2024

PALZER, S.; HARTMANN, M.. Caking of amorphous powders: material aspects, modelling and applications. Conference: 9th International Symposium on Agglomeration and 4th International Granulation Workshop. *Vol. paper 68*. 2009.

RAHMAN, M.S.. Food Properties Handbook. 2<sup>nd</sup> ed. Taylor e Francis Group. Boca Raton, 2009.

QIU, J.; ACHARYA P.; JACOBS, D.M.; v BOOM R. M.; M. A.I. SCHUTYSER.  
A systematic analysis on tomato powder quality prepared by four conductive drying technologies. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. Vol. 54. P. 103-112. 2019.

SANTOS, V. C. S.; SOUZA, R. L.; FIGUEREDO; R. T.; ALSINA, O. L. S.. A review on refractance window drying process of fruits and vegetables: its integration with renewable energies. *Brazilian Journal of Food Technology*, 25, e2021153. 2022.

SARKER, M.; HANNAN, M.A.; QUAMRUZZAMAN., Ali; M.A. and KHATUN, H;.  
Storage of tomato powder in different packaging materials. *International Journal of Agricultural Technology* 10(3):595-605. 2014.

SELOMULYA, C.; FANG, Y.. Food powder rehydration In: *Handbook of food powders*. BHANDARI B.; BANSAL, N.; ZHANG, M.; SCHUCK, P.. Edição 1. Cambridge. Woodhead Publishing Limited,. p.379-408. 2013.

SIMÃO, R. DA SILVA. Produção e caracterização de snacks de manga em forma de filmes, obtidos por cast-tape drying. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2018.

SHATTA, A.A.B.; YOUSSEF, K.M.; SANABANI, A.. et al. Impact of processing steps on physicochemical and rheological properties of tomato paste (cold-break). *MOJ Food Process Technol*;5(2):263–271. . (2017) DOI: 10.15406/mojfpt.2017.05.00122

SMITH, J.M.; VAN NESS, H.C.; ABBOT, M.M.. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*. 7 Edição.. Mc Graw-Hill's. 2004.

SRIVASTAVA, A.; ADAMALA, S.; KUMAR S.; Development of process technology for making tomato powder and its quality evaluation. *Indian Journal of Ecology*. Vol. 43. p.533-536. 2016.

SSEENYIMBA, S.; KIGOZI, J.; TUMUTEGYEREIZE, P.; MUYONGA, J.H.; MUTUMBA, R.. Design and evaluation of a refractance window lab-scale dryer. *Journal of Engineering, Design and Technology*. Abril, 2021.

SURENDAR, J.; SHERE, D.M.; SHERE, P.D. Effect of drying on quality characteristics of dried tomato powder. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*; 7(2): 2690-2694. 2018

SZULS, K.; LENART, A.. Effect of composition on physical properties of food powders. *International Agrophysics*, 30, p. 237-243. 2016.

TELIS, V.R.N.; MAURO, M.A.. Desidratação. In: TELIS, V.R.N.; MEIRELLES, A.J. DE ALMEIDA; PESSOA FILHO, P. DE ALCÂNTARA. *Operações Unitárias na Indústria de Alimentos* 1. Ed. Rio de Janeiro. LTC. 2019. p. 77-148

TELIS, V.R.N.; SOBRAL, P.J.A.. Glass transitions for freeze-dried and air-dried tomato. *Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Paulista. Food Research International*. Vol. 35. P. 435-443. 2002.

VASCONCELLOS, E.P.; GONÇALVES DE SOUZA, P.M.T.; FRANCO, M.R.; GOMIDE DE CASTRO, V.; VIANA SOUZA, L.; LAGO, R.M.; SPEZIALI, M.G.. Escalonamento de tecnologias: desenvolvimento de produto e processo do

laboratório à escala piloto conectado ao mercado. *Quim. Nova*, Vol. **44**, No. 3, 377-384, (2021). <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170665>

ZALPOURI, R.; SINGH, M.; KAUR, P.; SINGH, S. Refractance Window Drying—a Revisit on Energy Consumption and Quality of Dried Bio-origin Products. *Food Eng Rev* **14**, 257–270. 2022. <https://doi.org/10.1007/s12393-022-09313-3>