



VOLUME 49

**LUCIANO JOSÉ QUINTÃO TEIXEIRA
WALLAF COSTA VIMERCATI
(orgs.)**

Fundamentos de processos térmicos, processos não térmicos e tecnologias do processamento de alimentos



Esta obra foi selecionada para integrar a “Coleção Pesquisa Ufes”, a partir de Chamada Pública feita pela Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PRPPG) da Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes) aos programas de pós-graduação da universidade.

A seleção teve por base pareceres que consideraram critérios de inovação, relevância e impacto.

O financiamento da Coleção foi viabilizado por meio do Programa de Apoio à Pós-Graduação (Proap) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e de recursos do Tesouro Nacional.



**Universidade Federal
do Espírito Santo**



Editora Universitária – Edufes

Filiada à Associação Brasileira
das Editoras Universitárias (Abeu)

Av. Fernando Ferrari, 514
Campus de Goiabeiras
Vitória – ES · Brasil
CEP 29075-910

+55 (27) 4009-7852
edufes@ufes.br
www.edufes.ufes.br

Reitor

Paulo Sergio de Paula Vargas

Vice-reitor

Roney Pignaton da Silva

Pró-reitor de Pesquisa e Pós-Graduação

Valdemar Lacerda Júnior

Chefe de Gabinete

Aureo Banhos dos Santos

Diretor da Edufes

Wilberth Salgueiro

Conselho Editorial

Ananias Francisco Dias Junior, Eliana Zandonade,
Eneida Maria Souza Mendonça, Fabrícia Benda
de Oliveira, Fátima Maria Silva, Gleice Pereira,
Graziela Baptista Vidaurre, José André Lourenço,
Marcelo Eduardo Vieira Segatto, Margarete Sacht
Góes, Rogério Borges de Oliveira, Rosana Suemi
Tokumaru, Sandra Soares Della Fonte

Secretaria do Conselho Editorial

Douglas Salomão

Administrativo

Josias Bravim, Washington Romão dos Santos

Seção de Edição e Revisão de Textos

Fernanda Scopel, George Vianna,
Jussara Rodrigues, Roberta Estefânia Soares

Seção de Design

Ana Elisa Poubel, Juliana Braga,
Samira Bolonha Gomes, Willi Piske Jr.

Seção de Livraria e Comercialização

Adriani Raimondi, Ana Paula de Souza Rubim,
Dominique Piazzarollo, Marcos de Alarcão,
Maria Augusta Postinghel



Este trabalho atende às determinações do Repositório Institucional do Sistema Integrado de Bibliotecas da Ufes e está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.

Para ver uma cópia desta licença, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.



Diretor da Graúna Digital

Thiago Moulin

Supervisão

Laura Bombonato

Seção de edição e revisão de textos

Carla Mello | Natália Mendes | José Ramos
Manuella Marquetti | Stephanie Lima

Seção de design

Carla Mello | Bruno Ferreira Nascimento

Projeto gráfico

Edufes

Diagramação e capa

Bruno Ferreira Nascimento

Revisão de texto

MC&G Editorial

Fotografia da capa por

Crystal Kwok em

<https://unsplash.com/>.

Esta obra foi composta com
a família tipográfica Crimson Text.

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

F981 Fundamentos de processos térmicos, processos não térmicos
e tecnologias do processamento de alimentos [recurso
eletrônico] / Luciano José Teixeira, Wallaf Costa Vimercati
(organizadores). - Dados eletrônicos. - Vitória, ES :
EDUFES, 2023.
306 p. : il. ; 21 cm. - (Coleção Pesquisa Ufes ; 49)

Inclui bibliografia.

ISBN: 978-85-7772-538-0

Modo de acesso: <https://repositorio.ufes.br/handle/10/774>

1. Tecnologia de alimentos. 2. Alimentos-conservação.
3. Controle de qualidade. I. Teixeira, Luciano José. II. Vimercati,
Wallaf Costa. III. Série.

CDU: 664.8/.9

Elaborado por Ana Paula de Souza Rubim – CRB-6 ES-000998/O

**LUCIANO JOSÉ QUINTÃO TEIXEIRA
WALLAF COSTA VIMERCATI
(orgs.)**

Fundamentos de processos térmicos, processos não térmicos e tecnologias do processamento de alimentos

 **EDUFES**

Vitória, 2023

Dedicamos este livro a todos aqueles que buscam
entender e melhorar os métodos de conservação e
processamento de alimentos.

Dedicamos também a todos pós-graduandos, egressos, professores
e servidores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Espírito
Santo que, com muito empenho, esmero e amor pelo que fazem,
contribuem para alavancar a produção científica deste programa.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a PRPPG da Ufes pelo apoio financeiro via PROAP e Recursos do Tesouro Nacional arcando com os custos de publicação da presente obra que faz parte da “Coleção Pesquisa Ufes”.

Agradecemos ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias (CCAEE) da Ufes que sempre apoiou o programa de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PCTA).

Agradecemos à Fapes (Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo), a Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e o CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro dado ao PCTA por meio do PDPG (Parcerias Estratégicas nos Estados da Capes) e por meio de outros editais.

Nossos sinceros agradecimentos à Fapes e à Capes pelas bolsas dos seguintes autores: Bárbara Santos Valiati (Fapes), Lara Louzada Aguiar (Fapes), Leticia de Souza Oliveira (Capes), Gisele da Silva Polvarini (Capes), Leandro Levate Macedo (Capes), Cintia da Silva Araújo (Fapes/Capes/PDPG), do autor e organizador Wallaf Costa Vimercati (Capes) e do autor e organizador Luciano José Quintão Teixeira (Bolsa produtividade do CNPq e Taxa de pesquisa FAPES).

Agradecemos à empresa Duas Rodas Industrial pelo apoio e incentivo ao seu funcionário e autor Klinger Vinícius de Almeida que colaborou na escrita e elaboração de um dos capítulos.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, pelo apoio durante o desenvolvimento deste trabalho via a autora Danielle Esthefane Sousa Lima.

Finalmente, agradecemos a todos os autores dos capítulos pelo empenho e dedicação dispensados na produção, correção e publicação desta obra.

Os organizadores.

Sumário

Apresentação	16
 Capítulo 1	
Alterações causadas pelo calor nos alimentos	18
<i>Lara Louzada Aguiar</i>	
<i>Danielle Esthefane Sousa Lima</i>	
<i>Wallaf Costa Vimercati</i>	
<i>Luciano José Quintão Teixeira</i>	
 1 Introdução	18
2 Conservação de alimentos.....	20
2.1 Conservação de alimentos pelo uso do calor.....	23
2.1.1 Pasteurização	24
2.1.2 Branqueamento.....	26
2.1.3 Esterilização	28
2.1.4 Tindalização.....	30
2.1.5 Apertização.....	31
2.1.6 Desidratação	33
2.1.7 Fritura.....	35
2.2 Transferência de calor em alimentos	37
2.3 Influência dos tratamentos térmicos na qualidade dos alimentos	42
2.3.1 Principais fatores que afetam o tratamento térmico	42
2.3.2 pH do produto.....	43
2.3.3 Duração do tratamento térmico.....	43
2.4 Alterações químicas dos alimentos	43
2.4.1 Acrilamida	44
2.4.2 Acroleína	45
2.4.3 Aminas Heterocíclicas	46
2.4.4 Furano.....	47
2.4.5 Hidroximetilfurfural	47
2.4.6 Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos.....	48

2.4.7 Peróxidos.....	49
2.4.8 Cloropropanos	49
3 Considerações finais	50
Referências	50

Capítulo 2

Introdução aos processos não térmicos..... 60

Betsy Gois Santos

Caroline de Souza Motta

Dayvison Mendes Moreira

Cintia da Silva Araújo

Luciano José Quintão Teixeira

1 Introdução.....	60
2 Métodos não térmicos de processamento de alimentos.....	62
2.1 Liofilização	62
2.2 Crioconcentração	63
2.3 Cadeia do frio	63
2.4 Secagem a vácuo.....	64
2.5 Alta Pressão Hidrostática.....	65
2.6 Aplicação de Campos Elétricos Pulsados de Alta Intensidade	66
2.7 Irradiação Ultravioleta	66
2.8 Radiação Ionizante.....	67
2.9 Ultrassom.....	68
2.10 Ozonização	68
2.11 Água eletrolisada	69
2.12 Separação por membrana	69
2.13 Plasma frio	70
3 Aplicação de métodos combinados.....	70
4 Considerações finais	72
Referências	73

Capítulo 3

Secagem e desidratação de alimentos 81

Leandro Levate Macedo

Wallaf Costa Vimercati

Cintia da Silva Araújo

Jefferson Luiz Gomes Corrêa

1 Introdução.....	81
2 Secagem convectiva	83
3 Secagem a vácuo	84
4 Secagem por micro-ondas.....	87
5 Desidratação osmótica.....	90
6 Secagem híbrida.....	96
7 Considerações finais	98
Referências	99

Capítulo 4

Spray drying a vácuo: um processo para a secagem de alimentos... 105

Leandro Levate Macedo

Cintia da Silva Araújo

Wallaf Costa Vimercati

Sérgio Henrique Saraiva

Luciano José Quintão Teixeira

1 Introdução.....	105
2 Secagem de alimentos.....	107
3 Secagem a vácuo	109
4 Spray drying.....	112
5 Spray drying a vácuo	117
6 Limitações do VSD.....	123
7 Considerações finais	124
Referências	124

Capítulo 5

A pervaporação na recuperação de aromas 134

Gisele da Silva Polvarini

Gustavo Victor Louvain

Leandro Levate Macedo

Luciano José Quintão Teixeira

1 Introdução.....	134
2 Processos de recuperação de aromas	137
3 Membranas.....	141
4 Pervaporação.....	145
4.1 Reposição de Aromas em Bebidas Alcolólicas.....	153
4.2 Reposição de Aromas em Bebidas não- alcólicas.....	159
5 Considerações finais	166
Referências	166

Capítulo 6

Coagulação do leite e tecnologia do processamento de iogurte 175

Wallaf Costa Vimercati

Cintia da Silva Araújo

Leandro Levate Macedo

Luciano José Quintão Teixeira

1 Introdução.....	175
2 Coagulação do leite.....	178
2.1 Coagulação ácida	178
2.2 Coagulação enzimática.....	179
3 Produção do iogurte	181
3.1 Definição.....	181
3.2 Etapas da produção	182
3.3 Qualidade e padronização do leite.....	183
3.4 Filtração e homogeneização	184
3.5 Pasteurização e resfriamento.....	185

3.6 Inoculação e fermentação	186
3.7 Resfriamento	188
3.8 Batimento e envase	189
4 Considerações finais	189
Referências	190

Capítulo 7

Kefir de leite: uma bebida fermentada saudável	193
---	------------

Larissa Queiroz Bravo

Klinger Vinícius de Almeida

Samarha Pacheco Wichello

Maria da Penha Piccolo

Luciano José Quintão Teixeira

1 Introdução	193
2 Produtos lácteos fermentados	196
2.1 Produtos lácteos fermentados probióticos	197
2.2 Produtos lácteos fermentados prebióticos.....	198
2.3 Produtos lácteos fermentados simbióticos	199
3 O kefir e seus aspectos legais.....	200
4 Fermentação.....	203
5 Cinética.....	205
6 Ativação dos grãos e desenvolvimento do kefir	206
7 Considerações finais	208
Referências	208

Capítulo 8

Tecnologia geral de fabricação de queijos de massa semicozida.....	213
---	------------

Cintia da Silva Araújo

Wallaf Costa Vimercati

Leandro Levate Macedo

1 Introdução	213
--------------------	-----

2 Queijos de massa semicozida.....	215
2.1 Queijo cheddar.....	216
2.2 Queijo prato.....	220
2.3 Queijos gouda e edam.....	223
3 Considerações finais.....	229
Referências.....	229

Capítulo 9

Métodos para controle da cristalização da lactose na produção de doce de leite..... 232

Leandro Levate Macedo

Cintia da Silva Araújo

Wallaf Costa Vimercati

Luciano José Quintão Teixeira

1 Introdução.....	232
2 Doce de leite.....	234
3 Lactose.....	236
4 Cristalização da lactose no doce de leite.....	237
5 Controle da cristalização em doce de leite.....	240
5.1 Adição de cristais de lactose.....	240
5.2 Hidrólise da lactose.....	241
5.3 Adição de amido.....	242
5.4 Adição de soro.....	243
5.5 Ultrassom.....	243
5.6 Anti-solvente.....	244
5.7 Temperatura de armazenamento.....	245
6 Considerações finais.....	245
Referências.....	245

Capítulo 10

Tecnologia do processamento de massas alimentícias..... 253

Wallaf Costa Vimercati

Leandro Levate Macedo
Cintia da Silva Araújo
Antonio Manoel Maradini Filho
Luciano José Quintão Teixeira

1 Introdução	253
2 Definição	255
3 Etapas do processamento	255
3.1 Ingredientes	256
3.1.1 Farinha de trigo.....	257
3.1.2 Água e demais ingredientes	260
3.2 Dosagem e mistura.....	261
3.3 Amassamento	262
3.4 Extrusão	263
3.5 Laminação.....	265
3.6 Corte	266
3.7 Secagem	267
3.7.1 Estágios do processo de secagem.....	268
3.7.2 Processos de secagem utilizados em escala industrial	269
3.8 Embalagem	272
4 Considerações finais	272
Referências	273

Capítulo 11

Processamento do café e relação entre as formas de preparo denominadas como via seca e via úmida e qualidade da bebida.....

Cintia da Silva Araújo
Leandro Levate Macedo
Wallaf Costa Vimercati

1 Introdução	281
2 Etapas do processamento do café.....	282
2.1 Colheita.....	283

2.2 Recepção/separação	283
2.3 Via seca/úmida	285
2.4 Secagem/limpeza/descascamento	287
2.5 Classificação/separação/acondicionamento	288
3 Efeitos do processamento sobre a qualidade do café	289
4 Considerações finais	298
Referências	298
Sobre os autores	302
Organizadores	302
<i>Luciano José Quintão Teixeira</i>	302
<i>Wallaf Costa Vimercati</i>	302
Colaboradores	303
<i>Antonio Manoel Maradini Filho</i>	303
<i>Betsy Gois Santos</i>	303
<i>Caroline de Souza Motta</i>	303
<i>Cintia da Silva Araújo</i>	303
<i>Danielle Esthefane Sousa Lima</i>	303
<i>Dayvison Mendes Moreira</i>	304
<i>Gisele da Silva Polvarini</i>	304
<i>Gustavo Victor Louvain</i>	304
<i>Jefferson Luiz Gomes Corrêa</i>	304
<i>Klinger Vinicius de Almeida</i>	304
<i>Lara Louzada Aguiar</i>	305
<i>Larissa Queiroz Bravo</i>	305
<i>Leandro Levate Macedo</i>	305
<i>Luciano José Quintão Teixeira</i>	305
<i>Maria da Penha Piccolo</i>	305
<i>Samarha Pacheco Wichello</i>	306
<i>Sérgio Henriques Saraiva</i>	306
<i>Wallaf Costa Vimercati</i>	306

Apresentação

Desde 2011, quando iniciou a primeira turma, o Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PCTA) da Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes) atua na formação de profissionais da área de alimentos, com o intuito de realizar pesquisas atuais sobre a cadeia produtiva dos alimentos, englobando etapas do processamento, tecnologias recentes, conservação e melhoria da qualidade. Com isso, é com grande alegria que apresentamos a obra intitulada “Fundamentos de Processos térmicos, Processos não térmicos e Tecnologias do Processamento de Alimentos”, que é parte dos frutos colhidos e do grandioso empenho dos nossos discentes, docentes e demais colaboradores.

Este livro é composto por 11 capítulos, sendo que os capítulos iniciais tratam dos métodos de conservação e alterações dos alimentos pela aplicação de calor (Capítulo 1) e uma breve introdução aos processos não térmicos (Capítulo 2). Os capítulos 3 e 4 se referem à aplicação de métodos de secagem para a conservação e manutenção das características dos alimentos e o capítulo 5 discorre sobre a recuperação de aromas pela aplicação da pervaporação. Por fim, apresentamos nos capítulos seguintes a tecnologia do processamento, o controle de qualidade e a descrição de cada etapa para a obtenção de

vários produtos alimentícios, como produtos lácteos (Capítulos 6 a 9), massas alimentícias (Capítulo 10) e café (Capítulo 11).

A publicação deste livro só se tornou possível pois ele foi contemplado em uma seleção de livros da PRPPG, com financiamento do PROAP e Recursos do Tesouro nacional, fazendo parte da “Coleção Pesquisa Ufes”. Após publicado no formato e-book ele será disponibilizado gratuitamente no Repositório Institucional do Sistema Integrado de Bibliotecas da UFES e licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição – não comercial – sem derivações 4.0 Internacional.

Os organizadores.

Capítulo 1

Alterações causadas pelo calor nos alimentos

*Lara Louzada Aguiar
Danielle Esthefane Sousa Lima
Wallaf Costa Vimercati
Luciano José Quintão Teixeira*

1 INTRODUÇÃO

Os alimentos são todas substâncias orgânicas ou misturas de substâncias, que podem se apresentar em estado sólido, líquido ou pastoso, ou qualquer outra forma adequada, sendo utilizados como fonte de matéria e energia para o organismo dos seres vivos para a sua formação, manutenção e desenvolvimento. Essas matrizes são compostas por matérias primas de origem animal, vegetal e mineral. Logo, contêm umidade, proteínas, lipídios, carboidratos, minerais e outros constituintes.

Entretanto, apresentam atividade biológica que estão susceptíveis a alterações que podem levar a perda da qualidade e a redução da vida útil do produto (LEONARDI; AZEVEDO, 2018; TORREZAN, 2012).

A ocorrência dessas alterações dependerá da composição físico-química e das condições ambientais em que os alimentos se encontram e dos agentes que serão favorecidos no meio. Esses agentes podem ser classificados em biológicos, incluindo as bactérias, enzimas e fungos; físicos, como separação de fases, descoloração por reações de oxidações, que podem ocorrer pela incidência de luz e calor nos alimentos; e os químicos, como reações que ocorrem com a presença do oxigênio e da água, na maioria das vezes (VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010).

Sabe-se que os alimentos são matrizes complexas que apresentam nutrientes e condições de pH específicas. Portanto, podem ser classificados quanto a sua estabilidade. Os perecíveis são aqueles alimentos, como o leite, carne fresca, frutas e hortaliças, que têm vida útil reduzida, ou seja, que precisam ser submetidos ao resfriamento ou congelamento para desacelerar a degradação que ocorrem nesses tipos de alimentos, uma vez que as alterações microbiológicas ocorrem mais rapidamente, nesses casos. Os semiperecíveis são alimentos, como produtos cárneos defumados e queijos curados, em que há um aumento na sua estabilidade devido ao emprego de técnicas de processamento, alterando a composição destes. Os não perecíveis que são alimentos que podem ser armazenados à temperatura ambiente sem que ocorra alteração microbiológica, a longo prazo, como produtos enlatados ou desidratados, cereais e grãos (AZEREDO, 2012).

De acordo com Vasconcelos e Melo Filho (2010), dentre as alterações que ocorrem nos alimentos, as microbiológicas são de maior importância para serem controladas, pois além de promoverem a alteração no meio, podem ser fatais ao indivíduo que ingere o produto. Dessa forma, existem três categorias que classificam os microrganismos, que são os deterioradores, que promovem reações químicas metabolicamente, comprometendo a qualidade do alimento; os patogênicos, que causam infecções ou intoxicações ao consumidor, caso o

produto ingerido esteja contaminado por esses microrganismos; e os fermentadores, que são os que promovem alterações indesejáveis nos alimentos a partir de reações químicas específicas (AZEREDO, 2012).

Diante dos fatores que envolvem um alimento, a demanda atual e as questões ambientais, como a sazonalidade, torna-se necessário aplicar técnicas de conservação para evitar alterações indesejáveis pelos agentes biológicos, físicos e químicos nos produtos comercializados. Com isso, obtém-se alimentos que se conservem com maior vida útil possível e com suas propriedades sensoriais e nutricionais mantidas.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão bibliográfica sobre as alterações causadas pelo uso do calor nos alimentos, relacionando suas características e composição diante da aplicação de calor por diversas técnicas utilizadas para se obter a conservação dos alimentos, a fim de garantir um produto com maior vida útil.

2 CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS

Os conceitos de conservação de alimentos foram deixados pelo homem pré-histórico sem o mínimo de conhecimento dos mecanismos de ação desses processos, uma vez que desenvolveram métodos para evitar ações de agentes alteradores e, consequentemente, preservar a caça por mais dias para o consumo. A partir dessa época, com a descoberta do fogo, surgiu o processo de defumação, logo após utilizou-se o sal para a conservação das carnes e melhorar a palatabilidade, sendo posteriormente utilizado a salga juntamente com a secagem natural ou artificial, e o processo de fermentação em produtos de origem animal e vegetal (SILVA, 2018).

A conservação dos alimentos se baseia na eliminação total ou parcial dos microrganismos, enzimas e fatores essenciais que podem contribuir para a sua deterioração, de forma que a partir da aplicação de técnicas distintas ou do conjunto desses processos forneça um maior controle desses agentes. Esses processos são aplicados desde o cultivo até a distribuição do produto, em que o objetivo principal

é o aumento da vida útil, mantendo a qualidade nutricional e sensorial dos alimentos, eliminando os riscos à saúde do consumidor, eliminando ou retardando as alterações indesejáveis que possam vir a ocorrer nos alimentos (AMIT *et al.*, 2017).

De acordo com a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS, 2019), os fatores intrínsecos e extrínsecos são responsáveis por afetar a velocidade das alterações microbiológicas, ou seja, que podem inibir ou favorecer a deterioração dos alimentos. Esses fatores estão diretamente associados com os métodos de conservação (Tabela 1). Os fatores intrínsecos são aqueles inerentes ao alimento, ou seja, são características do próprio alimento, e os fatores extrínsecos são inerentes ao ambiente, ou seja, as características que se associam com o ambiente (OPAS, 2019).

Tabela 1 - Fatores intrínsecos e extrínsecos associados ao crescimento microbiano

Intrínsecos		Extrínsecos	
Atividade de água (Aa)	Bactérias: Deterioradoras < 0,97 Patogênicas < 0,86 Fungos < 0,60	Temperatura (°C)	Psicrófilos 0 °C < T ≤ 20 °C Psicrotróficos 0 °C > T > 25 °C Mesófilos 10 °C > T ≤ 45 °C Termófilos 45 °C > T > 100 °C
pH	Bactérias 4,0 < pH > 9,0 Leveduras 1,5 < pH < 8,0 Fungos 1,5 < pH < 11,0	Umidade relativa (UR)	> UR < Aa = absorve umidade < UR > Aa = perde umidade
Nutrientes disponíveis	Carboidratos, lipídios, álcoois e aminoácidos.	Composição atmosférica	> [O ₂] aeróbio < [O ₂] anaeróbio
Potencial redox (Eh)	Aeróbios + 350mV < Eh < + 500mV Anaeróbios > -150mV	Embalagem/Luz	Exposição a luz e calor, permeabilidade etc.

Fonte: adaptado de Vasconcellos e Melo Filho (2010).

Existe uma associação entre o desenvolvimento dos microrganismos e a tolerância da atividade de água, faixa do pH, do potencial redox, temperatura, concentração de oxigênio e outros gases que compõem o alimento e o ambiente em que se encontra. Logo, essas propriedades precisam ser alteradas para que ocorra a inibição ou inativação microbiana presente no meio nutritivo que são os alimentos (VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010).

As bactérias deterioradoras são inibidas em valores de A_w menores que 0,97; enquanto as bactérias patogênicas podem crescer a valores de A_w de até 0,86; e os fungos até 0,60. Em relação ao pH, valores próximos à neutralidade (pH ~7,0) são mais favoráveis para o crescimento microbiano. Porém, pode-se observar na Tabela 1 que as bactérias apresentam sua atividade de crescimento na faixa de pH entre 4,0 e 9,0 (*Clostridium botulinum* pH > 4,5); enquanto as leveduras crescem na faixa de 1,5 a 8,0; e os fungos filamentosos na faixa de 1,5 a 11,0 (AZEREDO, 2012).

A taxa de crescimento microbiano está associada também à concentração de nutrientes que um alimento apresenta, como lipídio, aminoácidos, proteínas, entre outros, uma vez que os microrganismos utilizam esses nutrientes como fonte de energia. Em relação à temperatura, os microrganismos podem ser classificados em quatro categorias de acordo com a associação entre a faixa de temperatura e a atividade ótima de cada um deles. Os psicrófilos crescem em baixas temperaturas, podendo crescer em valores menores que 0 °C até 20 °C. Os psicrotróficos crescem em temperaturas próximas de 0 °C a 25 °C, podendo crescer em alimentos sob refrigeração. Os mesófilos crescem em temperatura ambiente, enquanto os termófilos apresentam uma taxa de crescimento em altas temperaturas, podendo ter como exemplo os *Bacillus* e *Clostridium* (AZEREDO, 2012).

A composição gasosa e o potencial redox (Eh) são fatores que influenciam também a taxa de crescimento dos microrganismos, uma vez que baixas quantidades de oxigênio torna o ambiente propício para o crescimento de microrganismos anaeróbios, enquanto para

altas quantidades de oxigênio, o ambiente está propício para o crescimento de microrganismos aeróbios. Além disso, gases como CO₂ e N₂ são utilizados em embalagens para efeitos de inibição do crescimento de microrganismos e, consequentemente, de produção de toxinas e oxidações do produto (AZEREDO, 2012).

Com a preservação dos alimentos, há a facilitação do planejamento agrícola, a agregação dos valores nutricionais e o fornecimento da variação dos alimentos. Para isso, alguns princípios físicos e químicos ou a associação dos dois princípios são aplicados, como a utilização de altas e baixas temperaturas, eliminação de água, o uso de aditivos, conservantes, atmosfera modificada e controlada, a utilização de algumas radiações e filtrações, ou ainda a fermentação do alimento. Isso acarretará a destruição total ou parcial, ou na dificuldade da proliferação dos microrganismos (LOPES, 2007).

Diante do que foi mencionado, pode-se destacar que o melhor método de conservação a ser escolhido é aquele capaz de garantir a conservação dos alimentos e alterar menos as características nutricionais e sensoriais dos alimentos. Vale lembrar que esses tratamentos, seja ele térmico ou não térmico, podem ser aplicados nos alimentos associados a outros processos que complementam os processos de conservação.

2.1 Conservação de alimentos pelo uso do calor

O tratamento térmico continua sendo um dos métodos mais importantes e mais utilizados no processamento de alimentos. Além de conferir efeitos desejáveis na qualidade sensorial de alguns alimentos, a aplicação do calor também tem efeito de conservação dos alimentos por meio da inativação de enzimas, destruição de microrganismos, insetos e parasitas (OPAS, 2019).

O processamento de alimentos pode alterar significativamente suas características qualitativa e quantitativa. Além disso, o processamento pode ainda tornar os alimentos mais atraentes ao paladar e

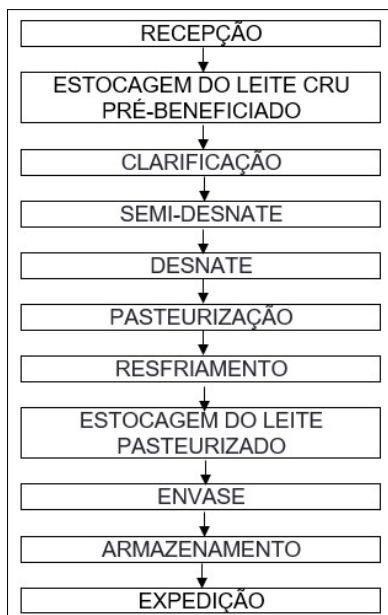
aumentar sua vida de prateleira (ILVA; LOPES; VALENTE-MESQUITA, 2006). Para definir o tempo de tratamento que deverá ser aplicado, faz-se necessário conhecer a resistência térmica, tanto dos microrganismos como das enzimas presentes, a velocidade de penetração de calor no alimento, o seu estado físico e as propriedades térmicas do alimento e do material de envase (SILVA; ALMEIDA, 2000).

2.1.1 Pasteurização

A pasteurização consiste em um tratamento térmico, relativamente brando, no qual o alimento é aquecido a temperaturas inferiores a 100 °C, com o objetivo de destruir parcialmente as formas vegetativas dos microrganismos presentes nos alimentos, eliminando os microrganismos patogênicos (OPAS, 2019).

O processo atua também inativando enzimas e destruindo bactérias vegetativas, bolores e leveduras sem modificar significativamente o valor nutricional e as características sensoriais do alimento. É um processo capaz de prolongar a vida de prateleira dos alimentos por alguns dias, ou por alguns meses, como ocorre com vegetais em conserva, em função da redução das taxas de alterações microbiológicas e enzimáticas (CINTRA, 2014). Na Figura 1, tem-se o fluxograma das etapas do processamento de leite pasteurizado.

Figura 1 - Etapas do processamento de leite pasteurizado



Fonte: adaptado de Oliveira (2019).

No estudo realizado por Ajayi; Fakiya e Oladapo (1989), foram analisados os efeitos de várias etapas do processamento industrial de suco de palma sobre o conteúdo de riboflavina, e verificou-se que durante a etapa de pasteurização houve perdas de 13,98 a 16,67% dessa vitamina.

Rocha (2004) ao estudar a influência do tratamento térmico no valor nutricional de leite fluido, verificou que o leite pasteurizado, em virtude das características do processo ao qual é submetido, apresenta menores perdas de nutrientes quando comparado ao leite UHT. As vitaminas E e biotina foram estáveis ao calor, não apresentando perdas significativas nos dois métodos de processamento. Por outro lado, as vitaminas D, B2 e ácido pantotênico apresentaram perdas reduzidas durante a pasteurização e tratamento UHT. Durante a pasteurização, observaram-se perdas iguais ou inferiores a 10% de ácido fólico, vitamina B1, vitamina B6 e vitamina B12.

2.1.2 Branqueamento

O branqueamento é um tipo de tratamento térmico aplicado em frutas e hortaliças, com a finalidade de inativar enzimas que poderiam causar reações não desejáveis, como o escurecimento enzimático. O processo utiliza como fonte de calor, água quente ou vapor d'água, a uma temperatura de 70 °C a 80 °C, por um período que pode variar de 2 a 10 minutos, dependendo da consistência e do tamanho do material (OPAS, 2019). Na Figura 2, tem-se o fluxograma das etapas gerais do processamento de alimentos congelados que sofreram branqueamento.

Figura 2 - Etapas gerais do processamento de alimentos que sofreram branqueamento



Fonte: adaptado de Silva (2000).

Algumas enzimas presentes nos alimentos in natura podem causar reações de deterioração que causam escurecimento ou alterações

sensoriais e/ou nutricionais indesejáveis, principalmente no período do armazenamento (CINTRA, 2014). O branqueamento é comumente recomendado antes dos processos de congelamento, desidratação e apertização. Nestes casos, o branqueamento evita a ocorrência da alteração de cor, sabor, aroma, textura e valor nutritivo (SILVA, 2008).

De acordo com Prochaska *et al.* (2000), a destruição de vitaminas provocada pelo branqueamento depende do tempo de exposição ao calor e do meio utilizado para transmissão de calor durante o processo (água ou vapor). O efeito do branqueamento sobre o conteúdo nutricional em alimentos tem redução de 35% do teor de vitaminas hidrossolúveis em vegetais, provocada pelo branqueamento com água quente.

Davidek *et al.* (1990) estudaram perdas de vitamina C durante o branqueamento de vários tipos de vegetais. As perdas de ácido ascórbico provenientes da oxidação e lixiviação variaram entre 13 e 50%, sendo mais expressivas em espinafre. A oxidação ocorreu nos primeiros segundos do branqueamento, antes da enzima ascorbato oxidase ser inativada. Em geral, o branqueamento realizado por meio da água foi o que provocou maiores perdas, exceto para aspargo que apresentou 15% de perdas tanto no branqueamento em água, quanto no branqueamento a vapor.

Para o controle do escurecimento enzimático, o branqueamento de frutas e hortaliças para processamento pode ser feito de maneira simples pelo uso do calor, em uma câmara de vapor ou mergulhando a fruta em água fervente por um tempo adequado. Para o processamento de maçãs, por exemplo, um tratamento com vapor durante 2 minutos é o suficiente para evitar o escurecimento enzimático (MELO FILHO; VASCONCELOS, 2011).

Nascimento *et al.* (2016) destacaram em seu estudo sobre o efeito do branqueamento sobre as características físico-químicas e microbiológicas em acerolas, que os resultados das análises físico-químicas após branqueamento, comparados aos valores do fruto in natura,

sofreram poucas alterações. As perdas de acidez durante o processamento estão associadas à degradação térmica durante o branqueamento, sendo que o branqueamento por imersão teve um efeito maior na degradação da acidez do que no branqueamento por vapor. Para análises microbiológicas, ambos os tratamentos foram eficientes.

2.1.3 Esterilização

A esterilização pelo calor ocorre quando um alimento é aquecido a uma temperatura maior que 100 °C por tempo suficiente e adequado para destruir a atividade microbiana e enzimática. Como resultado, alimentos esterilizados alcançam uma vida útil maior do que aqueles pasteurizados e podem ser armazenados em temperatura ambiente (OPAS, 2019). Para alcançar a esterilização é necessário o uso de tratamentos energéticos que afetam a qualidade do alimento. Em alimentos apertizados, a esterilização nunca é absoluta, este é o motivo do uso comum do termo comercialmente estéril (CINTRA, 2014).

O tratamento térmico mais severo no processo convencional de esterilização do alimento embalado pode produzir alterações substanciais na qualidade nutricional e sensorial dos alimentos. Em função disso, o desenvolvimento das tecnologias de processamento busca a diminuição do dano aos componentes nutricionais e sensoriais, reduzindo o tempo de processamento nos vasilhames ou processando o alimento antes do envase (OPAS, 2019). Na Figura 3, tem-se o fluxograma das etapas gerais do processamento de alimentos em conserva que sofreram esterilização.

Figura 3 - Etapas gerais do processamento de alimentos em conserva que sofreram esterilização



Fonte: adaptado de Gomes e Silva (2000).

As modificações sensoriais neste processo são na cor, sabor, aroma e consistência, e as alterações nutricionais implicam nas perdas de vitaminas C, e nas vitaminas A e E se não houver presença de oxigênio e de vitamina B1 em alimentos que possuam baixa acidez (LEONARDI; AZEVEDO, 2018).

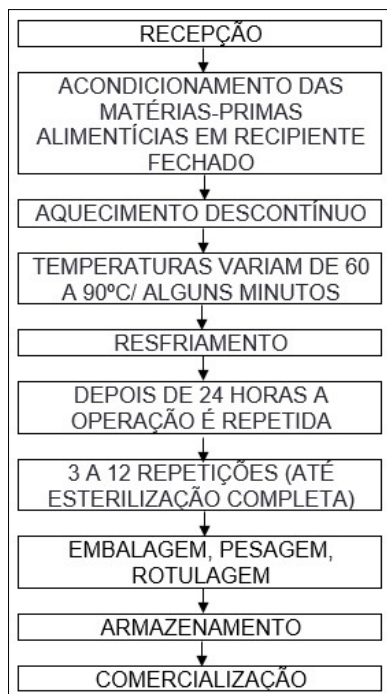
Por razões de deterioração incipiente (crescimento de uma alta densidade de microrganismos pré-processamento) ou por falhas como vazamento na embalagem, resfriamento inadequado ou subprocessamento, a deterioração pode ocorrer. Existe também a possibilidade de deterioração por processos químicos de corrosão, com consequente estufamento da lata. A deterioração incipiente normalmente ocorre quando o produto demora a ser processado por razões de atraso na produção (PINTO; LANDGRAF; FRANCO, 2019).

2.1.4 Tindalização

Este método foi proposto pelo físico inglês John Tyndall. Nesse processo, o aquecimento é feito de maneira descontínua. Após o acondicionamento das matérias-primas alimentícias em recipiente fechado, o produto é submetido ao tratamento térmico. As temperaturas variam dependendo de cada produto e do rigor térmico desejado, de 60 a 90 °C por alguns minutos (VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010).

As células bacterianas que se encontram na forma vegetativa são destruídas, porém os esporos sobrevivem. Depois do resfriamento, os esporos entram em processo de germinação e depois de 24 horas a operação é repetida. O número de operações pode variar de 3 a 12 vezes até a obtenção da esterilização completa. A vantagem desse processo é que podem ser mantidos praticamente todos os nutrientes e a qualidade sensorial do produto, em proporções maiores do que quando se utilizam outros tipos de tratamentos térmicos (VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010). Na Figura 4, tem-se o fluxograma das etapas gerais do processamento de alimentos que sofrem tindalização.

Figura 4 - Etapas gerais do processamento de alimentos que sofreram tindalização



Fonte: adaptado de Vasconcelos e Melo Filho (2010).

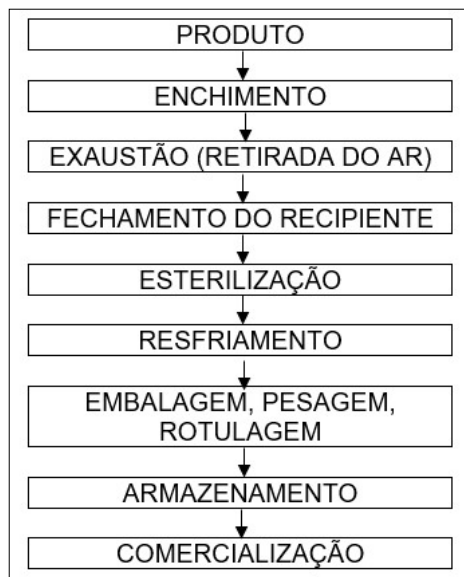
O processo de tindalização resulta em maior custo e é mais demorado, devido aos intervalos de resfriamento, que é de 12 a 24 horas. Entretanto, o processo é vantajoso no que se refere à manutenção dos nutrientes e características sensoriais, pois se conservam em maiores proporções do que em outros métodos por calor (HOLANDA; ROCHA, 2013).

2.1.5 Apertização

A apertização é definida como o aquecimento do produto anteriormente preparado, em recipientes fechados, na ausência relativa de ar, até uma certa temperatura e em tempo suficiente para a destruição

dos microrganismos, porém sem alterar de modo sensível o alimento (GAVA, 1984). Na Figura 5, tem-se o fluxograma das etapas gerais do processamento de alimentos apertizados.

Figura 5 - Etapas gerais do processamento para alimentos apertizados



Fonte: adaptado de Vasconcelos e Melo Filho (2010).

Estudos de Sabioni (2000) indicam que o subprocessamento térmico e o vazamento são as principais causas da deterioração de alimentos apertizados. O subprocessamento resulta do emprego de matérias-primas ou ingredientes com elevada contaminação por esporos de bactérias termofílicas. A inadequada cloração da água de resfriamento continua sendo a principal causa da deterioração por vazamento. O botulismo devido ao consumo de alimentos industrializados é um evento raro. Ele ocorre mais frequentemente com alimentos apertizados domesticamente.

Estelles (2003) afirma que a qualidade do alimento que sofre apertização depende do tempo de exposição ao calor e da temperatura envolvida, podendo haver modificações em suas condições sensoriais e nutritivas.

Evangelista (2000) destaca alterações que podem ocorrer no produto, como resultado da apertização, em que ocorre algumas modificações sensoriais e dos nutrientes. Dentre as alterações sensoriais, podem ocorrer principalmente modificações de cor (produzidas por colorações provenientes de alterações de certas substâncias e por reações de escurecimento), sabor, aroma e consistência. As alterações dos nutrientes estão relacionadas às perdas vitamínicas, como o ácido ascórbico, que é muito sensível ao calor, e é destruído mesmo a temperaturas baixas, quando o aquecimento é demorado e mais ainda, na presença de oxigênio e íon cobre. A tiamina sofre grandes perdas quando, em presença de calor, os alimentos tenham baixa acidez. As vitaminas A e E, apesar de termooestáveis, podem sofrer perdas se o aquecimento ocorrer na presença de oxigênio.

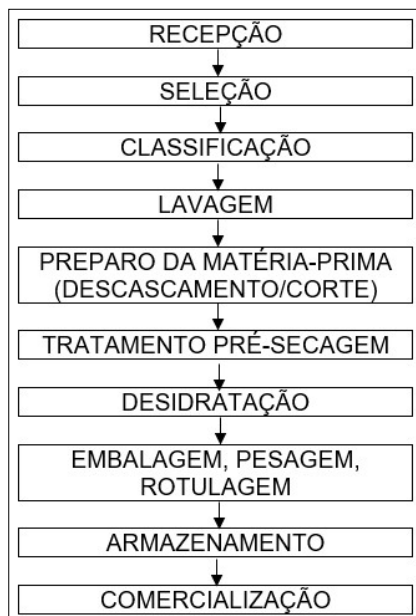
2.1.6 Desidratação

A desidratação, também conhecida como secagem, consiste na aplicação de calor sob condições controladas para remover, por evaporação, a maior parte da água normalmente presente em um alimento (OPAS, 2019). Ao desidratar um produto, ele perde água, o que resulta num aumento da concentração dos nutrientes presentes do qual estarão em maior quantidade quando comparados com os produtos frescos (MELO FILHO; VASCONCELOS, 2011).

Uma das principais causas da deterioração de alimentos frescos e processados é a quantidade de água livre neles presentes. A diminuição da atividade de água de legumes, frutas e hortaliças pode ser obtida por intermédio das técnicas de desidratação, com conseqüente redução de peso, maior estabilidade e menor custo de estocagem dos

produtos (CINTRA, 2014). Na Figura 6, tem-se o fluxograma das etapas gerais do processamento de alimentos desidratados.

Figura 6 - Etapas gerais do processamento de alimentos desidratados



Fonte: adaptado de Vasconcelos e Melo Filho (2010).

As operações necessárias em um processamento de secagem são basicamente as mesmas e incluem operações preliminares à secagem e embalagem (MACHADO, 2008). Durante a desidratação, os alimentos podem sofrer várias alterações, tanto no seu valor nutritivo, como em suas características sensoriais. No entanto, em algumas vezes, essas alterações melhoram a qualidade dos produtos (BEZERRA, 2007). As principais alterações nos alimentos desidratados são na textura e perdas no sabor ou aroma, mas as mudanças na cor e no valor nutricional são também significativas em alguns alimentos (OPAS, 2019).

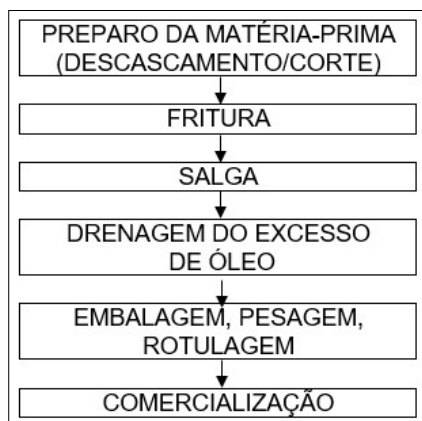
As alterações químicas que ocorrem nos alimentos durante a exposição constante ao calor moderado ou temperaturas elevadas determinam a perda do seu valor nutritivo (ROQUE-SPECHT; MAIA, 2002). Silva (2000) destaca que a perda do valor biológico das proteínas depende dos métodos de secagem a que o alimento foi submetido. A secagem altera as características da superfície do alimento e, portanto, sua cor e reflectância. Pigmentos, como carotenoides e clorofila, sofrem modificações químicas por causa do calor. Quanto mais alta a temperatura, maiores as perdas desses pigmentos. A atuação enzimática também provoca perdas do pigmento clorofila, convertendo-a em feofitina (CELESTINO, 2010).

As frutas e hortaliças mais propensas às alterações provocadas pela secagem são as não-ácidas, com baixa acidez e ricas em açúcares, aminoácidos e lipídios. O controle do processo de secagem é crítico para a qualidade do produto. O escurecimento enzimático é um fator de deterioração predominante, pois as frutas não são normalmente pasteurizadas ou branqueadas, são desidratadas com atividades de água entre 0,5 e 0,6 e as temperaturas de secagem não são suficientes para inativar as enzimas (CELESTINO, 2010).

2.1.7 Fritura

O processo de fritura é utilizado para alterar as características sensoriais do alimento. Quando o alimento é imerso em óleo quente, sua temperatura aumenta rapidamente, a água que contém evapora, então a superfície dele começa a desidratar, forma-se uma crosta, a evaporação começa a se mover dentro do produto. A temperatura da superfície dos alimentos atinge a do óleo e a temperatura interna sobe para 100 °C (DUARTE; CRISTINIANI, 2011). Na Figura 7, tem-se o fluxograma das etapas gerais do processamento de batata tipo *chips* que sofre pelo processo de fritura.

Figura 7 - Etapas gerais do processamento de batata tipo *chips* que sofre pelo processo de fritura



Fonte: os autores (2023).

Durante o processo de fritura, no mesmo tempo em que se transfere ao alimento algumas características sensoriais de sabor e textura desejáveis, a gordura sofre um complexo processo de degradação devido fundamentalmente à ação de três variáveis: umidade, temperatura e oxigênio, que originam as alterações mais efetivas em sua estrutura (PÉREZ-CAMINO, 2005).

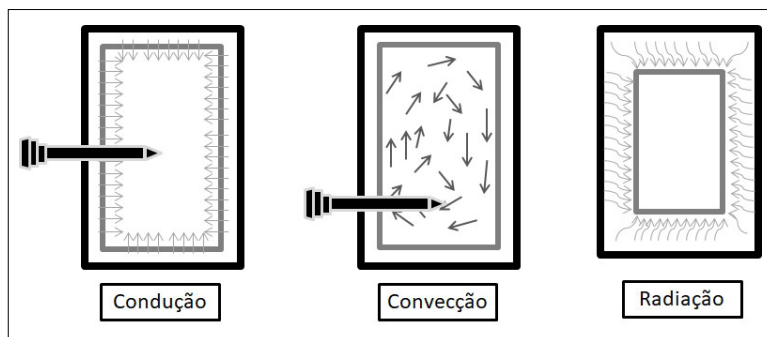
A água proveniente do próprio alimento conduz alterações hidrolíticas, o oxigênio que entra em contato com o óleo a partir de sua superfície desencadeia alterações oxidativas e a temperatura em que o processo ocorre resulta em alterações térmicas que se enquadram também nas alterações oxidativas (OPAS, 2019).

O processo de vaporização da umidade do alimento sendo frito aumenta a aeração no óleo, dando condições para a próxima importante reação comum nas frituras, a oxidação (MELTON *et al.*, 1994). A oxidação se dá através de um processo de degradação em que o oxigênio atmosférico ou aquele dissolvido no óleo reage com as duplas ligações presentes nas cadeias carbônicas de ácidos graxos de óleo aquecido (HELLÍN; CLAUSELL, 1984).

2.2 Transferência de calor em alimentos

A transferência de calor nos alimentos se dá pela diferença de temperatura do meio associado às diversas leis da física. Esse mecanismo pode ocorrer de três formas, sendo por condução, convecção e radiação (Figura 8). A condução e a convecção são os métodos mais utilizados nos tratamentos térmicos, sendo que a transmissão de calor dada por convecção se faz com maior facilidade em alimentos líquidos, enquanto a penetração por condução se faz em alimentos sólidos e semissólidos. Nos alimentos líquidos, a transmissão por condução faz com que ocorram colisões entre as moléculas, uma vez que apresenta menores forças de coesão (OPAS, 2019).

Figura 8 - Transferência de calor por condução, convecção e radiação



Fonte: adaptado de Vasconcellos e Melo Filho (2010).

O mecanismo da condução pode ser explicado pela transferência de calor por contato entre moléculas, uma vez que as partículas mais energéticas, geralmente localizadas próximas da parede do recipiente, transmitem energia por movimento de vibração e contato para outras partículas menos energéticas, e assim sucessivamente, até que ocorra o aquecimento do alimento (OPAS, 2019).

A convecção é a transferência de calor dada pela combinação da condução de calor, armazenamento de energia e o movimento entre

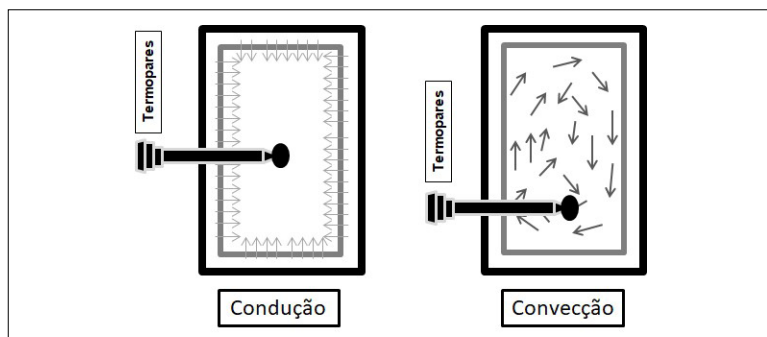
as partículas. Esse fenômeno ocorre pois o calor que é excedido ao sistema em que se encontra o alimento causa a agitação ou a diferença de densidade do conjunto de moléculas, fazendo com que ocorra movimento ascendentes do fluido quente e descendente caso aconteça o resfriamento do fluido, ou seja, ocorre uma circulação de toda a massa do alimento, promovendo o aumento da temperatura (AZEREDO, 2012).

A radiação, que é um mecanismo não muito básico de transmissão de calor, se trata de um processo restrito aos comprimentos de onda, uma vez que as ondas eletromagnéticas se propagam em corpos e fluidos não opacos, ou no vácuo, e não precisa da existência de matéria. Logo, todas as superfícies que são capazes de emitir radiação térmica, como o metal, e este se aquece de forma proporcional a temperatura emitida, maior será o aquecimento e o tratamento térmico aplicado no alimento. Este tipo de processo de transferência é utilizado na secagem de farinhas e amidos em secadores de tambor cilíndrico (AZEREDO, 2012).

A penetração do calor nos alimentos ocorre com mais facilidade nos alimentos líquidos que nos sólidos ou semissólidos. Portanto, entende-se que a transferência de calor por convecção ocorre mais rápido do que por condução. Isso pode ser explicado, já que no processo por convecção ocorre a circulação da massa de alimentos, enquanto não ocorre esse fenômeno quando se trata da transmissão de calor por condução (VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010).

O tempo da aplicação do tratamento térmico nos alimentos dependerá de vários fatores, como a natureza do alimento, o tamanho e a forma do alimento ou do recipiente, da diferença de temperatura entre o produto e a fonte de energia, e o tipo de processamento que será aplicado no produto alimentício, se estará em agitação ou estacionário. Esses fatores influenciam na velocidade em que o calor atinge a parte central do alimento, uma vez que a temperatura do produto que se encontram mais próxima da embalagem chegam à temperatura desejada mais facilmente do que o restante da massa do alimento. Sendo essa última porção de aquecimento conhecida como ponto frio (Figura 9) (OPAS, 2019).

Figura 9 - Ponto frio nos alimentos durante o aquecimento



Fonte: adaptado de Vasconcellos e Melo Filho (2010).

A localização do ponto frio nos alimentos durante o tratamento térmico irá depender do mecanismo aplicado. Como pode ser observado na Figura 9, quando se trata de uma transferência de calor efetuada em um alimento sólido ou viscoso, esse processo provavelmente será pelo mecanismo de condução. Logo, o ponto frio desse tipo de transmissão se localiza no centro do alimento. Por sua vez, quando esse aquecimento for em algum líquido, o mecanismo será por convecção. Portanto, o ponto frio pelo método de convecção se localiza abaixo do centro geométrico do alimento, devido ao movimento ocasionado pela densidade das partículas (OPAS, 2019).

Segundo Ball e Olson (1957), existem alimentos que de início, quando passam por processo de aquecimento, se comportam como convectivos, mas com o decorrer do aquecimento passam a apresentar comportamento condutivo. Isso ocorre devido a mudança de estrutura e textura do alimento, como pode ocorrer em um aumento na viscosidade de produtos preparados com amido, uma vez que ao ser submetido ao aquecimento ocorre a gelatinização de seus grânulos. Pode-se citar como exemplo: produtos como feijão em salmoura e molhos para massas.

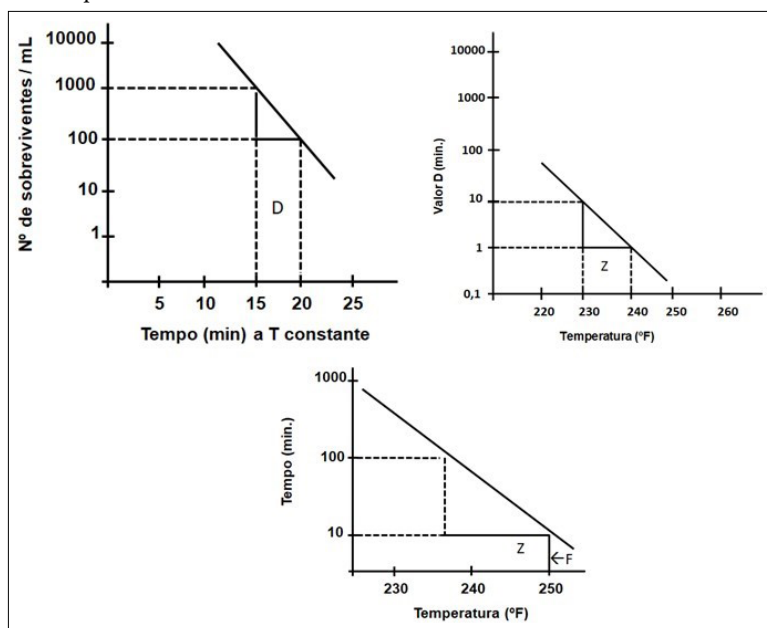
A resistência térmica dos microrganismos está diretamente ligada na decisão do tratamento térmico estabelecido para cada

alimento específico, isso explica as determinações dos binômios tempo/temperatura que são aplicadas em certos processamentos térmicos nos alimentos. Dentre os microrganismos presentes nos alimentos, existem os termorresistentes que suportam altas temperaturas em determinado tempo. Logo, o processo térmico adequado irá promover a inativação enzimática e metabólica dos microrganismos com a desnaturação das proteínas, favorecendo o aumento da vida útil do produto (VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010).

O *Clostridium botulinum*, a *Coxiella burnetti* e a *Salmonella seftenberg* são alguns exemplos de microrganismos termorresistentes utilizados na determinação do binômio tempo-temperatura em enlatados, leite e ovos, respectivamente. Na maioria das vezes, esses microrganismos se encontram na forma esporulada, por isso são mais resistentes ao calor, e são patogênicos. Além do formato esporulado, o número de células, a espécie, fase do crescimento e as características do meio como o pH, composição do alimento e a presença de substâncias inibidoras, podem influenciar a resistência do microrganismo (OPAS, 2019).

Portanto, existem parâmetros para mensurar a resistência térmica dos microrganismos que são denominados: valor D, Z e F. Na Figura 10, pode-se observar a curva de sobrevivência térmica (Valor D), a curva de resistência térmica (Valor Z) e a curva de destruição térmica (Valor F), respectivamente.

Figura 10 - Curvas da resistência térmica dos microrganismos vegetativos e esporulados



Fonte: adaptado de Vasconcellos e Melo Filho (2010).

O Valor D, também conhecido como o tempo de redução decimal, está relacionado ao tempo, correspondendo ao período (minutos) para que, em uma dada temperatura, ocorra a redução de 90% dos microrganismos presentes no alimento. O valor Z está relacionado à temperatura, pois corresponde a variação da temperatura necessária para que ocorra uma variação de 10 vezes no valor D. O valor F, que é o tempo necessário em uma temperatura definida, para que ocorra a redução da taxa microbiana presente no alimento até o nível desejado (OPAS, 2019).

2.3 Influência dos tratamentos térmicos na qualidade dos alimentos

A qualidade nutricional de um alimento é função de todas as alterações desde a produção até o armazenamento. Os efeitos do processamento variam com o tipo de alimento, processo aplicado, condições de estocagem da matéria prima, entre outros (VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010).

Entre os diferentes métodos de conservação de alimentos que usam o calor, a pasteurização e a esterilização mostram-se eficientes. No entanto, podem apresentar características prejudiciais aos nutrientes. Os agentes térmicos garantem a inativação enzimática e microbiana, gerando um produto estável, contudo, podem causar a perda das propriedades sensoriais e nutricionais (DUARTE; CRISTINIANI, 2011).

A intensidade das alterações depende do binômio tempo x temperatura, dos controles aplicados e do estado geral da matéria-prima inicial (VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010).

Ao estudar sobre o tratamento térmico do leite Varnam e Sutherland (1995) afirmaram que devido a este processo, ocorre a desnaturação das proteínas do soro. O efeito varia dependendo da severidade do aquecimento, com desnaturação parcial durante a pasteurização até a desnaturação total na esterilização convencional. As imunoglobulinas são as proteínas mais lábeis e em ordem crescente de estabilidade, a albumina sérica, β -lactoglobulina e α -lactoalbumina.

2.3.1 Principais fatores que afetam o tratamento térmico

A qualidade e a quantidade dos microrganismos que devem ser destruídos precisam ter as diferenças avaliadas entre as suas formas de resistência (LOPES, 2007). A temperatura e o tempo empregados na aplicação dos tratamentos térmicos dependem de alguns fatores, como o pH do produto e duração do tratamento térmico.

2.3.2 pH do produto

Os alimentos com baixa acidez ($\text{pH} > 4,5$) tem como principal objetivo a destruição de bactérias patogênicas (formas vegetativas). Por exemplo, o leite (pH em torno da neutralidade), mesmo pasteurizado necessita de um tratamento secundário, no caso a refrigeração, para desfavorecer a germinação dos esporos e produção de toxinas (VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010).

Em alimentos ácidos ($\text{pH} < 4,5$), como conserva de frutas, a pasteurização é utilizada para aumentar a vida útil por vários meses pela destruição de microrganismos deteriorantes (fungos e leveduras) ou pela inativação de enzimas. Em ambos os tipos de alimentos, ocorrem pequenas alterações nas características sensoriais ou no valor nutricional (OPAS, 2019).

2.3.3 Duração do tratamento térmico

Lopes (2007) destaca que quanto mais alta a temperatura e o tempo de aquecimento, melhor é a esterilização. Porém, esses parâmetros não podem ser usados em excesso, pois o processo se torna antieconômico e prejudica as características do produto, como a textura, sabor e valor nutricional. Em relação à temperatura inicial do produto, o pré-aquecimento ou o acondicionamento do alimento aquecido diminui o tempo de esterilização, principalmente, dos produtos que não possuem boa condutividade de calor. No caso do sistema de aquecimento e resfriamento, a rotação dos recipientes melhora a transmissão do calor e torna possível a redução do tempo de aquecimento.

2.4 Alterações químicas dos alimentos

Para melhorar a metabolização dos alimentos no organismo dos seres vivos, estes precisam passar por processamentos, uma vez que as utilizações dessas técnicas aumentam a digestibilidade e melhora a

absorção de alguns compostos presentes nos alimentos como os carboidratos e as proteínas. Além disso, esses processos podem tornar os alimentos mais seguros em questões microbiológicas, já que certas condições de temperatura, pH, atividade de água, composições atmosféricas, entre outros, podem inativá-los (LEMOS *et al.*, 2020).

Alimentos de origem vegetal como frutas, legumes e hortaliças possuem quantidade considerável de carboidratos (açúcares, amido e polissacarídeos não amiláceos) que são fontes de energia para diferentes funções metabólicas (LEONG *et al.*, 2019). Além desses, as proteínas também são compostos presentes nesses alimentos e tem função biológica ligada às atividades vitais. Essas substâncias não sofrem oxidação completa pelos organismos, já que os compostos nitrogenados são eliminados pela urina (ARAÚJO, 2019; SGARBIERI, 1971).

Com o tratamento térmico, algumas alterações físicas e químicas podem ocorrer nos alimentos devido a aplicação de calor, como as reações de Maillard (RM), caramelização e oxidação de lipídeos. Essas modificações conferem cor, sabor e odor característicos que são desejáveis devido a geração de compostos como as melanoidinas em pães, calda de pudim, café, chocolate e doce de leite. Contudo, também formam compostos que são indesejáveis, como a acrilamida, acroleína, furano, hidroximetilfurfural, aminas heterocíclicas, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, peróxidos e cloropropanos, por serem tóxicos, carcinogênicos e mutagênicos (LEMOS *et al.*, 2020).

2.4.1 Acrilamida

A acrilamida é uma substância presente em alimentos que passam principalmente, pelos processos de fritura, torrefação e assamento, como batata frita, café e pães, respectivamente (CAPUANO; FOGLIANO, 2011; WHO, 2005). Assim, para a sua formação, precisa submeter os alimentos que apresentam em sua composição atividade de água reduzida, níveis altos de carboidratos e pH entre 4 e 8, a uma temperatura mínima de 120 °C. Sua concentração nos alimentos é

proporcional ao tempo de aquecimento, uma vez que ocorre a perda de água da superfície, promovendo rapidamente o aumento da temperatura acima de 200 °C (LEMOS *et al.*, 2020).

Em temperatura ambiente, a acrilamida se apresenta como uma substância sólida, branca, solúvel em água e não volátil. Pode ser encontrada nos alimentos, mas também pode ser formada no cigarro. Essa substância é considerada neurotóxica, genotóxica e carcinógena. Pode ser usada como agente floculante para clarificação e purificação de água potável, em tratamento de esgoto, vedante entre outros (EFSA, 2010; FAO/WHO, 2002; FRIEDMAN, 2003).

É uma molécula reativa α , β - carbonil insaturada com um grupo amida polar e uma função vinil que confere sua capacidade de polimerização (FRIEDMAN, 2003). Sua principal via de formação é pela reação de Maillard, que é um tipo de escurecimento não enzimático, mas também pode ser formado pela oxidação da acroleína em ácido acrílico (CAPUANO; FOGLIANO, 2011; YASUHARA *et al.*, 2003).

Quanto a Reação de Maillard (RM), a acrilamida é sintetizada pela reação dos açúcares redutores e um grupo α amino da L-asparagina livre, quando submetido ao calor no alimento. A sua formação pela via da acroleína ocorre pela oxidação do composto acroleína, sob altas temperaturas, resultando em seu radical ou ao ácido acrílico, que posteriormente irá reagir com o grupo amino e amônia (LEMOS *et al.*, 2020).

2.4.2 Acroleína

A acroleína é uma substância tóxica que pode ser formada em alimentos como frutas, grãos de cacau, pão branco, peixe, queijo e bebidas destiladas, mas também pode estar presente em fumaça de tabaco, combustão incompleta de plástico, madeira e gasolina. É um aldeído α , β - insaturado altamente eletrofílico e volátil com ponto de ebulição em 52,5 °C, porém apresenta ponto de fusão em - 88 °C. Em temperatura ambiente, se encontra solúvel em água, líquido e incolor (ABRAHAM *et al.*, 2011; PAMIES; VILANOVA, 2014).

Sua formação ocorre principalmente em alimentos que contêm carboidratos, aminoácidos e gorduras. Logo, sua concentração varia de acordo com a composição de cada alimento e a tecnologia e condições de processamento utilizadas. Esse composto geralmente é usado como biocida para o impedimento da proliferação descontrolada de algas, ervas daninhas e moluscos nos sistemas de água e canais de irrigação (LEMOS *et al.*, 2020).

Alimentos que contêm carboidratos quando submetidos ao aquecimento formam intermediários reativos que podem ser quebrados em moléculas carbono-carbono ou podem reagir com resíduos de aminoácidos, formando assim precursores da acroleína. Logo, esse aldeído pode ser polimerizado quando se encontra em uma concentração maior que 22% na presença oxigênio e água, ou seja, pela combinação do aminoácido metionina com moléculas de ninidrina ou ácido ascórbico nas condições de aquecimento de soluções aquosas na presença de oxigênio. Também pode ser formado em reação de peroxidação lipídica por meio do metabolismo de aminoácidos e poliaminas (ABRAHAM *et al.*, 2011).

2.4.3 Aminas Heterocíclicas

As aminas heterocíclicas são substâncias cancerígenas e mutagênicas formadas em produtos à base de carne cozida, ou seja, em alimentos ricos em proteínas, aminoácidos e açúcares. Sua geração pode ser afetada por vários fatores, como o método e as condições de processamento, o tipo de carne, a atividade de água e o tipo e quantidade de especiarias utilizadas na produção, como a utilização de molhos (NAGAO *et al.*, 1997).

Podem ser classificadas de acordo com a sua estrutura. O tipo IQ, são os aminoimidazoazarenos - AIAs formadas como produtos da reação de pirazinas (aminoimidazoquinolinas), e o tipo não-IQ, são os aminos carbolinas formadas como produtos de reação piridinas (aminoimidazoquinoxalinas) (LEMOS *et al.*, 2020).

Essas moléculas são geradas pela reação de Maillard que, por sua vez, formam compostos heterocíclicos a partir dos precursores (proteína/aminoácidos/açúcares). Sua formação é proporcional ao tempo e a temperatura em que o alimento é submetido ao aquecimento (SEIDEL, 2012).

2.4.4 Furano

O furano é um éter cíclico aromático que apresenta grande importância para a indústria de aromas, contribuindo para as propriedades sensoriais dos alimentos. Porém, isso depende da quantidade e das características dos grupos funcionais do anel furano. É uma substância de baixo peso molecular e volátil, em que apresenta ponto de ebulição de 31,4 °C, e em temperatura ambiente se encontra pouco solúvel em água e com baixa polaridade (ARISSETO, 2016; NTP, 2014).

Sua formação ocorre principalmente pela reação de Maillard, que são responsáveis pela degradação térmica e o rearranjo de carboidratos durante o processamento térmico dos alimentos. Os aminoácidos serina, cisteína e alaina associados a açúcares simples durante a reação de Maillard contribuem para a geração dos furanos. O ácido ascórbico tem o comportamento semelhante ao dos carboidratos para a formação de furfural em meio ácido e aquoso (LEMOES *et al.*, 2020).

Há outras possibilidades de formação de furano, como em meios com baixa atividade de água e com aquecimento a 300 °C, resultando nos compostos furfural e ácido furoico. E por meio de ácidos graxos insaturados associados a autoxidação por radicais livres, em que sua taxa de formação é aumentada proporcional ao grau de insaturação (CREWS; CASTLE, 2007; VERNIN *et al.*, 1997).

2.4.5 Hidroximetilfurfural

O hidroximetilfurfural é uma substância que consiste em um anel furano com grupamento hidroxil alílico e carbonil α , β insaturado. É

um composto solúvel em água, não volátil e em temperatura ambiente se encontra como sólido cristalino. Encontrado em soluções de caramelo e mel, frutas secas, produtos de panificados, malte, sucos de frutas, café, vinagre e leite (ANESE; SUMAN, 2013; CAPUANO; FOGLIANO, 2011).

Esse composto é utilizado como indicador de qualidade de alimentos durante o tratamento térmico, em que fornece informações de superaquecimento nos alimentos ou condições inadequadas de armazenamento de cereais, na secagem de massas, panificação, torrefação e extrusão (ANESE. SUMAN, 2013).

Pode ser formado nos alimentos como composto intermediário da reação de Maillard ou pela caramelização durante os tratamentos térmicos tanto em escala industrial, quanto doméstica. Na reação de Maillard, a frutose é mais reativa que a glicose na formação de hidroximetilfurfural, e em condições ácidas o composto pode ser formado até mesmo em baixas temperaturas. Na caramelização, quando os açúcares são expostos a condições ácidas e secas durante o tratamento térmico, a frutose é degradada em cátion frutofurano-sil que é convertido em hidroximetilfurfural (LEMOS *et al.*, 2020).

2.4.6 Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos

Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP) são substâncias tóxicas formadas pela pirólise ou combustão incompleta de matérias orgânicas durante processamento a altas temperaturas como fritura, defumação, assamento e grelhagem. São grupos complexos de compostos químicos presentes no ambiente e nos alimentos, sendo composto por átomos de carbono e hidrogênio organizados em dois ou mais anéis benzênicos. Em temperatura ambiente, os HAP se encontram no estado sólido, em que apresentam altas temperaturas de fusão e ebulição e baixa solubilidade em água. Diferentes tipos de gorduras vão ter efeitos diferentes na formação de HAP durante o processamento por grelhagem (LEMOS *et al.*, 2020).

Durante a pirólise, os carbonos e hidrogênios presentes nos alimentos processados são clivados, formando compostos instáveis que se recombinaem e formam os HAPs, que são relativamente mais estáveis. A fumaça formada pela queima da madeira ou carvão, volatiliza os HAPs recombinados após a pirólise da gordura da carne, por exemplo. Sua concentração é proporcional à temperatura (400 - 1000 °C). Os HAPs também podem ser formados a partir de carboidratos cozidos em altas temperaturas com a ausência de oxigênio (DUEDAHL-OLESEN, 2013; LEE; NOVOTNY; BARTLE, 1976).

2.4.7 Peróxidos

Os peróxidos são formados durante a oxidação de lipídeos, esse composto não apresenta características sensoriais indesejáveis, mas são instáveis e formam compostos voláteis aromáticos (*off flavours*) devido a sua degradação (SHAHIDI; JOHN, 2013).

As oxidações dos lipídeos são divididas nas fases de iniciação, propagação e terminação. Na fase de iniciação, o oxigênio interage com um iniciador que quando ativado reage com os ácidos graxos, removendo o hidrogênio adjacente à ligação *cis*, formando radicais alílicos. Dessa forma, ocorre a reação em cadeia até as reservas de ácidos graxos insaturados se esgotarem. Na fase de propagação, ocorre a formação dos peróxidos, em que podem ser mensurados, porém sua mensuração é limitada devido à instabilidade desses compostos. Na fase de terminação, ocorre o consumo dos substratos, formando produtos estáveis como álcoois, ésteres, cetonas e hidrocarbonetos (LEMOS *et al.*, 2020).

2.4.8 Cloropropanos

Os cloropropanos e seus ésteres são contaminantes produzidos pelo tratamento térmico em alimentos, como proteínas vegetais hidrolisadas com ácido, carne, alimentos defumados, alimentos derivados

de cereais, pão e café. Sua presença nos alimentos pode ser explicada pela sua formação em óleos comestíveis, principalmente no óleo de palma refinado (LI *et al.*, 2016; SIM *et al.*, 2020).

A formação cloropropanos considera seus ésteres como intermediários, aparecendo em alimentos a partir da reação de lipídeos com íons de cloreto. A sua formação a partir de acilgliceróis e íons cloreto acontece pelo aquecimento em condições ácidas, resultando em cloro ésteres, que liberam os cloropropanos por reações de hidrólise catalisadas por lipases (ARISSETO; MARCOLINO; VICENTE, 2013; STADLER *et al.*, 2007).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dessa forma, pode-se destacar que cada tipo de processamento pode causar algum tipo de alteração nos alimentos. Algumas medidas podem ser tomadas para reduzir a formação de determinados compostos em alimentos, como a substituição de matérias-primas que são compostas com baixo teor de asparagina, carboidratos, proteínas e açúcares redutores, adição de ácidos e acidulantes. Outro exemplo, utilizar bicarbonato de sódio nas formulações ao invés de bicarbonato de amônio. Além disso, deve-se buscar as condições ideais para uma determinada tecnologia empregada, tal como encontrar um binômio tempo-temperatura que podem auxiliar para não formação ou redução desses compostos indesejáveis.

REFERÊNCIAS

ABRAHAM, K. *et al.* Toxicology and risk assessment of acrolein in food. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 55, p. 1277-1290, 2011.

AJAYI, O. A.; FAKIYA, E. O.; OLADAPO, G. O. Industrial processing of palm juice and riboflavin loss. **Food Chemistry**, v. 34, p. 89-94, 1989.

AMIT, S. K. *et al.* A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing. **Agriculture & Food Security**, v. 6, p. 1-22, 2017.

ANESE, M.; SUMAN, M. Mitigation strategies of furan and 5-hydroxymethylfurfural in food. **Food Research International**, v. 51, n. 1, p. 257-264, 2013.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de Alimentos: teoria e prática**. Viçosa, MG, 7 ed. UFV, 2019, 666 p.

ARISSETO, A.P., MARCOLINO, P.F.C., VICENTE, E. Ésteres de cloropropanois e de glicidol em alimentos. **Química Nova**, v. 36, n. 9, p. 1406-1415, 2013.

ARISSETO, A. P. **Furan in processed foods**. In: Food Hygiene and Toxicology in Ready-to-Eat Foods. Academic Press, p. 383-396, 2016.

AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Editora técnica. – 2 ed. revista e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 2012. ISBN: 8570351216. p. 326

BALL, C. O.; OLSON, F. C. W. **Sterilization in food technology. Theory, Practice and Calculation**. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1957.

BEZERRA, T. S. **Desidratação de Hortalças: aspectos teóricos**. 2007, 54 p.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de Secagem de Alimentos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010, 49 p.

CINTRA, P. **Métodos de conservação dos alimentos**, 2014. Disponível em: <https://nutrisaude14.files.wordpress.com/2014/11/mc3a9todos-de-conservac3a7c3a3o-dos-alimentos-2014.pdf>. Acesso em: 13 de mai. 2021.

CREWS, C.; CASTLE, L. A review of the occurrence, formation and analysis of furan in heat-processed foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 18, p. 365-372, 2007.

CAPUANO, E.; FOGLIANO, V. Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. **LWT- Food Science and Technology**, v. 44, n. 4, p. 793-810, 2011.

DAVIDEK, J., VELISEK, J., POKORNY, J. **Chemicals changes during food processing**: developments in food science 21. Praga: Elsevier Science Publ., 1990, p. 230-294

DUARTE, P.E.; CRISTIANINI, M. Determinando o coeficiente de transferência de calor convectivo (h) no processo térmico de alimentos. **International Journal of Food Engineering**, v. 7, n. 4, p. 1-22, 2011.

DUEDAHL-OLESEN, L. **Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in foods**. In: Persistent organic pollutants and toxic metals in foods, p. 308-333, 2013.

EFSA. European Food Safety Authority. **Guidance on the data required for the risk assessment of flavourings to be used in or on foods**, EFSA Journal, v. 8, p. 1623, 2010.

ESTELLES, R.S. **Importância do controle de temperatura e do tratamento térmico na preservação dos nutrientes e da**

qualidade dos alimentos. 2003. Monografia (Especialista em Qualidade de Alimentos), Universidade de Brasília: Brasília, 2003.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia dos Alimentos.** 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2000, 690 p.

FAO/WHO. Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization **Health implications of acrylamide in food.** Report of a Joint FAO/WHO Consultation. Geneva, Switzerland: WHO Headquarters, 2002. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42563/9241562188.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 07 mai. de 2021.

MELO FILHO, A. B. de; VASCONCELOS, M. A. da S. **Química dos alimentos.** Recife: UFRPE, 2011. Disponível em: http://pronatec.ifpr.edu.br/wp-content/uploads/2013/06/Quimica_de_Alimentos.pdf. Acesso em: 07 mai. de 2021.

FRIEDMAN, M. Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 51, n. 16, p. 4504-4526, 2003.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos.** São Paulo: Nobel, 1984, 284 p.

GOMES, C.A. O.; SILVA, F.T. **Recomendações técnicas para o processamento de conservas de cogumelos comestíveis.** Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2000. 19 p. (Embrapa Agroindústria de Alimentos. Documentos, 43).

HELLÍN, L. C.; CLAUSELL, M. P. R. Incidencia de la fritura en la composición de la fracción lipídica de diversos aperitivos de consumo

generalizado en nuestro país. I. Transformaciones de los aceites durante la fritura. **Anales de Bromatología**, v. 36, n. 1, p. 5-31, 1984.

HOLANDA, C. C.; ROCHA, A. A. **Escola Estadual de Educação Profissional - EEEP Ensino Médio Integrado à Educação Profissional Curso Técnico em Nutrição e Dietética**. Nutrição e Dietética – Tecnologia dos Alimentos. Fortaleza, Ceará, 2013.

ILVA, P. T.; LOPES, M. L. M.; VALENTE-MESQUITA, V. L. Effect of different processing methods on ascorbic acid content in orange juice used to make cakes, puddings and jelly. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 3, p. 678-682, 2006.

LEE, M. L.; NOVOTNY, M. V.; BARTLE, K. D. **Anal. Chem.** v, 48, p. 405-416, 1976.

LEONARDI, J. G.; AZEVEDO, B. M. Métodos de conservação de alimentos. **Revista Saúde em Foco**, v. 10, n. 1, p. 51-61, 2018.

LEONG, S. Y.; DUQUE, S. M.; ABDUH, S. B. M.; OEY, I. **Carbohydrates In: Innovative thermal and non-thermal processing, bioaccessibility and bioavailability of nutrients and bioactive compounds**. Woodhead Publishing, p. 171-206, 2019.

LEMOS, A.C.; SCAGLIONI, P. T.; BORBA, V. S.; FURLONG, E. B. **Contaminantes formados durante o processamento de alimentos**. In: Silvani Verruck. (Org.). Contaminantes formados durante o processamento de Alimentos. 1ed. Guarujá, SP: Editora Científica Digital, v. 1, p. 111-157, 2020.

LI, C., ZHOU, Y., ZHU, J., WANG, S., NIE, S., XIE, M. Formation of 3-chloropropane-1,2-diol esters in model systems simulating

thermal processing of edible oil. **LWT – Food Science and Technology**, v. 60, 586-592, 2016.

LOPES, R. L. T. **Conservação de alimentos**. Dossiê Técnico. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais: CETEC, 2007, 26 p.

MACHADO, C. M. M. **Processamento de hortaliças em pequena escala**. Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2008, 99 p.

MELTON, S. L. *et al.* Review of stability measurements for frying oils and fried food flavor. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 71, n. 12, p. 1301-1308. dec. 1994.

NASCIMENTO, L.E.S.; ARAGÃO, F. V. N.; MIRANDA, M.N.N. e MELO, S.N. Efeito do branqueamento sobre as características físico-químicas e microbiológicas em acerolas (*Malpighia puniceifolia* DC). **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, v. 2, p. 36, 2016.

NAGAO, M., HONDA, M., SEINO, Y., YAHAGI, T., SUGIMURA, T. Mutagenicities of smoke condensates and the charred surface of fish and meat. **Cancer Letters**, v. 2, p. 221-226, 1977.

NTP. National Toxicology Program. 13rd **report on carcinogens: furan**. National Toxicology Program (NTP), 2014.

OLIVEIRA, A. C. **Processo Industrial Sanitário de Produção de Leite Pasteurizado**, 2019. 40 f. Monografia (Engenharia química), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019

OPAS. **Organização Pan-Americana da Saúde**. Tecnologias de conservação aplicadas à segurança de alimentos. Washington, D.C.: OPAS; 2019. Disponível em: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/51502>. Acesso em: 08 mai. 2021.

PAMIES D.; VILANOVA E. **Acrolein A2**, In: Philip Wexler (Ed.), Encyclopedia of Toxicology, Academic Press, Oxford, 3 ed. p. 63-68, 2014.

PÉREZ-CAMINO, M. C. **Alteración de grasas usadas em fritura**. III Correlación entre processos. Porto Alegre: Artmed, 2005.

PINTO, U. M.; LANDGRAF, M. e FRANCO, B. D. G. M. **Deterioração microbiana dos alimentos**. In: Microbiologia e higiene de alimentos: teoria e prática. 2019.

PROCHASKA, LJ, NGUYEN, XT, DONAT, N., e PIEKUTOWSKI, W.V. Efeitos do processamento de alimentos no valor termodinâmico e nutritivo dos alimentos: levantamento da literatura e banco de dados. **Medical Hypotheses**, v. 54, n. 2, pág. 254-262, 2000.

ROCHA, G. L. **Influência do tratamento térmico no valor nutricional do leite fluido**. 2004. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2004.

ROQUE-SPECHT, V. F.; MAIA, M. S. Avaliação da perda de umidade de cinco variedades de tomate, através de secagem artificial. **Higiene Alimentar**, v. 16, n. 94, p. 30-32, 2002.

SABIONI, J. G. **Alterações em alimentos apertizados/Spoilage of heat sterilized canned foods**. BR526.1 - Biblioteca de Saúde Pública, v.14, n. 76, 2000.

SEIDEL, A. **Heat-generated toxicants in foods: heterocyclic aromatic amines**. In: Chemical contaminants and residues in food. Biochemical Institute for Environmental Carcinogens, Germany and W. Pfau, GAB Consulting GmbH, Germany, 2012.

SGARBIERI, W. **Princípios de nutrição**. Campinas: Faculdade de Tecnologia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, 1971.

SHAHIDI, F.; JOHN, J. A. **Oxidative rancidity in nuts**. In: Improving the safety and quality of nuts. Woodhead Publishing, 2013. p. 198-229.

SILVA, F. T. **Recomendações técnicas para o processamento de hortaliças congeladas**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos. 14 p. Embrapa Agroindústria de Alimentos. Documentos, 2000.

SILVA, J. A.: **Tópicos da tecnologia dos alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 2000.

SILVA, L. C. da. **Métodos de conservação de alimentos: uso de calor**, 2008. Disponível em: http://www.agais.com/tpoa1/curso/capitulo_3_tpoa1_met_conserva_2008_part1.pdf. Acesso em: 01 mar. 2021.

SILVA, J. C. **Análise histórica sobre os métodos de conservação de alimentos**. Orientador: Juliano Alves Dias. 35 f. Trabalho de conclusão de curso (Técnico em Alimentos) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Barretos, São Paulo. Disponível em: <https://brt.ifsp.edu.br/phocadownload/userupload/213354/ANLISE%20HISTORICA%20SOBRE%20OS%20METODOS%20DE%20CONSERVAO%20DOS%20ALIMENTOS.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2021, 2018.

SILVA, P. H. F.; ALMEIDA, M. C. F. Estabilidade térmica do leite. In: CONGRESSO NACIONAL DE LATICÍNIOS, 15, Juiz de Fora. **Anais[...]** Juiz de Fora: EPAMIG – Centro Tecnológico – ILTC, 2000. p.157-163, 2000.

SIM, B.I., KHOR, Y.P., LAI, O.M., YEOH, C.B., WANG, Y., LIU, Y., MEHDI, I.A., TAN, C. P. Mitigation of 3-MCPD esters and glycidyl esters during the physical refining process of palm oil by micro and macro laboratory scale refining. **Food Chemistry**, 2020.

STADLER, R., THEURILLAT, V., STUDER, A., SCANLAN, F., SEEFELDER, W. **The formation of 3-monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD) in food and potential measures of control**. In: Thermal processing of food, deutsche forschungsgemeinschaft (ed.), Wiley-VCH, Weinheim, Germany, p. 141-154, 2007.

TORREZAN, R. Árvore de conhecimento: Tecnologia de alimentos. Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2012. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000fid46tch02wyiv80z4s473aq3x07g.html#. Acesso em: 7 maio 2021.

VARNAM, A. H.; SUTHERLAND, J. P. **Leche e productos lácteos: tecnología, química y microbiología**. Zaragoza: Acri-bia, 1995, 476p.

VASCONCELOS, M. A da S.; MELO FILHO, A. B. de. **Conservação de alimentos**. Recife: EDUFRRPE, 2010. Disponível em: http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_prod_alim/tec_alim/181012_con_alim.pdf. Acesso em: 15 maio 2021.

VERNIN, G.; CHAKIB, S.; ROGACHEV, S. M.; OBREtenov, T. D.; PARKANYI, C. Thermal decomposition of ascorbic acid. **Carbohydrate Research**, v. 305, p. 115, 1997.

WHO. World Health Organization. **Summary report of the sixty-fourth meeting of the Joint FAO/WHO expert committee on**

food additive (JECFA). Rome, Italy: The ILSI Press International Life Sciences Institute. Washington, DC, p. 1 - 47, 2005.

YASUHARA, A.; TANAKA, Y.; HENGEL, M.; SHIBAMOTO, T. Gas chromatographic investigation of acrylamide formation in browning model systems. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 14, p. 3999-4003, 2003.

Capítulo 2

Introdução aos processos não térmicos

*Betsy Gois Santos
Caroline de Souza Motta
Dayvison Mendes Moreira
Cintia da Silva Araújo
Luciano José Quintão Teixeira*

1 INTRODUÇÃO

Todo alimento perecível possui um tempo de prateleira (*shelf life*), ou seja, a vida útil para que seja consumido com a qualidade e segurança necessários. Cada alimento está sujeito a diferentes graus de deterioração devido a diversos fatores, como sua composição e características, as condições de processamentos empregadas, condições ambientais as quais o produto é exposto,

características da embalagem utilizada e os meios de estocagem (AZEVEDO; BRITO, 2012).

Em função desses fatores, a escolha do método de conservação a ser aplicado aos produtos alimentícios é essencial ao longo da cadeia produtiva, pois evita alterações indesejáveis, tais como, microbianas, enzimáticas, químicas e físicas, mantendo preservados seus nutrientes e suas características sensoriais de aroma, sabor e textura (VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010).

Uma das aplicações tecnológicas mais antigas utilizadas na conservação de alimentos ainda é o tratamento térmico, pois possibilita conferir efeitos desejáveis de estabilidade por meio da inativação de enzimas, destruição de microrganismos e parasitas mais estáveis. Entretanto, as altas temperaturas utilizadas podem afetar negativamente as características sensoriais dos alimentos, bem como seu valor nutricional, degradando nutrientes e vitaminas termossensíveis. Como resultado, muitas vezes esses alimentos podem ser percebidos como de menor valor ou qualidade (OPAS, 2019).

Um dos parâmetros que influenciam diretamente as alterações bioquímicas e microbiológicas que podem ocorrer nos alimentos durante o armazenamento é a temperatura. Em geral, quanto menor a temperatura, menores as taxas de alteração. A inativação de microrganismos pode ocorrer por meio da aplicação de calor, enquanto o uso de baixas temperaturas visa retardar o crescimento microbiano e as reações químicas dos alimentos. Desse modo, a conservação e o processamento de alimentos utilizando métodos com temperaturas mais baixas apresentam vantagens na preservação das características sensoriais e do valor nutricional dos alimentos (OPAS, 2019).

Atualmente, tem-se notado uma tendência dos consumidores por alimentos com características mais próximas ao natural. Assim, a procura por produtos “frescos” tem estimulado o desenvolvimento de novos tratamentos que sejam capazes de preservar ao máximo a qualidade sensorial e nutricional de produtos *in natura*, garantindo

também sua estabilidade e segurança microbiológica. Diante disso, surgem os tratamentos não térmicos (ZHONG *et al.*, 2005).

Dessa forma, o objetivo deste capítulo é discorrer sobre alguns métodos não térmicos na conservação de produtos alimentícios, focando em sua definição geral e utilização na indústria alimentícia.

2 MÉTODOS NÃO TÉRMICOS DE PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS

2.1 Liofilização

No processo de liofilização, primeiramente a água é congelada para ser convertida em vapor por sublimação, ao invés de ser removida da superfície do alimento por evaporação, como ocorre em outros métodos de secagem. Essa uma técnica é caracterizada por não submeter o produto a elevadas temperaturas (NETO, 2008).

Os alimentos submetidos ao processo de liofilização apresentam uma retenção elevada dos seus atributos sensoriais e nutricionais, quando embalados de forma correta. São considerados produtos com alto valor agregado por reter grande parte de seus nutrientes originais, uma vez que emprega baixas temperaturas em seu processamento. A maioria dos compostos voláteis não são transportados pelo vapor d'água produzido na sublimação e permanecem retidos na matriz do alimento, resultando em uma retenção de 80 a 100% do aroma, o que confere aos alimentos reidratados um excelente sabor (FELLOWS, 2019).

No alimento liofilizado ocorre pouca contração e não há endurecimento de crosta, conferindo uma boa textura no produto. A estrutura porosa aberta permite uma rápida e total reidratação, porém, o alimento se torna mais sensível e higroscópico. Isso reforça que a escolha da embalagem deve ser criteriosa para que proteja o produto da absorção de umidade e de danos mecânicos (FELLOWS, 2019).

Entretanto, o custo do produto liofilizado é expressivamente maior quando comparado aos produtos secos por outras técnicas, sendo necessário o investimento em pesquisas que minimizem os custos operacionais e possibilitem ofertar esses alimentos a um preço competitivo (VIEIRA; NICOLETI; TELIS, 2012).

2.2 Crioconcentração

O processo de crioconcentração tem sido estudado como uma nova tecnologia não térmica e emergente. Consiste em um método em que a temperatura de uma solução ou dispersão aquosa é resfriada abaixo de seu ponto de congelamento até a solidificação completa do conteúdo líquido e, então, a parte líquida descongelada (crioconcentrado) é separada da fase gelo por descongelamento natural ou por adição de uma força externa (também chamada de técnica assistida) ao processo de crioconcentração (AMRAN *et al.*, 2016).

Trata-se de uma tecnologia interessante que permite minimizar a perda de componentes importantes na preparação de um alimento em estado líquido concentrado, como, por exemplo, suco de frutas (SÁNCHEZ *et al.*, 2009).

2.3 Cadeia do frio

Segundo a Vigilância Sanitária, a denominação de Cadeia do Frio consiste basicamente em resfriar o produto durante toda a sua cadeia produtiva, desde a sua produção e mantê-lo frio ao longo de toda a sequência até o consumo final (BRASIL, 2011).

A conservação pelo frio tem o objetivo de retardar ou evitar alterações que resultam na redução da qualidade dos alimentos. As alterações podem ocorrer por diversas causas, como o crescimento microbiano, desenvolvimento de reações químicas ou enzimáticas. O frio possui efeito conservador, podendo levar a inibição total ou parcial dos principais agentes responsáveis por alterações indesejáveis

nos alimentos. Quanto mais baixa for a temperatura, mais reduzida será a taxa de ação química, enzimática e o crescimento microbiano no produto. Nos processos de refrigeração e congelamento, a conservação dos alimentos é realizada a baixas temperaturas, sendo que para a refrigeração as temperaturas variam, em média, de -1 a 8 °C e no congelamento são aplicadas temperaturas abaixo de 0 °C, onde começa a ocorrer a formação dos cristais de gelo como forma de imobilizar a água presente (VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010).

A cadeia do frio envolve diversas etapas de operações frigoríficas com produtos sob temperatura e umidade relativa controladas. Essas etapas podem consistir desde um pré-resfriamento por adição de gelo, seguido de transporte em veículo isotérmico até o mercado consumidor, até processos muito mais complexos. A utilização da conservação pelo uso do frio depende das características do processo de comercialização e pode possuir variações de acordo com o produto (NANTES; MACHADO, 2005).

Uma consideração importante referente a conservação e segurança dos produtos em relação a estabilidade da temperatura durante o armazenamento a baixas temperaturas é quanto ao tipo de equipamento a ser utilizado. Devido ao seu menor custo, frequentemente são utilizados equipamentos para uso doméstico em empresas de pequeno porte, ao invés da utilização de equipamentos específicos para os fins comerciais, o que seria o ideal (WALKER; PRITCHARD; FORSYTHE, 2003).

2.4 Secagem a vácuo

A secagem pode ser definida como um processo de remoção de água de um produto sem que ocorra a ebulição. Esse processo tem como objetivo principal o aumento da vida de prateleira, devido à diminuição dos valores de umidade e atividade de água. Além disso, a secagem resulta em produtos de menor volume e, consequentemente, gera produtos com menor custo de armazenamento, transporte e

embalagem. Porém, esse processo pode influenciar nas características sensoriais dos alimentos, como sabor, cor e textura, sendo necessário cuidado durante a aplicação deste método (MUJUMDAR, 2006).

A secagem a vácuo, por sua vez, consiste em conduzir a secagem em um ambiente com pressão inferior à atmosférica, possibilitando a utilização de temperaturas inferiores às aquelas que seriam necessárias sob pressão atmosférica. Como resultado, podem ser produzidos alimentos com características químicas, físicas e microbiológicas seguras e sensorialmente agradáveis (SCHER; RIOS; NOREÑA, 2009).

Ferreira e Júnior (1999) relatam que dentre os processos de secagem, a secagem a vácuo é uma forma muito eficiente de secar materiais, pois diminui a pressão de vapor da água e provê um maior gradiente de temperatura entre o meio de aquecimento e o material.

2.5 Alta Pressão Hidrostática

No processamento por alta pressão hidrostática (APH), os alimentos são submetidos a pressões entre 100 e 1000 MPa por um certo período. Através da aplicação desse método, é possível inativar microrganismos e algumas enzimas possibilitando um aumento na vida de prateleira, ao mesmo tempo em que mantém as características sensoriais e o valor nutricional do produto. Em alguns alimentos, ocorre também, uma melhoria das propriedades funcionais. Além disso, esse processo possui potencial para auxiliar em processos de congelamento e descongelamento. Outras vantagens do APH incluem: tempos de processamento curtos, consumo mínimo de energia e ausência de efluentes. Uma vantagem significativa das APH em relação a outros métodos de processamento é que o tamanho e a forma das embalagens não são fatores importantes na determinação das condições do processo. Isso soluciona problemas de falta de uniformidade no processamento encontrados, por exemplo, no aquecimento por condução ou convecção, aquecimento por micro-ondas e radiofrequência ou aquecimento por irradiação. Por outro lado, as

principais limitações são os custos relativamente elevados de capital e a incapacidade de processar alimentos secos ou que contenham ar ocluso, devido às elevadas pressões envolvidas (FELLOWS, 2019).

Nesse sentido, as pesquisas têm demonstrado que o tratamento por APH permite a obtenção de produtos com elevada qualidade e grande capacidade de preservação, sem a utilização de aditivos químicos (PARK; LEE; PARK, 2002).

2.6 Aplicação de Campos Elétricos Pulsados de Alta Intensidade

A utilização de campos elétricos pulsados surge como um tratamento alternativo ao térmico. Essa é uma tecnologia de processamento de alimentos líquidos e homogêneos, com a finalidade de inativar enzimas e destruir microrganismos, podendo ser utilizada sozinha ou em combinação com outros métodos. Assim, torna-se uma alternativa de conservação eficiente e com baixo impacto no meio ambiente (GÓMEZ *et al.*, 2019; LEOVKA; PRAPORSCIC; VOROBIEV *et al.*, 2004; ZHANG *et al.*, 2018).

O estudo da utilização de campos elétricos em alimentos teve início a partir dos anos 60 (BENDICHO *et al.*, 2002). Esse tipo de tratamento não térmico consiste em submeter o produto repetidas vezes a campos elétricos de alta intensidade em um curto intervalo de tempo (PETTIT; RITZ; FEDERIGHI *et al.*, 2002). Porém, ainda apresenta alguns entraves, como a necessidade inicial de alto investimento de capital (GÓMEZ *et al.*, 2019; SITZMANN; VOROBIEV; LEOVKA, 2016).

2.7 Irradiação Ultravioleta

O método de radiação ultravioleta é um dentre os diversos processos físicos que podem ser utilizados para esterilizar ou higienizar superfícies que irão entrar em contato diretamente com os alimentos. Trata-se de uma alternativa de fácil aplicação, sem efeitos prejudiciais ao

meio ambiente ou ao consumidor do alimento. A irradiação com luz ultravioleta é uma tecnologia que apresenta vantagens, como a inativação de uma ampla gama de microrganismos patogênicos e deteriorantes, aumentando a sua vida útil do produto, e com mínima perda da qualidade nutricional e sensorial (BARBOSA-CANOVAS *et al.*, 1998; MANZOCCO *et al.*, 2016).

O método de irradiação ultravioleta é um processo frio e a seco. Essa técnica é simples, rápida e não deixa resíduos. Sua fonte natural vem do sol, porém existem fontes artificiais chamadas de lâmpadas UV, nas quais a luz é gerada pela aplicação de uma diferença de potencial. A técnica se destaca como uma alternativa para substituir os processos de desinfecção química ou tratamentos térmicos (CARLI *et al.*, 2013; SYAMALDEVI *et al.*, 2013).

2.8 Radiação Ionizante

O método de irradiação de alimentos é um processo que possui o objetivo de controlar bactérias, vírus, microrganismos, pragas e fungos. Esse tipo de tratamento é comprovado e visa a conservação dos alimentos. O método de irradiação ionizante consiste em empregar fontes radiativas ou máquinas elétricas, como aceleradores de partículas, que produzem feixes de elétrons. Durante a aplicação dessa técnica, não existe o risco de contaminação do alimento, pois este não entra em contato com o material radiativo, apenas com o campo de energia ionizante que é criado (HALLMAN *et al.*, 2013).

O fator de maior importância nesse método é a dose ou energia absorvida pelo produto. Ao aplicar a dosagem correta, esse método confere um produto irradiado seguro e nutritivo. A radiação ionizante pode ser aplicada sobre o alimento a granel ou no alimento já embalado, podendo também ser combinada com outro tipo de tratamento (HÉNON, 2014).

2.9 Ultrassom

A utilização do ultrassom como método de tecnologia no processamento de alimentos é uma abordagem inovadora dentro dos sistemas de tecnologias emergentes. O ultrassom é conhecido por ter um efeito significativo na taxa de vários processos na indústria de alimentos, atribuindo diversas vantagens em sua aplicação. A divisão mais conhecida na aplicação dessa tecnologia são as suas intensidades, podendo ser baixa ou alta, o que está diretamente relacionado com as suas aplicações. As ondas de alta intensidade são capazes de romper as células e desnaturar enzimas, enquanto ondas de baixa intensidade são capazes de modificar o metabolismo das células (CHEMAT *et al.*, 2017).

A aplicação do ultrassom é um método ecologicamente correto, com tempo de reação reduzido e o rendimento da reação maior em condições brandas em comparação aos métodos convencionais. Assim, seu uso oferece diversas vantagens, tais como, maior produtividade, rendimento e seletividade, com menor tempo de processamento, melhor qualidade, riscos químicos e físicos reduzidos (CHEMAT; ZILL-E-HUMA; KHAN, 2011).

2.10 Ozonização

Atualmente, com diferentes regulamentações, o uso do ozônio é permitido em diversos países como substituto dos métodos convencionais de saneamento. No Brasil, sua aplicação é regulamentada pela Portaria nº 888 de 05/05/2021 do Ministério da Saúde. Para alimentos, assim como acontece com outras atmosferas modificadas, não existe legislação que regulariza sua utilização, porém não é proibida pela ANVISA ou pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), sendo permitido na produção de alimentos orgânicos (BRASIL, 2009).

A estrutura do ozônio sofre degradação quando em contato com oxigênio e, por isso, não deixa resíduos nos alimentos com ele tratados, sendo considerado seguro (GUZEL-SEYDİM; GREENE; SEYDİM, 2004). Dessa forma, tem despertado interesse da indústria de alimentos e da comunidade científica. Diversos estudos relatam sua eficiência na desinfecção de água, superfícies de processamento e diversas matrizes alimentícias (ASLAM; ALAM; SAEED, 2020; BAGGIO *et al.*, 2020).

2.11 Água eletrolisada

A água eletrolisada pode ser considerada um novo agente antimicrobiano. Sua utilização em países como o Japão já tem sido verificada a alguns anos. De acordo com o processo de eletrólise, como as características de potencial de oxirredução, pH e espécie de cloro livre, a solução resultante pode ser categorizada em água eletrolisada ácida (AEA), água eletrolisada básica (AEB) ou água eletrolisada neutra (AEN) (HUANG *et al.*, 2008; RUVIARO, 2015; IRAM; WANG; DEMIRCI, 2021).

Devido aos menores impactos ao meio ambiente e à saúde humana, redução no tempo de desinfecção e à sua ação como agente antimicrobiano, essa tecnologia tem sido muito explorada por pesquisadores no sentido de garantir a segurança dos alimentos (BURFOOT *et al.*, 2015; YANG *et al.*, 2021; ZHANG *et al.*, 2021), preservar os níveis de compostos bioativos e nutrientes em frutas (CHEN *et al.*, 2020) e na desinfecção de equipamentos (DEV *et al.*, 2014).

2.12 Separação por membrana

O uso de membranas para separação e concentração de componentes alimentares está ganhando cada vez mais espaço na indústria, principalmente no setor de bebidas e laticínios. Além de ser considerado seguro para o meio ambiente, o uso dessa tecnologia está

relacionado com maior qualidade dos alimentos processados, alta seletividade de componentes e menor consumo de energia, quando comparados com métodos térmicos convencionais (LOIZZO *et al.*, 2019; MOHAMMAD *et al.*, 2012).

O acúmulo de moléculas na superfície das membranas acarreta redução do fluxo do permeado e, portanto, maior tempo de processamento. Assim, para permitir que essa tecnologia seja amplamente utilizada na indústria, o desenvolvimento de métodos que controlem incrustações é essencial (RAJENDRAN; MASON; DOUCETTE, 2021).

2.13 Plasma frio

O plasma frio é um método não térmico em crescente interesse, pois é efetivo na inativação de bactérias, fungos, vírus e esporos. Sua aplicação tem sido investigada não somente na indústria alimentícia, mas também no campo da medicina, agricultura e meio ambiente. Algumas vantagens dessa tecnologia incluem: ser de natureza econômica, ecológica e geração de subprodutos não tóxicos (NIEDZWIEDZ *et al.*, 2019).

Sua aplicação ainda é realizada em pequenas superfícies, possui baixa permeabilidade e resulta em uma série muito complexa de interações químicas. Tais fatores levantam a necessidade de mais pesquisas para que atinja todo seu potencial de aplicação (NIEDZWIEDZ *et al.*, 2019; PANKAJ; WAN; KEENER, 2018).

3 APLICAÇÃO DE MÉTODOS COMBINADOS

Grande parte dos alimentos é conservada por meio de processos combinados, também chamados de teoria dos obstáculos ou métodos mistos. Segundo Gava; Silva; Frias (2009), a combinação de fatores físicos, químicos e/ou microbianos agem sinergicamente para garantir a segurança e estabilidade microbiológica dos produtos, além de

afetar minimamente suas características sensoriais e nutricionais. Dessa forma, combinação de métodos térmicos entre si, ou entre térmicos e não-térmicos sob variadas condições de processamento são uma estratégia promissora para aumentar a segurança dos produtos alimentícios (PÉREZ-LAVALLE; CARRASCO; VALERO, 2020).

A aplicação dessas técnicas combinadas vem ganhando atenção de pesquisadores e tem sido relatada em publicações científicas no sentido de otimizar condições de processo e obter finalidades específicas, como a manutenção da composição nutricional e de compostos bioativos e antioxidantes dos alimentos e reduzir o tempo e o custo da aplicação desses métodos. Algumas formas de utilização de métodos combinados e os efeitos de sua aplicação em diferentes matrizes alimentícias são abordadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Utilização e efeitos de métodos combinados em alimentos

Métodos estudados	Alimento	Principais descobertas	Referência(s)
Ozônio + UV	Ovos	Diferentes condições dos dois tratamentos combinados geraram reduções significativa nas contagens de <i>Salmonella Enteritidis</i> nas cascas dos ovos que variaram entre 4,3 e 5,9 ciclos log.	Rodriguez-Romo; Yousef (2005)
Água eletrolisada + Calor moderado (50°C)	Brócolis orgânico	Houve uma redução maior que 2 log UFC/g na contagem de bactérias aeróbias mesófilas, leveduras, bolores e população de patógenos. A qualidade dos brócolis não foi negativamente afetada.	Liu <i>et al.</i> (2017)
Plasma Frio (PF) + Antioxidantes	Robalo Asiático	A combinação reduziu a oxidação de lipídios induzida por PF e a carga microbiana (bactérias totais, <i>Enterobacteriaceae</i> , psicrotróficos aeróbios total, bactérias produtoras de H ₂ S e <i>Pseudomonas</i>) e prolongando a vida útil do pescado por pelo menos 15 dias a 4 ° C.	Olatunde; Benjakul; Vongkamjan, (2019)

Métodos estudados	Alimento	Principais descobertas	Referência(s)
Acidificação + Adição de cloreto de cálcio + Embalagens	Palmito pupunha	A utilização desses métodos combinados demonstrou ser eficiente no controle do crescimento microbiano em palmito pupunha, resultando em um produto seguro, com vida útil prolongada e qualidade sensorial preservada durante o período de armazenamento.	Egea <i>et al.</i> (2018)
Alta pressão (HPP) a 300, 400 e 500 MPa + <i>Lactobacillus</i> <i>acidophilus</i>	Hambúrguer	Esses métodos combinados podem ser usados como tratamento eficaz para manter a estabilidade microbiana e a qualidade do hambúrguer durante o armazenamento.	Lee <i>et al.</i> (2021)
Tratamento Hidrotérmico + Ácido Clorídrico (HCl)	Lichia	Utilizado para prolongar a vida útil da lichia, principalmente quanto à manutenção da cor e da qualidade.	Hojo <i>et al.</i> (2011)
Revestimentos naturais + Armazenamento refrigerado	Manga 'Ubá'	Os revestimentos utilizados resultaram em efeitos positivos em relação a conservação dos frutos, em comparação aos frutos controle, retardando o amadurecimento do fruto, como a redução de acidez, aumento do pH e de sólidos solúveis e perda da firmeza da polpa.	Sousa (2019)
Branqueamento + Desidratação Osmótica	Mamão Formosa	Avaliar a influência do branqueamento em água quente, da desidratação osmótica em solução de sacarose e da aplicação de cobertura comestível de pectina na cor e atividade de água de fatias de mamão Formosa, após secagem convectiva.	Garcia <i>et al.</i> (2012)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O interesse pelo estudo e aplicação de novos métodos de conservação de alimentos tem aumentado. Como verificado, a aplicação de novas

tecnologias apresenta diversas vantagens para o produto, podendo minimizar ou até substituir, futuramente, o emprego dos tratamentos térmicos. Assim, pode-se oferecer ao consumidor um alimento de qualidade, com a redução das perdas de características sensoriais e nutricionais dos alimentos. Vale salientar que mais investimentos e pesquisas são indispensáveis para elucidar possíveis limitações da aplicação dessas metodologias e, conseqüentemente, difundir sua utilização pela indústria de alimentos.

REFERÊNCIAS

AMRAN, N. A. *et al.* Review: parametric study on the performance of progressive cryoconcentration system. **Chemical Engineering Communications**, v. 203, n. 7, p. 957-975, 2016.

ASLAM, R.; ALAM, M. S.; SAEED, P. A. Sanitization potential of ozone and its role in postharvest quality management of fruits and vegetables. **Food Engineering Reviews**, v. 12, n. 1, p. 48-67, 2020.

AZEVEDO, H. M. C.; BRITO, E. S. Fundamento dos principais métodos não convencionais de conservação de alimentos. *In*: AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade alimentos**. Brasília: Técnica, 2012. p. 187-221.

BAGGIO, A.; MARINO, M.; INNOCENTE, N.; CELOTTO, M.; MAIFRENI, M. Antimicrobial effect of oxidative technologies in food processing: an overview. **European Food Research and Technology**, v. 246, n. 4, p. 669-692, 2020.

BARBOSA-CANOVAS, G. V.; POTHAKAMURY, U. R.; PALOU, E.; SWANSON, B. G. Nonthermal preservation of foods. New York: Marcel Dekker, 1998, p. 276.

BENDICHO, S., BARBOSA-CÁNOVAS, G. V., MARTÍN-BELOSLO, O. Milk processing by high intensity pulsed electric fields. **Food Science & Technology**, v. 13, n. 6, p. 195-204, 2002.

BRASIL (2009). Ministério da Saúde. **Instrução Normativa Conjunta n. 18, de 28 de maio de 2009**. Aprova o regulamento técnico para o processamento, armazenamento e transporte de produtos orgânicos. Disponível em: <https://www.organicsnet.com.br/midia/pdf/in18-28-05-2009.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2021.

BURFOOT, D. *et al.* Effect of electrolysed water on *Campylobacter* numbers on poultry carcasses under practical operating conditions at processing plants. **Food Control**, v. 50, p. 472–476, 2015.

CARLI, E. M. *et al.* Descontaminação de cortes suínos com ácidos orgânicos comerciais, solução salina acidificada e luz ultravioleta, **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 3, p. 1195-1204, 2013.

CHEMAT, F.; ZILL-E-HUMA; KHAN, M. K. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 18, n. 4, p. 813–835, 2011.

CHEMAT, F. *et al.* Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 34, p. 540–560, 2017.

CHEN, Y. *et al.* Effects of acidic electrolyzed water treatment on storability, quality attributes and nutritive properties of longan fruit during storage. **Food Chemistry**, v. 320, p. 126641, 2020.

DEV, S. R. S.; DEMIRCI, A.; GRAVES, R. E.; PURI, V. M. Optimization and modeling of an electrolyzed oxidizing water based

Clean-In-Place technique for farm milking systems using a pilot-scale milking system. **Journal of Food Engineering**, v. 135, p. 1–10, 2014.

EGEA, M. B. *et al.* Avaliação físico-química, microbiológica e sensorial de palmito pupunha minimamente processado por métodos combinados. **UNICIÊNCIAS**, v. 22, n. 3, p. 2-6, 2018.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Prática**. 4 ed. Artmed, 2019.

FERREIRA, F. C.; JÚNIOR, V. S. Secagem a vácuo a diferentes pressões: avaliações físicas e sensoriais de manjerição. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.1, p. 59-65, 1999.

GARCIA, C. C. *et al.* Utilização de métodos combinados para obtenção de mamão Formosa (*Carica papaya*) seco. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 30, n. 2, 2012.

GAVA, A. J.; DA SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de Alimentos: princípios e aplicações**. 1 ed. São Paulo: Nobel, 2009, p. 512

GÓMEZ, B. *et al.* Application of pulsed electric fields in meat and fish processing industries: an overview. **Food Research International**, v. 123, p. 95-105, 2019.

GUZEL-SEYDIM, Z. B.; GREENE, A. K.; SEYDIM, A. C. Use of ozone in the food industry. **LWT - Food Science and Technology**, v. 37, n. 4, p. 453–460, 2004.

HALLMAN, G. J.; ARTHUR, V., BLACKBURN, C. M.; PARKER, A. G. The case for a generic phytosanitary irradiation dose of 250Gy for Lepidoptera eggs and larvae. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 89, p. 70-75, 2013.

HÉNON, Y (2014). Food made safe by irradiation feeds landslide victims in Indonesia. Vienna: **International Atomic Energy Agency**. Disponível em: <https://www.iaea.org/newscenter/news/food-made-safe-irradiation-feeds-landslide-victims-indonesia>. Acesso em: 12 de julho 2021.

HOJO, E. T. D.; DURIGAN, J. F.; HOJO, R. H.; DONADON, J. R.; MARTINS, R. N. Uso de tratamento hidrotérmico e ácido clorídrico na qualidade de lichia 'Bengal'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 2, p. 386-393, 2011.

HUANG, Y. R. *et al.* Application of electrolyzed water in the food industry. **Food Control**, v. 19, n. 4, p. 329-345, 2008.

IRAM, A.; WANG, X.; DEMIRCI, A. Electrolyzed oxidizing water and its applications as sanitation and cleaning agent. **Food Engineering Reviews**, v. 13, p. 411-427, 2021.

LEBOVKA, N.; PRAPORSCIC, I.; VOROBIEV, E. Effect of moderate thermal and pulsed electric field treatments on textural properties of carrots, potatoes and apples. **Innovative Food Science and Emerging Technology**, v. 5, n. 1, p. 9-16, 2004.

LEE, H. *et al.* Effect of high pressure processing combined with lactic acid bacteria on the microbial counts and physicochemical properties of uncooked beef patties during refrigerated storage. **Journal of Food Processing and Preservation**, p. e15345, 2021.

LIU, Q.; CEDRIC TAN, C.; YANG, H.; WANG, S. Treatment with low-concentration acidic electrolysed water combined with mild heat to sanitise fresh organic broccoli (*Brassica oleracea*). **LWT - Food Science and Technology**, v. 79, p. 594-600, 2017.

LOIZZO, M. R. *et al.* The influence of ultrafiltration of citrus limon L. Burm. cv femminello comune juice on its chemical composition and antioxidant and hypoglycemic properties. **Antioxidants**, v. 8, n. 1, p. 2–11, 2019.

MANZOCCO, L. *et al.* Impact of UV-C light on storage quality of fresh-cut pineapple in two different packages. **LWT-Food Science and Technology**, v. 65, p. 1138–1143, 2016.

MOHAMMAD, A. W.; NG, C. Y.; LIM, Y. P.; NG, G. Ultrafiltration in food processing industry: review on application, membrane fouling, and fouling control. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 4, p. 1143–1156, 2012.

MUJUMDAR, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. Boca Raton: CRC Press. 2006. 1312 p.

NANTES, J. F. D.; MACHADO, J. G. C. F. Aspectos competitivos da indústria de alimentos no Brasil. In: **Identificação de Gargalos Tecnológicos na Agroindústria Paranaense**. Curitiba: Ipar-des, 2005. 129p.

NETO, H. J. L. **Obtenção do tomate seco através do uso de um sistema solar alternativo de baixo custo**. 2008. 42 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio grande de Norte, Natal.

NIEDZWIEDZ, I.; WASKO, A.; PAWLAT, J.; POLAK-BERECKA, M. The state of research on antimicrobial activity of cold plasma. **Polish Journal of Microbiology**, v. 68, n. 2, p. 153–164, 2019.

OLATUNDE, O. O.; BENJAKUL, S.; VONGKAMJAN, K. Combined effects of high voltage cold atmospheric plasma and antioxidants on the qualities and shelf-life of Asian sea bass slices. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 54, p. 113–122, 2019.

OPAS. Organização Pan-Americana da Saúde (2019). **Tecnologias de conservação aplicadas à segurança de alimentos**. Washington, D.C.: OPAS. Disponível em: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/51502>. Acesso em: 20 março 2021.

PANKAJ, S. K.; WAN, Z.; KEENER, K. M. Effects of cold plasma on food quality: A review. **Foods**, v. 7, n. 1, 2018.

PARK, S. L.; LEE, J. I.; PARK, J. Effects of combined process of high-pressure carbon dioxide and high hydrostatic pressure on the quality of carrot juice. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 5, p. 1827–1834, 2002.

PÉREZ-LAVALLE, L.; CARRASCO, E.; VALERO, A. Strategies for Microbial Decontamination of Fresh Blueberries and Derived Products. **Foods**, v. 9, n. 11, p. 1558, 2020.

PETTIT, B.; RITZ, M.; FEDERIGHI, M. Nouveaux traitements physiques de conservation des aliments: revue bibliographique. **Revue de Médecine Vétérinaire**, v. 53, p. 547–556, 2002.

RAJENDRAN, S. R. C. K.; MASON, B.; DOUCETTE, A. A. Review of membrane separation models and technologies: processing complex food-based biomolecular fractions. **Food and Bioprocess Technology**, v. 14, n. 3, p. 415–428, 2021.

RODRIGUEZ-ROMO, L. A.; YOUSEF, A. E. Inactivation of *Salmonella enterica* serovar Enteritidis on shell eggs by pulsed

light technology. **Journal of Food Protection**, v. 68, n. 4, p. 711-717, 2005.

RUVIARO, A. R. **Efeito da aplicação da água eletrolisada fracamente ácida em peitos de frango resfriados**. 2015. 125f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) – Centro em Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul.

SÁNCHEZ, J. *et al.* Freeze concentration in the fruit juices industry. **Food Science and Technology International**, v. 15, n. 4, p. 303-315, 2009.

SCHER, C. F.; RIOS, A. O.; NOREÑA, C. P. Z. Hot air drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and its effect on sugar concentrations. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, p. 2169-2175, 2009.

SITZMANN, W.; VOROBIEV, E.; LEBOVKA, N. Applications of electricity and specifically pulsed electric fields in food processing: historical backgrounds. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 37, p. 302 - 311, 2016.

SOUSA, J. C. C. de O. **Métodos combinados na conservação de manga ‘ubá’**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre, p. 71. 2019.

SYAMALADEVI, R. M. *et al.* Inactivation of *Escherichia coli* population on fruit surfaces using ultravioleta-C light: Influence of fruit surface characteristics. **Food Bioprocess Technology**, v. 6, p. 2959-2973, 2013.

VASCONCELOS, M. A. S.; MELO FILHO, A. B. **Conservação de alimentos**. Recife: EDUFRP, 2010. 130 p.

VIEIRA, A. P.; NICOLETI, J. F.; TELIS, V. R. N. Liofilização de fatias de abacaxi: avaliação da cinética de secagem e da qualidade do produto. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 1, p. 50-58, 2012.

WALKER, E.; PRITCHARD, C; FORSYTHE, S. Hazard analysis critical control point and prerequisite programme implementation in small and medium size food businesses. **Food Control**, v.14, n. 3, p. 169-174, 2003.

YANG, G. *et al.* Comparison of inactivation effect of slightly acidic electrolyzed water and sodium hypochlorite on *Bacillus cereus* Spores. **Foodborne Pathogens and Disease**, v. 18, n. 3, p. 192–201, 2021.

ZHANG, J.; WANG, J.; ZHAO, D.; HAO, J. Efficacy of the two-step disinfection with slightly acidic electrolyzed water for reduction of *Listeria monocytogenes* contamination on food raw materials. **LWT**, v. 140, p. 110699, 2021.

ZHANG, Z. H. *et al.* Non - thermal technologies and its current and future application in the food industry: a review. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 54, n. 1, p. 1-13, 2018.

ZHONG, K. *et al.* Inactivation and conformational change of horseradish peroxidase induced by pulsed electric field. **Food Chemistry**, v. 92, p. 473-479, 2005.

Capítulo 3

Secagem e desidratação de alimentos

Leandro Levate Macedo

Wallaf Costa Vimercati

Cintia da Silva Araújo

Jefferson Luiz Gomes Corrêa

1 INTRODUÇÃO

A secagem é uma das operações unitárias mais antigas e utilizadas para a conservação de alimentos. Este processo consiste na remoção de parte do conteúdo total de água presente naturalmente no alimento. A remoção da água se dá pela aplicação de calor no alimento (ANANDHARAMAKRISHNAN, 2017).

Para alimentos, o objetivo principal da secagem é a redução do valor da atividade de água do produto, visando minimizar, ou até

mesmo inibir, o crescimento de microrganismos, reações químicas e enzimáticas, de forma a prolongar a vida útil do produto. Paralelamente, devido a remoção da água, a secagem contribui, também, com a redução de peso e volume do produto desidratado, facilitando as etapas de transporte e armazenamento do produto (ANANDHARAMAKRISHNAN, 2017). A atividade de água é definida como a razão entre a pressão de vapor da água presente no alimento pela pressão de vapor da água pura, em uma mesma temperatura. Além da atividade microbiológica, a atividade de água está relacionada com as reações bioquímicas e sua relação com a estabilidade do produto. Em valores inferiores a 0,6, microrganismos não se desenvolvem. Entretanto, reações enzimáticas e não enzimáticas podem causar alterações indesejáveis (MUJUMDAR, 2014).

No processo de secagem, transferências de massa e de calor ocorrem simultaneamente. A transferência de massa ocorre por um ou mais mecanismos, que são: (i) difusão de líquido, caso o sólido úmido esteja a uma temperatura abaixo do ponto de ebulição do líquido; (ii) difusão de vapor, caso o líquido evapore dentro do material; (iii) difusão de Knudsen, em casos em que a secagem ocorre em baixas temperaturas e pressão, como na liofilização; (iv) diferença de pressão hidrostática, em casos em que as taxas de vaporização interna excedem a taxa de transporte de vapor através do sólido para a vizinhança. (ANANDHARAMAKRISHNAN, 2017; MUJUMDAR, 2014).

A transferência de calor, por sua vez, pode ocorrer de três formas: secagem por condução, secagem por convecção e secagem por radiação e dielétrica. A primeira, também conhecida como secagem indireta ou por contato, consiste na transferência de calor por meio de uma superfície aquecida. Na secagem por convecção, também chamada de secagem direta, o ar aquecido entra em contato direto com o produto. Já na terceira forma, a transferência de calor ocorre pela absorção de energia de uma fonte radiante. A secagem ao sol é a forma mais primitiva de secagem por radiação. De forma análoga, a secagem dielétrica ocorre devido ao aquecimento por

infravermelho, micro-ondas e radiofrequência (ANANDHARAMAKRISHNAN, 2017).

Durante a secagem, todos os alimentos sofrem alterações, independentemente do método adotado. Apesar do produto desidratado, quando comparado com o produto fresco, pode apresentar qualidade alterações indesejadas com relação à textura, sabor ou aroma, cor e valor nutricional (ANANDHARAMAKRISHNAN, 2017; MUJUMDAR, 2014). De modo geral, a secagem tem sido uma ótima técnica para conservação de alimentos.

Muitas são as tecnologias de secagem e tipos de secadores, que devem ser escolhidos em função da matéria prima a ser seca e do tipo de produto que se deseja obter. Este capítulo objetivou apresentar e discutir os princípios de métodos de secagem e desidratação, e abordar os efeitos nos parâmetros qualitativos dos produtos secos.

2 SECAGEM CONVECTIVA

A secagem convectiva, ou por ar quente, é o método mais utilizado na secagem de alimentos, pois apresenta alta produção, equipamentos simples e forma diversificada na utilização de energia. A secagem convectiva consiste na exposição do alimento úmido a uma corrente de ar aquecido. Diversos tipos de secadores foram desenvolvidos utilizando esta técnica, como *spray dryer*, secador de bandeja, secador de túnel e secador de leito fluidizado. Desta forma, a secagem convectiva pode ser aplicada a uma ampla gama de alimentos, sejam eles na forma líquida, sólido-líquido ou sólida (MUJUMDAR, 2014).

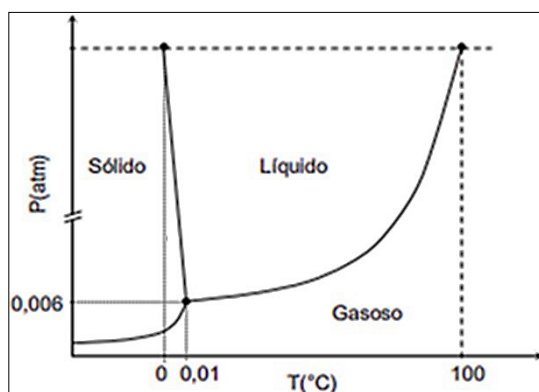
O consumo de energia para promover o aquecimento do ar é elevado, aumentando o custo do processo. Além disto, as altas temperaturas e longos tempos de secagem podem causar alterações indesejáveis na qualidade dos alimentos, tais como degradação de nutrientes e compostos bioativos, escurecimento, dureza excessiva e alterações das características sensoriais. Com isso, para a otimização das características dos alimentos, eficiência energética e redução

do tempo de secagem, vários métodos de secagem utilizando baixa temperatura e ausência de oxigênio têm sido comumente empregados, como é o caso da secagem empregando o vácuo (JANGAM, 2011; PU; SUN, 2017; WANG *et al.*, 2018).

3 SECAGEM A VÁCUO

A secagem a vácuo é um método que utiliza baixa temperatura e pressão inferior a atmosférica ($<101,325$ kPa). Neste método, uma menor demanda de energia para vaporização da água é necessária, pois o sistema a vácuo reduz o ponto de ebulição da água (Figura 1), possibilitando que a água seja removida mais facilmente em baixas temperaturas. Com a redução da pressão, as moléculas de vapor de água migram mais rapidamente para a superfície dos alimentos, pois a pressão de vapor na superfície é mais baixa. Com isso, é formado um gradiente de pressão de vapor entre o interior e a superfície, gerando maiores taxas de secagem (REIS, 2014; PU; SUN, 2017).

Figura 1 – Diagrama de fase da água



Fonte: adaptado de Fellows (2019).

Os alimentos secos por secagem a vácuo são, geralmente, alimentos termossensíveis, altamente oxidáveis e higroscópicos. A secagem a vácuo é mais empregada na secagem de frutas e vegetais, microrganismos probióticos, proteínas, entre outros alimentos (SANTIVARANGKNA; KULOZIK; FOERST, 2007).

As principais vantagens da secagem a vácuo são: aumento da taxa de secagem, pois o vácuo expande o ar e o vapor d'água presentes nos alimentos e cria uma estrutura porosa que facilita a saída de água e, conseqüentemente, reduz o tempo de secagem. Além disso, os alimentos secos a vácuo apresentam melhor qualidade final e preservação de alguns constituintes, devido a utilização de baixas temperaturas de secagem e menor exposição ao oxigênio, resultando na diminuição das reações oxidativas. No entanto, este método apresenta como principal desvantagem o alto custo, pois, para atingir baixos teores de umidade são necessários determinados valores de pressão. A pressão pode também causar deformações da estrutura do produto, dependendo das propriedades viscoelásticas da matriz sólida (AGHBASHLO *et al.*, 2013; JANGAM, 2011; PU; SUN, 2017; ŠUMIĆ *et al.*, 2013).

Com isso, a secagem a vácuo é mais utilizada de forma a complementar um outro método de secagem, tais como, a secagem convectiva, secagem por micro-ondas, secagem por *spray dryer*, liofilização, leite de espuma, entre outros, a fim de garantir alta qualidade do produto em termos sensoriais (sabor, aroma, textura e aparência) e nutricionais (compostos bioativos, vitaminas, entre outros) (AGHBASHLO *et al.*, 2013; JANGAM, 2011; PU; SUN, 2017; ŠUMIĆ *et al.*, 2013).

A eficiência da secagem a vácuo e a qualidade dos produtos secos são influenciados pela temperatura, pressão, espessura e tipo do alimento (AGHBASHLO *et al.*, 2013; REIS, 2014). Vários estudos avaliaram o efeito destes fatores associados a outros métodos de secagem sobre a qualidade dos alimentos, conforme apresentado a seguir.

Mendonça *et al.* (2017) verificaram a influência da secagem convectiva (40 e 60 °C) e a vácuo (10 kPa) nos atributos de qualidade de fatias de pequi com pré-tratamento osmótico (40 e 60% de sacarose). Estes autores verificaram que a secagem à vácuo em temperaturas mais baixas é recomendada para a preparação de fatias secas de pequi, pois este processo apresentou maior retenção de compostos bioativos, menor alteração de cor, tempo de secagem e encolhimento reduzidos.

Šumić *et al.* (2013) avaliaram o processo de otimização da secagem a vácuo de cerejas ácidas congeladas. A faixa de temperatura e pressão investigadas foram de 46-74 °C e 17-583 mbar, respectivamente. De acordo com os resultados obtidos, as condições ótimas de secagem foram 54,03 °C e pressão de vácuo de 148,16 mbar, para os máximos valores de fenólicos totais, vitamina C, antocianina e atividade antioxidante e os mínimos valores de alteração de cor, atividade de água e firmeza.

Ozcan-Sinir *et al.* (2019) estudaram o efeito das secagens com ar quente, vácuo e micro-ondas sobre as características de kumquat (a menor fruta cítrica) e verificaram que a secagem por micro-ondas e a secagem a vácuo a 70 °C e 100 mbar foram capazes de produzir fatias de kumquat de alta qualidade.

Alguns outros estudos compararam a secagem a vácuo com outros métodos de secagem e verificaram que o produto seco a vácuo apresentava melhor qualidade em relação aos outros métodos testados, tais como obtido para banana (THOMKAPANICH; SUVARNAKUTA; DEVAHASTIN, 2007), cenoura (DEVAHASTIN *et al.*, 2004) e folha de malva (ALIBAS; KÖKSAL, 2014).

A definição dos parâmetros ideais para a secagem a vácuo depende de cada tipo de alimento e das propriedades a serem preservadas. Além disso, vale ressaltar que cada método de secagem apresenta pontos fortes e fracos em termos de engenharia e qualidade. Portanto, a escolha de uma ou outra técnica de secagem a vácuo dependerá das necessidades a serem atendidas (REIS, 2014).

4 SECAGEM POR MICRO-ONDAS

As micro-ondas são um dos tipos de ondas eletromagnéticas, sendo restritas a faixa de frequência de 300 MHz a 300 GHz e comprimento de onda de 10^{-3} a 10^0 m. O emprego de micro-ondas em alimentos foi descoberto acidentalmente por Percy Spencer, em 1945, quando ele observou o derretimento de um doce em barra no seu bolso por ondas de radar. A partir dessa observação, alguns estudos com alimentos foram realizados e foi verificado que as micro-ondas poderiam aumentar a temperatura interna dos alimentos muito mais rapidamente do que os fornos convencionais (ATUONWU; TASSOU, 2018).

Atualmente, os sistemas de aquecimento por micro-ondas são restritos a determinadas frequências, sendo mais utilizadas 896 a 915 MHz na escala industrial, 2450 MHz nas escalas científica e doméstica, e 5800 a 24125 MHz na área médica (ATUONWU; TASSOU, 2018).

Na secagem por micro-ondas, as ondas eletromagnéticas penetram nos alimentos e causam o aquecimento volumétrico devido a capacidade dos alimentos em absorvê-las e convertê-las em calor. A capacidade de um alimento em converter energia do micro-ondas em calor depende das suas propriedades dielétricas. Por sua vez, as propriedades dielétricas são influenciadas principalmente pelo teor de umidade, condutividade iônica, temperatura do processo e pela frequência (CHANDRASEKARAN; RAMANATHAN; BASAK, 2013; LV *et al.*, 2019).

O aquecimento do alimento causado pela aplicação das micro-ondas gera um gradiente de pressão de vapor de água entre a parte externa e a parte interna do material, acelerando a transferência de umidade. Esse aquecimento ocorre por mecanismos de reorientação dipolar e condução iônica (CHANDRASEKARAN; RAMANATHAN; BASAK, 2013; KUMAR; KARIM, 2019).

A molécula de água é um dipolo elétrico, ou seja, é uma molécula polar, sendo formada por um átomo de oxigênio carregado negativamente e dois átomos de hidrogênio carregados positivamente.

Quando as micro-ondas são aplicadas na molécula de água, os dipolos da água tendem a se realinhar com o campo elétrico. A alta frequência do campo elétrico faz com que esse realinhamento ocorra bilhões de vezes por segundo e cause o atrito das moléculas, resultando no aquecimento volumétrico do alimento. A maioria dos alimentos apresenta em sua composição a água como componente majoritário (>80%). Com isso, o aquecimento volumétrico dos alimentos pelas micro-ondas é considerado significativo. O aquecimento por micro-ondas pode ocorrer também pela migração oscilatória dos íons dos alimentos (principalmente alimentos salgados ou adicionados de sal), gerando calor na presença de campo elétrico oscilante com alta frequência (CHANDRASEKARAN; RAMANATHAN; BASAK, 2013; KUMAR; KARIM, 2019).

Um processo convencional de secagem por micro-ondas consiste em aplicar um nível de potência fixa em um material sem um controle de temperatura. No entanto, vários estudos relataram que esses fatores devem ser otimizados e controlados cuidadosamente, pois exercem efeito direto sobre o tempo, curva, velocidade e eficiência da secagem, além da qualidade do alimento (HARDY; JIDEANI, 2017; LI; RAGHAVAN; ORSAT, 2010). Além disso, fatores como as propriedades dielétricas dos alimentos, a profundidade de penetração e frequência utilizada podem interferir também na secagem por micro-ondas e sua distribuição de calor no alimento (CHANDRASEKARAN; RAMANATHAN; BASAK, 2013; HARDY; JIDEANI, 2017).

A secagem por micro-ondas é considerada como um método inovador que tem despertado interesse na secagem de alimentos, pois apresenta várias vantagens, tais como: alta taxa de secagem, economia de energia, controle preciso do processo, redução do tempo de secagem e custo de operação, aquecimento volumétrico, minimização do encolhimento do alimento, maior preservação de compostos termosensíveis dos alimentos e maior taxa de reidratação. Além disto, as micro-ondas podem excitar as moléculas de água ligada dos alimentos que são de difícil remoção (JUNQUEIRA; CORRÊA; ERNESTO,

2017; KUMAR; KARIM, 2019; LI *et al.*, 2021). No entanto, esse método apresenta também algumas desvantagens como: alto custo inicial, profundidade de penetração finita, secagem desuniforme, com possível queima em algumas partes do alimento, maior perda de cor e de nutrientes, caso o processo não seja cuidadosamente controlado (ATUONWU; TASSOU, 2018; CHEN *et al.*, 2021; HARDY; JIDEANI, 2017; LI *et al.*, 2021).

De acordo com Hardy e Jideani (2017) e Kumar e Karim (2017), as principais aplicações da secagem por micro-ondas em alimentos é na secagem de massas alimentícias, frutas e vegetais. Além disso, esse método também é utilizado para a secagem de alguns produtos das indústrias madeireira, civil e química.

Para contornar alguns problemas gerados pela secagem por micro-ondas, tais como superaquecimento, pontos quentes e frios dos alimentos, e melhorar ainda mais a eficiência desse processo, fatores como potência e temperatura de secagem podem ser avaliados isoladamente ou em conjunto, além da secagem por micro-ondas poder ser realizada em intermitência e combinada com outros métodos de secagem (CHANDRASEKARAN; RAMANATHAN; BASAK, 2013; HARDY; JIDEANI, 2017; KUMAR; KARIM, 2019).

A combinação de métodos de secagem pode auxiliar na melhor qualidade dos produtos e maior eficiência da secagem do que quando utilizado um método isolado. Comumente, a secagem por micro-ondas tem sido combinada com secagem convectiva e secagem a vácuo. Além disso, inúmeros outros métodos de secagem podem ser combinados com micro-ondas, como desidratação osmótica, secagem em leito de espuma, secagem em leito fluidizado, liofilização, entre outros (CHANDRASEKARAN; RAMANATHAN; BASAK, 2013; HARDY; JIDEANI, 2017; KUMAR; KARIM, 2019).

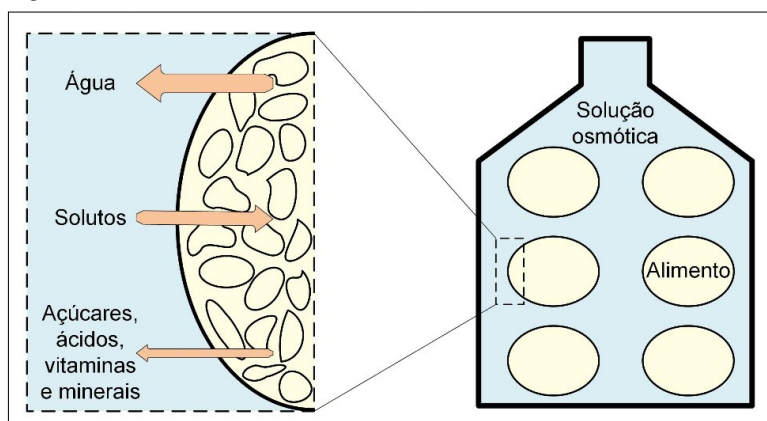
De acordo com Kumar e Karim (2017), a secagem por micro-ondas aliada a secagem convectiva pode reduzir drasticamente o tempo de secagem (25-90%) quando comparado com a secagem por convecção.

O emprego do vácuo na secagem por micro-ondas favorece a formação de vapores em temperaturas reduzidas, aumentando ainda mais as taxas de secagem do processo e promovendo a proteção das moléculas sensíveis contra a degradação térmica e oxidativa (CHANDRASEKARAN; RAMANATHAN; BASAK, 2013; KUMAR; KARIM, 2017).

5 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

A desidratação osmótica (DO) é uma das diversas operações unitárias usadas no processamento de alimentos e consiste na imersão do produto em uma solução hipertônica (solução osmótica). Trata-se de um processo que dispensa a aplicação de calor, o que descaracteriza a DO como um processo de secagem. Devido ao gradiente de pressão osmótica entre o alimento e a solução, ocorrem simultaneamente dois fluxos principais de transferência de massa (Figura 2). O primeiro é a perda de água do alimento para a solução, o que caracteriza a DO como um método de secagem. O segundo fluxo é o ganho de sólidos, migrando da solução para o alimento. Um terceiro fluxo, menos expressivo quantitativamente, mas importante qualitativamente, é a migração de alguns compostos, como açúcar, minerais e vitaminas, do alimento para a solução, por lixiviação através da membrana celular (AHMED; QAZI; JAMAL, 2016; RAMYA; JAIN, 2017).

Figura 2 - Transferências de massa durante a desidratação osmótica



Fonte: os autores (2023).

O segundo e terceiro fluxo ocorrem exclusivamente por difusão, enquanto a transferência de umidade pode ocorrer também pelo fluxo capilar. No fluxo de água, geralmente, a difusão se sobressai em alimentos não porosos, enquanto o fluxo da água por capilar prevalece em alimentos porosos (AHMED; QAZI; JAMAL, 2016).

Considerando todas as transferências de massa durante o tempo de imersão do alimento na solução osmótica, a DO pode reduzir em até 50% o peso do produto osmoticamente desidratado em relação ao produto fresco (AHMED; QAZI; JAMAL, 2016).

Diversos são os parâmetros que influenciam e governam a DO, sejam eles relacionados ao alimento, à solução, ao processo ou aos pré-tratamentos.

Além das características fisiológicas, como variedades de espécies e grau de maturação, o tamanho, geometria, densidade e porosidade do alimento são importantes parâmetros que influenciam a DO. Amostras muito grande dificultam as transferências de massa entre o alimento e a solução osmótica, visto que a difusão é o fenômeno que governa a DO. Alguns alimentos apresentam tamanho pequenos naturalmente, como uva, acerola e açaí, e, portanto, podem ser

submetidos integralmente à DO. No entanto, em alguns alimentos, como uva e ameixa, é necessário que o produto seja submetido a tratamentos que propiciem a remoção ou fissuras na pele. A pele de tais alimentos impedem as transferências de massa ocorram na DO. Por outro lado, alguns alimentos, como banana, maçã e morango, são geralmente cortados/fatiados, formando pequenas amostras de 3 a 10 mm para serem submetidos à DO. Ao serem cortados, as pequenas frações do produto devem apresentar geometria regular e simples, de modo a facilitar as transferências de massa durante a DO. Com isso, normalmente os alimentos são cortados em formatos de cubos, cilindros, esfera ou placas (AHMED; QAZI; JAMAL, 2016).

A diferença de densidade entre o alimento e a solução osmótica deve ser a mínima possível, de forma a evitar que o alimento flutue ou afunde durante a DO. Em alimentos de baixa densidade, este pode flutuar e uma das faces apresentar-se acima da superfície da solução osmótica, não permitindo o contato entre o alimento e a solução osmótica nesta face, prejudicando o desempenho da DO. Contudo, técnicas podem ser adotadas para garantir que todo o material seja coberto pela solução hipertônica.

A porosidade do alimento pode influenciar na densidade. Além disso, a solução osmótica, durante a DO, pode ocupar o lugar dos poros preenchidos com ar. Isso ocorre principalmente em processo em que é aplicado pulso de vácuo no início da DO (YADAV; SINGH, 2014; RAMYA; JAIN, 2017).

A concentração da solução osmótica influencia diretamente nos fluxos que ocorrem durante a DO. Soluções mais concentradas apresentam maior gradiente de pressão osmótica em relação ao alimento, aumentando a força motriz da DO, resultando em maiores transferências de massa. Normalmente, soluções osmóticas entre 30 e 70 °Brix são utilizadas para DO, sendo 40 a 60 °Brix as mais comuns (AHMED; QAZI; JAMAL, 2016; RAMYA; JAIN, 2017). Além da concentração, as propriedades do soluto da solução osmótica, como solubilidade e massa molecular, são importantes parâmetros. A alta solubilidade do soluto

em água garante a uniformidade da solução ao longo de todo o processo de DO (MUÑIZ-BECERÁ; MÉNDEZ-LAGUNAS; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, 2017). Além disto, solutos de alta solubilidade permite a elaboração de soluções mais concentradas, aumentando o gradiente de pressão osmótica, favorecendo as transferências de massa durante a DO.

Solutos de alta massa molecular, como frutooligossacarídeos, apresentam maiores dificuldades de penetração no alimento, ao passo que, solutos de menor massa molecular, como frutose e sacarose, migram da solução para o alimento mais facilmente (AHMED; QAZI; JAMAL, 2016; RAMYA; JAIN, 2017). Diante disso, a sacarose é um dos solutos mais utilizados na DO de frutas (AHMED; QAZI; JAMAL, 2016; CHANDRA; KUMARI, 2015; YADAV; SINGH, 2014;).

Durante a DO, a perda de água e o ganho de sólidos ocorrem majoritariamente nas primeiras horas. Após, a taxa de transferência reduz até atingir o equilíbrio. Isso normalmente demanda cerca de 4 horas, dependendo das características do alimento, propriedades da solução e condições do processo (RAMYA; JAIN, 2017).

A proporção alimento:solução também é um importante fator da DO. Proporções de 1:1 a 1:5 não são recomendadas, pois, com o decorrer da DO, observa-se a diluição da solução osmótica, devido a migração da água do alimento para a solução. Esta diluição, principalmente em processos em que a agitação da solução é baixa, é mais relevante ao redor do alimento, proporcionando, justamente neste local, menores gradientes de pressão osmótica. Por outro lado, a adoção de proporções muito elevadas, como 1:100, demanda uma grande quantidade de solução osmótica, tornando o processo inviável. Com isso, proporções de 1:10 a 1:60 têm sido comumente utilizadas (AHMED; QAZI; JAMAL, 2016; RAMYA; JAIN, 2017).

A aplicação de agitação durante a DO é uma prática eficiente para o aumento das transferências de massa, visto que causa redução da camada limite, devido a turbulência gerada (AHMED; QAZI; JAMAL, 2016). No entanto, agitação excessiva pode resultar na desintegração do alimento (RAMYA; JAIN, 2017). Segundo Ahmed; Qazi e Jamal

(2016), a temperatura é o principal fator na DO. O aumento da temperatura aumenta principalmente a perda de água do alimento, devido ao efeito plastificante das membranas celulares, à redução da viscosidade da solução osmótica e a remoção do ar presente no interior do alimento (AHMED; QAZI; JAMAL, 2016; RAMYA; JAIN, 2017).

Diversos pré-tratamentos têm sido comumente aplicados à DO, buscando acelerar o processo e maximizar a perda de água e ganho de sólidos. Entre eles, tem-se a utilização de ultrassom, pulso de vácuo, campo elétrico pulsado, alta pressão hidrostática e branqueamento (AHMED; QAZI; JAMAL, 2016).

O uso de ondas de ultrassom promove a ocorrência de alternadas expansões e compressões volumétricas, o chamado efeito esponja, e a cavitação com a causando a formação de canais microscópicos que possibilitam a saída do ar presente nos poros do alimento e posterior penetração da solução osmótica nestes poros, aumentando a área de contato alimento:solução (QIU *et al.*, 2019). O pulso de vácuo consiste na redução da pressão durante os primeiros minutos de DO, promovendo a substituição dos gases oclusos presente no interior do alimento pela solução osmótica. Assim como o ultrassom, o pulso de vácuo tem se mostrado eficiente no aumento das taxas de transferências de água e soluto (NAHIMANA *et al.*, 2011).

O campo elétrico pulsado aumenta a permeabilidade da membrana celular, devido a formação de poros na membrana celular, facilitando a passagem de água e soluto (AHMED; QAZI; JAMAL, 2016; NAHIMANA *et al.*, 2011).

A alta pressão hidrostática causa alteração na estrutura da parede celular, aumentando a permeabilidade e, conseqüentemente, aumenta as taxas de transferência de massa durante a DO (AHMED; QAZI; JAMAL, 2016).

O branqueamento pode contribuir com o aumento dos coeficientes de difusão de água e soluto, devido a exposição do alimento à alta temperatura (normalmente 100 °C por 10 a 30 segundos) (AHMED; QAZI; JAMAL, 2016).

O baixo custo do processo, as dispensas de mão de obra qualificada e de tecnologias onerosas e sofisticadas, as baixas degradações de compostos bioativos, cor e aroma e o aumento do sabor doce estão entre as principais vantagens da DO. Por outro lado, é um processo longo, com baixa redução do teor de umidade, o que não garante, por si só, a estabilidade do produto por longos períodos. Por essa razão, a DO é comumente utilizada como pré-tratamento à, por exemplo, secagem convectiva, secagem por micro-ondas e liofilização (AHMED; QAZI; JAMAL, 2016; YADAV; SINGH, 2014).

O destino da solução osmótica após a DO é um entrave do processo. O reaproveitamento da solução osmótica é uma estratégia que pode minimizar a geração de resíduos. O reuso da solução reduz o custo da DO. Após a DO, a solução osmótica contém não somente o soluto da solução, mas também alguns compostos, como vitaminas, minerais e compostos aromáticos, que migram do alimento para a solução. Com isso, diversos estudos têm sido desenvolvidos para aproveitar a solução osmótica após a DO, seja para reutilização para novas DOs, para elaboração de novos produtos, como licores. García-Martínez *et al.* (2002) estudaram a reutilização da solução osmótica na DO de kiwi e concluíram que a solução pode ser reutilizada por pelo menos 10 vezes. Entretanto, essa quantidade de ciclos de reuso depende de alguns parâmetros da DO, como a proporção alimento: solução.

Visto que, além de promover a redução do teor de umidade do alimento, a DO promove a incorporação de sólidos da solução osmótica para o alimento. Com isso, alguns estudos que buscam promover a incorporação de sólidos benéficos à saúde têm sido desenvolvidos visando aumentar o valor nutricional do alimento. Entre esses solutos, Klewicki; Uzcziwek (2008) estudaram a incorporação de frutose, sacarose, nistose e frutooligossacarídeos em ameixa e maçã através da DO.

Com isso, é possível observar que existe um amplo campo aberto para o desenvolvimento de novos estudos sobre DO, sejam aplicando e combinando novas tecnologias ou novos solutos.

6 SECAGEM HÍBRIDA

A secagem híbrida busca associar os benefícios de dois ou mais métodos de secagem, de modo a minimizar custos operacionais, tempo do processo e os impactos ambientais, e proporcionar a produção de alimentos de melhor qualidade. Esta busca tem o intuito de atender à crescente demanda da população por alimentos de alta praticidade, baixo custo e de alta qualidade nutricionais e sensorial (ONWUDE *et al.*, 2017; SAGAR; SURESH KUMAR, 2010).

Os métodos a serem combinados dependem das suas próprias características e “compatibilidade”, e das propriedades do produto a ser seco (FENG; ZHANG; ADHIKARI, 2014). Atualmente, diversas combinações já estão sendo usadas, como: micro-ondas + convectiva, micro-ondas + vácuo, convectiva + infravermelho, convectiva + solar, espuma + micro-ondas, espuma + liofilização, espuma + vácuo, espuma + micro-ondas + vácuo, spray-freeze drying, spray-vacuum drying, (KUMAR; KARIM, 2019; QADRI; SRIVASTAVA; YOUSUF, 2020).

A secagem convectiva assistida por micro-ondas é uma das combinações mais estudadas, mediante aos bons resultados observados. Micro-ondas é um tipo de energia dielétrica que são transmitidas como ondas, que penetram no alimento. A estrutura molecular da água consiste em um dipolo elétrico. A aplicação do micro-ondas faz com que esse dipolo da água e de solutos (como o sal) tendem a se orientar pelo campo elétrico. O campo elétrico muda rapidamente de negativo para positivo e vice-versa milhões de vezes por segundo, fazendo com que os dipolos sigam essas trocas. Com isso, ocorre o aquecimento volumétrico do produto por fricção, forçando a saída da água do interior para a superfície do alimento, devido à maior pressão de vapor gerada dentro do produto. A circulação de ar forçada facilita a remoção da umidade deslocada para a superfície, reduzindo o tempo do processo em 25 a 90% (KUMAR; KARIM, 2019). A redução do tempo de secagem reduz o tempo de exposição do material a

alta temperatura, diminuindo a degradação de compostos sensíveis ao calor. Além disto, A redução dos tempos de secagem no micro-ondas é benéfica para a porosidade, aroma, encolhimento, reidratação. Contudo, a implementação do micro-ondas ao processo de secagem convectivo pode ser muito oneroso e requer componentes mecânicos e eletrônicos sofisticados, impactando negativamente o preço do produto (JANGAM, 2011).

A secagem em leito de espuma consiste na transformação do material úmido em uma espuma estável, através da adição de um agente espumante seguido de bateção, promovendo a incorporação de ar. Essa incorporação de ar aumenta o volume do material, reduz a densidade, perante a formação de bolhas de ar no interior de produto, o que aumenta a ar de contato entre o ar de secagem e o material úmido. Com isso, a secagem em leito de espuma tende a apresentar menor tempo de secagem (HARDY; JIDEANI, 2017). Uma alternativa para minimizar ainda mais o tempo de secagem é a aplicação de vácuo durante a secagem da espuma. O vácuo reduz o ponto de ebulição da água e promove a expansão do produto, facilitando o deslocamento da água pelo produto. Desta forma, a exposição do alimento a alta temperatura é minimizada, aumentando a retenção de nutrientes, como enzimas, vitaminas, flavonoides e polifenóis. A secagem em leito de espuma se destaca pelo baixo custo do processo. No entanto, a exigência de uma câmara de vácuo e a aplicação do vácuo aumentam o custo do processo

O spray freeze drying é um método de secagem que agrega as vantagens da liofilização à secagem por atomização. O spray drying consiste na dispersão de partículas atomizadas, seguido do contato com o ar quente, promovendo a secagem instantânea do material. Esse método apresenta as vantagens de a produção ocorrer em fluxo contínuo, com alta taxa de produção. Contudo, esse método pode causar perdas significativas de materiais voláteis e degradação térmica de materiais sensíveis ao calor, devido à operação em altas temperaturas de entrada (ISHWARYA; ANANDHARAMAKRISHNAN;

STAPLEY, 2015). Por outro lado, a liofilização é capaz de promover uma boa retenção de compostos termossensíveis. Além disso, o produto liofilizado apresenta uma capacidade muito boa de reidratação. Nesse processo, o material úmido é congelado e seco por sublimação em uma secagem primária, seguido de uma dessorção em um processo secundário. Contudo, trata-se de uma operação muito longa e de alto custo operacional (FELLOWS, 2019). O spray freeze drying, portanto, consiste na atomização do líquido, seguido de contato com um fluido frio, que resulta no congelamento das gotículas e posterior secagem por sublimação. Embora seja um excelente método para produção de alimentos em pó, capaz de reter grande quantidade de compostos voláteis e bioativos e produzir pós com qualidade de reconstituição excelente, o spray freeze drying é um processo de alto custo e alta complexidade (ISHWARYA; ANANDHARAMAKRISHNAN; STAPLEY, 2015).

Diversos métodos de secagem híbrida estão em desenvolvimento, especialmente para aumentar a escala de operação do sistema (CHOU; CHUA, 2001; ZIELINSKA *et al.*, 2020). Além disso, novos métodos de secagem híbrida têm sido estudados atualmente, de modo a aprimorar a secagem de alimentos (QADRI; SRIVASTAVA; YOUSUF, 2020). Segundo Qadri; Srivastava; Yousuf (2020), a secagem híbrida é um dos caminhos mais promissores para o avanço significativo da secagem de alimentos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A secagem se mostra como um dos principais métodos de conservação de alimentos, perante a estabilidade e longa vida útil dos alimentos secos. No entanto, os métodos de secagem devem ser continuamente aprimorados com o objetivo de reduzir alterações nutricionais e sensoriais e dos custos do processo.

REFERÊNCIAS

AGHBASHLO, M.; MOBLI, H.; RAFIEE, S.; MADADLOU, A. A review on exergy analysis of drying processes and systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 22, p. 1–22, 2013.

AHMED, I.; QAZI, I. M.; JAMAL, S. Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 34, p. 29–43, 2016.

ALIBAS, I.; KÖKSAL, N. Convective, vacuum and microwave drying kinetics of mallow leaves and comparison of color and ascorbic acid values of three drying methods. **Food Science and Technology**, v. 34, p. 358–364, 2014.

ANANDHARAMAKRISHNAN, C. **Handbook of drying for dairy products**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2017. 339p.

ATUONWU, J. C.; TASSOU, S. A. Quality assurance in microwave food processing and the enabling potentials of solid-state power generators: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 234, p. 1–15, 2018.

CHANDRA, S.; KUMARI, D. Recent Development in Osmotic Dehydration of Fruit and Vegetables: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 55, n. 4, p. 552–561, 2015.

CHANDRASEKARAN, S.; RAMANATHAN, S.; BASAK, T. Microwave food processing—A review. **Food Research International**, v. 52, p. 243–261, 2013.

CHEN, A. *et al.* Experimental study on moisture kinetics and microstructure evolution in apples during high power microwave drying process. **Journal of Food Engineering**, v. 292, p. 110362, 2021.

CHOU, S. K.; CHUA, K. J. New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs. **Trends in Food Science and Technology**, v. 12, n. 10, p. 359–369, 2001.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2019. 922 p.

FENG, L.; ZHANG, M.; ADHIKARI, B. Effect of water on the quality of dehydrated products: a review of novel characterization methods and hybrid drying technologies. **Drying Technology**, v. 32, n. 15, p. 1872–1884, 2014.

GARCÍA-MARTÍNEZ, E. *et al.* Characterisation of reused osmotic solution as ingredient in new product formulation. **Food Research International**, v. 35, n. 2–3, p. 307–313, 2002.

HARDY, Z.; JIDEANI, V. A. Foam-mat drying technology: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 12, p. 2560–2572, 2017.

HARDY, Z.; JIDEANI, V. A. Foam-mat drying technology: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 12, p. 2560–2572, 2017.

ISHWARYA, S. P.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C.; STAPLEY, A. G. F. Spray-freeze-drying: A novel process for the drying of foods and bioproducts. **Trends in Food Science and Technology**, v. 41, n. 2, p. 161–181, 2015.

JANGAM, S. V. An overview of recent developments and some R&D challenges related to drying of foods. **Drying Technology**, v. 29, n. 12, p. 1343–1357, 2011.

JUNQUEIRA, J. R. de J.; CORRÊA, J. L. G.; ERNESTO, D. B. Microwave, convective, and intermittent microwave-convective drying of pulsed vacuum osmodehydrated pumpkin slices. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 6, p. e13250, 2017.

KLEWICKI, R.; UCZCIWEK, M. Effect of osmotic dehydration in fructose, sucrose and fructooligosaccharide solutions on the content of saccharides in plums and apples and their energy value. **Agricultural and Food Science**, v. 17, n. 4, p. 367, 4 dez. 2008.

KUMAR, C.; KARIM, M. A. Microwave-convective drying of food materials: A critical review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 3, p. 379–394, 2019.

KUMAR, C.; KARIM, M. A. Microwave-convective drying of food materials: A critical review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 3, p. 379–394, 2019.

LI, J. *et al.* Microwave drying of balsam pear with online aroma detection and control. **Journal of Food Engineering**, v. 288, p. 1–15, 2021.

LI, Z.; RAGHAVAN, G. S. V.; ORSAT, V. Temperature and power control in microwave drying. **Journal of Food Engineering**, v. 97, p. 478–483, 2010.

LV, W. *et al.* Recent development of microwave fluidization technology for drying of fresh fruits and vegetables. **Trends in Food Science and Technology**, v. 86, n. 17, p. 59–67, 2019.

MENDONÇA, K. S.; CORRÊA, J. L. G.; JUNQUEIRA, J. R. de J.; CIRILLO, M. A.; FIGUEIRA, F. V.; CARVALHO, E. E. N. Influences of convective and vacuum drying on the quality attributes of osmo-dried pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) slices. **Food Chemistry**, v. 224, p. 212–218, 2017.

MUJUMDAR, A. S. **Handbook of industrial drying**. 4. ed. Boca Raton, USA: CRC Press, 2014.

MUÑIZ-BECERÁ, S.; MÉNDEZ-LAGUNAS, L. L.; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, J. Solute Transfer in Osmotic Dehydration of Vegetable Foods: A Review. **Journal of Food Science**, v. 82, n. 10, p. 2251–2259, 2017.

NAHIMANA, H. *et al.* Mass Transfer Modeling and Shrinkage Consideration during Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables. **Food Reviews International**, v. 27, n. 4, p. 331–356, 2011.

ONWUDE, D. I. *et al.* Non-thermal hybrid drying of fruits and vegetables: A review of current technologies. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 43, p. 223–238, 2017.

OZCAN-SINIR, G.; OZKAN-KARABACAK, A.; TAMER, C. E.; COPUR, O. U. The effect of hot air, vacuum and microwave drying on drying characteristics, rehydration capacity, color, total phenolic content and antioxidant capacity of Kumquat (*Citrus japonica*). **Food Science and Technology**, v. 39, p. 475–484, 2019.

PU, Y.-Y.; SUN, D.-W. Combined hot-air and microwave-vacuum drying for improving drying uniformity of mango slices based on hyperspectral imaging visualisation of moisture content distribution. **Biosystems Engineering**, v. 156, p. 108–119, 2017.

QADRI, O. S.; SRIVASTAVA, A. K.; YOUSUF, B. Trends in foam mat drying of foods: Special emphasis on hybrid foam mat drying technology. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 60, n. 10, p. 1667–1676, 2020.

QIU, L. *et al.* Innovative technologies for producing and preserving intermediate moisture foods: A review. **Food Research International**, v. 116, p. 90–102, 2019.

RAMYA, V.; JAIN, N. K. A Review on Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: An Integrated Approach. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 3, p. 1–22, 2017.

REIS, F. R. **Vacuum drying for extending food shelf-life**. 1. ed. 72 p. New York: Springer International Publishing, 2014, 72 p.

SAGAR, V. R.; SURESH KUMAR, P. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 1, p. 15–26, 2010.

SANTIVARANGKNA, C.; KULOZIK, U.; FOERST, P. Alternative drying processes for the industrial preservation of lactic acid starter cultures. **Biotechnology Progress**, v. 23, n. 2, p. 302–315, 2007.

ŠUMIĆ, Z.; TEPIĆ, A.; VIDOVIĆ, S.; JOKIĆ, S.; MALBAŠA, R. Optimization of frozen sour cherries vacuum drying process. **Food Chemistry**, v. 136, p. 55–63, 2013.

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

YADAV, A. K.; SINGH, S. V. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 9, p. 1654–1673, 2014.

ZIELINSKA, M. *et al.* Review of recent applications and research progress in hybrid and combined microwave-assisted drying of food products: Quality properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 60, n. 13, p. 2212–2264, 2020.

Capítulo 4

Spray drying a vácuo: um processo para a secagem de alimentos

Leandro Levate Macedo

Cintia da Silva Araújo

Wallaf Costa Vimercati

Sérgio Henrique Saraiva

Luciano José Quintão Teixeira

1 INTRODUÇÃO

A alta perecibilidade dos alimentos sempre foi um dos grandes desafios para os seres humanos, limitando os períodos de armazenamento e contribuindo drasticamente com o desperdício, especialmente de frutas e vegetais (JAEGER et al., 2018). Atualmente, cerca de 33%

de todos os alimentos produzidos mundialmente são perdidos ou desperdiçados (FAO, 2018). As residências familiares são responsáveis por mais da metade deste valor (STENMARK *et al.*, 2016). Esse cenário gera uma série de impactos negativos na economia e no meio ambiente.

Mediante ao grande desperdício de alimentos, o aprimoramento e o desenvolvimento de métodos de processamento têm sido muito estudados para conservação de alimentos, reduzindo as taxas das alterações microbiológicas, químicas e físicas, com intuito de prolongar a vida útil, mantê-los o mais natural possível e preservando os atributos sensoriais e nutricionais (JAEGER *et al.*, 2018; GOULD, 1996).

Diversas formas de conservação podem ser adotadas para contribuir com a conservação dos alimentos, entre elas: alta pressão hidrostática, campo elétrico pulsado, congelamento, embalagens, fermentação, irradiação, pasteurização, refrigeração e secagem (AMIT *et al.*, 2017; AL-JUHAIMI *et al.*, 2018; GOULD, 1996). Diante a essas técnicas, a secagem é considerada uma das mais antigas e utilizadas pelas indústrias de alimentos (ANANDHARAMAKRISHNAN, 2017).

A secagem, de um modo geral, é uma operação unitária indispensável nas indústrias de alimentos, que pode ser empregada, por exemplo, para a produção de fruta passa, farinha, charque, erva seca, leite em pó, suco em pó, sopa em pó. Esse processo consiste na redução do teor de umidade a níveis que possam minimizar o crescimento de microrganismos e as reações de deterioração, permitindo o aumento da vida útil dos produtos para semanas, meses ou até anos. Além da conservação, a secagem é responsável por reduzir gastos com embalagens, transporte e armazenamento (ANANDHARAMAKRISHNAN, 2017; ANANDHARAMAKRISHNAN; STAPLEY, 2015; ISHWARYA; DUAN *et al.*, 2016; MUJUMDAR, 2014; SAGAR; KUMAR, 2010; SHISHIR; CHEN, 2017).

Diversos métodos de secagem foram desenvolvidos ao longo dos anos, como spray drying, micro-ondas, desidratação osmótica, tambor rotativo, leito de jorro, leito fluidizado, leito de espuma, secador

de caixa, secador de bandejas, secador de túnel, liofilizador, secador solar e pneumático. Entretanto, independentemente da técnica, a secagem é responsável por reduzir a qualidade do produto desidratado em relação ao produto fresco, principalmente, aos aspectos relacionados a textura, sabor, aroma, cor e valor nutricional. Desta forma, muitos estudos têm sido desenvolvidos visando o aprimoramento dos parâmetros dos processos de secagem, de forma a maximizar a conservação das características do produto úmido, para atender satisfatoriamente os consumidores, que tem buscado cada vez mais produtos naturais, nutritivos e com riqueza em compostos bioativos (ANANDHARAMAKRISHNAN, 2017; ANANDHARAMAKRISHNAN; STAPLEY, 2015; ARAÚJO *et al.*, 2017; GOULA; ADAMOPOULOS, 2010; ISHWARYA; ISLAM *et al.*, 2016, 2017b; MICHALSKA; LECH, 2018; RAMOS *et al.*, 2016; SAGAR; KUMAR, 2010; SHISHIR; CHEN, 2017; YAN *et al.*, 2019).

Dentre as novas tecnologias e aprimoramentos realizados às tecnologias já consolidadas de conservação de alimentos, encontra-se o spray drying a vácuo (VSD). O VSD é o resultado da combinação da secagem a vácuo com o spray drying. Nesta operação, o vácuo é aplicado na câmara de secagem do spray dryer, culminando na redução da temperatura de produção do produto em pó, o que tende a minimizar as alterações causadas pela temperatura (AOYAMA; KITAMURA; YAMAZAKI, 2009; ISLAM *et al.*, 2016, 2017b; NAMAVAR *et al.*, 2018; RAMOS *et al.*, 2016; SHISHIR; CHEN, 2017). Diante do exposto, o objetivo desta revisão foi apresentar a função do vácuo na secagem de alimentos, abordar os princípios do spray dryer e do VSD e suas aplicações na conservação de alimentos e expor os efeitos da aplicação do VSD nos alimentos.

2 SECAGEM DE ALIMENTOS

A secagem de alimentos é uma das operações unitárias mais antigas usadas pelos seres humanos, desde antes de 12000 a.C., quando

alimentos, principalmente, carnes e peixes, eram desidratados ao sol. Esta técnica foi aprimorada ao longo dos anos e, atualmente, é um processo fundamental na indústria de alimentos (ANANDHARA-MAKRISHNAN, 2017).

Esta operação unitária consiste na remoção parcial do teor de umidade do alimento através da aplicação de calor, responsável pela ocorrência simultânea de transferência de calor do ar circunvizinho para evaporação da água da superfície do alimento e transferência da umidade interna para a superfície do alimento, seguida de evaporação (MUJUMDAR, 2014).

As condições externas, como pressão, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do ar e as condições internas, como composição do alimento, teor de umidade, espessura, geometria, estrutura, estado físico e difusividade da água, influenciam expressivamente no êxito da secagem e, conseqüentemente, nas propriedades físicas, como textura, porosidade, densidade, tamanho e forma; sensoriais, como cor, sabor e aroma; nutricionais, como teor de vitaminas e compostos bioativos; e funcionais, como capacidade de reidratação (KARAM *et al.*, 2016).

O principal objetivo da secagem é prolongar a vida útil do produto. A diminuição do teor de umidade é responsável pela redução da fração de água livre disponível para participar de reações químicas, reações enzimáticas e proliferação de microrganismos, que deterioram o alimento (ORIKASA *et al.*, 2014). O teor de água livre no alimento é expresso pela atividade de água, definida pela razão da pressão de vapor da água no alimento pela pressão de vapor da água pura, em uma mesma temperatura e pressão atmosférica. Sendo assim, as taxas dessas reações reduzem com a redução da atividade de água, com exceção da reação de oxidação de lipídios, cuja taxa aumenta em valores de atividade de água abaixo de 0,3 (DAMODARAN; PARKIN, 2017).

Em alguns produtos perecíveis, a secagem pode prolongar a vida útil para anos, especialmente quando associada a outras técnicas de conservação. O leite, por exemplo, é um alimento consumido por milhões de pessoas em todo o mundo, porém, é muito perecível,

com vida útil de poucos dias. O leite em pó é um produto da secagem do leite fluido. Esse produto, por sua vez, pode apresentar vida útil de anos (ANANDHARAMAKRISHNAN, 2017).

Paralelamente a extensão do prazo de validade do produto, a secagem contribui com a redução das exigências nas embalagens. Além disso, a secagem reduz custos de transporte e armazenamento, devido à maior estabilidade e redução do peso e volume do produto (MUJUMDAR, 2014).

Inevitavelmente, a secagem provoca alterações nas propriedades físicas, como encolhimento, e químicas, como alteração de cor, textura, aroma, sabor e demais constituintes químicos. Tais ocorrências são responsáveis por reduzir a qualidade do produto (KARAM *et al.*, 2016; MA *et al.*, 2013; MUJUMDAR, 2014; SAGAR; KUMAR, 2010; ZHANG *et al.*, 2018; YAN *et al.*, 2019). Perante a isso, diversos estudos têm sido desenvolvidos visando o aprimoramento dos procedimentos de secagem, de forma a minimizar as alterações no produto seco em relação ao fresco.

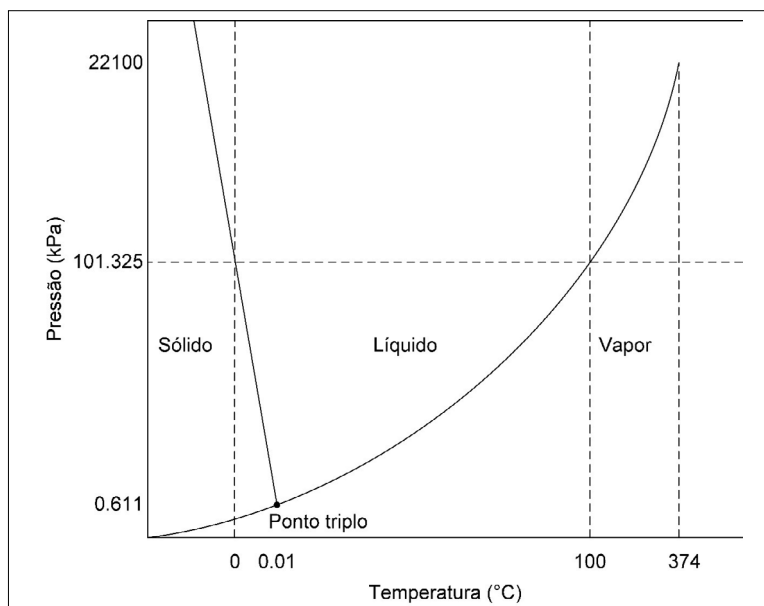
3 SECAGEM A VÁCUO

O vácuo é definido como um meio totalmente vazio, com ausência de átomos. No entanto, esta prática é inviável. Desta forma, comercialmente, o vácuo ocorre quando a densidade do ar é inferior à sua própria densidade nas condições normais de pressão e temperatura, ou seja, é denominado vácuo quando a pressão é inferior a atmosférica. Com base nisso, estudos de secagem a vácuo têm sido conduzidos, geralmente, a pressões entre 1 e 25 kPa (ARÉVALO-PINEDO; MURR, 2006; KITAMURA *et al.*, 2009; ISLAM *et al.*, 2016, 2017a; MICHALSKA; LECH, 2018).

A secagem a vácuo é uma operação unitária realizada a pressão inferior à atmosférica, aplicada, majoritariamente, em processos de secagem indireta (ARÉVALO-PINEDO; MURR, 2006). Em valores de pressão e temperatura acima do ponto triplo da água, a redução

da pressão a uma temperatura constante é responsável por reduzir o ponto de ebulição da água (Figura 1).

Figura 1 - Diagrama de fases da água



Fonte: Karel e Lund (2003).

A evaporação ocorre quando a pressão de vapor da água líquida é superior a pressão de vapor da água na fase gasosa. O vácuo reduz a pressão de vapor da água presente no ar, resultando em maior evaporação da água do alimento para o meio em uma temperatura mais baixa comparada a secagem a pressão atmosférica, diminuindo o tempo de secagem e preservando a qualidade do produto (ZHANG *et al.*, 2018). Os níveis de pressão e temperatura para realização da secagem dependem das propriedades do alimento, mas, usualmente, a secagem a vácuo é conduzida a temperaturas entre 35 e 60 °C (MUJUMDAR, 2014).

Perante a possibilidade de secagem a temperaturas mais brandas, os produtos da secagem a vácuo, geralmente, apresentam maior qualidade sensorial e nutricional, comparado aos métodos de secagem convectiva a pressão atmosférica, preservando a cor e compostos sensíveis ao calor (MUJUMDAR, 2014; ZHANG *et al.*, 2018).

Além de permitir a secagem em temperatura mais baixa, o vácuo expande o ar e o vapor no alimento, criando uma estrutura porosa, favorecendo as transferências de calor e massa, devido ao aumento da relação área/volume (AYKIN-DINÇER; ERBAŞ, 2018; ZHANG *et al.*, 2018). Simultaneamente, a aplicação de vácuo reduz a exposição do produto ao ar, em especial ao oxigênio, reduzindo as taxas das reações oxidativas, como escurecimento e oxidação de lipídeos, contribuindo com a conservação de suas propriedades (KAYACAN; SAGDIC; DOYMAZ, 2018; MUJUMDAR, 2014; ZHANG *et al.*, 2018).

A liofilização é um método de secagem conhecido pela alta qualidade de seus produtos desidratados. Na liofilização, o vácuo é utilizado para sublimar a água do material congelado. Em alguns casos, a sublimação não é capaz de remover a água do alimento em quantidade satisfatória, sendo necessário uma segunda secagem. Esta segunda secagem pode ser realizada por secagem convencional, aplicando-se calor ao produto. No entanto, tem sido proposto a manutenção do vácuo utilizado na sublimação para a realização da secagem secundária sob vácuo, podendo ser realizada a temperatura entre 10 e 35 °C, resultando em mínimas alterações nas propriedades do produto (DUAN *et al.*, 2016).

Kayacan; Sagdic e Doymaz (2018) avaliaram a mudança de cor, teor de fenólicos totais, flavonoides totais e atividade antioxidante de pólen de abelha submetido a seis diferentes métodos de secagem, sendo constatado que, embora todos os métodos tenham proporcionado perdas significativas, a aplicação de vácuo a 45 °C foi o tratamento responsável pelas menores alterações em relação ao pólen in natura.

Orikasa *et al.* (2014) estudaram os impactos da secagem com o ar quente e com vácuo em relação a qualidade de fatias de kiwi e verificaram que o uso do vácuo resultou em maior retenção do teor de ácido ascórbico do kiwi, porém, em relação a secagem com ar quente, não apresentou diferença significativa para dureza, atividade antioxidante e diferença total de cor.

Tian *et al.* (2016) avaliaram os efeitos das técnicas de secagem por ar quente, a vácuo, por micro-ondas e por micro-ondas a vácuo na qualidade de cogumelos. Foi observado que a secagem a vácuo, assim como a secagem com ar quente, resultou no aumento do teor de vitamina B12 nos cogumelos. A secagem por micro-ondas a vácuo resultou em amostras com cor mais próxima a dos cogumelos frescos. O micro-ondas a vácuo e o micro-ondas apresentaram, respectivamente, o maior e o menor teor de compostos voláteis.

Balzarini *et al.* (2018) analisaram o efeito da temperatura, velocidade do ar e pressão de vácuo na qualidade de raízes de chicória secas. Maiores coeficientes de difusividade de umidade e menores valores de energia de ativação foram obtidos utilizando o vácuo. As amostras secas utilizando o secador a vácuo na menor temperatura e na menor pressão apresentaram melhores atributos de retenção de qualidade, isto é, melhor reidratação, menor retração e maior conteúdo fenólico total.

4 SPRAY DRYING

Spray drying é um método de secagem utilizado para produção de alimentos em pó a partir de alimentos líquidos bombeáveis. Trata-se de uma operação rápida, contínua e automatizada. Neste processo, há o contato do alimento pulverizado com uma corrente de gás quente, geralmente ar, resultando na evaporação da umidade rapidamente, produzindo um pó seco e estável (SHISHIR; CHEN, 2017; VERMA; SINGH, 2015).

O spray dryer é um equipamento relativamente simples, de alta taxa de produção e baixo custo de operação. Segundo Mujumdar (2014) e Shishir e Chen (2017), o spray drying pode ser cerca de 4 a 5 vezes mais barato que o processo de liofilização e, de acordo com Semyonov; Ramone e Shimoni (2011), esse custo ainda pode ser reduzido de 6 a 10 vezes. Esse menor custo é devido ao menor consumo de energia e menor tempo de secagem (MUJUMDAR, 2014; SEMYONOV; RAMON; SHIMONI, 2011; SHISHIR; CHEN, 2017). uma vez que a liofilização exige um longo período de resfriamento e uma pressão inferior a 0,6 kPa (FELLOWS, 2000).

A secagem por spray dryer pode ser aplicada à alimentos sensíveis ou resistentes ao calor, produzindo material seco de tamanho, forma, teor de umidade e propriedades do alimento controláveis. Entretanto, possui alto custo de instalação, baixa eficiência energética e pode causar algumas degradações aos alimentos (MUJUMDAR, 2014).

A secagem por spray drying pode ser dividida em 5 etapas: preparo da solução; atomização; contato do spray com o ar quente; secagem das gotículas atomizadas; e separação do produto seco (TON-TUL; TOPUZ, 2017; VERMA; SINGH, 2015).

O preparo da solução é a etapa inicial do spray drying e varia conforme o produto, em que se pode ajustar a viscosidade, teor de sólidos, densidade do alimento e elaborar emulsões. Devido ao custo energético, é desejável que o alimento úmido tenha o máximo teor de sólidos possível, diminuindo a quantidade de água para remover. Nessa etapa, o uso de agentes carreadores é muito comum, entre eles, tem sido utilizado, por exemplo, amido, ciclodextrinas, dióxido de silício coloidal, fosfato tricálcico, gelatina, goma arábica e maltodextrina. Estes agentes são adicionados para reduzir a higroscopicidade, aumentar a temperatura de transição vítrea e proteger o material a ser seco durante o processamento e armazenamento quanto às condições adversas (MICHALSKA; LECH, 2018; SHISHIR; CHEN, 2017; TONON; BRABET; HUBINGER, 2008; TONTUL; TOPUZ, 2017).

Em alguns produtos, principalmente os oriundos de emulsões, é fundamental uma etapa adicional de homogeneização. A homogeneização visa dispersar os constituintes do alimento, de forma a minimizar a aglomeração e reduzir o tamanho médio das gotículas com a finalidade de aumentar a estabilidade do alimento (ENCINA et al., 2018).

A atomização é a etapa mais importante do spray drying, responsável por determinar diversas propriedades do processo e do produto (MUJUMDAR, 2014). Nessa etapa, o produto é transformado em uma grande quantidade de gotículas pequenas, fazendo com que a área superficial do conteúdo líquido seja maior. O aumento da área superficial favorece a transferência de calor do ar para o produto (CAL; SOLLOHUB, 2010; GHARSALLAOUI *et al.*, 2007; NURHADI *et al.*, 2018). A atomização é realizada por atomizadores rotativo, bico pressurizado, bico pneumático (dois fluidos) ou bico ultrassônico. Diversos outros dispositivos para atomização têm sido desenvolvidos nos últimos anos (CAL; SOLLOHUB, 2010; TONTUL; TOPUZ, 2017).

A dispersão das gotículas no ar quente na câmara de secagem pode ocorrer de três formas: concorrente, contracorrente e misto. Para alimentos, o ar de secagem é geralmente injetado no mesmo sentido do produto (concorrente), de modo que o ar e o produto entrem no topo da câmara e escoem em direção ao fundo, onde ambos são separados e o produto é removido do secador. Nesta operação, o produto úmido entra em contato com o ar na temperatura mais alta, de tal forma que, enquanto a água é removida do produto, esse permanece na sua temperatura de bulbo úmido. Quando o produto chega ao seu estado seco, o ar já se resfriou, o que diminui o risco de degradação pela temperatura. Por outro lado, no fluxo contracorrente, o ar com temperatura mais alta entra em contato primeiramente com o produto desidratado, resultando na “queima” do alimento, justificando, portanto, a utilização de fluxo concorrente para alimentos (CAL; SOLLOHUB, 2010; MUJUMDAR, 2014; SOSNIK; SEREMETA, 2015).

Imediatamente após o contato do ar, as gotículas atingem a temperatura de bulbo úmido, iniciando a evaporação da água. A evaporação ocorre até que a temperatura do ar de secagem seja igual à temperatura da partícula (GHARSALLAOUI *et al.*, 2007; TONTUL; TOPUZ, 2017).

A separação do produto seco é, geralmente, realizada por ciclos quando as partículas deixam a câmara de secagem junto com o ar. Outra forma, porém menos comum, é a deposição das partículas no fundo da câmara, com posterior coleta por dispositivos apropriados (CAL; SOLLOHUB, 2010).

O spray drying tem se mostrado como uma boa técnica para secagem de alimentos, como frutas, produtos lácteos, óleos e ovos. Além disso, tem sido utilizado para encapsulamento de enzimas, compostos bioativos, aromáticos, prebióticos e probióticos (AMARA *et al.*, 2016; CANO-CHAUCA *et al.*, 2005; CHEW; TAN; NYAM, 2018; DANTAS *et al.*, 2018; ENCINA *et al.*, 2018; GUERIN *et al.*, 2017; MEDINA-TORRES *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2018; TONON; BRABET; HUBINGER, 2008).

Dantas *et al.* (2018) elaboraram duas formulações de abacate visando avaliar a influência das condições de secagem nas formulações. Foi observado que temperaturas mais altas do ar de secagem em combinação com gotículas menores resultaram em maior rendimento, menores umidade, atividade de água, tamanho da partícula e densidade. Além disso, independente da condição de secagem, a utilização de maltodextrina foi benéfica na preservação do teor de proteínas, ácido ascórbico e compostos fenólicos.

Guerin *et al.* (2017) estudaram o microencapsulamento de *Lactobacillus rhamnosus* GG por spray drying sob diferentes temperaturas do ar de saída, 55, 70 e 85 °C, sendo observado que todas as temperaturas avaliadas permitiram excelentes taxas de sobrevivência bacteriana (redução de <0,5 log). No entanto, apenas a maior temperatura produziu partículas com teores de umidade aceitáveis (<7%).

Tonon; Brabet e Hubinger (2008) avaliaram a influência dos parâmetros do spray drying nas propriedades físico-químicas do açaí, sendo constatado que a temperatura do ar de entrada resultou em maior rendimento do processo e higroscopicidade do pó e menor teor de umidade e retenção de antocianinas. O aumento do fluxo de alimentação resultou em menor rendimento e higroscopicidade e maior teor de umidade. A concentração de maltodextrina apresentou efeito negativo na higroscopicidade do pó e no rendimento e efeito positivo na produção de partículas maiores.

Chranioti; Chanioti e Tzia (2016) analisaram o encapsulamento de glicosídeos de esteviol por spray drying, liofilização e em forno a vácuo, visando minimizar o sabor amargo desses compostos, bem como melhorar suas propriedades. Os produtos obtidos pela secagem por spray dryer apresentaram as melhores características físico-químicas e sensoriais.

Bamidele; Duodu e Emmambux (2019) estudaram o encapsulamento de palmitato de ascorbila por spray dryer utilizando amido de milho e amido de milho com elevado teor de amilose como agentes carreadores. A interação entre o palmitato e a amilose formou um complexo de amilose-lipídeo, resultando no aprisionamento do palmitato de ascorbila na matriz de amido. Com isso, foi observado uma redução significativa na liberação de palmitato de ascorbila durante a hidrólise enzimática do amido, o que possibilita esse composto alcançar o intestino grosso antes de ser liberado, proporcionando efeitos benéficos à saúde.

Hernández-López *et al.* (2018) realizaram a otimização dos parâmetros de secagem do spray dryer para produção de *Lactobacillus pentosus* microencapsulado, variando a temperatura do ar de entrada de 92 a 148 °C e sólidos totais da mistura de 24 a 31%, sendo encontrada a condição ótima em 100 °C com 30% de sólidos totais, obtendo-se, neste ponto, uma eficiência de encapsulação de 98% e pós com 3% de umidade, atividade de água de 0,26 e higroscopicidade de 7,0g/100g.

Embora alguns outros métodos de secagem possam causar maiores degradações de compostos sensíveis ao calor, a principal desvantagem do spray drying é exposição do alimento a temperaturas entre 120 e 250 °C, mesmo que por poucos segundos, o que pode causar a deterioração, normalmente, parcial de alguns constituintes sensíveis ao calor, principalmente utilizando altas temperaturas no ar de entrada no spray dryer (ISLAM *et al.*, 2016; KITAMURA *et al.*, 2009; LANGRISH, 2009).

Langrish (2009) observou uma maior degradação do teor de vitamina C com o aumento da temperatura do ar de entrada. O mesmo foi observado por Zare; Salehi; Niakousari (2012) na secagem de suco de laranja por spray dryer. Diante disso, algumas adaptações ao spray dryer têm sido estudadas, como spray freeze drying, spray chilling, spray drying assistido por ultrassom, spray drying com ar desumidificado e o spray drying à vácuo, para minimizar os danos causados na secagem por spray dryer (DALMORO *et al.*, 2012; ISHWARYA; ANANDHARAMAKRISHNAN; STAPLEY, 2015; ISLAM *et al.*, 2016; OKURO; MATOS JUNIOR; FAVARO-TRINDADE, 2013; SHISHIR; CHEN, 2017).

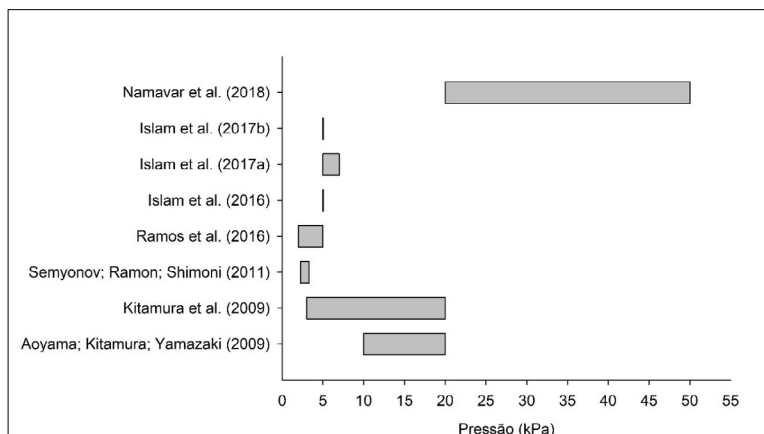
5 SPRAY DRYING A VÁCUO

A secagem por spray drying a vácuo (VSD) é uma associação de dois dos diversos métodos de secagem de alimentos: secagem a vácuo e secagem por spray dryer. Esta técnica tem o mesmo objetivo que o processo realizado a pressão atmosférica, que é produzir materiais secos em pó a partir de fluidos bombeáveis. Entretanto, a aplicação do vácuo confere a evaporação da umidade em temperaturas mais baixas, o que favorece a conservação das características do alimento úmido, principalmente, reduzindo a degradação de compostos sensíveis ao calor e à oxidação (KITAMURA *et al.*, 2009; SEMYOOV; RAMON; SHIMONI, 2011; SHISHIR; CHEN, 2017).

No spray dryer a vácuo, a baixa pressão é aplicada na câmara de secagem. Além desta diferença em relação ao spray drying convencional, é necessário fazer adaptações ao sistema de aquecimento. As demais etapas (preparo da solução, atomização, dispersão das gotículas na câmara de secagem e recolhimento do material seco) são semelhantes ao processo realizado a pressão atmosférica (KITAMURA *et al.*, 2009).

Os valores de pressão aplicados à câmara de secagem do spray dryer a vácuo dependem de diversos parâmetros dos secadores e das características dos alimentos a seres secos. Portanto, os diversos trabalhos adotaram diferentes valores de pressão (Figura 2). Aoyama; Kitamura e Yamazaki (2009) reduziram a pressão na câmara de secagem do spray dryer a vácuo para valores entre 10 e 20 kPa ao secar leite condensado e iogurte pastoso. Kitamura *et al.* (2009) adotaram valores entre 6 e 12 kPa para secagem de alimentos probióticos. Semyonov; Ramon; Shimoni (2011) utilizaram o spray dryer a vácuo para produção de células probióticas a pressão entre 2,27 e 3,33 kPa. Ramos *et al.* (2016) estudaram a secagem de solução de maltodextrina a pressão de 2 a 5 kPa. Islam *et al.* (2016) e Islam *et al.* (2017b) realizaram a secagem de suco de laranja utilizando pressão de aproximadamente 5 kPa. Estudando, também, a secagem de suco de laranja, Islam *et al.* (2017a) adotaram pressão de 5 a 7 kPa. Namavar *et al.* (2018) estudaram a secagem de extrato aquoso de chicória em um intervalo de pressão de 20 a 50 kPa.

Figura 2 - Intervalos de pressão (kPa) adotados



Fonte: os autores (2023).

Embora Kitamura *et al.* (2009) tenham estudado um intervalo de pressão entre 3 e 20 kPa, esses autores sugeriram que a pressão na câmara de secagem deve ser mantida entre 6 e 12 kPa, pois, nesta faixa, ocorreu a secagem na menor temperatura, de aproximadamente, 40 °C.

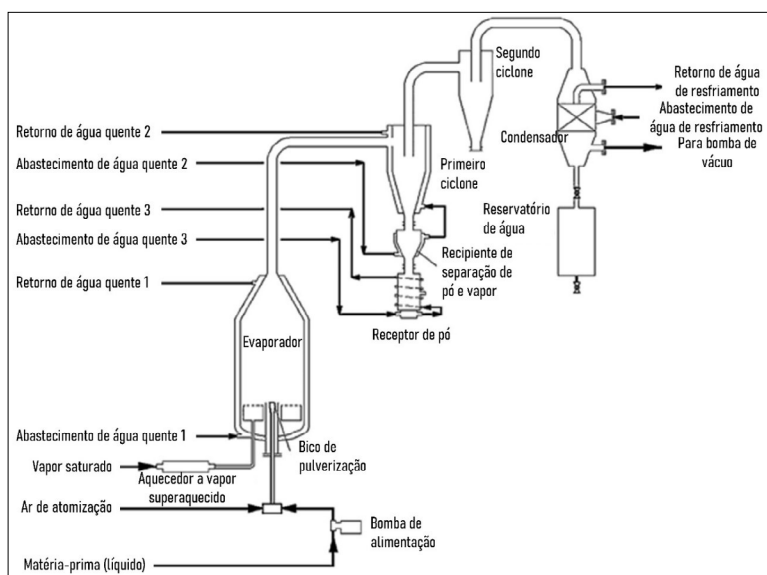
Perante a redução da pressão na câmara de secagem do spray dryer, os produtos são expostos a temperaturas mais baixas, geralmente entre 40 e 60 °C (AOYAMA; KITAMURA; YAMAZAKI, 2009; ISLAM *et al.*, 2016, 2017b; KITAMURA *et al.*, 2009), mas podendo ser utilizado temperaturas inferiores 30 °C (SEMYONOV; RAMON; SHIMONI, 2011) ou entre 50 e 80 °C (NAMAVAR *et al.*, 2018), sendo, portanto, um intervalo de temperatura inferior ao utilizada no spray drying a pressão atmosférica.

Como fonte de calor para secar as gotículas, Aoyama; Kitamura e Yamazaki (2009) e Kitamura *et al.* (2009) utilizaram um aquecedor de infravermelho próximo ao bico atomizador e circulação de ar quente na camisa da câmara de secagem. O principal objetivo desta circulação é evitar a condensação do vapor na superfície interna da parede da câmara de secagem (KITAMURA *et al.*, 2009). Semyonov; Ramon

e Shimoni (2011) e Namavar *et al.* (2018) utilizaram aquecedores elétricos, do tipo bobina, onde o aquecimento ocorre pela transferência do calor da parede da câmara em direção às gotículas. Islam *et al.* (2016), Islam *et al.* (2017a) e Islam *et al.* (2017b) utilizaram aquecedor elétrico para gerar vapor superaquecido a 200 °C. Simultaneamente, a camisa do evaporador é mantida a 50 °C por água quente.

Islam *et al.* (2017b) elaboraram um esquema para representar o spray dryer a vácuo utilizado (Figura 3).

Figura 3 - Esquema de spray dryer a vácuo



Fonte: Islam *et al.* (2017b).

No VSD, o produto úmido é inserido na bomba de alimentação em fluxo ascendente e destinado ao atomizador pneumático juntamente com o ar de atomização. As gotículas são dispersadas na câmara de secagem (evaporador). O vapor supersaturado é aquecido por aquecedores elétricos e introduzido na câmara de secagem, em que o calor sensível do vapor é utilizado como calor latente para

evaporação da água. A câmara de secagem é descomprimida por uma bomba de vácuo, mantendo a pressão de aproximadamente 5 kPa. Uma camisa de circulação de água quente pode ser acoplada a parte externa da câmara, mantendo a parede da câmara em 60 °C para evitar a adesão do produto à parede interna. Esta mesma estratégia pode ser aplicada a outras partes do secador (ISLAM *et al.*, 2017b; KITAMURA *et al.*, 2009). Após a secagem, as partículas são destinadas ao primeiro ciclone, onde ocorre a separação das partículas e o vapor. O segundo ciclone tem o mesmo intuito que o primeiro. Um condensador pode ser utilizado na parte final para recuperação do vapor, para evitar danos à bomba de vácuo causados pelo vapor de água da solução atomizada (ISLAM *et al.*, 2017b).

O VSD é uma técnica recente, ainda pouco explorada. Mediante a isso, poucos estudos ainda foram realizados empregando esse método. Contudo, o VSD tem se mostrado como um método de secagem promissor e com amplo campo a ser pesquisado.

Aoyama; Kitamura e Yamazaki (2009) estudaram a aplicação do vácuo na secagem por spray dryer de leite condensado e polpa de iogurte, comparando os diâmetros das partículas produzidas pelas secagens a pressão atmosférica e a vácuo. Foi constatado que o VSD produziu partículas com diâmetro menor.

Kitamura *et al.* (2009) estudaram a secagem de bebida láctea fermentada e fermento lácteo por VSD. A secagem do fermento lácteo ocorreu em várias temperaturas, de 35 a 120 °C. Já a secagem da bebida láctea fermentada ocorreu a uma temperatura mais alta, devido a menor temperatura de transição vítrea do material, sendo sugerido a adição de agentes carreadores, como maltodextrina. Foi concluído que a menor temperatura de secagem foi responsável pela maior retenção da atividade microbiana, visto que a 35 °C a atividade microbiana foi mantida em 30% e a 120 °C foi inferior a 5%.

Semyonov; Ramon; Shimoni (2011) submeteram *Lactobacillus casei subsp. paracasei* LMG P-21380 a microencapsulação com maltodextrina, utilizando secagem por spray dryer a vácuo assistido de

ultrassom, obtendo uma alta taxa de sobrevivência ($70,6 \pm 6,2\%$) dessas células probióticas.

Ramos *et al.* (2016) submetem soluções de maltodextrina a secagem por VSD e a pressão atmosférica. O sistema a vácuo produziu partículas maiores, mais solúveis, menos densas, com menor teor de umidade e menor atividade de água que o sistema convencional. Esses autores, portanto, recomendam o uso do spray dryer a vácuo para produção de pós ricos em compostos termossensíveis.

Islam *et al.* (2016) avaliaram as propriedades físico-químicas de suco de laranja em pó produzidos por spray dryer a vácuo utilizando maltodextrina. Os pós apresentaram baixo teor de umidade (2,29-3,49%), baixa atividade de água (0,15-0,25) e maior temperatura de transição vítrea, conferindo maior estabilidade ao produto. Além disso, foi observado uma retenção máxima de 71,01% de ácido ascórbico.

Islam *et al.* (2017a) avaliaram a cinética da degradação e a estabilidade do teor de ácido ascórbico, cor e atividade antioxidante de suco de laranja em pó produzido por VSD, em diferentes concentrações de maltodextrina, durante 90 dias em três diferentes temperaturas. A VSD produziu pós com teor de umidade entre 3,42 e 4,50% e atividade de água entre 0,30 e 0,37, minimizou a perda de cor, principalmente na maior concentração de maltodextrina. O avançar do tempo e o armazenamento em temperatura mais alta influenciou negativamente a cor e o teor de ácido ascórbico. A atividade antioxidante aumentou no início do armazenamento na temperatura mais alta e depois diminuiu ligeiramente após 60 dias. A temperatura de transição vítrea dos pós diminuiu com o aumento da atividade de água. Nesse trabalho, os autores concluíram que o VSD é capaz de produzir suco de laranja em pó com maior proporção de suco do que o spray drying convencional, resultando em produtos com alta retenção de ácido ascórbico.

Islam *et al.* (2017b) estudaram a produção de suco de laranja em pó combinando a moagem micro úmida (MWM) com o VSD. Foi

observado que os pós produzidos por VSD retiveram maior quantidade de ácido ascórbico, teor de fenólicos totais e flavonoides totais do que a secagem por spray dryer, sendo concluído que a combinação da MWM e VSD apresentou um grande potencial para a indústria de alimentos para produção de sucos em pó.

Hamawand *et al.* (2017) estudaram a dessalinização da água utilizando VSD movido por energia solar, sendo observado que esta técnica é bastante eficiente, podendo produzir cerca de 15 kg de água doce/m²/dia, dependendo da energia solar fornecida.

Namavar *et al.* (2018) realizaram secagem de chicória utilizando spray dryer a vácuo ultrassônico, variando as temperaturas de entrada, pressão e concentrações de maltodextrina. Foi realizado uma otimização dos níveis destes três fatores, em relação ao teor de fenólicos totais, flavonoides totais, atividade antioxidante, teor de umidade, densidade aparente, molhabilidade e solubilidade. O ponto ótimo foi encontrado na temperatura de entrada, pressão e concentração de maltodextrina de 50 °C, 20 kPa e 4,7%, respectivamente.

6 LIMITAÇÕES DO VSD

Os processos de secagem que empregam vácuo, incluindo o VSD, são considerados muito caros para produção em larga escala (KHIN; ZHOU; PERERA, 2005), fazendo com que esses métodos de secagem sejam adotados, majoritariamente, como tecnologias secundárias, ou seja, inicia-se a secagem com um método mais barato e, por fim, emprega-se a secagem a vácuo. Esta tática se justifica, uma vez que os maiores danos causados por altas temperaturas ocorrerem no período em que a taxa de secagem é decrescente (MUJUMDAR, 2014). No entanto, ainda assim, é um método mais barato que o spray freeze drying (KITAMURA *et al.*, 2009).

Assim como no spray drying a pressão atmosférica, a secagem de materiais ricos em açúcar, como suco de frutas e vegetais, representa uma grande dificuldade para secar na ausência de agentes carreadores,

devido à viscosidade e baixa temperatura de transição vítrea, causando deposição na parede da câmara de secagem e reduzindo a eficiência do processo. Além disso, apresenta uma baixa eficiência energética e pouco controle do tamanho das gotículas (SHISHIR; CHEN, 2017).

Kitamura *et al.* (2009) afirmam que o VSD precisa ser aprimorado para reduzir ainda mais o teor de umidade do pó e aumentar a porcentagem de recuperação de sólidos, especialmente em procedimentos que não utilizam agentes carreadores.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A secagem é uma operação indispensável no processamento de alimentos e, portanto, deve ser cada vez mais estudada para promover aprimoramento dos métodos existentes e desenvolvimento de novos métodos, de forma a minimizar os danos causados aos alimentos desidratados.

O spray drying a vácuo é uma técnica promissora na tecnologia do processamento de alimentos e, portanto, há a necessidade de se desenvolver novas pesquisas utilizando este mecanismo, avaliando a aplicação e os efeitos em uma maior gama de alimentos. Além disso, é fundamental a elaboração de spray dryers a vácuo que apresentem menores custos de operação e que possam atuar satisfatoriamente mesmo na ausência de agentes carreadores.

REFERÊNCIAS

AL-JUHAIMI, F.; GHAFOR, K.; ÖZCAN, M. M.; JAHURUL, M. H. A.; BABIKER, E. E.; JINAP, S.; SAHENA, F.; SHARIFUDIN, M. S.; ZAIDUL, I. S. M. Effect of various food processing and handling methods on preservation of natural antioxidants in fruits and vegetables. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 10, p. 3872–3880, 2018.

AMARA, C. Ben; EGHBAL, N.; DEGRAEVE, P.; GHARSALLAOUI, A. Using complex coacervation for lysozyme encapsulation by spray-drying. **Journal of Food Engineering**, v. 183, p. 50–57, 2016.

AMIT, S. K.; UDDIN, M. M.; RAHMAN, R.; ISLAM, S. M. R.; KHAN, M. S. A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing. **Agriculture and Food Security**, v. 6, n. 1, p. 1–22, 2017.

ANANDHARAMAKRISHNAN, C. **Handbook of drying for dairy products**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2017.

AOYAMA, R.; KITAMURA, Y.; YAMAZAKI, K. Experimental analysis of spraying and drying characteristics in vacuum spray dryer. **Japan Journal of Food Engineering**, v. 10, n. 2, p. 127–133, 2009.

ARAÚJO, C. da S.; MACEDO, L. L.; VIMERCATI, W. C.; SARAIVA, S. H.; OLIVEIRA, A. do N.; TEIXEIRA, L. J. Q. Cinética de secagem de acerola em leite de espuma e ajuste de modelos matemáticos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, 2017.

ARÉVALO-PINEDO, A.; MURR, F. E. X. Kinetics of vacuum drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*): Modeling with shrinkage. **Journal of Food Engineering**, v. 76, n. 4, p. 562–567, 2006.

AYKIN-DINÇER, E.; ERBAŞ, M. Drying kinetics, adsorption isotherms and quality characteristics of vacuum-dried beef slices with different salt contents. **Meat Science**, v. 145, p. 114–120, 2018.

BALZARINI, M. F.; REINHEIMER, M. A.; CIAPPINI, M. C.; SCENNA, N. J. Comparative study of hot air and vacuum drying on the drying kinetics and physicochemical properties of chicory roots. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 10, p. 4067–4078, 2018.

BAMIDELE, O. P.; DUODU, K. G.; EMMAMBUX, M. N. Encapsulation and antioxidant activity of ascorbyl palmitate with normal and high amylose maize starch by spray drying. **Food Hydrocolloids**, v. 86, p. 124–133, 2019.

CAL, K.; SOLLOHUB, K. Spray Drying Technique. I: Hardware and Process Parameters. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 99, n. 2, p. 575–586, 2010.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420–428, 2005.

CHEW, S. C.; TAN, C. P.; NYAM, K. L. Microencapsulation of refined kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) seed oil by spray drying using β -cyclodextrin/gum arabic/sodium caseinate. **Journal of Food Engineering**, v. 237, p. 78–85, 2018.

CHRANIOTI, C.; CHANIOTI, S.; TZIA, C. Comparison of spray, freeze and oven drying as a means of reducing bitter aftertaste of steviol glycosides (derived from *Stevia rebaudiana* Bertoni plant) - Evaluation of the final products. **Food Chemistry**, v. 190, p. 1151–1158, 2016.

DALMORO, A.; BARBA, A. A.; LAMBERTI, G.; D'AMORE, M. Intensifying the microencapsulation process: Ultrasonic atomization as an innovative approach. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v. 80, n. 3, p. 471–477, 2012.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Fennema's food chemistry**. 5. ed. Boca Raton: CRC Press, 2017.

DANTAS, D.; PASQUALI, M. A.; CAVALCANTI-MATA, M.; DUARTE, M. E.; LISBOA, H. M. Influence of spray drying conditions on the properties of avocado powder drink. **Food Chemistry**, v. 266, p. 284–291, 2018.

DUAN, X.; YANG, X.; REN, G.; PANG, Y.; LIU, L.; LIU, Y. Technical aspects in freeze-drying of foods. **Drying Technology**, v. 34, n. 11, p. 1271–1285, 2016.

ENCINA, C.; MÁRQUEZ-RUIZ, G.; HOLGADO, F.; GIMÉNEZ, B.; VERGARA, C.; ROBERT, P. Effect of spray-drying with organic solvents on the encapsulation, release and stability of fish oil. **Food Chemistry**, v. 263, p. 283–291, 2018.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Gender and food loss in sustainable food value chains - a guiding note**. [s.l: s.n.]

FELLOWS, P. J. **Food processing technology**. 2. ed. [s.l.] Woodhead Publishing Limited, 2000.

GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**, v. 40, n. 9, p. 1107–1121, 2007.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. A new technique for spray drying orange juice concentrate. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, n. 2, p. 342–351, 2010.

GOULD, G. W. Methods for preservation and extension of shelf life. **International Journal of Food Microbiology**, v. 33, n. 1, p. 51–64, 1996.

GUERIN, J.; PETIT, J.; BURGAIN, J.; BORGES, F.; BHANDARI, B.; PERROUD, C.; DESOBRY, S.; SCHER, J.; GAIANI, C. Lactobacillus rhamnosus GG encapsulation by spray-drying: Milk proteins clotting control to produce innovative matrices. **Journal of Food Engineering**, v. 193, p. 10–19, 2017.

HAMAWAND, I.; LEWIS, L.; GHAF FOUR, N.; BUNDSCHUH, J. Desalination of salty water using vacuum spray dryer driven by solar energy. **Desalination**, v. 404, p. 182–191, 2017.

HERNÁNDEZ-LÓPEZ, Z.; RANGEL-VARGAS, E.; CASTRO-ROSAS, J.; GÓMEZ-ALDAPA, C. A.; CADENA-RAMÍREZ, A.; ACEVEDO-SANDOVAL, O. A.; GORDILLO-MARTÍNEZ, A. J.; FALFÁN-CORTÉS, R. N. Optimization of a spray-drying process for the production of maximally viable microencapsulated Lactobacillus pentosus using a mixture of starch-pulque as wall material. **LWT - Food Science and Technology**, v. 95, p. 216–222, 2018.

ISHWARYA, S. P.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C.; STAPLEY, A. G. F. Spray-freeze-drying: A novel process for the drying of foods and bioproducts. **Trends in Food Science and Technology**, v. 41, n. 2, p. 161–181, 2015.

ISLAM, M. Z.; KITAMURA, Y.; KOKAWA, M.; MONALISA, K. Degradation kinetics and storage stability of vacuum spray-dried micro wet-milled orange juice (*Citrus unshiu*) Powder. **Food and Bioprocess Technology**, v. 10, n. 6, p. 1002–1014, 2017a.

ISLAM, M. Z.; KITAMURA, Y.; KOKAWA, M.; MONALISA, K.; TSAI, F.-H.; MIYAMURA, S. Effects of micro wet milling and vacuum spray drying on the physicochemical and antioxidant properties of orange (*Citrus unshiu*) juice with pulp powder. **Food and Bioproducts Processing**, v. 101, n. 2012, p. 132–144, 2017b.

ISLAM, M. Z.; KITAMURA, Y.; YAMANO, Y.; KITAMURA, M. Effect of vacuum spray drying on the physicochemical properties, water sorption and glass transition phenomenon of orange juice powder. **Journal of Food Engineering**, v. 169, p. 131–140, 2016.

JAEGER, S. R.; MACHÍN, L.; ASCHEMANN-WITZEL, J.; ANTÚNEZ, L.; HARKER, F. R.; ARES, G. Buy, eat or discard? A case study with apples to explore fruit quality perception and food waste. **Food Quality and Preference**, v. 69, n. September 2017, p. 10–20, 2018.

KARAM, M. C.; PETIT, J.; ZIMMER, D.; BAUDELAIRE DJANTOU, E.; SCHER, J. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 188, p. 32–49, 2016.

KAREL, M.; LUND, D. B. **Physical principles of food preservation**. 2. ed. [s.l.] CRC Press, 2003.

KAYACAN, S.; SAGDIC, O.; DOYMAZ, I. Effects of hot-air and vacuum drying on drying kinetics, bioactive compounds and color of bee pollen. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 12, n. 2, p. 1274–1283, 2018.

KHIN, M. M.; ZHOU, W.; PERERA, C. Development in the combined treatment of coating and osmotic dehydration of food: a review. **International Journal of Food Engineering**, v. 1, n. 1–Art 4, p. 1–21, 2005.

KITAMURA, Y.; ITOH, H.; ECHIZEN, H.; SATAKE, T. V. S. D. O. P. F. I. W. L. A. B. Experimental vacuum spray drying of probiotic foods included with lactic acid bacteria. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 33, n. 6, p. 714–726, 2009.

LANGRISH, T. A. G. Degradation of vitamin c in spray dryers and temperature and moisture content profiles in these dryers. **Food and Bioprocess Technology**, v. 2, n. 4, p. 400–408, 2009.

MA, L.; CHEN, H.; ZHU, W.; WANG, Z. Effect of different drying methods on physicochemical properties and antioxidant activities of polysaccharides extracted from mushroom *Inonotus obliquus*. **Food Research International**, v. 50, n. 2, p. 633–640, 2013.

MEDINA-TORRES, L.; CALDERAS, F.; NUÑEZ RAMÍREZ, D. M.; HERRERA-VALENCIA, E. E.; BERNAD BERNAD, M. J.; MANERO, O. Spray drying egg using either maltodextrin or nopal mucilage as stabilizer agents. **Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 13, p. 4427–4435, 2017.

MICHALSKA, A.; LECH, K. The Effect of carrier quantity and drying method on the physical properties of apple juice powders. **Beverages**, v. 4, n. 2, p. 1–15, 2018.

MUJUMDAR, A. S. **Handbook of industrial drying**. 4. ed. Boca Raton, USA: CRC Press, 2014.

NAMAVAR, S. S.; CHAYJAN, R. A.; PARIAN, J. A.; ZOLFIGOL, M. A. Experimental optimization of chicory root (*Cichorium intybus* L.) aqueous extracts formulation by novel approach of ongoing ultrasonic vacuum spray drying using response surface methodology. **Journal of Food Process Engineering**, p. 1–16, 2018.

NURHADI, B.; SUKRI, N.; SUGANDI, W. K.; WIDANTI, A. P.; RESTIANI, R.; NOFLIANRINI, Z.; REZAHARSAMTO, B.; HERU-DIYANTO, M. Comparison of crystallized coconut sugar produced by traditional method and amorphous coconut sugar formed by

two drying methods: vacuum drying and spray drying. **International Journal of Food Properties**, v. 21, n. 1, p. 2339–2354, 2018.

OKURO, P. K.; MATOS JUNIOR, F. E. de; FAVARO-TRINDADE, C. S. Technological Challenges for Spray Chilling Encapsulation of Functional Food Ingredients. **Food Technology and Biotechnology**, v. 51, n. 2, p. 171–182, 2013.

ORIKASA, T.; KOIDE, S.; OKAMOTO, S.; IMAIZUMI, T.; MURAMATSU, Y.; TAKEDA, J.; SHIINA, T.; TAGAWA, A. Impacts of hot air and vacuum drying on the quality attributes of kiwifruit slices. **Journal of Food Engineering**, v. 125, p. 51–58, 2014.

RAMOS, F. de M.; OLIVEIRA, C. C. M. de; SOARES, A. S. P.; SILVEIRA JUNIOR, V. Assessment of differences between products obtained in conventional and vacuum spray dryer. **Food Science and Technology**, v. 36, n. 4, p. 724–729, 2016.

SAGAR, V. R.; KUMAR, P. S. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 1, p. 15–26, 2010.

SEMYONOV, D.; RAMON, O.; SHIMONI, E. Using ultrasonic vacuum spray dryer to produce highly viable dry probiotics. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 9, p. 1844–1852, 2011.

SHISHIR, M. R. I.; CHEN, W. Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. **Trends in Food Science and Technology**, v. 65, p. 49–67, 2017.

SILVA, D. F.; HIRSCHBERG, C.; AHRNÉ, L.; HOUGAARD, A. B.; IPSEN, R. Cheese feed to powder: Effects of cheese age, added dairy ingredients and spray drying temperature on properties

of cheese powders. **Journal of Food Engineering**, v. 237, p. 215–225, nov. 2018.

SOSNIK, A.; SEREMETA, K. P. Advantages and challenges of the spray-drying technology for the production of pure drug particles and drug-loaded polymeric carriers. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 223, p. 40–54, 2015.

STENMARK, Å.; JENSEN, C.; QUESTED, T.; MOATES, G. **Estimates of european food waste levels**. Sweden: IVL Swedish Environmental Research Institute, 2016.

TIAN, Y.; ZHAO, Y.; HUANG, J.; ZENG, H.; ZHENG, B. Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms. **Food Chemistry**, v. 197, p. 714–722, 2016.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 3, p. 411–418, 2008.

TONTUL, I.; TOPUZ, A. Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. **Trends in Food Science and Technology**, v. 63, p. 91–102, 2017.

VERMA, A.; SINGH, S. V. Spray Drying of Fruit and Vegetable Juices—A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 55, n. 5, p. 701–719, 2015.

YAN, J.-K.; WU, L.-X.; QIAO, Z.-R.; CAI, W.-D.; MA, H. Effect of different drying methods on the product quality and bioactive

polysaccharides of bitter gourd (*Momordica charantia* L.) slices. **Food Chemistry**, v. 271, p. 588–596, 2019.

ZARE, D.; SALEHI, A.; NIAKOUSARI, M. Determination of Physical Properties of Sour Orange Juice Powder Produced by a Spray Dryer. In: 2012 Dallas, Texas, July 29 - August 1, 2012, 1, St. Joseph, MI. **Anais...** St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2012.

ZHANG, W.; PAN, Z.; XIAO, H.; ZHENG, Z.; CHEN, C.; GAO, Z. Pulsed vacuum drying (PVD) technology improves drying efficiency and quality of Poria cubes. **Drying Technology**, v. 36, n. 8, p. 908–921, 2018.

Capítulo 5

A pervaporação na recuperação de aromas

Gisele da Silva Polvarini

Gustavo Victor Louvain

Leandro Levate Macedo

Luciano José Quintão Teixeira

1 INTRODUÇÃO

O olfato é o sentido filogenético mais antigo do mundo, com suas células receptoras enviando sinapses constantes para o córtex piriforme, que por sua vez vão distribuir esses estímulos à diversas zonas cerebrais, como o hipotálamo, as amígdalas, o córtex temporal, entre outras (KRUSEMARK *et al.*, 2013). Esta percepção humana dos cheiros está diretamente associada à nossa memória olfativa, classificando os aromas percebidos como “bom” ou “ruim” (CALDEIRA, 2004).

Corbett (2006) afirma que os odores são primeiramente processados pelo sistema límbico, responsável por todas as respostas emocionais dos mamíferos e localizado abaixo do córtex, onde ocorrerá nossa resposta cognitiva. Os aromas são processados também em estruturas como o hipocampo, principal responsável pelo armazenamento das memórias e as amígdalas, estruturas pertencentes aos sistemas respiratório e digestivo (CORBETT, 2006; COSTA; FARIAS, 2011).

Portanto, a nossa percepção dos aromas possui ligação estreita com a alimentação, pois quando as células receptoras detectam os compostos voláteis aromáticos liberados por determinado alimento, o cérebro ativa a memória do sabor associado àquele aroma, acarretando o desejo de consumir. Na área alimentar, utiliza-se o termo em inglês *flavour* ou *flavor* para designar esta interação entre o sabor e o aroma na formação de determinada percepção quanto ao gosto dos alimentos (PALAZZO *et al.*, 2019).

Prescott (1999) definiu *flavour* como uma representação cognitiva do gosto (taste), pois a intensidade sensorial qualitativa não pode ser percebida apenas com os sensores gustativos. O sabor de algo depende de uma percepção conjunta entre o gosto e o aroma, com o último tendo a habilidade de intensificar a percepção humana do primeiro. Por isso, descrevemos odores com características gustativas primárias, como “cheiro adocicado” e “cheiro azedo”, por exemplo.

Para a indústria alimentícia, o aroma é extremamente importante, fazendo parte do conjunto de fatores que tornam o produto marcante para o consumidor. Entretanto, a grande maioria dos produtos comercializados industrialmente precisam ser submetidos a algum tipo de tratamento térmico, a fim de garantir sua inocuidade microbiológica e/ou seus parâmetros quanto à textura e sabor (SIMÕES; WASZCZYNSKYJ; WOSIACKI, 2009).

As moléculas aromáticas possuem baixo peso molecular e são altamente voláteis, consequentemente, facilmente degradadas quando submetidas a elevadas temperaturas (SIMÕES; WASZCZYNSKYJ; WOSIACKI, 2009). Assim sendo, nos últimos anos se tem focado

bastante em tecnologias emergentes que atuem na conservação e/ou recuperação destes compostos aromáticos (CASTRO-MUÑOZ, 2019). Atualmente, há alguns métodos utilizados para recuperar aromas nos alimentos, principalmente em bebidas, como, destilação, extração por fluido supercrítico, adsorção e pervaporação.

A destilação é um processo baseado na diferença de volatilidade dos compostos. Para a recuperação de aromas, utiliza-se a destilação centrífuga de coluna com cone giratório, que otimiza a transferência de massa entre as fases líquido/vapor com a rotatividade dos cones. Ela possui, também, as vantagens de operar em temperaturas inferiores e um menor tempo de retenção do produto (SAFFARIONPOUR; OTTENS, 2018).

Já a extração por fluido supercrítico é um processo que utiliza as fases líquido/sólido e um fluido supercrítico, ou seja, um solvente específico com pressão e temperatura em níveis superiores ao ponto crítico. O dióxido de carbono supercrítico (CO_2) é o mais comumente utilizado. A efetividade desta técnica varia de acordo com a composição do produto e a polaridade dos seus componentes aromáticos e possui um custo inicial elevado. No entanto, após implementada, se torna mais viável, pois o fluxo de tratamento é contínuo (BEJARANO; SIMÕES; DEL VALLE, 2016; BEJARANO; DEL VALLE, 2017).

A adsorção é um processo que utiliza uma fase líquida e uma fase sólida auxiliar. Trata-se de uma técnica bastante seletiva que pode ser aplicada segundo sua afinidade de ligação, carga de troca iônica, hidrofobicidade, polaridade ou tamanho molecular. É utilizado como agente adsorvente da fase sólida auxiliar principalmente substâncias como, carvão ativado, quitosana, zeólitos e resinas sintéticas (CONIDI; DRIOLI; CASSANO, 2020; WYLOCK *et al.*, 2015).

O processo de pervaporação utiliza fases líquida/vapor e um processo seletivo de filtração através de cerâmicas seletivas ou membranas poliméricas. É uma técnica frequentemente utilizada na recuperação de compostos aromáticos muito sensíveis à elevadas temperaturas (RAISI; AROUJALIAN, 2011; SAFFARIONPOUR; OTTENS, 2018).

A pervaporação vem se destacando por se tratar de um processo seletivo que admite execução em temperaturas moderadas a fim de recuperar compostos voláteis (CASTRO-MUÑOZ, 2019). Ao longo deste capítulo, serão abordados, detalhadamente, este processo e suas aplicações na indústria de alimentos.

2 PROCESSOS DE RECUPERAÇÃO DE AROMAS

Os compostos aromáticos presentes nos alimentos, principalmente nos líquidos, possuem propriedades físicas distintas, como, a solubilidade, volatilidade e hidrofobicidade. Dependendo do tratamento térmico à que o alimento é submetido, as propriedades destes compostos podem sofrer alterações acarretadas por reações de oxirredução nos principais grupos ativos dos compostos orgânicos aromáticos voláteis, sendo estes, álcoois, ésteres, aldeídos, ácidos carboxílicos, fenóis, terpenos, pirazinas e dicetonas (SAFFARIONPOUR; OTTENS, 2018).

Altas temperaturas são catalisadoras de reações de oxirredução, muitas vezes agindo em conjunto com enzimas, açúcares, proteínas e lipídios presentes no próprio alimento. O calor leva a perdas consideráveis destes compostos aromáticos, assim como alterações e formação de compostos derivados, como ocorre na Reação de Maillard, por exemplo (MOTTRAM, 2007), tornando necessário o desenvolvimento de processos capazes de conservar os aromas por meio do conhecimento das propriedades dos grupos ativos nos compostos aromáticos.

A recuperação de aromas é aplicada, principalmente, em alimentos líquidos, como sucos, bebidas alcoólicas e infusões (chá e café) (KARLSSON; TRÄGÅRDH, 1997). Muitos esforços têm se voltado para a aplicação da recuperação de aromas na indústria de sucos, pois a concentração é um processo extremamente necessário, principalmente, quando se fala de exportação para outros países, como é o caso do suco de laranja (SILVA; JARDINE; MATTA, 1998).

O suco de laranja é considerado um dos sucos mais apreciados do mundo e o Brasil é responsável por 80% da sua produção. A concentração é necessária para facilitar e baratear o transporte, além de garantir maior tempo de vida útil ao produto. Porém, o principal mecanismo de concentração é a evaporação, o que acarreta grandes perdas aromáticas no suco. O processo de concentração é o maior responsável por perdas aromáticas na indústria alimentícia (SILVA; JARDINE; MATTA, 1998). No entanto, já existem algumas alternativas viáveis para a recuperação de aromas, as mais comumente utilizadas são a destilação, extração por fluido supercrítico, adsorção e pervaporação (KARLSSON; TRÄGÅRDH, 1997).

A destilação é uma operação unitária que utiliza o calor como separador em uma mistura com substâncias contendo pontos de ebulição diferentes. O método tem a vantagem de não precisar da adição de solvente para auxiliar na separação e, conseqüentemente, não necessita de uma etapa subsequente de retirada do solvente. Como nada é adicionado, possui também a vantagem de obter produtos com alto grau de pureza. Entretanto, possui as desvantagens de não conseguir separar misturas azeotrópicas, utilizar altas temperaturas, acarretando degradação dos compostos mais termossensíveis e altos gastos energéticos (LATYKI, 2017).

A extração por fluido supercrítico, utiliza um solvente com temperatura e pressão acima do seu nível crítico. Este método é conhecido como uma tecnologia limpa, pois não gera resíduos, possui elevada seletividade, possibilita fácil separação dos componentes da mistura e, assim como a destilação, geralmente, não necessita da adição de solventes químicos para auxiliar a separação. Esta tecnologia otimiza a transferência de massa por meio de pressão e temperatura, o que reduz o tempo de extração dos componentes desejados, além de possibilitar ajustes nas variáveis do processo (tempo e temperatura) que irão alterar características de densidade, difusividade e viscosidade do solvente e adaptando-o ao componente de interesse na mistura a ser separada (SANTOS, 2011).

O dióxido de carbono (CO_2) é o solvente mais utilizado, pois possui moderada pressão crítica e baixa temperatura crítica, favorecendo a extração de compostos termossensíveis, além de ser de baixo custo e não ser inflamável ou tóxico, além de ser de fácil separação dos compostos extraídos. Todavia, possui a desvantagem de haver resistência à transferência de massa de certas matrizes vegetais para o fluido supercrítico, prejudicando a produtividade e todo o processo (AZEVEDO, 2005). Nestes casos, é necessário introduzir cosolventes ao processo. Contudo, estes auxiliares podem alterar a solubilidade do fluido supercrítico e o fator de separação dos compostos, tornando o processo demasiadamente oneroso. Apesar deste tipo de extração gerar produtos de elevada pureza, possuem como maior desvantagem o alto custo inicial na implantação do processo (AZEVEDO, 2005).

A adsorção é um processo de transferência de massa dos compostos (adsorvatos) de uma fase líquida ou gasosa para a superfície de uma fase sólida auxiliar (adsorvente). A adsorção é impulsionada por uma força motriz baseada na diferença de concentração entre o fluido e o adsorvente. O processo pode ser um fenômeno físico, onde os adsorvatos são atraídos quimicamente para o adsorvente, ou um fenômeno químico, onde há formação de ligações intermoleculares entre os adsorvatos e adsorventes. Para uma adsorção eficiente, deve-se levar em consideração a seletividade do adsorvente, a concentração inicial do adsorvato, a temperatura e características do adsorvente, como, capacidade, regenerabilidade, seletividade, resistência mecânica, compatibilidade, dimensão e custo (CANTELI, 2013; OLIVEIRA, 2014).

Os principais adsorventes utilizados são zeólitas, sílica-gel, argilas, resinas de troca iônica e carvão ativado, sendo que a sílica-gel, as zeólitas e o carvão ativado são os mais utilizados industrialmente, principalmente, o carvão quando se considera a indústria de alimentos. As principais vantagens do processo são sua simplicidade de execução e facilidade na remoção dos adsorvatos. O processo de adsorção

pode ser feito em batelada ou leito fixo. O segundo é mais eficiente industrialmente, pois admite volumes maiores de alimentação. A adsorção por carvão ativado possui a vantagem também de conseguir remover substâncias orgânicas em baixo pH por ligações não específicas (CARPINÉ, 2011; FONSECA, 2011; SILVA, 2010). Contudo, possuem as desvantagens de que a eficiência depende da vazão, de que a fase sólida perde sua seletividade e capacidade adsorvente ao longo do tempo de uso, fazendo necessário processos de regeneração do material, que, mesmo assim, perde sua capacidade adsorvente a cada ciclo de regeneração, sendo o principal fator de encarecimento do processo (CARPINÉ, 2011).

A pervaporação é um procedimento de seleção de moléculas por meio da utilização de membranas (ALVES; SILVA; PAULA SCHEER; 2019). A extração de compostos voláteis por meio dos métodos convencionais, envolve muitas operações e resulta em gasto energético, tempo elevado de operação e muito trabalho. A recuperação de compostos orgânicos por meio da tecnologia de pervaporação é considerada viável pelas vantagens que esse método proporciona, como a não utilização de solventes e a utilização de baixas pressões durante o processo (CONIDI; CASTRO-MUÑOZ; CASSANO, 2020).

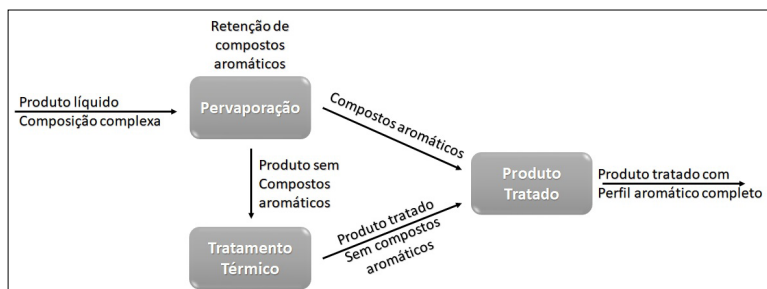
Este método possui como vantagens a alta seletividade de compostos, por meio de apenas uma operação unitária; possibilita execução em temperatura ambiente; é de fácil escalonamento; esta operação pode ser facilmente integrada a outras operações unitárias; a seleção por membranas necessita de pequenas áreas; não é necessária a utilização de solventes químicos, dispensando etapas subsequentes para a remoção e evitando a geração de resíduos (TRINDADE, 2010).

Como desvantagem, a pervaporação necessita da aquisição de membranas e equipamentos que garantam a força motriz do processo, como bombas de vácuo, de injeção de gás inerte e alteradores de temperatura; o que encarece a implementação do processo e eleva o gasto energético. Possui como desvantagem também a necessidade de trocas de membrana, pois, estão sujeitas à envelhecimento

e deterioração ao longo do tempo de uso, assim como a entupimento e acúmulos de material orgânico caso a bebida possua muitas partículas (TRINDADE, 2010).

Observe a reposição de compostos aromáticos por pervaporação conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Recuperação e reincorporação de aromas por pervaporação



Fonte: adaptado de Catarino e Mendes (2011).

Processos de recuperação de aromas baseados em membranas, como a pervaporação, possuem as vantagens de ter elevada seletividade de compostos; execução em temperaturas moderadas, o que favorece a separação de compostos mais termossensíveis sem oxidá-los; sem adição de solventes químicos, portanto, não gera resíduos e torna desnecessárias etapas adicionais para retirar estes aditivos; consumo energético inferior em comparação com outros tratamentos de recuperação de aromas, pois utiliza um mecanismo físico de separação e possui elevada aplicabilidade (CATARINO; FERREIRA; MENDES, 2009; CATARINO; MENDES, 2011).

3 MEMBRANAS

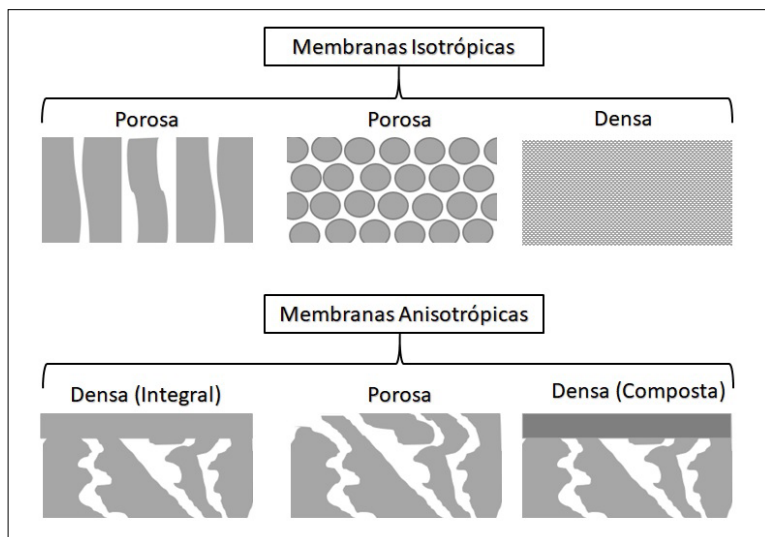
De acordo com Fernandes (2010), um abade francês chamado Nollet iniciou o conceito de membranas permeáveis por volta do século XVIII, testando a permeabilidade à água em tecidos animais. Desde

então, muito já foi desenvolvido em relação às membranas, mas até hoje o modelo de sorção-difusão-dessorção desenvolvido por Graham em 1829 e continuado por von Wroblewski em 1866 é aceito como modelo de transporte em membrana. Primeiramente ocorre a sorção das moléculas do líquido de alimentação. Em seguida, a difusão destas moléculas na membrana. Por último a dessorção das mesmas como vapor permeado no lado oposto (FERNANDES, 2010).

As principais classificações das membranas são quanto ao material de fabricação, morfologia, geometria e força motriz. Quanto ao material de fabricação, há membranas poliméricas (silicone) e inorgânicas (cerâmica e metais). As poliméricas são as mais comumente utilizadas, pois têm como vantagens o baixo custo, a variedade e a fácil utilização (FERNANDES, 2010).

Em relação à morfologia, as membranas podem ser isotrópicas (simétricas) ou anisotrópicas (assimétricas) e densas ou porosas (Figura 2). As isotrópicas possuem morfologia uniforme em toda sua espessura, enquanto as anisotrópicas possuem camadas porosas, ou não, com morfologia variada ao longo de sua espessura, podendo ser classificadas como integrais (camadas com mesmo material) ou compostas (camadas com materiais diferentes). Na classificação geométrica, as membranas podem ser planas (configuração espiral ou placa-quadro) ou cilíndricas (configuração tubular, capilar ou fibra-oca) (FERNANDES, 2010).

Figura 2 - Tipos de morfologias das membranas quanto à porosidade e simetria



Fonte: adaptado de Fernandes (2010).

Por último, a classificação por força motriz trata-se normalmente do gradiente da membrana submetido à variação de pressão (ΔP), havendo quatro gradientes possíveis: microfiltração, que remove substâncias na faixa 0,1 a 10 μm com ΔP entre 0,5 e 2 atm; ultrafiltração, remove substâncias na faixa de 0,001 a 0,1 μm com ΔP entre 1 e 7 atm; nanofiltração, remove moléculas com massa molar entre 500 e 2.000 Da e ΔP entre 5 a 25 atm; e osmose reversa, que remove moléculas solúveis com membranas de morfologia densa em 15 a 80 atm de ΔP (QUEIROZ, 2016).

Quanto à pervaporação na indústria de alimentos, há alguns tipos de membranas mais eficientes quanto à sua permeabilidade e seletividade dos compostos orgânicos voláteis, conforme descritos por (BORISOV *et al.*, 2018).

- Poliméricas hidrofóbicas com propriedades elásticas e elevada resistência a deformações, como: polidimetilsiloxano

(PDMS), polioctilmetilsiloxano (POMS) e poliamida de bloco de éter (PEBA);

- Polímeros hidrofóbicos com propriedades vítreas e elevada permeabilidade, como: poli-1trimetilsilil-1propino (PTMSP);
- Polímeros com microporosidade intrínseca (PIM); e
- Membranas de matriz mista (MMM).

A PDMS trata-se de uma membrana organolífica hidrofóbica de textura siliconada, conhecida por sua elevada permeabilidade e seletividade na separação de misturas orgânicas aquosas, além de alta estabilidade e baixo custo (LIU; WEI; JIN, 2014). A POMS também é uma membrana organolífica hidrofóbica de textura siliconada. Entretanto, ela possui cadeias laterais de siloxano mais extensas quando comparada ao PDMS, consequentemente, formando estruturas menos compactas, o que altera a seletividade da membrana, ou seja, POMS possui maior seletividade no transporte de compostos orgânicos (KUJAWSKA *et al.*, 2016; LAZAROVA; BÖSCH; FRIEDL, 2012).

PEBAs, são formadas por copolímeros com segmentos de poliéter flexível e poliamida rígida. São muito eficientes na remoção de compostos aromáticos que possuem os grupamentos éster e fenol (LIU; WEI; JIN, 2014). Já a PTMSP é constituída por um polímero vítreo, possuindo a vantagem de ser muito mais permeável aos compostos orgânicos quando comparada às membranas siliconadas. Ela admite também até quatro vezes mais fluxo de permeado do que o tolerado pela membrana PDMS, porém, está mais sujeita ao processo de envelhecimento e deterioração de membrana (LIU; WEI; JIN, 2014).

As PIMs são polímeros constituídos por uma rede de espaços de empacotamento interligada rigidamente em nível intermolecular, ou seja, esta membrana, diferentemente das demais, não utiliza uma rede de ligações covalentes para garantir a porosidade do polímero (MCKEOWN, 2012). As PIMs possuem conformações moleculares em forma de escada que torna suas superfícies contorcidas, o que, segundo ŽÁK *et al.* (2015), contribui para um empacotamento eficiente dos compostos voláteis na rede de espaços livres da membrana, assim como

evita a rotatividade comum em conformações do tipo corrente. São especializadas na separação seletiva de gases, apesar de que a PTMSP possui uma permeação gasosa ligeiramente superior (ŽÁK *et al.*, 2015).

As MMMs são polímeros inorgânicos obtidos a partir da incorporação homogênea de enchimentos inorgânicos na matriz polimérica. Possui a vantagem de ser estruturalmente estável em sua matriz inorgânica, caracterizando-a como uma membrana de alta-performance, ou seja, que possui elevada eficiência nos parâmetros permeabilidade e seletividade da membrana. Sendo também uma membrana de fácil preparo e baixo custo (LIU; WEI; JIN, 2014). Portanto, é de suma importância estudar previamente as características das membranas para que estas se adequem ao produto que se objetiva pervaporar, a fim de obter a melhor performance possível por parte do polímero.

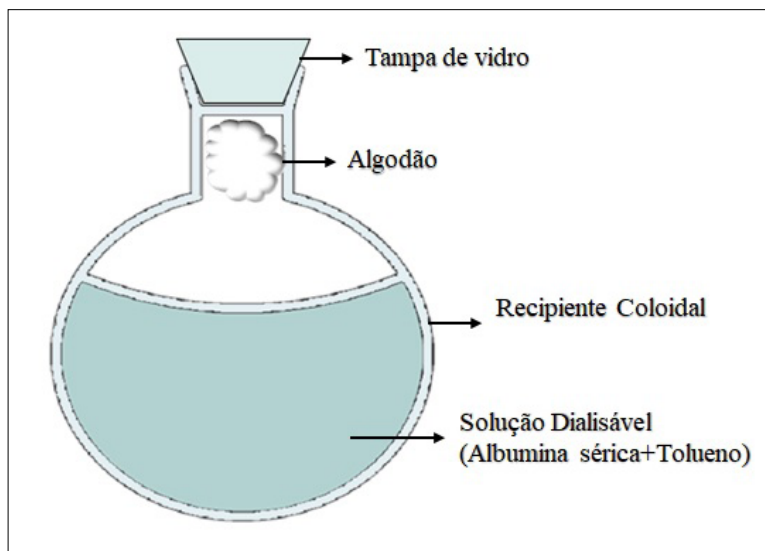
4 PERVAPORAÇÃO

A primeira referência à pervaporação data de 1917 e foi feita em uma publicação de Philip Adolph Kober para o Departamento de Saúde do Estado de New York. O autor realizou experimentos com soluções dialisáveis, ou seja, misturas de substâncias cujas moléculas possuem tamanhos diferentes, possibilitando sua separação por meio de membranas semipermeáveis.

Neste experimento, Kober (1917) notou que líquidos bem selados dentro de sacos coloidais (Figura 3) estavam evaporando naturalmente, e que quando aplicado calor a evaporação ocorria ainda mais rapidamente e sem nunca atingir temperaturas de ebulição. O autor atribuiu este fenômeno à porosidade do colóide constituinte dos sacos, e chamou o processo de pervaporação.

Kober (1917) introduziu também conceitos como a perstilação, que se trata do processo de destilação através da pervaporação, e a percrystalização, que é o processo de cristalização do soluto na superfície externa do recipiente coloidal quando a solução dialisável atinge o ponto de saturação.

Figura 3 - Experimento de Philip Adolph Kober sobre pervaporação espontânea



Fonte: adaptado de Kober (1917).

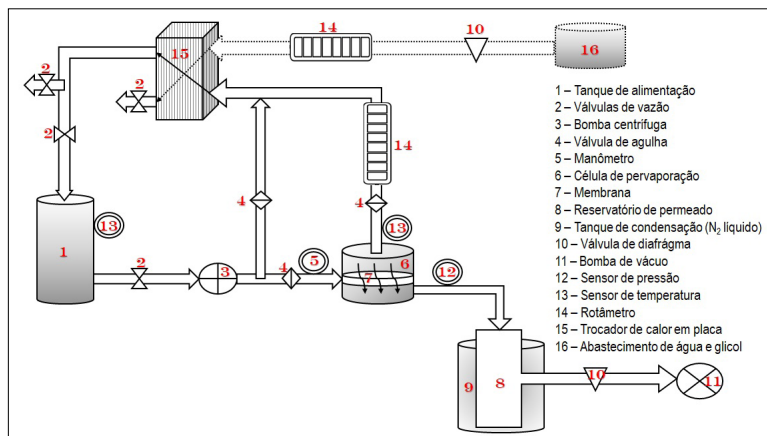
Mais tarde, Karlsson e Tragardh (1996) descreveram a pervaporação como sendo um processo emergente e muito promissor no processamento de alimentos. Trata-se de uma técnica baseada na separação de compostos aromáticos para recuperação e concentração por meio de membranas que utilizam mecanismos de difusão nas soluções. Além de sua utilização na recuperação e concentração de compostos aromáticos, a pervaporação é utilizada também na concentração de sucos, desalcoolização de bebidas e desidratação de misturas azeotrópicas (KARLSSON; TRAGARDH, 1996).

Em aplicações de escala experimental ou industrial pode-se visualizar melhor o processo por meio do esquema de pervaporação à vácuo adaptado da pesquisa Catarino; Ferreira; Mendes (2009) com cerveja conforme ilustrado na Figura 4. Observa-se que o ponto inicial do procedimento é a alimentação (1) com o líquido cujos compostos serão separados, então este líquido é bombeado (3) até o tanque de

pervaporação (6) que contém a membrana polimérica (7), passando por um medidor de pressão (5) antes de entrar no tanque.

Após a separação, o vapor permeado passa por um sensor de pressão (12) e é conduzido pela baixa pressão induzida por uma bomba à vácuo (11) para um reservatório (8) contido em um tanque de condensação (9) com nitrogênio líquido, enquanto o retentado líquido passa por um sensor de temperatura (13) e por um medidor de vazão (14) e é conduzido até um trocador de calor em placas (15) para o tratamento térmico; como o trabalho destes autores trata-se de cerveja, misturou-se água e glicol (16) ao retentado, para garantir o resfriamento, porém, impedir o congelamento do produto (CATARINO; FERREIRA; MENDES, 2009).

Figura 4 - Processo experimental de pervaporação à vácuo



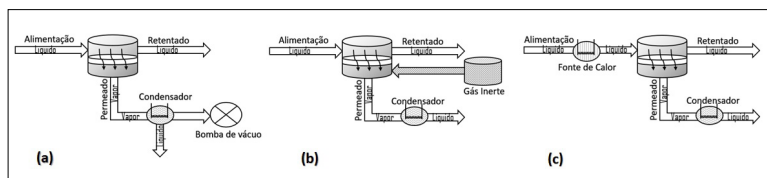
Fonte: adaptado de Catarino; Ferreira e Mendes (2009).

Como mencionado acima, o processo utiliza membranas para separar molecularmente misturas líquidas por transferência de massa, onde compostos selecionados conseguem atravessar a membrana por sorção e difusão, passando da fase líquida para o vapor, ou seja, ocorre uma vaporização parcial da mistura. O vapor permeado através da

membrana polimérica e a mistura alimentada do lado oposto criam uma diferença de pressão entre as superfícies da membrana (núcleo do processo), o que garante a força/potência motriz da pervaporação (BORISOV *et al.*, 2018).

Os compostos atravessarem a membrana, trata-se na verdade de uma absorção destes componentes da mistura por parte do polímero denso não-poroso ou da cerâmica nanoporosa que compõe a membrana, e subsequente vaporização e condensação deste permeado no lado oposto (Figura 6). Este movimento constante na membrana, ou seja, a força motriz, pode ser garantido com a utilização de vácuo, gás de varredura ou alteração da temperatura (Figura 5) para reduzir a pressão no jusante do permeado, mantendo a variação de pressão entre os lados da membrana (KUJAWSKA *et al.*, 2016).

Figura 5 - Métodos de alteração da pressão parcial na pervaporação. Diagramas de (a) pervaporação à vácuo, (b) pervaporação por arraste de gás inerte e (c) pervaporação por alteração da temperatura



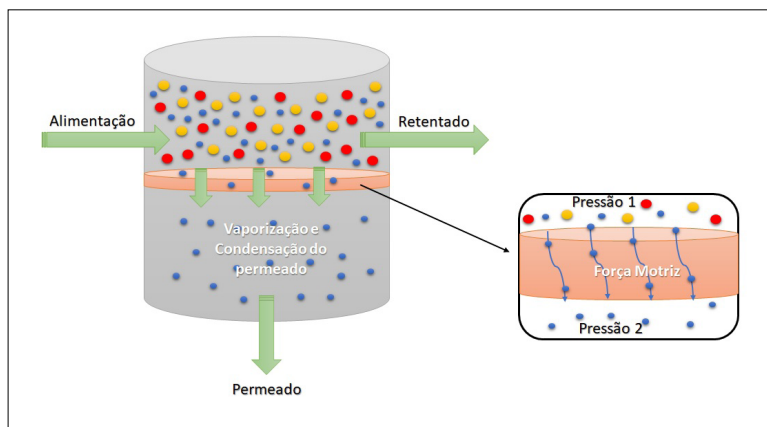
Fonte: adaptado de Fernandes (2010) e Karlsson; Tragardh (1996).

Os esquemas da Figura 5 demonstram os principais mecanismos utilizados para garantir uma queda de pressão no jusante do permeado durante a pervaporação, consequentemente, estabelecendo a força motriz necessária para a transferência de massa através da membrana no processo de difusão dos compostos aromáticos (CONIDI; CASTRO-MUÑOZ; CASSANO, 2020; KARLSSON; TRAGARDH, 1996).

A primeira etapa da separação, ou seja, a sorção das moléculas pela membrana polimérica hidrofóbica é garantida por afinidade

química. Já a etapa de difusão pode ocorrer naturalmente, por empacotamento destas moléculas nos poros da membrana e pela força motriz que também ocorre normalmente por esta diferença comum entre a pressão das jusantes de alimentação, líquida, permeação e vapor. Porém, a aplicação da pressão, gás e temperatura, irão aumentar a força motriz e otimizar o processo de separação (CONIDI; CASTRO-MUÑOZ; CASSANO, 2020; KARLSSON; TRAGARDH, 1996).

Figura 6 - Mecanismo de difusão das moléculas pela membrana (Pervaporação)



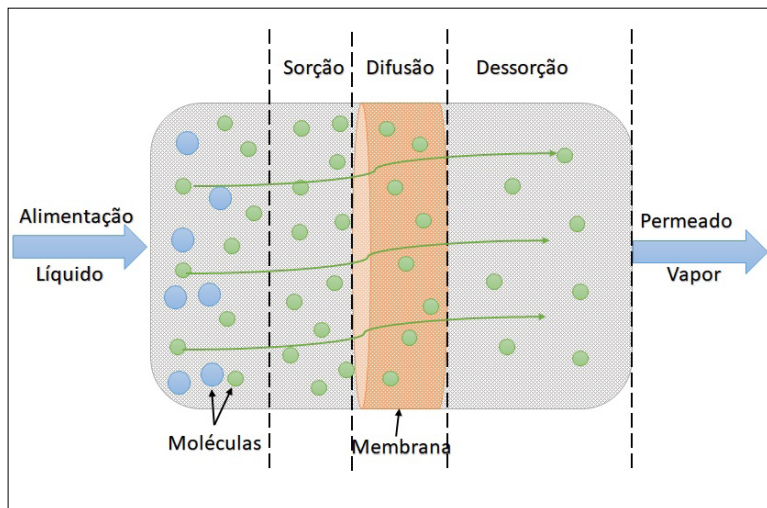
Fonte: adaptado de Kujawska *et al.* (2015).

Como a membrana é o núcleo da força motriz que garante o movimento de pervaporação, ela deve ser selecionada com cuidado. Segundo Liu; Wei e Jin (2014), deve-se levar em conta, principalmente, o fluxo de permeado e o fator de separação na hora de escolher a membrana mais adequada. As membranas comumente utilizadas na indústria de alimentos são as organolíficas hidrofóbicas, pois são especializadas na seleção de compostos orgânicos voláteis.

A aplicação da pervaporação possui alguns pontos críticos em relação ao controle operacional em nível laboratorial e industrial, como a temperatura de alimentação, a taxa de fluxo de alimentação, concentração da alimentação e a pressão de permeabilidade

(KARLSSON; TRAGARDH, 1996). O comportamento destes pontos críticos irá variar de acordo com a membrana selecionada e com os compostos que se deseja separar, e está intimamente ligado ao modelo sorção-difusão-dessorção supracitado (Figura 7).

Figura 7 - Modelo Sorção-difusão-dessorção de Graham e von Wroblewski



Fonte: adaptado de Fernandes (2010).

A sorção é uma fase termodinâmica que depende das interações químicas dos constituintes da matriz polimérica e das moléculas dos compostos. Enquanto a difusão é uma fase cinética que depende da força motriz, ou seja, do gradiente de pressão e tamanho dos espaços de empacotamento na membrana para o acoplamento dos compostos. Portanto, as etapas de sorção e difusão são as mais relevantes no processo, com a segunda agindo como fator limitante da operação (FERNANDES, 2010).

Fernandes (2010) utiliza a primeira lei de Fick para descrever a transferência de massa na membrana. Esta lei afirma que, em uma solução, o soluto tende a passar do meio hipertônico para o hipotônico, ou seja, os meios tendem ao equilíbrio. Portanto, a difusão

ocorrerá quando houver diferença de concentração entre os meios ($\partial C/\partial x \neq 0$) separados por uma membrana permeável, levando a Equação da primeira lei (Equação 1).

$$J_i = -D_i(\partial C_i/\partial x) \quad (1)$$

A Equação 1 demonstra que o fluxo de transferência de massa (J) de determinado componente (i) será igual a multiplicação da constante de difusão ($-D$) pela proporção inversa entre a derivada parcial de concentração do componente na alimentação ($\partial C_i/\partial x$) pela derivada parcial do lado permeado ($\partial x/\partial x$). Partindo deste ponto inicial, considera-se também que o coeficiente de difusão ($-D_i$) é constante ao longo de toda a extensão e espessura da membrana.

Então, o fluxo de transferência de massa de determinado componente (J_i) seria igual a um coeficiente de difusão positivo (D_i) multiplicando a relação inversamente proporcional da diferença de concentração entre as superfícies de alimentação (C_{ia}) e permeação (C_{ip}) da membrana, pela espessura da membrana (l) (Equação 2).

$$J_i = D_i((C_{ia} - C_{ip})/l) \quad (2)$$

Tendo já o conhecimento de que as concentrações de determinado composto em ambas as superfícies da membrana podem ser descritas em termos de pressão parcial e que a permeabilidade de matriz polimérica é resultado da interação entre os mecanismos de sorção e difusão, Fernandes (2010) chegou à Equação 3.

$$J_i = P_i/S_i l (S_i P_{ia} - S_i P_{ip}) = P_i/l (P_{ia} - P_{ip}) \quad (3)$$

Onde, S_i é o coeficiente de sorção do componente, P_{ia} é a pressão parcial da alimentação, P_{ip} é a pressão parcial do permeado e P_i é a permeabilidade da membrana. A partir do cálculo de permeabilidade demonstrado pode-se chegar à seletividade dos compostos por

meio de cálculos de permeabilidade individuais para cada composto da solução, descrito conforme a Equação 4.

$$\alpha_{\text{ideal}} = P_a/P_b = (D_a/D_b)(S_a/S_b) \rightarrow \alpha_{\text{ideal}} = (Y_a/T_b)/(X_a/X_b) \quad (4)$$

Muitos autores vêm trabalhando no desenvolvimento de fórmulas matemáticas para calcular essas variáveis da pervaporação, como Mafi *et al.* (2012) que desenvolveu um modelo matemático aplicado à pervaporação com membrana hidrofóbica (PDMS) para separação de compostos orgânicos de soluções aquosa a partir de generalizações da lei de Fick. Porém, o autor utilizou três abordagens, coeficiente de difusão constante, dependente da concentração e dependente da concentração e da temperatura dentro da membrana.

Os autores Lipnizki; Olsson e Tragardh (2002a) trouxeram em seu trabalho uma abordagem mais voltada para a recuperação de aromas em soluções aquosas complexas (alimentos) simulando os cálculos para determinar os principais parâmetros do projeto, a temperatura de alimentação e a pressão do permeado. Pois segundo eles, a grande maioria das pesquisas com modelos experimentais desenvolvidas voltam-se para a aplicação em soluções binárias ou ternárias simples.

Na segunda parte de sua pesquisa, os autores Lipnizki; Olsson e Tragardh (2002b) conseguiram observar certas relações de aplicação da pervaporação na recuperação de aromas na indústria. Por exemplo, o processo de separação de componentes da alimentação está diretamente relacionado à área de superfície da membrana, favorecendo o processo de sorção, entretanto, a área polimérica está inversamente relacionada à força motriz, que tem sua potência reduzida com o aumento da superfície.

Eles concluíram também que quanto mais elevada a temperatura, maior será o fluxo de alimentação e a pressão do permeado e menor será a área de membrana necessária. Assim como uma menor pressão de permeado também reduz a necessidade de área do polímero, o que torna o processo mais viável economicamente, sendo

que a área deste polímero está diretamente relacionada ao fluxo de permeado (LIPNIZKI; OLSSON; TRAGARDH, 2002b).

4.1 Reposição de Aromas em Bebidas Alcolólicas

Uma aplicação frequente da pervaporação, é na recuperação de aromas em bebidas alcóolicas, principalmente quando processos de desalcoholização ou redução do teor de etanol se fazem necessários. Processos de membrana podem ser utilizados para a retirada do etanol das bebidas, neste caso podendo ser em gradiente de nanofiltração, porém, assim como em aplicação de tratamentos térmicos, a filtração também acarreta perdas aromáticas, justificando o uso da pervaporação (CATARINO; MENDES, 2011). Assim sendo, muitos autores vêm pesquisando o tema na área, como os citados na Tabela 1.

Tabela 1 – Aplicação da pervaporação em bebidas alcoólicas

Tipo de Alimento	Objetivo	Resultados e considerações	Referência
Cerveja	Otimizar as condições operacionais para usar uma membrana PDMS para recuperação de aroma de cerveja e desalcoolização. Além disso, determinar a área de membrana necessária para uma determinada taxa de fluxo de cerveja alcoólica a fim de atingir uma cerveja sem álcool dentro dos limites legais com um aroma semelhante a cerveja original.	A membrana composta PDMS mostrou-se promissora na recuperação de compostos de aroma, juntamente com a remoção de etanol de Cerveja. Os álcoois foram favorecidos por um aumento na temperatura, os ésteres exibiram o comportamento oposto. Otimização de recuperação de aroma foi alcançada a 10 °C. Para a remoção do álcool, as melhores condições de operação foram 65 °C e 1400 Pa. Com tais condições, a superfície da membrana necessária para recuperar 50% do acetato de etila da cerveja original era de 13,8m ² na primeira unidade de pervaporação e 4,4 m ² foram na segunda para atingir um teor de álcool de 0,05% (v/v). Uma mistura de cerveja desalcoolizada, o aroma recuperado e um pouco de cerveja fresca resultaram em um produto legalmente aceitável de cerveja sem álcool com um teor de éster semelhante ao da cerveja original, mostrando a viabilidade de pervaporação para ambos os aromas de cerveja na recuperação e desalcoolização.	PRESTES ALVES; SILVA; PAULA SCHEER (2020)

Cerveja	Desalcoolizar uma cerveja e otimizar a extração do aroma por pervaporação, utilizando uma membrana assimétrica composta de polioctilmetilsiloxano/ polieterimida (POMS / PEI). Descrever a influência das condições operacionais (fatores) no desempenho do processo usando uma metodologia de superfície de resposta (RSM).	O fluxo da membrana aumenta com a temperatura e velocidade de alimentação cruzada enquanto diminui com a pressão do permeado. As seletividades de aroma são afetadas pelas condições operacionais de acordo com sua natureza. As condições operacionais ideais foram 12,4 °C para temperatura de alimentação, 0,45 ms⁻¹ para velocidade de alimentação e 1,0 mbar para pressão de permeado. Nessas condições, o fluxo de permeado foi estimado em 7,26 kgm⁻²s⁻¹; a alta seletividade de álcoois variou de 1,31 a 3,39; a seletividade de ésteres variou de 14,46 a 17,10 e os altos álcoois / ésteres a proporção foi estimada em 1,07. Estes resultados mostram que a pervaporação é um processo eficaz para a recuperação de compostos aromáticos da cerveja.	CATARINO; FERREIRA; MENDES (2009)
Cerveja	Desenvolver um produto recuperador de sabores de cervejas regulares para cervejas sem álcool por pervaporação e reincorporação. Duas cervejas diferentes, uma cerveja especial (5,5% ABV) e uma reserva (6,5% ABV) foram pervaporadas para recuperar aromas a serem adicionados a uma cerveja com baixo teor alcoólico (menos de 1% ABV) e uma cerveja sem álcool (menos de 0,1% ABV) para melhorar sua qualidade sensorial.	A pervaporação pode ser usada para recuperar compostos de aroma na cerveja. A adição desses compostos de aroma a cerveja mais ou menos sem álcool enriquece seu sabor. Isso aumenta sua apreciação e pode ser usado para atender aos padrões de qualidade exigidos pelo mercado. A análise sensorial confirmou que isso foi realizado. Um polímero transmitirá quase perfeitamente uma espécie se seus parâmetros de solubilidade coincidirem. Uma sintonia inteligente do polímero com o adequado parâmetro de solubilidade nos permitiria obter seletivas membranas para um determinado componente volátil.	OLMO <i>et al.</i> (2014)

Vinho	Otimizar o mosto de ingrape redutor de açúcares, utilizando nanofiltração (NF) e pervaporação (PV), a fim de produzir um vinho branco totalmente aromatizado e com teor alcoólico reduzido.	A montagem experimental permitiu a redução do tempo de NF necessário para o controle do açúcar pretendido. A mistura de mostos correspondente ao processo PV + duas NF apresentou um teor de aroma mais semelhante ao do mosto original, com exceção de benzaldeído e 1-hexanol. A análise sensorial mostrou que nenhuma diferença significativa pôde ser detectada pelos consumidores entre os vinhos pervaporados e os de controle. A análise dos compostos aromáticos mostrou que, em comparação com o vinho controle, os vinhos provenientes dos experimentos PV tinham um perfil aromático mais semelhante do que os provenientes apenas dos testes de NF. Portanto, entre os processos de membrana avaliados neste trabalho, a combinação de PV e um processo NF de 2 estágios apresentou os melhores resultados para a elaboração de um vinho cheio de sabor e baixo teor alcoólico. No entanto, a transferência de massa durante o processo PV precisa ser aprimorada. Presumivelmente, isso pode ser conseguido aumentando o tempo de PV. Além disso, um fluxo tangencial de alimentação ou pressão de alimentação mais alta deve melhorar a transferência de aroma se for tomado cuidado para evitar exceder a queda de pressão máxima recomendado pelo fabricante.	SALGADO <i>et al.</i> (2017)
--------------	--	--	-------------------------------------

Vinho	Elaborar uma separação limpa e atualizada de uma técnica que é capaz de preservar produzindo um produto com as características organolépticas e medicinais dos vinhos brancos e tintos e reduzindo seu teor de etanol.	A temperatura desempenha o papel mais importante na produção de Vinhos com baixo teor alcoólico e sem álcool por pervaporação. Temperaturas mais altas possuem o fluxo de permeado mais alto e a demanda da superfície da membrana é menor. Isso é uma significativa vantagem do ponto de vista econômico, pois ambos causam produção mais rápida e custos mais baixos de investimento. No entanto, em temperaturas mais altas, a eficiência da separação da membrana e a capacidade de separação diminuem. Desse modo, a produção de permeado fica mais rápida, mas menos produto desejado é obtido pela separação. Para evitar perdas de aroma, a escolha de temperaturas de pervaporação mais baixas é mais favorável. Considerando que o papel da temperatura pode ser muito complexo, o ótimo da operação deve ser determinado com cautela. Análises econômicas prenunciam um grande custo de investimento, devido ao preço relativamente alto de membranas de pervaporação não porosas. Remuneração pode melhorar pela utilização do subproduto, por ex. pelo uso do concentrado de álcool separado como uma matéria-prima material para destilados de vinho ou bebidas espirituosas industriais.	TAKÁCS <i>et al.</i> (2007)
-------	--	--	--------------------------------

Fonte: os autores (2023).

Por exemplo, Prestes Alves; Silva e Paula Scheer (2020), avaliaram o efeito da desalcoolização de cervejas por pervaporação. Os autores não encontraram diferença significativa no aumento da taxa de fluxo e, isso se dá porque o fluxo de água não é influenciado pelo aumento da taxa de fluxo, pois na pervaporação hidrofóbica, a concentração de água é muito alta e não se afeta pela polarização do concentrado. Ao avaliarem a influência da temperatura, os autores notaram que a viscosidade e difusividade são influenciadas pela temperatura mudando a sua permeabilidade na membrana.

Os autores determinaram também que a separação dos álcoois é favorecida pela elevação da temperatura, enquanto a de ésteres é prejudicada. A pesquisa determinou, então, que o melhor desempenho do processo de recuperação de aromas ocorreu a 10°C, e em contrapartida, o melhor desempenho da remoção de álcool foi a 65°C e com 1400 Pa. Eles determinaram ainda que as superfícies de membrana necessárias para a obtenção de 50% do acetato de etila da cerveja original eram de 13,8 m² e 4,4 m², para a primeira e segunda unidade de pervaporação, respectivamente. Obtendo a partir da mistura da cerveja sem álcool com uma pequena fração da cerveja original e da reintegração dos aromas recuperados, um produto com 0,05% v/v de álcool apenas, como estabelecido pela legislação e com teor de éter semelhante a uma cerveja alcóolica (PRESTES ALVES; SILVA; PAULA SCHEER, 2020).

Catarino *et al.* (2009) observaram que a pervaporação pode otimizar a recuperação de álcoois superiores e ésteres em cervejas por meio de membranas de polioctilmetilsiloxano (POMS). Segundo os autores, as condições operacionais afetam a natureza da pervaporação. Eles determinaram que as condições ideais de separação dos principais componentes aromáticos da cerveja foram em 12,4 °C na alimentação, 0,45 m/s de velocidade de alimentação e 1mBar para pressão de permeado. Onde obtiveram um fluxo de permeado de 7,26 kg/m, com alta seletividade de álcoois (1,31-3,39) e de ésteres (14,46-17,10). Demonstrando eficiência na recuperação de aromas e desalcoolização de cervejas.

Salgado *et al.* (2017) buscou desenvolver um processo de nanofiltração integrado a pervaporação objetivando obter um vinho com perfil aromático completo e baixo teor alcóolico. As operações unitárias organizadas com a pervaporação (PV) antes de operações de dupla nanofiltração (NF) apresentaram os melhores resultados. A PV foi utilizada para recuperar os aromas enquanto as NFs foram utilizadas para remover o etanol. O trabalho demonstrou que a PV reduziu o tempo necessário de NF, e esta conformação ainda garantiu um produto com perfil aromático completo. Os autores não encontraram diferenças significativas entre os vinhos controle e os pervaporados na análise sensorial. Portanto, a pervaporação é uma ótima alternativa para manter o perfil aromático de bebidas que necessitam de outras operações que podem acarretar perdas destes componentes.

4.2 Reposição de Aromas em Bebidas não- alcóolicas

O processo de pervaporação também é bastante utilizado na recuperação de aromas em sucos de frutas. Estes produtos são comumente submetidos a processos de concentração por evaporação ou pasteurizações. E como já mencionado ao longo do capítulo, estes processos térmicos catalisam reações de degradação ou modificação dos compostos aromáticos voláteis, principalmente os mais termossensíveis (RAISI; AROUJALIAN; KAGHAZCHI, 2008). Há um número considerável de pesquisas sobre a aplicação da pervaporação na indústria de sucos visando conservar o aroma natural dos sucos frescos no produto, como os mencionados na Tabela 2.

Tabela 2 – Aplicação da pervaporação em bebidas não-alcóolicas

Tipo de Alimento	Objetivo	Resultados e considerações	Referência
Suco de caju	Avaliar a utilização da pervaporação para a obtenção de um extrato concentrado dos componentes do aroma de caju para utilização como aditivo na indústria de alimentos.	O permeado obtido apresentou uma grande concentração de compostos voláteis representativos do aroma do caju, quando comparados com o suco original. A produtividade do processo de pervaporação de suco de caju foi alta, indicando a potencialidade desta técnica para a obtenção de um extrato de aroma natural.	ASSIS <i>et al.</i> (2007)
Suco de Romã	Descrever a separação pervaporativa por membrana PDMS no modelo difusão-sorção de compostos de aroma de romã a partir de soluções multicomponentes através de um modelo preditivo de transferência de massa que foi desenvolvido para o estudo.	Os fluxos e seletividades previstos estão em bom acordo com dados experimentais. Os resultados mostraram que conforme a concentração de aroma na solução de alimentação aumentou, os fluxos totais e parciais aumentaram, mas as seletividades de aroma diminuíram. O previsto e todos os fluxos de permeação experimental aumentam com o aumento de a temperatura da alimentação. Para verificar a previsibilidade do modelo em toda a gama da concentração de alimentação, os resultados da modelagem foram comparados com dados experimentais da pervaporação de etanol de suas soluções aquosas binárias. E os resultados indicaram que o fluxo de etanol e a seletividade são satisfatoriamente previstos com o modelo proposto sem a necessidade de quaisquer parâmetros ajustáveis. O modelo seria útil para descrever a permeação através de membranas hidrofóbicas devido ao seu caráter totalmente preditivo características.	RAISI; AROUJALIAN; KAGHAZCHI (2009)

Suco de Romã Fornecer uma visão geral sobre o uso da tecnologia de membrana em processamento de suco de romã em relação ao crescente interesse de pesquisadores e fabricantes para a preservação das características físico-químicas e prazo de validade do produto. Em particular, o uso de processos de membrana convencionais e inovadores na clarificação, concentração e fracionamento, bem como na recuperação de compostos de aroma, é analisado e discutido em relação a seu potencial para a produção de produtos inovadores e de alta qualidade.	A integração de diferentes operações de membrana representa uma abordagem emergente para redesenhar o diagrama de fluxo convencional da produção de suco de romã com significativa vantagens em termos de qualidade do produto, recuperação de compostos promotores da saúde, redução de energia consumo e impacto ambiental. Oferece novas oportunidades para melhorar a salubridade e qualidade do suco, bem como para recuperar, purificar e concentrar compostos bioativos para a formulação de ingredientes funcionais. A MF e a UF provaram ser comparáveis à pasteurização em garantia a estabilidade microbiológica do suco, evitando a deterioração do produto. Frescura do suco, aroma e valor nutricional são bem preservados em comparação com o uso de agentes de colagem permitindo obter produtos clarificados de alta qualidade, com sabor fresco natural e sem aditivos. UF rígida e membranas de nanofiltração oferecem novas perspectivas no fracionamento de suco visando à recuperação e purificação de compostos bioativos de interesse para a produção de ingredientes funcionais. Osmose Inversa e a destilação osmótica representam alternativas úteis à evaporação térmica para concentração. Altos níveis de sólidos solúveis totais podem ser alcançados por meio de destilação osmótica operando a baixa pressão e temperaturas evitando o estresse mecânico e térmico do suco processado. Os resultados gerais indicam que o processo é muito eficiente na preservação das características originais do suco fresco incluindo cor, atividade antioxidante total, compostos fenólicos e ácidos orgânicos. A PV é uma alternativa em desenvolvimento de tecnologia apropriada para a concentração de aroma compostos do suco devido à característica eficiente e econômica. Todas essas tecnologias representam também uma abordagem útil para o processamento de suco de frutas desperdiçadas como subprodutos, gerando mais lucros e minimizando as perdas de produção, juntamente com os benefícios ambientais subsequentes. CONIDI; DRIOLI; CASSANO (2019)
--	--

Suco de Kiwi	Projetar em escala laboratorial um processo de membrana integrado para a produção de suco de Kiwi concentrado e sua recuperação de aromas.	A utilização da membrana integrada de ultrafiltração (UF) e destilação osmótica (OD) proporcionou uma redução do tempo de processo e uma simplificação do mesmo, aumentou o volume de suco clarificado, possibilitou a perar em temperatura ambiente, melhorando a qualidade final do suco quanto ao frescor, aroma e nutrição. A introdução da pervaporação antes da clarificação por UF/OD e reintegração dos compostos no final garantiu a composição aromática e nutricional do suco concentrado final. Sólidos suspensos foram completamente removidos por UF do suco fresco e o suco clarificado apresentou menor viscosidade e insignificante turbidez. O suco final apresentou uma ligeira diminuição do total de atividade antioxidante (TAA) e no ácido ascórbico.	CASSANO <i>et al.</i> (2006)
Suco de Kiwi	Avaliar o processo de pervaporação (PV) por meio do desenvolvimento de um cenário de ensaios de nove compostos voláteis selecionados de kiwi por SPME-GC-Ion Trap Mass Spectrometry. Avaliar a pervaporação do suco fresco de kiwi através da membrana comercial composta (GFT1070) e o SBS (preparado no laboratório), em diferentes temperaturas de alimentação.	Os resultados experimentais indicam que a pervaporação pode concentrar com sucesso os compostos chave de aroma do sistema de aromas reais do kiwi. Como esperado há influência da temperatura no volume livre da membrana. O permeado e o fluxo total aumentaram com a temperatura para ambas as membranas e foi muito maior para a membrana GFT1070 do que o tipo SBS. Isso se deve ao fato que a espessura do SBS é o dobro do GFT, e isso explica que o SBS fluxo de membrana é cerca de metade daquele para GFT, enquanto as outras condições permaneceram iguais. Pelo contrário, a membrana SBS apresentou maior fatores de enriquecimento dos compostos voláteis analisados do que o GFT1070. Além disso, a recuperação da fração volátil foi afetada pela temperatura durante o processo PV. Em 30 °C, a mais alta recuperação foi alcançada para ambas as membranas.	FIGOLI <i>et al.</i> (2010)

Suco de Amora	Sintetizar nanopartículas de estrutura de imidazolato zeolítico uniforme (ZIF-8) e depois dispersas em uma matriz de polidimetilsiloxano (PDMS) para preparar membranas híbridas ZIF-8 / PDMS. Avaliar o desempenho da membrana híbrida ZIF-8 / PDMS em sistemas modelo etanol-água, água aromática e na separação de compostos aromáticos voláteis (VACs) do suco natural de amora.	As membranas ZIF-8 / PDMS carregadas com 6% em peso das nanopartículas separaram etanol e os compostos característicos do suco de amora (linalol, benzaldeído e acetato de etila) de forma mais eficaz do que uma membrana de PDMS puro. ZIF-8 / PDMS foi usada para separar os VACs de suco natural de amora. Os compostos aromáticos voláteis totais no suco de amora diminuíram significativamente após o tratamento de pervaporação. A recuperação de linalol, benzaldeído e acetato de etila a 50 °C foram 93,8%, 92,1% e 75,2%, confirmando o alto desempenho da membrana híbrida ZIF-8 / PDMS.	RAO <i>et al.</i> (2020)
---------------	---	--	--------------------------

Suco de Laranja	Revisar os avanços significativo sobre o uso de operações baseadas em membrana na indústria de processamento de suco de frutas à luz do crescimento do interesse por produtos com maior segurança, qualidade, valor nutricional e sustentáveis. Avaliar processos caracterizados pelo baixo consumo de energia e baixo impacto ambiental.	As operações baseadas em membrana provaram ser alternativas atraentes para o convencional clarificação e concentração de sucos de frutas tanto do ponto de vista econômico quanto qualitativo. As operações microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF) permitem substituir a etapa de colagem com vantagens significativas em termos de requisitos e custos de baixa energia, redução de energia térmica, danos, design de processo mais simples, redução de produtos residuais e enzimas, aumento da produção de suco, fácil limpeza e manutenção do equipamento. Osmose reversa (RO), destilação por membrana (MD) e destilação osmótica (OD) representam alternativas úteis para o uso de evaporação térmica na concentração de suco de fruta. Níveis de concentração de 20-25 °Brix pode ser alcançado com economia de energia de 60-75% em RO comparado com a evaporação direta. Maiores níveis de concentração (até 65-70 Brix) podem ser alcançados por MD e OD operando em baixa temperatura e pressão, mantendo assim as características organolépticas e sensoriais originais do suco fresco. Finalmente, a recuperação pervaporativa ou concentração de compostos aromáticos de sucos de frutas é uma promissora alternativa ao uso convencional de destilação, condensação parcial e sua combinação.	CONIDI <i>et al.</i> (2020)
-----------------	---	--	-----------------------------

Fonte: os autores (2023).

Ao avaliar o processo de pervaporação em suco de caju, Assis *et al.* (2007) observaram que o número de compostos voláteis foi 2,5 vezes superior no suco pervaporado do que no suco retido, conforme análises cromatográficas. O experimento foi realizado em duas temperaturas (25 °C e 35 °C) e teve como objetivo avaliar a capacidade de recuperação de aromas nas etapas de alimentação, processo final e suco pervaporado. Outros compostos aromáticos presentes no suco

de caju foram avaliados após o processo de pervaporação. Garruti *et al.* (2003) identificaram o acetato de etila e o 3- metil- 1- butanol como aromas desagradáveis; relacionaram os compostos 3-metil-butanoato de metila, 3-metil-butanoato de etila, 2-butenato de etila, 2-metil-butanoato de etila e o butanoato de etila como aromas fortes e o hexanoato de metila e hexanoato de etila como aromas fracos de caju.

Raisi; Aroujalian e Kaghazchi (2008) avaliaram os parâmetros-chave na recuperação de aromas de sucos de romã por pervaporação com membranas de polidimetilsiloxano (PDMS) e polioctilmetilsiloxano (POMS) com diferentes espessuras. Eles notaram que a taxa do fluxo de alimentação não apresentou efeito significativo no fluxo total e no fator de enriquecimento de aroma, mas, que um aumento da temperatura na alimentação, aumentou a taxa de difusão das moléculas de permeação individuais.

As membranas utilizadas nesse trabalho apresentaram fatores de enriquecimento superiores em 3-metil butanal e acetato de isopentila do que em n-hexanol e α -ionona, isso se dá pelo coeficiente de atividade reduzido dos compostos orgânicos em água, pelo grupo hidroxila no álcool e ao maior tamanho molecular da α -ionona e a sua baixa taxa de difusão na membrana. As membranas PDMS apresentaram fluxos totais e fatores de enriquecimento mais baixos em comparação com as membranas POMS (RAISI; AROUJALIAN; KAGHAZCHI, 2008).

Cassano *et al.* (2006) utilizaram a pervaporação para recuperar compostos aromáticos voláteis específicos, como butanoato de metila, butanoato de etila, 1-hexen-1-ol e 1- hexanol de suco de kiwi ultrafiltrado. Após a pervaporação, os compostos foram incorporados para aprimorar o suco concentrado de kiwi. Figoli *et al.* (2010) utilizaram uma membrana composta, que apresentava uma camada ativa de estireno-butadieno-coestireno (SBS) para recuperação de compostos aromáticos voláteis do suco de Kiwi. Ao final do processo, eles observaram que a temperatura influencia na recuperação

dos compostos voláteis e afirmaram que 30 °C foi a temperatura ideal para o processo.

Rao *et al.* (2020) avaliaram a recuperação de aromas do suco de amora usando uma membrana híbrida ZIF-8/PDMS carregada com 6% em peso das nanopartículas e, notaram que as concentrações de linalol, benzaldeído e acetato de etila, compostos característicos do suco de amora foram separados mais eficientemente pela membrana híbrida em comparação com a de PDMS puro, recuperando a 50°C cerca de 93,8%, 92,1% e 75,2% de linalol, benzaldeído e acetato de etila, respectivamente, da alimentação de suco. Portanto, uma seleção adequada de membrana resulta em uma otimização da recuperação de aromas em bebidas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pervaporação é um método emergente que vem sendo amplamente estudado a respeito das suas aplicações nas mais diversas áreas. Neste trabalho, podemos ver como é realizado a recuperação dos aromas, os tipos de membranas utilizadas para conservar/recuperar os aromas e as aplicações da pervaporação na indústria de alimentos. Apesar de haver outros métodos de recuperação de aromas, a pervaporação destaca-se por suas vantagens, como apresentadas ao longo do trabalho. Por isso, considerando as pesquisas já existentes a respeito desse método, observamos que a pervaporação pode ser uma alternativa muito conveniente para se obter produtos de maior qualidade e com o perfil aromático completo, atendendo as demandas de um mercado consumidor cada vez mais exigente.

REFERÊNCIAS

ASSIS, A. VON R. DE *et al.* Recuperação e concentração de componentes do aroma de caju (*Anacardium occidentale* L.) por pervaporação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 2, p. 349–354, 2007.

AZEVEDO, Alvaro Bandeira Antunes. **Extração e recuperação dos princípios ativos do café utilizando fluidos supercríticos**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2005.

BEJARANO, A.; DEL VALLE, J. M. Countercurrent fractionation of aqueous apple aroma constituents using supercritical carbon dioxide. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 120, p. 266–274, 2017.

BEJARANO, A.; SIMÕES, P. C.; DEL VALLE, J. M. Fractionation technologies for liquid mixtures using dense carbon dioxide. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 107, p. 321–348, 2016.

BORISOV, I. L. *et al.* Influence of feed flow rate, temperature and feed concentration on concentration polarization effects during separation of water-methyl acetate solutions with high permeable hydrophobic pervaporation PDMS membrane. **Journal of Membrane Science**, v. 564, p. 1–9, 2018.

CALDEIRA, I. M. j. **O aroma de aguardentes vínicas envelhecidas em madeira. Importância da tecnologia de tanoaria**. 2004, 233 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agroindustrial) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 2004.

CANTELI, Anderson Marcos Dias. **Recuperação do aroma de café, benzaldeído, em coluna de adsorção utilizando carvão ativado**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

CARPINÉ, Danielle. **Recuperação do aroma álcool feniletílico por adsorção em batelada e em coluna**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

CASSANO, A. *et al.* Integrated membrane process for the production of highly nutritional kiwifruit juice. **Desalination**, v. 189, n. 1- 3 SPEC. ISS., p. 21–30, 2006.

CASTRO-MUÑOZ, R. Pervaporation: The emerging technique for extracting aroma compounds from food systems. **Journal of Food Engineering**, v. 253, n. September 2018, p. 27–39, 2019.

CATARINO, M.; FERREIRA, A.; MENDES, A. Study and optimization of aroma recovery from beer by pervaporation. **Journal of Membrane Science**, v. 341, n. 1–2, p. 51–59, 2009.

CATARINO, M.; MENDES, A. Non-alcoholic beer - A new industrial process. **Separation and Purification Technology**, v. 79, n. 3, p. 342–351, 2011.

CONIDI, C.; CASTRO-MUÑOZ, R.; CASSANO, A. Membrane-based operations in the fruit juice processing industry: A review. **Beverages**, v. 6, n. 1, p. 1–39, 2020.

CONIDI, C.; DRIOLI, E.; CASSANO, A. Perspective of membrane technology in pomegranate juice processing: A review. **Foods**, v. 9, n. 7, p. 1–25, 2020.

CORBETT, J. M. Scents of Identity: Organisation Studies and the Cultural Conundrum of the Nose. **Culture and Organization**, v. 12, ed. 3, p. 221–232, 2006.

COSTA, A. L. C. N. DA; FARIAS, S. A. DE. O aroma ambiental e sua relação com as avaliações e intenções do consumidor no varejo. **Revista de Administração de Empresas**, v. 51, n. 6, p. 528–541, 2011.

FERNANDES, Marco Túlio Cícero Araújo. **Membranas Isotrópicas e Anisotrópicas Densas Baseadas em Polímeros Naturais para Desidratação de Etanol por Pervaporação**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

FIGOLI, A. *et al.* Evaluation of pervaporation process of kiwifruit juice by SPME-GC/Ion Trap Mass Spectrometry. **Desalination**, v. 250, n. 3, p. 1113–1117, 2010.

FONSECA, N, A, A. **Simulação do processo de adsorção psa para separação da mistura etanol** - água. p. 1-141, 2011.

GARRUTI, D. S. *et al.* Evaluation of volatile flavour compounds from cashew apple (*Anacardium occidentale* L) juice by the Osme gas chromatography/olfactometry technique. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 83, n. 14, p. 1455–1462, 2003.

KARLSSON, H. O. E.; TRÄGÅRDH, G. Applications of pervaporation in food processing. **Trends in Food Science and Technology**, v. 7, n. 3, p. 78–83, 1996.

KARLSSON, H. O. E.; TRÄGÅRDH, G. Aroma Recovery during Beverage Processing. **Journal of Food Engineering**, v. 34, n. 2, p. 159–178, 1997.

KOBER, P. A. Pervaporation, perstillation and percrystallization. **Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine**, v. 14, n. 5, p. 87–88, 1917.

KRUSEMARK, E. A. *et al.* When the sense of smell meets emotion: Anxiety-state- dependent olfactory processing and neural circuitry adaptation. **Journal of Neuroscience**, v. 33, n. 39, p. 15324–15332, 2013.

KUJAWSKA, A.; KNOZOWSKA, K.; KUJAWA, J.; KWJAWSKI, W. Influence of downstream pressure on pervaporation properties of PDMS and POMS based membranes. **Separation and Purification Technology**, v. 159, p. 68–80, 2016.

LATYKI, Bruna Lupepsa. **Comparação entre os Métodos de Recuperação de Solvente Industrial por Destilação Simples e Fracionada**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

LAZAROVA, M.; BÖSCH, P.; FRIEDL, A. POMS Membrane for selective separation of ethanol from dilute alcohol-aqueous solutions by pervaporation. **Separation Science and Technology (Philadelphia)**, v. 47, n. 12, p. 1709–1714, 2012.

LIPNIZKI, F.; OLSSON, J.; TRÄGÅRDH, G. Scale-up of pervaporation for the recovery of natural aroma compounds in the food industry. Part 1: simulation and performance. **Journal of Food Engineering**, v. 54, n. 3, p. 183–195, 2002a.

LIPNIZKI, F.; OLSSON, J.; TRÄGÅRDH, G. Scale-up of pervaporation for the recovery of natural aroma compounds in the food industry Part 2: optimisation and integration. **Journal of Food Engineering**, v. 54, n. 3, p. 197–205, 2002b.

LIU, G.; WEI, W.; JIN, W. Pervaporation membranes for biobutanol production. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, v. 2, n. 4, p. 546–560, 2014.

MAFI, A. *et al.* A mathematical model for mass transfer in hydrophobic pervaporation for organic compounds separation from aqueous solutions. **Journal of Membrane Science**, v. 423–424, p. 175–188, 2012.

MCKEOWN, N. B. Polymers of intrinsic microporosity. **ISRN Materials Science**, v. 2012, p. 1–16, 2012.

MOTTRAM, D. S. The maillard reaction: Source of flavour in thermally processed foods. **Flavours and Fragrances: Chemistry, Bioprocessing and Sustainability**, p. 269–283, 2007.

OLIVEIRA, Leticia Raquel de. **Remoção de alumínio em sistema contínuo por adsorção em coluna de leito fixo com carvão ativado**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

OLMO, Á. DEL *et al.* Pervaporation methodology for improving alcohol-free beer quality through aroma recovery. **Journal of Food Engineering**, v. 133, p. 1–8, 2014.

PALAZZO, C. C.; MEIRELLES, C. D. S.; JAPUR, C. C.; DIEZ-GARCIA, R. W. Gosto, sabor e paladar na experiência alimentar: reflexões conceituais. **Interface-Comunicação, Saúde, Educação**, v. 23, n. 180078, p. 8, 2019.

PRESCOTT, J. Flavour as a psychological construct: Implications for perceiving and measuring the sensory qualities of foods. **Food Quality and Preference**, v. 10, n. 4–5, p. 349–356, 1999.

PRESTES ALVES, K. M.; DA SILVA, B. J. G.; DE PAULA SCHEER, A. Beer aroma recovery and dealcoholisation by a two-step pervaporation process. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 126, n. 1, p. 67–76, 2020.

QUEIROZ, Francisco Rubens Macedo de. **Sistema de Membranas de microfiltração/nanofiltração e ultrafiltração/osmose inversa: uma alternativa para a redução do nitrato em águas doces e salobras**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

RAISI, A.; AROUJALIAN, A. Aroma compound recovery by hydrophobic pervaporation: The effect of membrane thickness and coupling phenomena. **Separation and Purification Technology**, v. 82, n. 1, p. 53–62, 2011.

RAISI, A.; AROUJALIAN, A.; KAGHAZCHI, T. A predictive mass transfer model for aroma compounds recovery by pervaporation. **Journal of Food Engineering**, v. 95, n. 2, p. 305–312, 2009.

RAISI, A.; AROUJALIAN, A.; KAGHAZCHI, T. Multicomponent pervaporation process for volatile aroma compounds recovery from pomegranate juice. **Journal of Membrane Science**, v. 322, n. 2, p. 339–348, 2008.

RAO, Y. *et al.* Efficient recovery of the volatile aroma components from blackberry juice using a ZIF-8/PDMS hybrid membrane. **Separation and Purification Technology**, v. 230, n. July 2019, p. 115844, 2020.

SAFFARIONPOUR, S.; OTTENS, M. Recent advances in techniques for flavor recovery in liquid food processing. **Food Engineering Reviews**, v. 10, n. 2, p. 81–94, 2018.

SALGADO, C. M. *et al.* Application of pervaporation and nanofiltration membrane processes for the elaboration of full flavored low alcohol white wines. **Food and Bioproducts Processing**, v. 101, p. 11–21, 2017.

SANTOS, Jaqueline Campiol dos. **Extração com fluido supercrítico e suas aplicações na obtenção de produtos naturais**. 2011. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Farmácia) - Faculdade de Farmácia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SILVA, F, T; JARDINE, J, G; MATTA, V, M. Concentração de suco de laranja (*Citrus sinensis*) por osmose inversa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 1, p. 99-104, 1998.

SILVA, Alan Henrique da. **Estudos de adsorção de ácidos orgânicos visando sua recuperação de meios fermentados**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

SIMÕES, D. R. S.; WASZCZYNSKYJ, N.; WOSIACKI, G. Aromas em maçãs, suco e sidra: Revisão. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 153–172, 2009.

TAKÁCS, L.; VATAI, G.; KORÁNY, K. Production of alcohol free wine by pervaporation. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 118–125. 2007.

TRINDADE, R, S. **Caracterização de membranas poliméricas aplicadas ao processo de microfiltração**. 2010. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Materiais) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

WYLOCK, C. *et al.* Review on the potential technologies for aromas recovery from food industry flue gas. **Trends in Food Science and Technology**, v. 46, n. 1, p. 68–74, 2015.

ŽÁK, M. *et al.* Selective removal of butanol from aqueous solution by pervaporation with a PIM-1 membrane and membrane aging. **Separation and Purification Technology**, v. 151, p. 108–114, set. 2015.

Capítulo 6

Coagulação do leite e tecnologia do processamento de iogurte

Wallaf Costa Vimercati

Cintia da Silva Araújo

Leandro Levate Macedo

Luciano José Quintão Teixeira

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento acerca dos componentes do leite, em especial, das proteínas é de fundamental importância para a compreensão do processo de coagulação do leite. Desta forma, uma breve descrição da fração proteica do leite é apresentada a seguir.

No leite podem ser encontrados dois tipos principais de proteínas, as que são solúveis e aquelas que são insolúveis. As proteínas solúveis são, principalmente, as α -lactoalbuminas e β -lactoglobulinas (CARLSON; HILL; OLSON, 1986). As caseínas são proteínas insolúveis e consistem nas principais (cerca de 80% do total) e mais importantes proteínas encontradas no leite (DALGLEISH, 2011; LI; ZHAO, 2019). Existem basicamente quatro frações de caseínas no leite, que são denominadas de α s1, α s2, β e k (LAZZARO *et al.*, 2020). Neste grupo se destacam, em quantidade, a α s1 e β -caseínas. Essas proteínas se distinguem pela insolubilidade em pH 4,6, ou seja, no valor de pH em que a solubilidade é mínima, também denominado de ponto isoelétrico. Todas as caseínas consistem em proteínas conjugadas e apresentam, em sua maioria, grupos fosfatos esterificados aos resíduos de serina. Os grupos fosfato são de grande importância, pois conferem estrutura às micelas (KOBELITZ, 2011).

Grande parte das caseínas do leite encontram-se na forma de partículas coloidais, também denominadas de micelas (~95%). O restante, encontra-se em dispersão no leite. A micela de caseína tem estrutura porosa e apresenta a k-caseína em sua superfície. Além disso, na micela ainda estão presentes cálcio, fosfato, citrato, íons, lipase, plasmina (uma protease nativa) e soro de leite (KOBELITZ, 2011).

Uma das etapas mais importantes na fabricação de derivados lácteos como queijos e iogurtes é o processo de coagulação dessas proteínas. Desta forma, o conhecimento dos parâmetros envolvidos nesse processo desempenha um papel tecnológico importante para a indústria de laticínios.

A coagulação do leite ocorre devido à desestabilização das micelas frente a ação de agentes químicos e físicos, como a acidificação e ação de enzimas proteolíticas, em ambos os casos as características do coágulo formado serão distintas. A coagulação ácida gera um coágulo muito frágil e quebradiço, enquanto o coágulo enzimático tem maior elasticidade e firmeza (KOBELITZ, 2011).

As propriedades de coagulação do leite englobam os seguintes parâmetros: tempo de coagulação do coalho, taxa de endurecimento da coalhada e firmeza da coalhada. Estas características podem ser avaliadas por meio de dispositivos mecânicos e/ou ópticos, tais como, a análise lactodinamográfica. O leite de diferentes ruminantes apresenta diferenças em relação ao padrão de firmeza da coalhada ao longo do tempo. A quantidade, proporção e variáveis genéticas das frações proteicas do leite influenciam fortemente suas propriedades de coagulação. Essas propriedades têm recebido muita atenção do setor de laticínios nos últimos anos devido ao aumento do volume de leite processado, especialmente para a produção de queijos. Desta forma, estudos tem evidenciado que o conhecimento dessas propriedades produz informações relevantes para o processamento, rendimento e qualidade dos queijos produzidos (BITTANTE; PENASA; CECCHINATO, 2012).

Geralmente, o leite com alta contagem de células somáticas apresenta alterações em sua composição química, como menor teor de caseína e lactose, devido ao aumento da degradação mediada por proteases e diminuição da biossíntese, respectivamente. Portanto, esse leite torna-se menos adequado tanto para o consumo direto quanto para a produção de derivados, como o queijo, por apresentar uma coagulação mais lenta, menor consistência da coalhada e menor rendimento (BOBBO *et al.*, 2016).

Neste capítulo serão abordados os processos de coagulação ácida e enzimática do leite, uma vez que são os princípios básicos para produção da maioria dos produtos lácteos. Além disso, também será relatado sobre as etapas de produção do processamento do iogurte, que é o leite fermentado mais popular em todo o mundo.

2 COAGULAÇÃO DO LEITE

2.1 Coagulação ácida

A coagulação ácida ocorre por meio da adição de ácidos orgânicos como ácido láctico, acético e cítrico, podendo ocorrer também pela fermentação de bactérias lácticas, que produzirão o ácido láctico (KOBELITZ, 2011). Neste caso, o pH do leite é reduzido até 4,6, sendo este o ponto de mínima solubilidade das caseínas em água. A redução de pH ocasiona a neutralização das cargas negativas da k-caseína, fazendo com que a repulsão entre as micelas seja interrompida, além de perderem a camada de água de hidratação antes existente, devido à grande atração entre os íons liberados pelos ácidos e a água. Desta forma, ocorre a aglomeração das partículas coloidais, formando o gel ou coágulo (ABREU, 2014; KOBELITZ, 2011). Valores de pH mais elevados, como 5,2, também podem coagular a caseína, mas neste caso uma temperatura maior é requerida (80 a 90 °C) (FOX; MCSWEENEY, 1998).

Devido ao acúmulo de ácido láctico, ocorre redução do valor de pH e solubilização de sais cálcicos presentes nas micelas de caseína. Esse processo promove a desmineralização das micelas (migração de cálcio e fosfatos para o soro, desestabilizando a micela), que é total quando o valor de pH atinge o ponto isoelétrico (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005).

O iogurte é um dos principais exemplos de produtos lácteos oriundo da coagulação ácida do leite. Alguns queijos também são produzidos por coagulação ácida. A acidificação direta do leite para produção de queijos é um processo mais controlado quando comparado a acidificação bacteriana. No entanto, as culturas bacterianas adicionadas têm um papel importante, não somente na produção de ácidos, mas também no desenvolvimento de sabor do queijo (FOX *et al.*, 2000). Os queijos produzidos a partir da coagulação ácida como o quark, cottage, cream cheese e petit suisse são, geralmente, consumidos frescos e tem alto teor de umidade (FOX; MCSWEENEY, 1998).

2.2 Coagulação enzimática

A coagulação enzimática das micelas de caseína começa com a adição de uma enzima ao leite, geralmente quimosina/renina ou outras enzimas proteolíticas. A hidrólise da k-caseína ocasiona a desestabilização do sistema coloidal, dando início ao processo de aglomeração (CARLSON; HILL; OLSON, 1986; KOBLITZ, 2011; RUETTI-MANN; LADISCH, 1987).

As proteases utilizadas podem ser de diferentes origens. A renina, por exemplo, é uma enzima extraída do estômago de bezerros lactentes. Já a pepsina é extraída do estômago de animais não lactentes como bovinos, suínos e aves. Essas enzimas podem ainda ser de origem vegetal (Cardo do gênero *Cynara*), microbiana (produzida por fungos como *Mucor mihei*, *M. pussillus* e *Endothia parasítica*), e até mesmo podem ser obtidas por meio de técnicas de DNA recombinante. No entanto, a enzima mais comum para a produção de queijos é a renina, também conhecida como quimosina. Essa enzima tem uma ação específica, agindo na quebra da ligação entre os aminoácidos fenilalanina (105) e metionina (106) da k-caseína (CARLSON; HILL; OLSON, 1986; KOBLITZ, 2011; LI; ZHAO, 2019).

Na primeira etapa da coagulação enzimática ocorre o ataque da enzima à k-caseína, desestabilizando a micela. Desta quebra enzimática são liberadas duas porções: a para-k-caseína que tem característica hidrofóbica e o glicomacropeptídeo (GMP) que é hidrofílico e carrega consigo o seguimento C-terminal da k-caseína (KOBLITZ, 2011). Na segunda fase, ocorre a exposição das α e β -caseínas (sensíveis ao cálcio e ficam insolúveis em sua presença), que são liberadas devido ao rompimento da k-caseína e ocorre a ligação das para-k-caseínas via ligações de cálcio, formando o coágulo. Essa coagulação depende da concentração de Ca^{2+} . Além disso, a temperatura é um fator importante nesse processo, pois o leite bovino não coagula em temperaturas inferiores a 18 °C, exceto se a concentração de Ca^{2+} for muito elevada (KOBLITZ, 2011). A temperatura de 41 °C é a

ideal para a atuação da enzima do coelho, não apresentando atividade abaixo de 20 °C. A atividade dessa enzima aumenta até o valor de pH igual a 3,8 (ABREU; GAJO, 2014). O número de interações secundárias na coalhada aumenta com o tempo, ocasionando um processo de contração e expulsão de parte do soro (AMALFITANO *et al.*, 2019).

O cálcio é um mineral primordial para o processo de coagulação. O cálcio no leite é encontrado sob algumas formas distintas, a saber: cálcio solúvel (35%) e insolúvel ou coloidal (65%). O cálcio solúvel, também chamado de cálcio dissolvido, está presente em cerca de 10% sob a forma ionizada (papel ativo na coagulação) e o restante como citrato e fosfato de cálcio, que não participam efetivamente da coagulação. Do total de cálcio coloidal, aproximadamente, 20% estão ligados à micela de caseína (como caseinato de cálcio) e o restante está na forma de fosfato de cálcio (FURTADO, 2019).

Quando o leite é aquecido em temperaturas acima de 70 °C pode ocorrer a insolubilização dos sais de cálcio naturalmente presentes e a perda do equilíbrio fosfocaseinato de cálcio, que é necessário no processo de coagulação. Geralmente, para reestabelecer esse equilíbrio são utilizados de 20 a 30 gramas de CaCl_2 , na forma de solução aquosa a 50%, para cada 100 litros de leite (ABREU; GAJO, 2014). O íon cálcio (Ca^{2+}), ou seja, cálcio solúvel, atua na formação de uma rede de coalhada, pois auxilia na neutralização das cargas negativas da micela de caseína e na formação de ligações entre elas. A atividade do íon cálcio influencia o tempo de coagulação e a firmeza da coalhada. Quando o cloreto de cálcio é adicionado, aumenta-se a quantidade de Ca^{2+} e parte do cálcio adicionado reage com o fosfato (PO_4H) da caseína, dando origem ao fosfato tricálcico micelar (fosfoparacaseinato de cálcio), o que reduz um pouco o pH do leite devido a liberação de H^+ , ajudando no processo de coagulação (FURTADO, 2019).

Os íons H^+ liberados durante a produção de ácido láctico, transformam o cálcio coloidal em cálcio solúvel, sob a forma de lactato de cálcio. Esse composto fica dissolvido na água presente no interior da coalhada e esse processo recebe o nome de desmineralização, sendo

importante para definir a textura final do queijo produzido. Quanto mais ácido é produzido e, portanto, menor é o pH da coalhada, menor é a quantidade de cálcio coloidal existente e maior a expulsão do soro (FURTADO, 2019). A solubilização do cálcio coloidal (mantém as submicelas unidas) é completa a pH 4,6, de forma que, a quantidade de cálcio retida no queijo depende do pH em que o soro é drenado (MCSWEEENEY, 2007).

3 PRODUÇÃO DO IOGURTE

3.1 Definição

A Instrução Normativa (IN) nº 46, de 23 de outubro de 2007, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), estabelece o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados. De acordo com essa IN, os leites fermentados são definidos como “os produtos adicionados ou não de outras substâncias alimentícias, obtidas por coagulação e diminuição do pH do leite, ou reconstituído, adicionado ou não de outros produtos lácteos, por fermentação láctica mediante ação de cultivos de microrganismos específicos”. Além disso, durante toda a vida útil dos leites fermentados, os microrganismos devem estar viáveis, ativos e abundantes (BRASIL, 2007).

O iogurte é o leite fermentado mais popular em todo o mundo. Este produto apresenta uma variedade de composições, podendo ser fabricado com diferentes teores de matéria seca e gordura, adição de outras substâncias não lácteas, como frutas, açúcar, agentes espessantes e outros aditivos (WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006; BYLUND, 2015). De acordo com a legislação brasileira, o iogurte é considerado um leite fermentado cuja fermentação se realiza com cultivos protosimbióticos de dois microrganismos específicos, o *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e o *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, aos quais podem acompanhar, de forma complementar, outras bactérias ácido-lácticas que, por sua atividade, contribuam para a

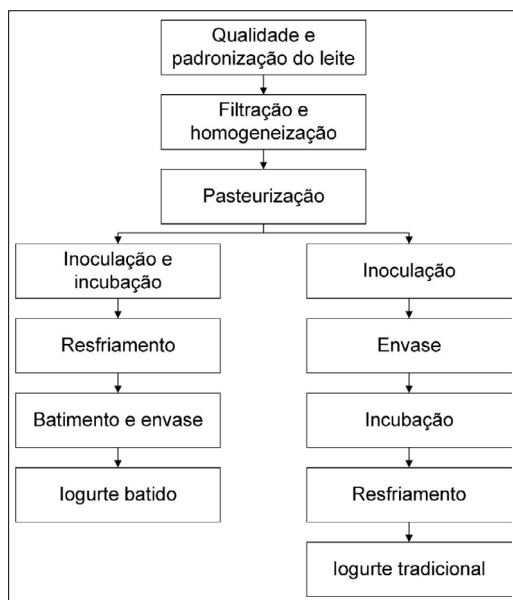
determinação das características do produto. Além disso, vale ressaltar que o número de bactérias lácticas total presentes no iogurte deve ser de, no mínimo, 10^7 UFC/g durante a vida útil do produto (BRASIL, 2007).

Os iogurtes recebem vários tipos de classificação. No entanto, os tipos comumente conhecidos e comercializados mundialmente são o iogurte tradicional (também conhecido como iogurte de copo) e o iogurte batido (ABREU; GAJO, 2014; WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006;). As etapas para a produção desse produto serão descritas nesse capítulo.

3.2 Etapas da produção

As etapas necessárias para a obtenção de cada um dos tipos de iogurte são apresentadas na Figura 1.

Figura 1 - Etapas do processamento de iogurte batido (A) e iogurte de copo (B)



Fonte: adaptado de Ordóñez *et al.* (2005).

O iogurte batido e o iogurte de copo apresentam várias etapas em comum (Figura 1). As principais diferenças serão descritas ao longo do texto.

3.3 Qualidade e padronização do leite

A composição do leite é influenciada por vários fatores, tais como raça animal, alimentação, estação do ano, estágio de lactação. Portanto, a padronização é necessária para garantir o controle de qualidade do produto e atender as especificações das legislações vigentes (BYLUND, 2015; MCSWEENEY, 2007).

A qualidade do leite para a elaboração de produtos lácteos é de extrema importância, uma vez que a qualidade da matéria-prima é determinante na qualidade do produto (ABREU; GAJO, 2014). Um leite de qualidade físico-química desejável para o consumo ou para fabricação de produtos lácteos deve apresentar, aproximadamente, teor de água de 88%, extrato seco total de 12%, acidez láctica de 0,14 a 0,18% de ácido láctico, pH de 6,6 a 6,8, teor de proteína de 3,2 a 3,6%, lactose de 4,5 a 5,0%, gordura de 3,0 a 3,5% e sais minerais de 0,8 a 1% (ABREU; GAJO, 2014; BYLUND, 2015; WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006).

A gordura é um dos constituintes que apresenta maior variação. O conteúdo de matéria gorda deve ser padronizado de acordo com o produto que se deseja obter. Com isso, dependendo do tipo de iogurte, o leite pode passar por processos de desnate, adição de leite desnatado ao leite integral ou adição de creme até alcançar o teor de gordura necessário (FOX *et al.*, 2000; MCSWEENEY, 2007). A legislação brasileira (BRASIL, 2007) classifica os leites fermentados em relação a matéria gorda como:

- Com creme: base láctea com um conteúdo de matéria gorda mínima de 6,0 g/100 g.
- Integrais: base láctea com um conteúdo de matéria gorda mínima de 3,0 g/100 g.

- Parcialmente desnatados: base láctea com um conteúdo de matéria gorda máxima de 2,9 g/100 g.
- Desnatados: base láctea com um conteúdo de matéria gorda máxima de 0,5 g/100 g.

Para a produção de iogurte, o extrato seco total (EST) do leite é padronizado para cerca de 14 a 16% com sólidos lácteos não-gordurosos. O aumento do EST pode ser feito com adição de leite em pó desnatado ou leite concentrado, visando reduzir o tempo de coagulação, aumentar a viscosidade do produto e reduzir a sinérese (KIM; OH; IMM, 2018; ORDÓÑEZ *et al.*, 2005).

Quando é utilizado açúcar para a produção de iogurte, este ingrediente deve ser adicionado antes do aquecimento do leite, pois eliminará microrganismos que podem estar presentes. Geralmente, é adicionado de 10 a 12% de açúcar (ABREU; GAJO, 2014).

Além da qualidade físico-química, o leite deve ser isento de substâncias inibidoras (antibióticos), isento de adulterantes e ter excelente qualidade microbiológica. A presença de microrganismos indesejáveis, adulterantes e inibidores podem resultar em falhas na fabricação de iogurtes, gerando produtos defeituosos, além de problemas de saúde pública (BYLUND, 2015; FOX *et al.*, 2000).

3.4 Filtração e homogeneização

A filtração é realizada a fim de eliminar substâncias não lácteas que não foram dissolvidas e grumos provenientes do leite. Essa etapa pode ser realizada por meio de filtros cônicos, filtros de nylon ou aço inoxidável (ORDÓÑEZ *et al.* 2005).

A homogeneização do leite promove a dispersão dos glóbulos de gordura e impede a coalescência. Além disso, melhora o sabor, a consistência, a apresentação e a digestibilidade do iogurte. A homogeneização contribui também com o aumento da consistência e da capacidade de retenção de água pelas proteínas, contribuindo com

o aumento da interação caseína e membrana do glóbulo de gordura (ABREU; GAJO, 2014; BYLUND, 2015; ORDÓÑEZ *et al.* 2005).

3.5 Pasteurização e resfriamento

O Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA) define em seu Art. 255 pasteurização como “o tratamento térmico aplicado ao leite com objetivo de evitar perigos à saúde pública decorrentes de microrganismos patogênicos eventualmente presentes, e que promove mínimas modificações químicas, físicas, sensoriais e nutricionais” (BRASIL, 2017).

O RIISPOA também descreve os dois tipos de pasteurização que podem ser aplicados ao leite, a pasteurização lenta ou rápida. “A pasteurização lenta consiste no aquecimento indireto do leite entre 63 °C e 65 °C/30 minutos, mantendo-se o leite sob agitação mecânica, lenta, em aparelhagem própria. A pasteurização rápida consiste no aquecimento do leite em camada laminar entre 72 °C e 75 °C/ 15 a 20 segundos, em aparelhagem própria” (BRASIL, 2017).

Contudo, para o processamento do iogurte, o leite passa por uma pasteurização mais severa em relação aos tipos convencionais. O tratamento térmico mais recomendado é 83 °C/30 minutos ou 90 °C a 95 °C/ 2 a 5 minutos. O objetivo principal deste tratamento térmico é promover maior desnaturação das proteínas do soro (70% - 95%), fazendo com essas proteínas solúveis formem novas ligações com os demais constituintes do leite e se depositem sobre a submicela de κ -caseína, contribuindo com o aumento da viscosidade do iogurte e redução do risco de separação do soro da coalhada (BYLUND, 2015; LESME *et al.*, 2020). Além disso, este tratamento térmico apresenta as mesmas vantagens que os binômios recomendados para a pasteurização, tais como eliminação de microrganismos patogênicos, outros microrganismos que iriam competir com o inóculo e inativação de enzimas endógenas (ABREU; GAJO, 2014; ORDÓÑEZ *et al.*, 2005).

Após a aplicação do tratamento térmico, o leite deve ser resfriado até a temperatura de inoculação do fermento (40 – 45 °C) (BYLUND, 2015).

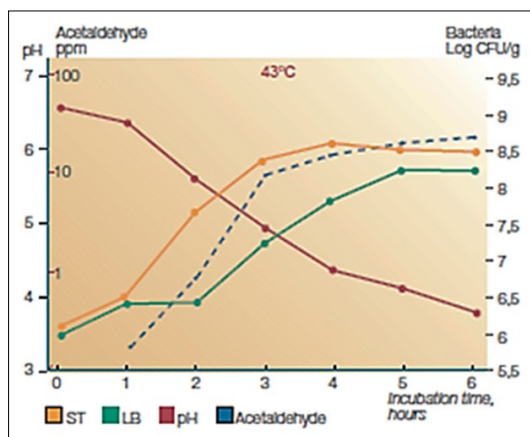
3.6 Inoculação e fermentação

A cultura starter formada por *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, em uma proporção de 1:1, é adicionada ao leite. Essas culturas podem ser adquiridas na forma líquida, liofilizada ou concentrada congelada, sendo necessária uma prévia reativação antes da inoculação, caso sejam adquiridas as culturas liofilizadas e concentrada congelada. Após a inoculação da cultura, é realizada a homogeneização para completa dissolução do fermento no leite e incubação a 40-45 °C por um período de 4 a 5h. Geralmente, a quantidade da cultura starter utilizada varia de 2 a 3% do volume total do leite (AQUARONE *et al.*, 2001; BYLUND, 2015; ORDÓÑEZ *et al.*, 2005; ROBERT, 2008). No entanto, cada fabricante apresenta a recomendação da quantidade a ser utilizada, devendo ser rigorosamente seguida.

A cultura starter deve apresentar qualidade desejável em relação a pureza, crescimento desejável, facilidade de conservação, produção de aroma e sabor característicos do iogurte e ser resistente ao açúcar (AQUARONE *et al.*, 2001).

O *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* atuam em simbiose e produzem as características desejadas ao iogurte, como acidez, sabor, aroma e consistência. A taxa de crescimento entre essas duas espécies é alterada ao longo do processo (Figura 5) (AQUARONE *et al.*, 2001; BYLUND, 2015).

Figura 2 – Crescimento de *S. thermophilus* (ST) e *L. bulgaricus* ao longo do tempo de incubação



Fonte: Bylund (2015).

Inicialmente, o *S. thermophilus* multiplica-se mais rapidamente, pois o *L. bulgaricus*, que tem atividade proteolítica, fornece aminoácidos e peptídeos necessários para sua multiplicação. Além disso, o *S. thermophilus* tem uma maior capacidade de desdobrar a lactose em pH mais neutro (6,2 a 6,5), gerando um aumento de ácido lático e, consequentemente, redução do pH. Essa acidificação do meio reduz o crescimento do *S. thermophilus* (aproximadamente em 46 °D) e favorece o rápido crescimento do *L. bulgaricus*. Paralelamente a isso, ocorre a formação de acetaldeído e diacetil (principais componentes responsáveis pelo sabor do iogurte) (ABREU; GAJO, 2014; AQUARONE *et al.*, 2001; BYLUND, 2015; ORDÓÑEZ *et al.*, 2005).

Com o aumento da acidez, o pH do leite é reduzido até 4,6 (ponto isoelétrico da caseína) e ocorre a coagulação ácida da caseína (ver tópico 2.1 coagulação ácida).

O método de conservação por acidificação já é utilizado há muitos anos para aumentar a vida útil dos alimentos. A redução do pH e o consequente acúmulo de ácido lático contribuem com o aumento da conservação do iogurte, pois atuam na inibição de microrganismos

contaminantes, sendo uma proteção natural para este produto (ROBERT, 2008). A maioria das bactérias possuem um ótimo de crescimento em valores de pH próximo a neutralidade. Em valores de pH abaixo de 4,5, o crescimento microbiano é raro, exceção apenas para algumas bactérias acéticas e lácticas (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005).

O processo de acidificação do meio deve ser cuidadosamente controlado, mantendo a higiene adequada e seguindo as condições específicas dos microrganismos (ABREU; GAJO, 2014).

3.7 Resfriamento

O resfriamento é uma das etapas mais importantes na produção de iogurte, sendo utilizado para inibir a multiplicação das bactérias e a produção de ácido. O resfriamento antecipado resulta em um iogurte mole, sem acidez, sabor e aroma característicos. Por outro lado, o resfriamento tardio causa maior acidez e grandes chances de dessoragem no iogurte. O ideal é interromper a fermentação quando a proporção de 1:1 de *S. thermophilus*: *L. bulgaricus* (ABREU; GAJO, 2014; AQUARONE *et al.*, 2001) for atingida e os valores de pH situarem-se entre 4,5-4,7 e acidez entre 0,85 e 0,90% ácido láctico (AQUARONE *et al.*, 2001; ROBERT, 2008). Vários autores recomendam que o resfriamento deve ser realizado em duas etapas para evitar o choque térmico da massa e causar problemas como dessoragem e encolhimento da massa. Portanto, primeiramente é realizado um resfriamento rápido (20 a 25 °C) para evitar a super acidificação. Em seguida, o produto é resfriado abaixo de 10 °C (ABREU; GAJO, 2014; ORDÓÑEZ, ROBERT, 2008).

Neste contexto, a utilização de baixa temperatura de estocagem em sinergia com a redução do pH do produto contribuem para uma maior vida útil do iogurte (superior a 20 dias) (ORDÓÑEZ *et al.*, 2005).

3.8 Batimento e envase

No processamento do iogurte tradicional, a fermentação ocorre dentro de cada embalagem e o produto não passa pela quebra do gel e batimento. Com isso, este tipo de iogurte apresenta uma coalhada mais firme e consistente. Este tipo de iogurte deverá sofrer a mínima agitação possível. Caso contrário, aparecerão problemas de dessoramento. Por outro lado, a fermentação do iogurte batido ocorre em tanques, sendo realizada a quebra do gel, batimento e posterior envase. Sendo assim, este produto apresenta um gel mais fraco e um aspecto mais fluido. Para este tipo de iogurte, deve-se considerar uma homogeneização completa da coalhada e diminuir a viscosidade o mínimo possível. Posteriormente, ocorre o bombeamento do iogurte do tanque de fermentação para as embalagens. O produto pode ser acondicionado em diferentes tipos de embalagens, sendo as embalagens de polietileno as mais utilizadas atualmente (ABREU; GAJO, 2014; BYLUND, 2015; ORDÓÑEZ *et al.*, 2005).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O leite é um alimento que apresenta uma curta vida útil, devendo ser submetido a algum tipo de processamento para sua maior estabilidade. A redução de pH do leite, como ocorre no processo de fabricação do iogurte, contribui com sua maior vida útil, além de gerar um produto amplamente aceito e comercializado no mundo todo.

A compreensão do processo de coagulação do leite é de fundamental importância para os laticínios, uma vez que é amplamente utilizada para a fabricação de inúmeros produtos lácteos e influencia diretamente no rendimento e qualidade dos produtos.

REFERÊNCIAS

ABREU, L. R. de. **Físico-química, qualidade e processamento de leite**. Lavras: UFLA, 2014.

ABREU, L. R.; GAJO, A. A. **Tecnologia de produtos Lácteos**. Lavras: UFLA, 2014. 195 p.

AMALFITANO, N. *et al.* Milk protein fractions strongly affect the patterns of coagulation, curd firming, and syneresis. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 4, p. 2903–2917, 2019.

AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. LIMA, U. A. **Biotechnologia industrial**: volume 4: biotecnologia na produção de alimentos. Editora Edgard Blücher LTDA. São Paulo-SP, 2001 523 p.

BITTANTE, G.; PENASA, M.; CECCHINATO, A. Invited review: Genetics and modeling of milk coagulation properties. **Journal of Dairy Science**, v. 95, n. 12, p. 6843–6870, 2012.

BOBBO, T. *et al.* The nonlinear effect of somatic cell count on milk composition, coagulation properties, curd firmness modeling, cheese yield, and curd nutrient recovery. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 7, p. 5104–5119, 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto n. 9.013/2017. Dispõe sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**: seção 1. Brasília, DF, 29 mar. 2017. Disponível em: <https://alimentusconsultoria.com.br/wpcontent/uploads/2017/03/DECRETO-N%C2%BA-9.013-DE-29-DE-MAR%-C3%87ODE-2017-1.pdf>. Acesso em: 14 maio 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa n° 46, de 23 de outubro de 2007. Regulamento técnico de identidade e qualidade de leites fermentados. **Diário Oficial da União**: seção 1. Brasília, DF, 24 out. 2007. Disponível em: <http://www.cidasc.sc.gov.br/inspecao/files/2012/08/instruÇÃO-normativa-no-46-de-23-de-outubro-de-2007.pdf>. Acesso em: 13 maio 2021.

BYLUND, G. **Dairy processing handbook**. Tetra Pak Processing Systems ABS-221 86 Lund, Sweden, 2015. 442 p.

CARLSON, A.; HILL, G. C.; OLSON, N. F. The coagulation of milk with immobilized enzymes: A critical review. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 8, n. 11, p. 642–650, 1986.

DALGLEISH, D. G. On the structural models of bovine casein micelles - Review and possible improvements. **Soft Matter**, v. 7, n. 6, p. 2265–2272, 2011.

FOX, P. F. *et al.* **Fundamentals of Cheese Science**. Gaithersburg, Maryland: ASPEN, 2000. 559 p.

FOX, P. F.; McSWEENEY, P. L. H. **Dairy Chemistry and Biochemistry**. London: Blackie Academic & Professional, 1998.

FURTADO, M. M. **Queijos semiduros**. 1. ed. São Paulo: Setembro editora, 2019.

KIM, M.; OH, S.; IMM, J. Y. Buffering capacity of dairy powders and their effect on yoghurt quality. **Korean Journal for Food Science of Animal Resources**, v. 38, n. 2, p. 273–281, 2018.

KOBLITZ, M. G. B. **Matérias-primas alimentícias**: composição e controle de qualidade. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan Ltda, 2011. 320 p.

LAZZARO, F. *et al.* Tailoring the structure of casein micelles through a multifactorial approach to manipulate rennet coagulation properties. **Food Hydrocolloids**, v. 101, 2020.

LESME, H.; RANNOU, C.; FAMELART, M.-H.; BOUHALLAB, S.; PROST, C. Yogurts enriched with milk proteins: Texture properties, aroma release and sensory perception. **Trends in Food Science & Technology**, v. 98, p. 140–149, 2020.

LI, Q.; ZHAO, Z. Acid and rennet-induced coagulation behavior of casein micelles with modified structure. **Food Chemistry**, v. 291, p. 231–238, 2019.

McSWEENEY, P. L. H. **Cheese problems solved**. Cambridge: CRC press, 2007. 424p.

ORDÓÑEZ, J. A.; RODRIGUEZ, M. I. C.; ÁLVAREZ, L. F.; SANZ, M. L. G.; MINGUILLÓN, G. D. G. de F.; PERALES, L. de la H.; CORTECERO, M. D. S. **Tecnologia de alimentos - alimentos de origen animal**. Porto Alegre: Artmed, 2005.

ROBERT, N. F. **Dossiê técnico fabricação de iogurte**. Rio de Janeiro: Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, 2008. 33 p.

RUETTIMANN, K. W.; LADISCH, M. R. Casein micelles: structure, properties and enzymatic coagulation. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 9, n. 10, p. 578–589, 1987.

WALSTRA, P.; WOUTERS, J. T. M.; GEURTS, T. J. **Dairy Science and Technology**. 2 nd ed. Netherlands: CRC Press, 2006. 808 p.

Capítulo 7

Kefir de leite: uma bebida fermentada saudável

Larissa Queiroz Bravo
Klinger Vinícius de Almeida
Samarha Pacheco Wichello
Maria da Penha Piccolo
Luciano José Quintão Teixeira

1 INTRODUÇÃO

Kefir é uma bebida fermentada contendo diversos grupos microbianos dentre eles bactérias e leveduras, os quais vivem em simbiose envolto por uma matriz de polissacarídeo. Os benefícios associados a um consumo regular de kefir, podem ser advindos pelos microrganismos presentes nos grãos e no líquido, bem como por seus compostos bioativos (RODRIGUES, 2016). Kefir é originário das montanhas

do Cáucaso, sendo um produto tradicional e altamente consumido na Europa Oriental, Rússia e sudoeste Asiático. Atualmente, tem-se um aumento de seu consumo em vários países, devido às suas propriedades sensoriais únicas e sua longa história associada aos efeitos benéficos à saúde humana (FERREIRA, 2010; MIGUEL; LEITE, 2018).

A palavra kefir é de origem turca e significa “bem-estar”. Os grãos de kefir são constituídos por uma microbiota com presença de aproximadamente 35 espécies diversificadas, composta de leveduras fermentadoras de lactose (*Kluyveromyces marxianus*) e leveduras não fermentadoras de lactose (*Saccharomyces omnisporus*, *Saccharomyces cerevisiae* e *Saccharomyces exiguus*), além de *Lactobacillus casei*, *Bifidobacterium* sp e *Streptococcus salivarius subsp thermophilus*, sendo composta também por proteínas e lipídeos que formam seus grãos (MAGALHÃES *et al.*, 2011).

Seus grãos apresentam cor branca, sendo estes gelatinosos e irregulares de 1 a 2 cm de diâmetro e aparência de couve-flor, variando conforme a região de origem e o tempo de utilização (BRASIL, 2007) conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Grãos de kefir



Fonte: os autores (2023).

A legislação preconiza que os microrganismos específicos devem estar viáveis, ativos e abundantes no produto durante sua vida útil com a contagem mínima de 10^7 (UFC/g) de bactérias lácticas totais e de 10^4 (UFC/g) de leveduras específicas, de 0,5 a 1,5% de etanol (v/m) e acidez de até 1% (m/v) (BRASIL, 2007).

O produto lácteo fermentado é caracterizado como uma bebida refrescante, com sabor ligeiramente ácido e consistência cremosa parecida com o de um iogurte e pode ser acrescida de sabor utilizando frutas ou outra matéria prima compatível.

A microbiota é responsável pela capacidade de modular o intestino, ou seja, de ser classificado como probiótico e de acordo com Santos *et al.* (2012), os principais microrganismos pertencentes ao grupo de bactérias benéficas são os lactobacilos, leveduras e bifidobactérias.

Segundo Chen *et al.* (2014 apud CASSANEGO *et al.*, 2015) a maioria dos probióticos são bactérias, sendo que as bactérias ácido lácticas (BAL) são as mais conhecidas, estudadas e utilizadas em muitos alimentos além de estarem presentes em muitos leites fermentados, queijos e alimentos à base de vegetais.

Dentre os benefícios gerados pelo consumo do kefir, podem ser citados: os efeitos antitumorais, estímulo ao sistema imunológico, atividade antagonista a patógenos e tolerância por indivíduos lactase não persistentes além da modulação dos níveis de colesterol, dentre outros (FERREIRA, 2010; MIGUEL; LEITE, 2018).

A fermentação é dita como um processo de transformação a partir de bactérias do substrato presente, por via anaeróbica a fim de produzir energia para suprir o desempenho de suas funções biológicas (STANBURY; WHITAKER; HALL, 1995).

As características de um produto fermentado podem variar de acordo com o tempo, temperatura, quantidade de grãos utilizados, origem dos grãos, teor de gordura do leite e maturação (CONTIM; OLIVEIRA; NETO, 2018).

Probióticos são microrganismos utilizados para fermentar alimentos com intenção de melhorar a microbiota intestinal de acordo com seu consumo, sendo empregados frequentemente em leites fermentados, como o kefir (PINEIRO, *et al.*, 2008).

No Brasil, a principal forma de consumo consiste na doação dos grãos de kefir entre conhecidos e por meio de grupos em redes sociais, onde acontecem doações e troca de informações sobre o cultivo e receitas. Já se encontra kefir liofilizado e desidratado para a comercialização, mas a microbiota presente nos grãos possui diferentes características dependendo de cada local em que é produzido (IRMÃO; COSTA, 2018).

A vida útil deste produto fermentado é relativamente baixa, pois após a fermentação láctica ocorre a fermentação alcoólica com produção de CO₂, não conseguindo estabilizar essa transformação, sendo indesejável para a indústria e alguns consumidores em escala de produção artesanal.

2 PRODUTOS LÁCTEOS FERMENTADOS

Fermentação pode ser definida como um conjunto de reações químicas controladas enzimaticamente, em que uma molécula orgânica é degradada em compostos mais simples com liberação de energia. Geralmente, são produzidos ácidos orgânicos com redução dos níveis de pH com alteração de sabor, aroma e textura, além de trazer benefícios ao produto final (STANBURY; WHITAKER; HALL, 1995).

As bebidas lácteas podem ser classificadas de acordo com as características específicas que possuir, sendo elas: bebidas refrescantes, bebidas destinadas a dietas de esportistas ou outras dietas específicas, bebidas fermentadas similares aos leites fermentados e as bebidas nutritivas. Quando avaliado o enquadramento da bebida obtida do kefir de leite, ele é dito como bebida fermentada (VENTURINI FILHO, 2010).

A fermentação láctica é obtida a partir da ação das bactérias lácticas, por meio do consumo da lactose, sendo o açúcar presente no leite resultando na produção de ácido láctico, podendo ser realizada por via anaeróbia ou aeróbia (AQUARONE *et al.*, 2001).

O leite fermentado é desenvolvido para promover o aumento da vida de prateleira do leite, aumentar o valor nutritivo do produto e a qualidade terapêutica dos produtos elaborados (AQUARONE *et al.*, 2001).

Para a sua produção é exigido um controle rigoroso, quanto a sua acidez durante a fermentação, quando atinge o valor ideal ela é interrompida por resfriamento rápido ou pasteurização, independentemente da quantidade de substrato remanescente (AQUARONE *et al.*, 2001).

A bebidas lácteas fermentada podem ser: kefir, iogurte, leite acidófilo, leiteinho e coalhada (AQUARONE *et al.*, 2001).

2.1 Produtos lácteos fermentados probióticos

Eli Metchnikoff (1907), no início do século passado, no Instituto Pasteur em Paris, postulou que as bactérias ácido lácticas (BAL) ofereciam benefícios a saúde humana e que contribuía para longevidade. Henry Tissier, isolou uma bactéria de fezes de crianças alimentadas ao peito e que foi posteriormente identificada como *Bifidobacterium bifidum*. Tissier propôs que essas bactérias poderiam ser efetivas na prevenção de infecções em bebês e realizou alguns testes clínicos administrando bifidobactérias em crianças. Atualmente sabe-se que microbiota intestinal benéfica exerce efeito antagonístico, evitando proliferação ou infecção por bactérias indesejáveis.

O termo probiótico foi introduzido pela primeira vez em 1965 por Lilly e Stilwell, que significa a “favor da vida”. E em 1989, Roy Fuller enfatizou o requisito de viabilidade para os probióticos e introduziu o conceito de que eles exercem um efeito benéfico para o hospedeiro. E de acordo com Ferreira (1998) probiótico é um produto

contendo bactérias viáveis de origem intestinal humana quando o produto se destina ao consumo humano, e bactérias de origem intestinal específica quando este se destina ao consumo de uma determinada espécie animal.

As espécies de bactérias consideradas probióticas são: *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *L. acidophilus*, *Lactobacillus casei*, *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium infantis* e *Bifidobacterium adolescentis*.

Os probióticos contribuem beneficamente para as funções fisiológicas do trato intestinal do indivíduo além de promover efeitos profiláticos, terapêuticos e imunomodulador (KLAENHAMMER, 2001; PEREDA *et al.*, 2005; VENTURINI FILHO, 2010).

Lactobacillus estão predominantes na porção final do intestino delgado, ao passo que *Bifidobacterium* são encontradas no cólon e são responsáveis por ocuparem a luz no intestino e colonizarem as paredes, competindo com os demais microrganismos pelo espaço e nutrientes, além de liberarem o ácido láctico, inibindo as espécies menos tolerantes ao pH reduzido (PEREDA *et al.*, 2005).

Para um produto ser considerado probiótico é necessário que os microrganismos estejam viáveis durante toda a sua vida de prateleira e exerçam os efeitos benéficos comprovados (FERREIRA, 2012; VENTURINI FILHO, 2010).

2.2 Produtos lácteos fermentados prebióticos

Os prebióticos são classificados como ingredientes não digeríveis pelas enzimas digestivas e quando ingeridas pelo consumidor promovem efeitos benéficos a sua saúde mediante o estímulo seletivo do crescimento e/ou atividade de uma ou de um número limitado de bactérias no cólon (GIBSON; ROBERFROID, 1995; PINEIRO *et al.*, 2008).

Em alimentos ou bebidas lácteas, os prebióticos são advindos de adição, onde os seus principais compostos são, dissacarídeos, oligossacarídeos, polissacarídeos e outros oligossacarídeos produzidos

comercialmente. Os mais utilizados pela indústria são os fruto-oligossacarídeos (FOS), inulina, isomalto-oligossacarídeos e os transgalacto-oligossacarídeos, sendo que os permitidos para a utilização no Brasil são os FOS e a inulina (FERREIRA, 2012; SAAD; CRUZ; FARIA, 2011).

O consumo de dose diária de prebiótico pode variar de 4 a 5 g até 20 g de inulina e/ou oligofrutose, por um tempo de 15 dias, garantindo que haja o estímulo para a multiplicação de bifidobactérias no cólon (SAAD; CRUZ; FARIA, 2011).

A recomendação da Anvisa (2008) em relação ao consumo diário de fruto-oligossacarídeos e de inulina é de 3 g para alimentos sólidos e de 1,5 g para alimentos líquidos. Sua funcionalidade está diretamente ligada com o aumento do tempo de esvaziamento do estômago, com a modulação do trânsito no trato digestório e com a diminuição de colesterol pela absorção dos ácidos biliares. E está indiretamente ligada pela modulação da fermentação microbiana que estimula as bactérias bífidas, como o aumento de ácidos graxos de cadeia curta, com a diminuição do pH do meio, e com a diminuição da absorção de amônia, entre outras (COSTA; ROSA, 2010).

Sua utilização é uma estratégia para aumentar o número de bactérias bífidas no intestino, onde são difíceis de serem isoladas e manipuladas para a ingestão como probióticos, carregando o prebiótico que estimula as estirpes de bactérias bífidas já existentes no cólon do consumidor (COSTA; ROSA, 2010).

2.3 Produtos lácteos fermentados simbióticos

É dito simbiótico o produto que possuir microrganismo probiótico em sua composição e um composto prebiótico, proporcionando a ação conjunta, que juntos promovem benefícios à saúde. Podem ser classificados como componentes dietéticos funcionais que podem aumentar a sobrevivência dos microrganismos probióticos durante a passagem pelo trato digestório, por conta de seu substrato específico estar disponível para a fermentação (FERREIRA, 2012).

Os ácidos graxos de cadeia curta como lactato, propionato e butirato são os principais produtos da fermentação pela microbiota intestinal no intestino grosso contribuem para a redução do pH colônico, exercendo efeito benéfico na proteção contra carcinogênese, por meio da redução da biodisponibilidade de aminas tóxicas e redução da atividade de enzimas pro-carcinogênicas como azoretudase, nitroreductase. Além disso, ocorre síntese de vitaminas sendo a principal delas a vitamina K que é responsável pela coagulação sanguínea. As bebidas simbióticas promovem um aumento da biodisponibilidade de minerais principalmente o cálcio, o ferro e o magnésio pois os ácidos graxos de cadeia curta, podem influenciar na absorção intestinal destes minerais devido a modificação das trocas eletrolíticas e, com isso, o cálcio e o magnésio podem atravessar a membrana celular mais facilmente na forma de complexo de baixa carga (FERREIRA, 2012).

O seu consumo também está associado à efeitos terapêuticos, promovendo o efeito de barreira pelo epitélio, aumentando o suporte de transporte de nutrientes e de água ao mesmo tempo que previne a contaminação microbiana nos tecidos, promove também efeito anticarcinogênico, por conta das bactérias bífidas e da redução do pH intraluminal, efeito hipolipidêmico, por conta do uso dos frutooligosacarídeos e inulina tem demonstrado redução nos níveis de colesterol total, lipoproteínas de baixa densidade (LDL), e de triglicerídeos, efeito na intolerância à lactose, por conta da ingestão de bebidas e alimentos lácteos fermentados, com o teor de lactose reduzido quando comparado ao leite integral, efeito na encefalopatia portal sistêmica, é uma síndrome com sintomas neurológicos e mentais apresentando em diferentes graus de gravidade (FERREIRA, 2012).

3 O KEFIR E SEUS ASPECTOS LEGAIS

É considerado kefir o produto dito como leite fermentado, cuja fermentação é realizada com cultivos ácido-lácticos elaborados com grãos de kefir, sendo predominante *Lactobacillus kefir*, espécies dos

gêneros *Leuconostoc*, *Lactococcus* e *Acetobacter* com produção de ácido láctico, etanol e dióxido de carbono. Os grãos de Kefir são compostos por leveduras fermentadoras de lactose (*Kluyveromyces marxianus*) e leveduras não fermentadoras de lactose (*Saccharomyces omnispurus* e *Saccharomyces cerevisiae* e *Saccharomyces exiguus*), *Lactobacillus casei*, *Bifidobacterium* sp. e *Streptococcus salivarius* subsp. *Thermophilus* (BRASIL, 2007).

Seus grãos são constituídos por microrganismos como lactobacilos mesófilos, estreptococos e leveduras, que coagulam a caseína e convertem a lactose em ácido láctico, etanol e gás carbônico. No produto, os microrganismos devem estar viáveis e com ausência de patógenos e coliformes termotolerantes além de impurezas e qualquer elemento estranho (AQUARONE *et al.*, 2001).

O polissacarídeo presente no grão de kefir é denominado de kefirano, onde é sintetizado por *Lactobacillus brevis* composto de cadeias ramificadas de glicose e galactose e os microrganismos ficam retidos no polissacarídeo, formando assim o grão (PEREDA *et al.*, 2005).

Sua composição pode ser variada de acordo com a quantidade de gordura presente no leite, adição de sabor ao produto, adição de aromatizantes, adição de açúcar e adição de amido e/ou amido modificado como espessante (GALLINA, 2011). Em relação ao teor de gordura presente no leite, o fermentado pode ser classificado como:

Quadro 1 - Classificação de leites fermentados em relação ao teor de gordura

Classe	Teor de Gordura
Creme	mínimo de 6,0 g/100 g.
Integrais ou Enterros	mínimo de 3,0 g/100 g.
Parcialmente Desnatados	máximo de 2,9 g/100 g.
Desnatados	máximo de 0,5 g/100 g.

Fonte: Brasil (2007).

O leite fermentado é classificado como fermentado com adição, caso possua até no máximo de 30% (m/m) de ingredientes opcionais não lácteos adicionados a sua composição (BRASIL, 2007). Podem ser classificados como leite fermentado com açúcar, açucarados ou adoçados e/ou aromatizados/saborizados, quando possuir adição de açúcares, acompanhados ou não de glicídios (exceto polissacarídeos e poliálcoois) e/ou amidos ou amidos modificados e/ou maltodextrina e/ou se adicionam substâncias aromatizantes/saborizantes (BRASIL, 2007).

Os critérios microbiológicos para atender a legislação deverá ser de:

Quadro 2 - Critérios Microbiológicos

Microorganismos	Critério de Aceitação	Situação
Coliformes/g (30 °C)	n = 5 c = 2 m = 10 M = 100	4
Coliformes/g (45 °C)	n = 5 c = 2 m < 3 M = 10	4
Bolores e leveduras/g	n = 5 c = 2 m = 50 M = 200	2

Fonte: Brasil (2007).

Para o seu enquadramento em leites fermentados, o kefir deve possuir a contagem de bactérias lácticas totais de no mínimo 10^7 UFC/g totais, leveduras específicas no mínimo de 10^4 UFC/g. Ademais, o kefir deve apresentar uma acidez inferior a 1% e a concentração de etanol de 0,5 % a 1,5 % (% v/v) (BRASIL, 2007).

Os ingredientes bioativos do kefir que promovem o efeito de alimento funcionais são os polissacarídeos, substâncias antimicrobianas produzidas, ácidos orgânicos, peróxido de hidrogênio e bacteriocinas (COSTA; ROSA, 2010).

As suas atividades funcionais estão relacionadas ao estímulo do sistema imunológico, inibição do crescimento tumoral, diminuição da intolerância à lactose, metabolismo do colesterol e propriedades antimicrobianas (COSTA; ROSA, 2010).

4 FERMENTAÇÃO

O processo de fermentação, ocorre principalmente na ausência de oxigênio no seu processo bioquímico, ou seja, em anaerobiose, tendo a participação de fungos e bactérias como forma de obtenção de energia para manter a sua sobrevivência no meio (CAMARGO, 2020).

Ela ocorre apenas na primeira etapa de respiração celular, sendo realizada no citosol da célula, com auxílio de enzimas catalizadoras que tem a função de obter ATP para a célula (responsável pela troca energética da célula) independente da microbiota que a esteja realizando. Com isso, diz que a fermentação é uma via de produção energética, ocorrendo após a glicólise, que é um processo químico, em que os fosfatos são incorporados à molécula de glicose, para obter energia após a quebra da mesma (CAMARGO, 2020).

Existem três tipos de fermentação, sendo elas láctica, acética e alcoólica. A fermentação láctica, ocorre tanto em alimentos de origem vegetal, quanto de origem animal, como por exemplo no leite por conta da presença de bactérias lácticas (BAL), como os gêneros *Lactococos*, *Lactobacilos*, *Leuconostoc* e *Bifidobacteria* presentes nos produtos derivados do leite, sendo capazes de fermentar os carboidratos por duas vias: homofermentativa e heterofermentativa. Nesta fermentação eles utilizam como fonte de substrato a lactose presente no leite, que é um dissacarídeo formado por uma molécula de glicose e uma molécula de galactose, ao ser quebrada pela enzima lactase, ela se desdobra, com isso os monossacarídeos de glicose e galactose entram nas células e inicia o processo de fermentação láctica. Com o auxílio da lactato desidrogenase a glicose é reduzida em ácido pirúvico e com isso, as duas moléculas de ácido pirúvico são convertidas

em ácido láctico, ocorrendo assim a fermentação láctica (CABRAL, 2014; MARTINS *et al.*, 2014).

Ocorre o abaixamento do pH do meio promovendo a conservação dos alimentos. Essa acidez do meio provoca a coagulação de proteínas por exemplo, na elaboração de iogurte e queijo além de sobrepujar o crescimento de microrganismos deterioradores e deletérios à saúde humana (GOLDONI, 2004; MARTINS *et al.*, 2014). Ela é utilizada como meio de conservação destes alimentos, por conta do abaixamento do pH que se dá por conta da formação do ácido láctico (GOLDONI, 2004). Com isso dificulta o crescimento de microrganismos no meio que possam prejudicar à saúde humana ou deteriorar o alimento. No leite a fermentação provoca a coagulação das proteínas e a formação do coágulo, na produção de iogurtes e queijos

Na fermentação acética, ocorre a transformação do álcool em ácido acético por determinadas bactérias, conferindo o gosto característico de vinagre. As principais bactérias acéticas são *Acetobacter aceti*, *Acetobacter pasteurianus*, *Acetobacter xylinum*, *Acetobacter schützenbachii* e *Gluconobacter oxydans*. Ela ocorre em anaerobiose facultativa, ou seja, ainda há oxigênio na superfície do fermentado, onde as bactérias irão se concentrar para realizar a fermentação (RIZZON, 2006).

O principal produto da fermentação acética é o vinagre, que se dá principalmente pela fermentação do vinho (MARTINS *et al.*, 2014). Ela se dá pela oxidação do etanol e a formação de ácido acético, com o consumo de oxigênio (O_2), tendo liberação de uma grande quantidade de energia (ZILIOLI, 2011).

A fermentação alcóolica que ocorre em produtos lácteos tem-se a produção de etanol e dióxido de carbono (CO_2), e a associação de microrganismos capazes de metabolizar a lactose (AQUARONE *et al.*, 2001).

Nesta fermentação, após ocorrer a glicólise, o piruvato tem a perda das carboxilas e recebe átomos de hidrogênio, tendo assim a formação do etanol e todo o processo é catalisado pela enzima de álcool desidrogenase (AQUARONE *et al.*, 2001).

Ela é realizada por diversos microrganismos, mas principalmente pelas leveduras da família *Saccharomyces*, tendo a principal função na fabricação de bebidas alcóolicas, como a cerveja, vinho, fermentados, entre outros (MARTINS *et al.*, 2014).

5 CINÉTICA

A cinética química é definida como o estudo do comportamento da velocidade (taxa) em que as reações químicas ocorrem, ela é realizada para acompanhar a evolução das reações macroscópicas e microscópicas (BROWN; LeMAY; BRUSTEN, 2005). Além disso, realiza o estudo da variação da composição energética em relação ao tempo, em que uma reação pode ser espontânea, de acordo com as leis da termodinâmica, tendo um intervalo de tempo razoável entre elas, para saber se ela irá ocorrer ou não (ANGELUCCI; GODOI, 2010).

Existem quatro fatores que influenciam a velocidade das reações, sendo eles: o estado físico do reagente, a concentração do reagente, a temperatura na qual a reação ocorre e se tem ou não a presença de um catalisador na reação (BROWN; LeMAY; BRUSTEN, 2005).

Geralmente a velocidade da reação aumenta, quando a concentração do reagente é aumentada, isso se dá por conta de gerar o aumento da frequência em que as moléculas se chocam. O aumento da temperatura também provoca este efeito, fazendo com que a energia cinética das moléculas aumente, isso causa o aumento da frequência em que elas se chocam, ocasionando o aumento da velocidade da reação. O mesmo ocorre quando se tem o emprego de um catalisador na reação, afetando a frequência em que ocorre a colisão entre as moléculas. Já para o estado físico, ele implica em que quando está no estado líquido a velocidade é aumentada, mas nos sólidos a velocidade é aumentada em relação ao quanto maior for a área superficial do sólido (BROWN; LeMAY; BRUSTEN, 2005).

À medida que na reação ocorre a formação de produtos, os mesmos tendem a reagir e formar os reagentes. Então quando o sistema

alcança o equilíbrio a velocidade de reação é nula, pois a velocidade de formação de produtos é igual a velocidade de formação dos reagentes (ANGELUCCI; GODOI, 2010).

A velocidade da reação é dada por derivadas parciais, que não são nada menos que a variação da concentração de cada componente da reação em função do tempo, sendo dada pela seguinte equação:

$$A + B \rightarrow C + D$$
$$-\frac{d[A]}{dt} = -\frac{d[B]}{dt} = \frac{d[C]}{dt} = \text{velocidade da reação}$$

Em que,

A é a concentração do reagente 1.

B é a concentração do reagente 2.

C é a concentração do produto 1.

D é a concentração do produto 2 (ANGELUCCI; GODOI, 2010).

Todavia, pode ser empregado o uso de equações integradas, visto que verifica se a variação da concentração de um dos reagentes ou produtos segue uma cinética de primeira ou segunda ordem, podendo ter cinética com ordens superiores ou mesmo de ordem zero, mas estes casos são raros (OLIVEIRA; FARIA, 2010). Cada reação possui uma ordem e cada uma possui uma equação correspondente a uma reta, tendo então uma plotagem dos dados experimentais em um gráfico, permitindo determinar se a cinética realizada é de ordem inteira (OLIVEIRA; FARIA, 2010).

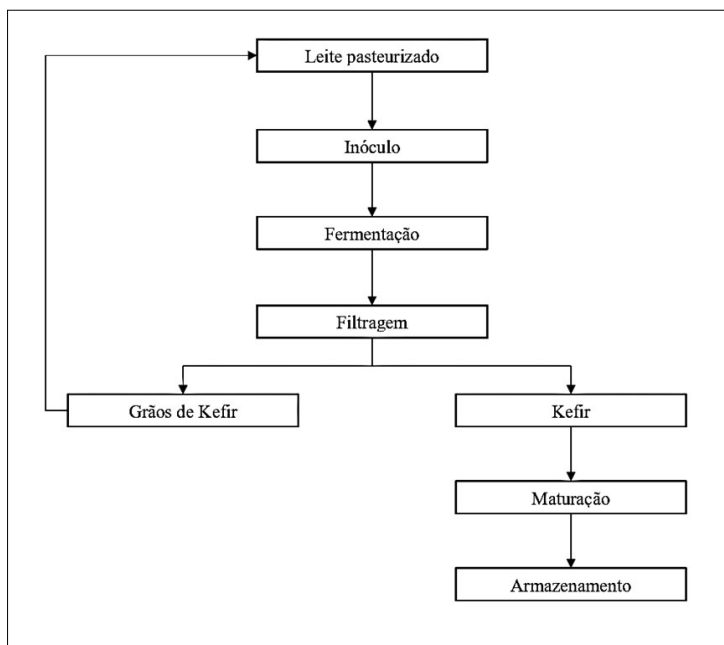
6 ATIVAÇÃO DOS GRÃOS E DESENVOLVIMENTO DO KEFIR

Para sua ativação, ou seja, para dar início ao processo de fermentação, os grãos de kefir devem ser inoculados em uma proporção de 5% (m/v) em embalagens de vidros previamente esterilizados contendo leite pasteurizado (Figura 2).

Em seguida, o recipiente deve ser mantido em temperatura de $22 \pm 2^\circ\text{C}$ por 24 horas para que proceda a fermentação e posteriormente, após a retirada dos grãos, a bebida deve ser maturada sob refrigeração a $5 \pm 2^\circ\text{C}$ por 48 horas.

Após a fermentação, os grãos de kefir são retirados com auxílio de uma peneira de plástico e podem ser inoculados em um novo substrato para uma próxima fermentação. Quando não utilizados, os grãos de kefir devem ser mantidos e depositados sob refrigeração para manutenção de sua viabilidade.

Figura 2 – Fluxograma de processamento do kefir



Fonte: os autores (2023).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Kefir é um produto lácteo fermentado, e é um exemplo de relação simbiótica entre bactérias e leveduras. A importância e os benefícios dessa relação têm sido cada vez mais elucidados e relevantes para a manutenção da saúde e obtenção de um produto de qualidade.

Ainda que as informações dos estudos realizados possam não ser conclusivos, o que se tem de dados é suficiente para comprovar os benefícios à saúde por meio de seu consumo. Novos ensaios devem ser realizados para confirmar clinicamente os efeitos benéficos advindos desse consumo e por se tratar de um produto com características funcionais, apelo de saudabilidade e conveniência para o consumidor, o kefir se apresenta promissor para a indústria de alimentos no que diz respeito à elaboração de produtos cuja base é o próprio produto fermentado.

REFERÊNCIAS

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. (Brasil). Alimentos. Comissões e Grupos de Trabalho. Comissão Tecnocientífica de Assessoramento em Alimentos Funcionais e Novos Alimentos. Alimentos com Alegações de Propriedades Funcionais e ou de Saúde, Novos Alimentos/Ingredientes, Substâncias Bioativas e Probióticos. **VIII-Lista das Alegações Aprovadas**. 2008. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/>>. Acesso em: 09 ago. 2021.

ANGELUCCI, C. A.; GODOI, G. S. **Cinética Química**. CESAD, Sergipe. Universidade Federal de Sergipe, p. 7-14, 2009.

AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A. **Biotecnologia industrial**: Biotecnologia na Produção de Alimentos. Edgard Blücher Ltda, São Paulo, v. 4, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução. Normativa nº 46 de 23 de outubro de 2007. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados. **Diário Oficial da União**, Brasília, 24 out. 2007, Seção 1.

BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E.; BURDGE, J. R. **Química**: A ciência central., 9. ed. EUA: Pearson, 2005.

CABRAL, N. S. M. **Kefir sabor chocolate: Caracterização microbiológica e físico-química**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Nutrição) Universidade Federal Fluminense. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/1049>. Acesso em: 20 de out. 2020.

CAMARGO, S. **Os processos de fermentação**. Instituto de Microbiologia Paulo Góes. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.microbiologia.ufrj.br/portal/index.php/pt/graduacao/informe-da-graduacao/987-os-processos-de-fermentacao>. Acesso em: 20 out. 2020.

CASSANEGO, D. B.; RICHARDS, N. S. P. S.; MAZUTTI, M. A.; RAMÍREZ-CASTRILLÓN, M. Leveduras: diversidade em kefir, potencial probiótico e possível aplicação em sorvete. **Ciência e Natura**, v. 37, p. 175-186, 2015.

CONTIM, L. S. R.; OLIVEIRA, I. M. A.; NETO, J. C. Avaliação microbiológica, físico-química e aceitação sensorial do kefir com polpa de graviola. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 73, n. 1, p. 1-9, 2018.

COSTA, N. M. B.; ROSA, C. D. O. B. **Alimentos funcionais: componentes bioativos e efeitos fisiológicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Rubio, 2016

FERREIRA, C. L. L. F. **Prebióticos e Probióticos: Atualização e Prospecção**. Rio de Janeiro: Rubio. 2012.

FULLER, R. Probiotics in man and animals. **Journal of Applied Bacteriology**. v. 66, n. 5, p. 365–378. Maio. 1998. Disponível em: <https://sfamjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1365-2672.1989.tb05105.x>. Acesso em: 09 ago 2021.

GALLINA, D. A.; SILVA E ALVES, A. T.; TRENTA, F. K. H. S.; CARUSI, J. Caracterização de Leites Fermentados Com e Sem Adição de Probióticos e Prebióticos e Avaliação da Viabilidade de Bactérias Láticas e Probióticas Durante a Vida-de-Prateleira. **Unopar Científica Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 13, n. 4, p. 239-244, 2011.

GIBSON, G. R.; ROBERFROID, M. B. Dietary Modulation of the Human Colonic Microbiota: Introducing the Concept of Prebiotics, **The Journal of Nutrition**, v. 125, n. 6, p. 1401–1412, 1995.

GOLDONI, C. L. **Aperfeiçoamento do processo de fermentação láctica em diferentes hortaliças e avaliação de aspectos econômicos e energéticos**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrônomicas) Universidade Estadual Paulista “Julio De Mesquita Filho”. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/90555>. Acesso em: 9 ago. 2021.

IRMÃO, J. D. S.; COSTA, M. DE R. Conhecimento e hábitos de consumo de kefir na comunidade acadêmica da UFMS. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 73, n. 1, p. 27-36, 2018.

KLAENHAMMER, T. R. Probiotics and prebiotics. In: DOYLE, M. P.; BEUCHAT, L. R.; MONTVILLE, T. J. **Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers**. 2. ed. Washington: ASM, 2001.

LILLY, D. M.; STILLWELL, R. H. Probiotics: Growth promoting factors produced by micro-organisms. **Science**, v. 147, p. 747-748, 1965.

MAGALHÃES K. T.; PEREIRA, G. V. M.; CAMPUS, C.R.; DRAGONE, G.; SCHWAN, R.F.; Brazilian kefir: structure, microbial communities and chemical composition, **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 42, n. 2, p. 693-702, 2011.

MARTINS, R. L. VEIGA-SANTOS, P.; CASTILHO, S. G. **Fermentação divertida: introdução à ciência através de atividade culinária investigativa**. 1. ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014.

METCHNIKOFF, E. **The prolongation of life**. London: Heinemann, 1907.

MIGUEL, M. A. L.; LEITE, A. M. Kefir: o iogurte do século XXI. **Animal Business – Brasil**. Rio de Janeiro, SNA, ano 3, n. 11, 2013. p. 11-16.

OLIVEIRA, A. P.; FARIA, R. B. Ordens não inteiras em cinética química. **Química Nova**, v. 33, n. 6, p. 1412-1415, 2010.

PINEIRO, M.; ASP, N.-G.; REID, G.; MACFARLANE, S.; MORELLI, L.; BRUNSER, O.; TUOHY, K. FAO Technical Meeting on Prebiotics. **Journal of Clinical Gastroenterology**. v. 42, p.156-159, 2008.

PEREDA, J. A. O.; ÁLVAREZ, L. F.; SANZ, M. L. G.; MINGUIL-LÍON, G. D. G. F. PERALES, L. H.; CORRECERO, M. D. S. **Tecnologia de Alimentos: Alimentos de Origem Animal**. Artmed, Porto Alegre, v. 2, 279p, 2005.

RIZZON, L. A.; MENEGUZZO, J. **Sistema de produção de vinagre**. Embrapa Uva e Vinho, 2006. Disponível em: <https://>

sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Vinagre/SistemaProducao. Acesso em: 20 out. 2020.

RODRIGUES, K. L. **Propriedades anti-inflamatória e antiulcerogênica de uma cerveja fermentada unicamente por grãos de quefir**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Fisiológicas), Universidade Federal de Alfenas, 2016.

SAAD, S. M. I.; CRUZ, A. G.; FARIA, J. A. F. **Probióticos e prebióticos em alimentos**: fundamentos e aplicações tecnológicas. São Paulo: Varela, 2011.

SANTOS, F. L. SILVA, E.; BARBOSA, A.; SILVA, J. Kefir: uma nova fonte alimentar funcional?. **Diálogos & Ciência** (Online), v.10, p. 1-14, 2012.

STANBURY, P. F.; WHITAKER, A.; HALL, S. J. **Principles of fermentation technology**. London: Elsevier, 1995.

TISSIER, H. Traitement des infections intestinales par la méthode de la flore bactérienne de l'intestin. **Critical Reviews Soc Biology**, v. 60, p. 359-361. 1996

VENTURINI FILHO, W. G. Bebidas não alcóolicas: **Ciência e tecnologia**. São Paulo: Blucher, v. 2, 2010.

ZILIOLI, E. **Composição química e propriedades funcionais no processamento de vinagres**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

Capítulo 8

Tecnologia geral de fabricação de queijos de massa semicozida

*Cintia da Silva Araújo
Wallaf Costa Vimercati
Leandro Levate Macedo*

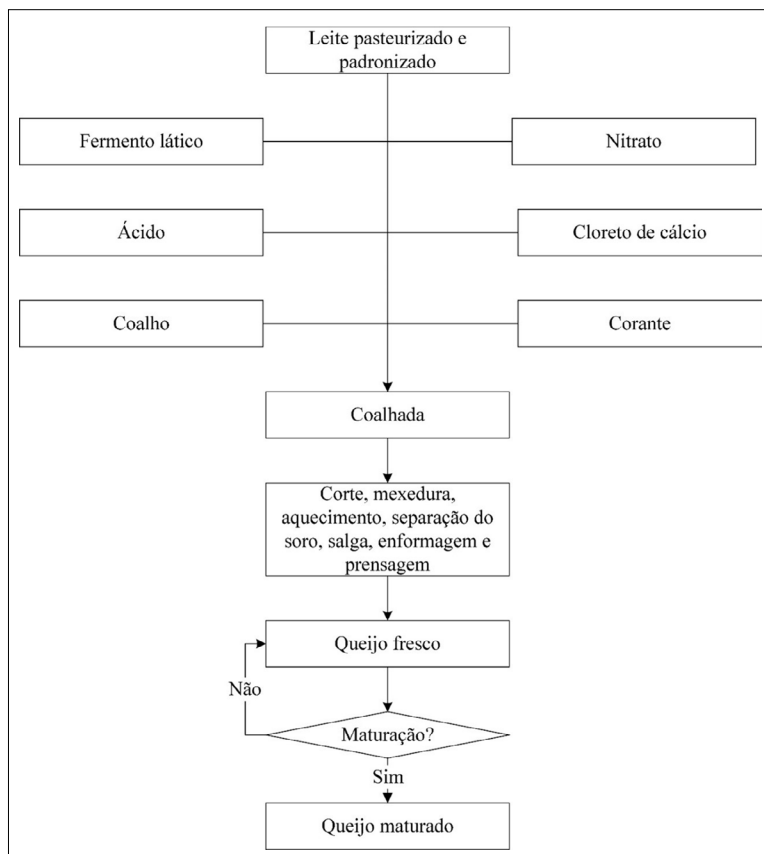
1 INTRODUÇÃO

A produção de queijos consiste, basicamente, em um processo em que a gordura e a caseína são separadas das proteínas do soro, lactose e sais solúveis. Para qualquer variedade de queijo, a produção de ácidos é uma característica essencial, sendo resultado da ação bacteriana, que fermenta a lactose e gera ácido lático. A acidificação pode ainda ocorrer pela adição direta de ácidos específicos (FOX; MCSWEENEY, 2017).

O queijo é um produto resultante da coagulação do leite e posterior desidratação da coalhada, podendo ainda, ser do tipo fresco ou maturado. Os queijos podem ser produzidos a partir da coagulação enzimática, ácida (reduzindo-se o pH até o ponto isoelétrico), aplicação de calor juntamente com a acidificação do meio e por aplicação de calor e sais fundentes. Por coagulação enzimática podem ser produzidos, por exemplo, os queijos prato, minas, parmesão e muçarela. A acidificação é utilizada na produção de queijo cottage, por exemplo. Calor e acidificação são utilizados na produção de ricota, enquanto calor e sais fundentes, originam queijos fundidos (LOBATO, 2000).

Um fluxograma foi elaborado para representar, simplificada-mente, o processo de fabricação de queijos. Conforme apresentado na Figura 1, a produção dos diversos tipos de queijo envolve uma série de etapas em comum. Alguns dos elementos apresentado na Figura 1 podem estar presentes em um determinado tipo de queijo e não em outro (nitrato e aquecimento da massa, por exemplo). Além disso, alguns componentes são opcionais, como os corantes.

Figura 1 – Etapas do processamento de queijos em geral



Fonte: os autores (2023).

2 QUEIJOS DE MASSA SEMICOZIDA

Quando a massa do queijo não passa por processo de aquecimento, o queijo é denominado de queijo de massa crua. Por outro lado, queijos cuja massa sofre um aquecimento até uma temperatura máxima de 45 °C são denominados de queijos de massa semicozida. Já quando o aquecimento é mais severo, acima de 55 °C, o queijo é denominado de queijo de massa cozida (LOBATO, 2000). De acordo com Fox;

Mcsweeney (2004), a coalhada pode ser submetida a aquecimento em temperaturas próximas a 30 °C, em que o queijo pode ser considerado não cozido e de alta umidade à até, aproximadamente, 55 °C, para queijos com menor umidade, como o parmesão.

O cozimento da massa influencia a taxa de sinérese, tendo efeito direto sobre o encolhimento/contração da coalhada e o desenvolvimento de ácidos. Esse aquecimento, a depender do tipo de queijo, pode ser realizado de algumas formas distintas, tais como: aquecimento com vapor em tanque encamisado, combinação de aplicação indireta de vapor e água quente na massa ou apenas pela adição de água quente à massa do queijo (BYLUND, 1995). Em alguns casos, a redução do teor de lactose na coalhada pode ser realizada pela remoção de parte do soro e adição de água quente, o que também promove o cozimento (BENNETT; JOHNSTON, 2004).

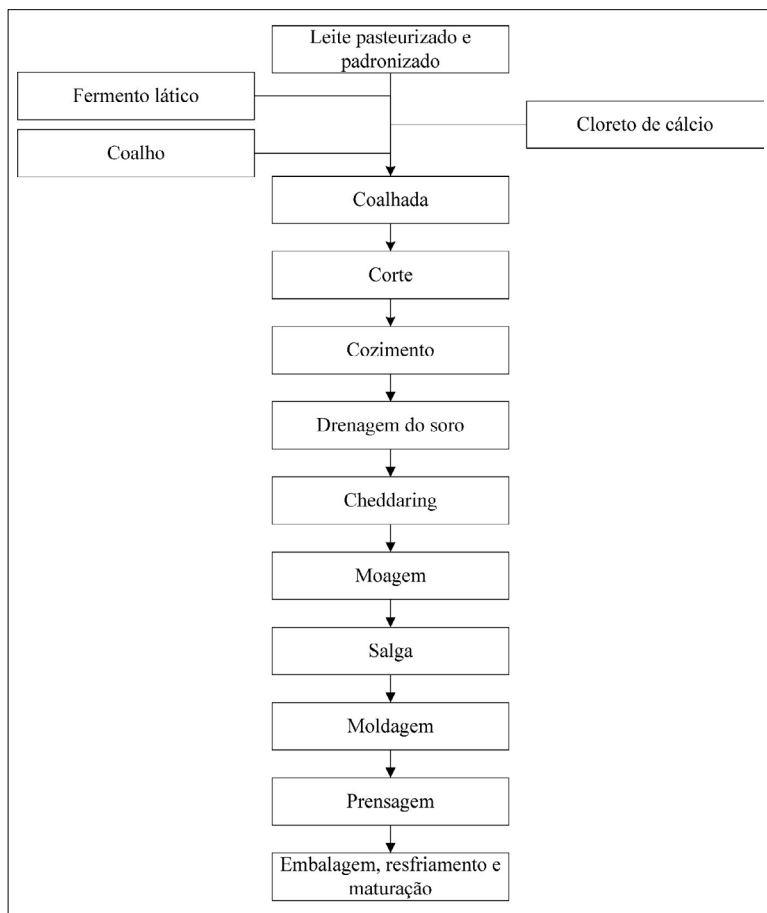
A seguir, serão detalhadas as etapas básicas de fabricação de alguns queijos de massa semicozida, como o cheddar, prato, gouda e edam.

2.1 QUEIJO CHEDDAR

A produção do queijo cheddar envolve, basicamente, as seguintes etapas: coagulação do leite, contendo uma cultura inicial, com coalho; corte da coalhada em pequenos cubos; aquecimento e agitação dos cubos com a produção concomitante de uma quantidade necessária de ácido; remoção de soro; fusão dos cubos da coalhada em placas por cheddaring; moagem da coalhada; salga; prensagem; embalagem e maturação (BENNETT; JOHNSTON, 2004).

Na Figura 2 é apresentado um fluxograma contendo as etapas de fabricação do queijo cheddar.

Figura 2 – Fluxograma de produção do queijo cheddar



Fonte: os autores (2023).

O leite destinado para a produção do queijo cheddar é pasteurizado e, geralmente, é padronizado para conter uma relação caseína/gordura de 0,67 a 0,72 (LAWRENCE *et al.*, 2004). A gordura é essencial para esse tipo de queijo, conferindo consistência e sabor, provavelmente por agir como um solvente para compostos hidrofóbicos de sabor (WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006).

Esse tipo de queijo possui uma estrutura fechada e, desta forma, é produzido a partir de culturas iniciadoras que produzem ácido láctico, mas não produzem gás (BYLUND, 1995). Para a produção do queijo cheddar a cultura láctica utilizada é a *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* ou *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*. Uma combinação entre as cepas *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* e *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* também pode ser utilizada. Neste caso, tem-se a vantagem de que o *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* possui boa resistência ao calor e, portanto, continua se desenvolvendo durante a etapa de aquecimento e produz ácido rapidamente. No entanto, tende a produzir peptídeos amargos, isso se deve ao fato de que, geralmente, cepas que produzem ácido láctico rapidamente também apresentam alta atividade proteolítica. O *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, por sua vez, possui menor resistência ao calor, mas não produz peptídeos amargos em grandes quantidades. Além disso, essa cepa tem grande importância para o desenvolvimento do sabor do queijo cheddar, devido ao seu sistema proteolítico. Maior contribuição com o sabor desse queijo pode ser conferida pela adição de uma cultura secundária, a exemplo dos lactobacilos (WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006).

O processo de coagulação do leite ocorre a, aproximadamente, 30 °C e o corte da coalhada é feito cerca de 35 a 45 minutos após a adição do coalho (FOX *et al.*, 2000; ONG *et al.*, 2017). Então é realizado o cozimento em temperatura entre 37 e 39 °C por 30 minutos e manutenção nessa temperatura por cerca de 1 hora. Após esse período, ocorre a eliminação do soro (FOX *et al.*, 2000). O cozimento da coalhada auxilia no processo de sinérese e no controle de acidez. Durante esse processo, ocorre uma redução do tamanho da coalhada e um aumento de sua firmeza. A umidade da coalhada é reduzida de, aproximadamente, 87% para menos de 39% no produto final (ONG *et al.*, 2017).

Quando o soro é removido da coalhada, o efeito da temperatura, acidez e força gravitacional fazem com que os grãos de coalhada se depositem no fundo do tanque, formando uma massa sólida. Então, a coalhada é cortada e empilhada em blocos, por um período de 60 a 90 minutos, onde a acidez se desenvolve e o pH diminui. A pressão realizada pelo

empilhamento, juntamente com a acidez, auxilia na drenagem do soro e na fusão dos grãos de coalhada, que passa a apresentar uma textura fibrosa, similar ao da carne de peito de frango cozido. Essas fibras são formadas na direção do fluxo da coalhada, de forma que, a maior temperatura da coalhada e a maior umidade, tornam mais fácil esse fluxo, permitindo que fibras mais finas e longas sejam formadas (BANKS, 2007).

A acidificação rápida da coalhada é necessária e deve ocorrer antes do processo de salga (ONG *et al.*, 2017). A queda de pH da coalhada resulta em maior solubilização do cálcio micelar, aumentando o teor de cálcio solúvel e tornando as micelas mais hidratadas. Quando o pH é de, aproximadamente, 5,4 a coalhada é triturada e salgada. Posteriormente, é realizada a colocação em formas que são prensadas. Esse queijo passa por um processo de maturação a temperatura de 6 a 10 °C, por um período que pode variar de 3 meses a 2 anos. Se desejável, urucum pode ser adicionado ao leite para uma cor mais intensa no queijo (FOX *et al.*, 2000).

Quando uma quantidade de ácido inadequada é produzida, o queijo pode apresentar um sabor e uma consistência que não são característicos do cheddar, além de aumentar o risco de contaminação por outras bactérias. O pH elevado, juntamente com uma temperatura alta no armazenamento e baixo teor de sal podem propiciar o crescimento de lactobacilos ou pneumococos, gerando sabores estranhos (WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006).

Durante a maturação desse queijo ocorre uma mudança significativa de textura. A proteólise das caseínas é um dos eventos mais importantes que ocorrem na maturação, alterando textura, aroma e sabor. Nesta reação, são liberados peptídeos de pequena e média cadeia e aminoácidos livres. Níveis muito elevados de peptídeos podem acarretar sabor amargo, o principal defeito deste tipo de queijo. Além disso, alguns aminoácidos como a fenilalanina podem conferir sabores estranhos devido aos produtos da degradação de Strecker (LAWRENCE *et al.*, 2004). Os aminoácidos podem dar origem a tióis e ácidos graxos de cadeia curta e, por descarboxilação, podem originar CO₂. As bactérias

do ácido láctico podem produzir diacetil, ácido acético e etanol, via metabolismo do piruvato (WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006).

Algumas características comuns do queijo cheddar o tornam muito resistente à ocorrência de fermentação butírica, como a baixa atividade de água no interior do queijo desde a prensagem até o fim da maturação, resultante da adição de sal diretamente na massa; baixo valor de pH e alta acidez; baixa umidade (~39% no queijo fresco) e maturação em baixas temperaturas. Além disso, os cultivos homofermentativos utilizados não fermentam o citrato, permitindo o acúmulo de resíduos de ácido cítrico e contribuindo para manter o pH mais baixo neste produto (FURTADO, 2019).

Um dos defeitos que podem surgir no queijo cheddar é a quebra durante o fatiamento. Isso se deve ao fato da salga ser realizada diretamente na massa, ocasionando a contração e expulsão de parte do soro, que contém cálcio e fosfato. O cálcio e fosfato se depositam na superfície da coalhada e podem resultar em fusão incompleta da massa, especialmente em massas com menor umidade e maior concentração de sal. Uma forma de evitar esse defeito é realizar a lavagem da massa antes da salga, retirando parte do cálcio e dos fosfatos (BANKS, 2007).

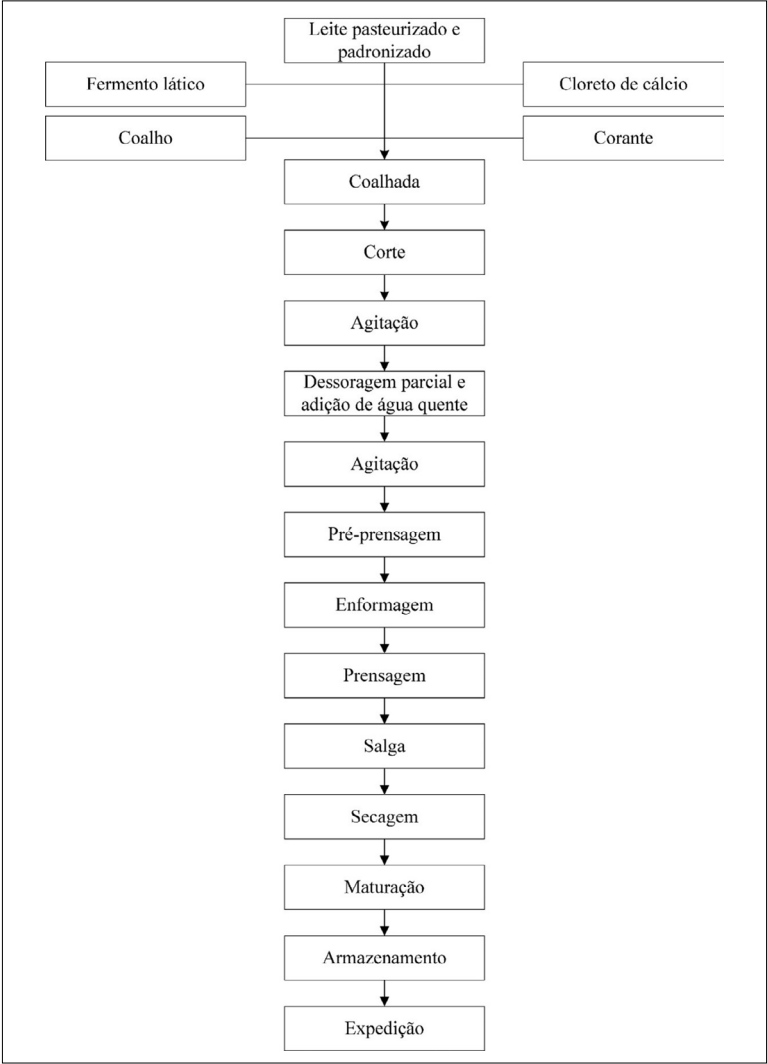
2.2 Queijo prato

De acordo com a Portaria 358, de 4 de setembro de 1997, “com o nome de Queijo Prato se entende o queijo maturado que se obtém por coagulação do leite por meio do coalho e/ou outras enzimas coagulante apropriadas, complementada ou não pela ação de bactérias lácticas específicas”. O queijo prato é um queijo gordo, de média umidade (BRASIL, 1997).

O queijo prato surgiu como uma adaptação da fabricação de queijos dambo e gouda, de origem dinamarquesa e holandesa, respectivamente, e consiste em um queijo semiduro de massa lavada. O leite para produção desse queijo tem cerca de 3,4 a 3,6% de gordura. O produto apresenta ao fim do processo: 43 a 45% de umidade, 1,2 a 1,5% de sal, 26 a 29% de gordura e pH de 5,1 a 5,3 (FURTADO, 2019).

As etapas básicas de processamento para este queijo são apresentadas na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma de fabricação do queijo prato



Fonte: os autores (2023).

A cultura lática para produção do queijo prato é constituída dos microrganismos mesofílicos, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* e *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, além desses, é usual a presença de 10 a 20% de *Streptococcus thermophilus*, um microrganismo termofílico (FURTADO, 2019). Essas culturas são adicionadas em quantidade de 1 a 1,5%, em relação ao conteúdo de leite (SILVA, 2005).

O corante utilizado para dar a cor característica do queijo prato é extraído da semente do urucum (*Bixa orellana*) (SILVA, 2005).

Para a produção do queijo prato são utilizados cloreto de cálcio (40 a 50 mL/100 litros de leite), corante (5 a 10 mL/100 litros) e o uso de nitrato de sódio ou potássio é opcional (máximo de 20 gramas/100 litros). A adição da cultura lática ao leite pasteurizado ocorre em temperaturas de 36 a 38 °C. A seguir, é adicionado o coalho e a coagulação ocorre por um período de 25 a 35 minutos. A coalhada é cortada em grãos pequenos (grãos de milho), seguido de repouso por cerca de 3 minutos e posterior agitação por 15 minutos. Então, uma parte do soro é retirada (30%) e 15 a 20% de água quente (75 °C) é adicionada à massa para que sua temperatura chegue de 40 a 42 °C. Uma segunda agitação é feita, de forma mais vigorosa em relação à primeira. O ponto da massa é um fator variável e depende da umidade final pretendida no queijo, geralmente, ocorre cerca de 60 minutos após o corte da coalhada. A próxima etapa é a pré-prensagem da massa sob o soro por, aproximadamente, 15 minutos, seguido de enformagem em formas perfuradas ou com dessoradores. A etapa de prensagem consiste em utilizar diferentes forças por tempos determinados seguido de viragem do queijo (20 minutos com 40 lbs/pol², 30 minutos com 50 lbs/pol² e 60 minutos com 60 lbs/pol²). Quando o pH da massa é de ~5,6 o queijo é levado para a salmoura (8 a 10 °C) que contém 20% de sal e pH de 5,1 a 5,3. Os queijos permanecem na salmoura por tempos variados, a depender de seu peso e formato (cerca de 8 horas por kg de queijo). Em seguida, os queijos são secos em câmara fria (8 a 10 °C) e embalados à vácuo (FURTADO, 2019).

Vale ressaltar que embora a temperatura de 32 °C fosse comumente utilizada na produção de queijo prato, atualmente, é comum a adoção de temperaturas mais elevadas devido a utilização de culturas termofílicas e processos automatizados e contínuos, que necessitam de um tempo de coagulação menor (FURTADO, 2019).

O processo de maturação do queijo prato dura de 3 a 4 semanas e, em alguns casos, até 60 dias. A maturação pode ocorrer em estantes de madeira, caixas de papelão ou caixas plásticas que podem ser armazenados em temperatura controlada, geralmente, de 8 a 10 °C (FURTADO, 2019).

Segundo a Portaria Nº 358/1997, a maturação do queijo prato deve ser de, no mínimo, 25 dias.

2.3 Queijos gouda e edam

Os queijos gouda e edam são de origem holandesa, classificados como semiduros e passam pelo processo de maturação. O queijo gouda, geralmente, consiste em um produto grande (4 a 14 kg) que é moldado em formas cilíndricas planas. O queijo edam, por sua vez, possui menor tamanho (1 a 2 kg) e formato esférico (DUSTERHOFT; ENGELS; HUPPERTZ, 2017).

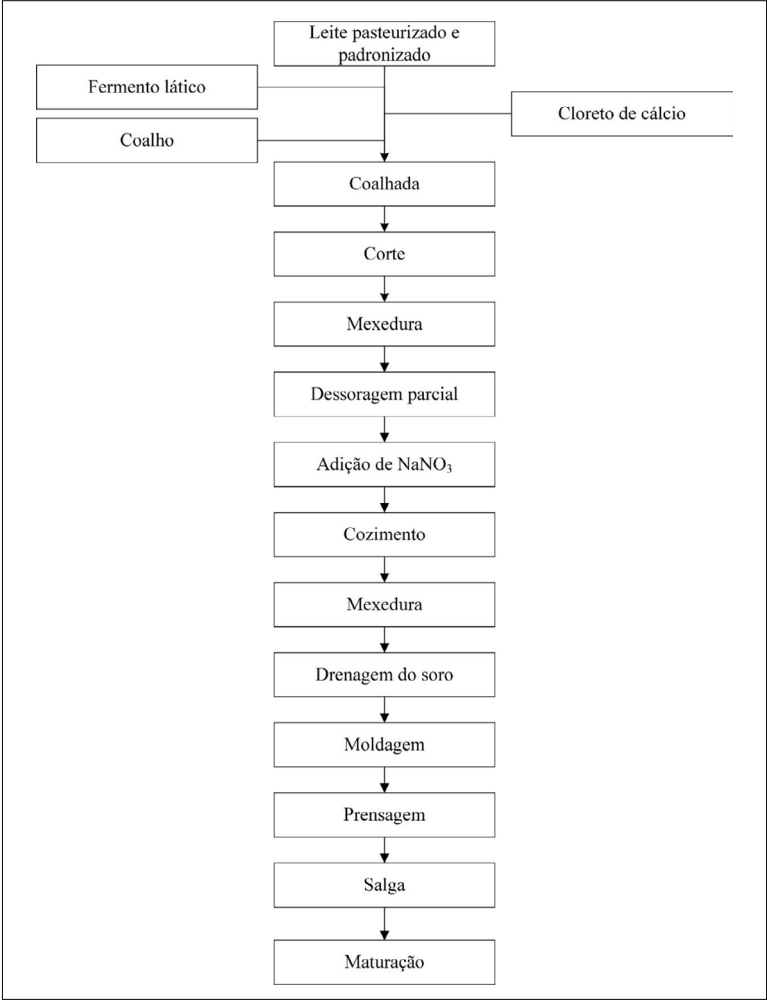
O teor de gordura no queijo gouda é de 49% no extrato seco. A cobertura desse queijo pode ser feita com parafina de cor laranja, vermelha, amarela ou preta. Já o queijo edam possui um menor teor de gordura, cerca de 41% na matéria seca. Para esse queijo costuma-se utilizar uma cobertura nas cores vermelha ou amarela, mas quando é feito com ervas finas na massa pode apresentar uma cobertura verde e quando maturado por longos meses pode apresentar uma coloração preta na casca (FURTADO, 2019).

Os queijos do tipo gouda são caracterizados por um número limitado de olhos redondos e pequenos, apresentam uma textura suave quando jovens a médios, são fatiados com facilidade e têm boas propriedades de fusão (DUSTERHOFT; BERG, 2007). O queijo edam

apresenta uma textura macia e sabor suave e pode apresentar olhaduras (FURTADO, 2019).

Na Figura 4 é apresentado um fluxograma que se aplica a produção dos queijos gouda e edam tradicionais.

Figura 4 – Etapas básicas de produção dos queijos gouda e edam



Fonte: os autores (2023).

Na produção desses queijos são empregadas culturas mesofílicas de linhagem mista, incluindo *Lactococcus* e *Leuconostoc*. Essas linhagens geralmente produzem CO₂ (BERG *et al.*, 2004). A coalhada é submetida a temperaturas de cozimento para controlar o teor de umidade e é lavada para controlar a extensão da acidificação. O queijo é prensado e salgado. A acidificação ocorre durante a prensagem até as primeiras horas da salmoura (DUSTERHOFT; BERG, 2007).

Ao leite pasteurizado e padronizado é adicionado o cloreto de cálcio, a cultura lática e o coalho. Corantes também podem ser adicionados, sendo o urucum e o betacaroteno comumente empregados para conferir cor amarela a esses queijos. A adição do nitrato, embora possa ser feita no leite, é preferível que ocorra após a retirada do primeiro soro, visando não contaminar todo o soro da produção do queijo com nitrato (DUSTERHOFT; ENGELS; HUPPERTZ, 2017).

Após a coagulação, a coalhada é cortada em pedaços que variam de 8 a 15 mm. O corte e a mexedura da coalhada são processos que facilitam a expulsão do soro, em que o tamanho dos grãos de coalhada é um fator importante na determinação da umidade do queijo. O corte da coalhada não deve ser demorado e, portanto, sugere-se que não dure mais do que 20 minutos. Após o corte, os grãos de coalhada são mantidos em repouso e, posteriormente, é iniciado o processo de remoção de parte do soro (40 a 45%) e agitação para evitar que aglomerados se formem. Após a retirada de parte do soro, adiciona-se água quente de forma que a mistura chegue à temperatura de, no máximo, 38 °C. Esse incremento de temperatura auxilia no processo de sinérese e, além disso, contribui para criar um gradiente entre a concentração de lactose na coalhada e na fase líquida que a circunda. Desta forma, mais lactose deixa os grãos de coalhada, reduzindo a quantidade de lactose da massa e consequentemente, reduzindo a queda de pH (DUSTERHOFT; ENGELS; HUPPERTZ, 2017).

O passo seguinte é a drenagem do soro. Quando a drenagem está quase completa, as partículas de coalhada começaram a se fundir, compactando a massa. Nessa fase é possível cortá-la em blocos.

Os blocos são então adicionados aos moldes e, posteriormente, são prensados. Após a prensagem o queijo adquire a forma desejada e uma casca fina é formada, servindo para proteger o queijo e retardar a perda de umidade, até a salga (BERG *et al.*, 2004).

A salga dos queijos edam e gouda é, geralmente, realizada por imersão em salmoura (DUSTERHOFT; BERG, 2007). Após a salmoura, os queijos são secos, revestidos e a maturação é iniciada. O revestimento utilizado consiste em uma solução a base de polivinilacetato que é adicionada à toda a superfície do queijo para conferir proteção à danos físicos e reduzir a perda excessiva de umidade. Após a secagem do revestimento, o processo é repetido de duas a três vezes durante as primeiras 2 semanas e com menor frequência no decorrer da maturação. Uma vantagem adicional do revestimento é que ele pode ser combinado com agentes que impeçam o crescimento fúngico, como a natamicina e os sorbatos (DUSTERHOFT; ENGELS; HUPPERTZ, 2017).

Durante a maturação, os queijos são mantidos em ambiente climatizado visando manter a integridade da casca, controlar processos evaporativos e evitar o crescimento de microrganismos na superfície (BERG *et al.*, 2004). O tempo de maturação do queijo gouda é variável e pode durar de 6 a 36 meses. O queijo edam apresenta uma maturação de 6 a 7 semanas, embora também possa ser maturado por meses, como ocorre com o gouda (FURTADO, 2019).

A fermentação da lactose e produção de ácido láctico é necessária ao sabor do queijo. Além disso, *Leuconostoc* spp. agem na conversão heterofermentativa da lactose e geram compostos como acetato, CO₂ e etanol. A fermentação do citrato, um composto natural do leite, contribui com a formação de diversos compostos como o diacetil, acetoína, butanodiol e acetaldeído. O diacetil, em especial, contribui significativamente para o sabor do queijo. A fermentação do ácido cítrico desempenha um papel primordial para a formação das olhaduras em queijos holandeses (DUSTERHOFT; ENGELS; HUPPERTZ, 2017; FOX *et al.*, 2000).

Nitratos na forma de KNO_3 ou NaNO_3 são adicionados durante a produção do queijo, visando impedir a germinação dos esporos do *Clostridium tyrobutyricum* e a ocorrência de estufamento tardio, pela fermentação butírica, em que o lactato é transformado em ácido butírico e H_2 . Além do nitrato, a bactofugação do leite também pode ser aplicada para reduzir a contaminação por esses esporos, além da aplicação de culturas produtoras de nisina e lisozima (DUSTERHOFT; ENGELS; HUPPERTZ, 2017; FOX *et al.*, 2000). Os nitratos são reduzidos a nitritos durante o amadurecimento por uma enzima endógena do leite, a xantina oxidase, e os níveis de nitrito devem estar abaixo do nível permitido quando o queijo estiver pronto para o consumo. O nitrito pode reagir com aminoácidos aromáticos no queijo para produzir nitrosaminas, muitas das quais são cancerígenas. A reação é dependente do pH, ocorrendo preferencialmente na faixa de pH de 2 a 4,5 e como o queijo tem um pH mais alto, a reação que leva à formação de nitrosaminas é retardada (BERESFORD, 2007). As bactérias que fermentam o ácido propiônico podem se desenvolver durante o armazenamento prolongado do queijo e produzir sabor adocicado e danos à sua estrutura, devido à produção de CO_2 . Contudo, o nitrato é eficiente na inibição dessas bactérias e a pasteurização é suficiente para eliminá-las (DUSTERHOFT; ENGELS; HUPPERTZ, 2017).

Esses queijos podem ter problema com rachaduras, causadas pela excessiva produção de gás, seja pelos microrganismos iniciadores ou contaminantes. Os microrganismos contaminantes podem causar muitos orifícios no queijo, ou mesmo orifícios muito grandes (WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006).

O queijo gouda brasileiro se difere em relação ao holandês. O sabor é mais suave e doce e o tempo de maturação é infinitamente menor. O queijo gouda brasileiro é feito a partir de leite pasteurizado, contendo cerca de 3,6% de gordura. Utiliza-se cloreto de cálcio, corante vegetal (annato) e nitrato de sódio ou potássio (as vezes não é usado para não impedir a fermentação propiônica). A coagulação do leite ocorre em temperatura de 32 °C, e são utilizadas as culturas *Lactococcus*

lactis subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* e *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *cremoris*. Esses microrganismos produzem gás e outros elementos importantes ao queijo, como diacetil e acetaldeído. A produção extra de CO₂ pode ser obtida pela adição de *Propionibacterium freudenreichii* spp. *freudenreichii* que realiza a fermentação propiônica. No queijo gouda holandês, a presença de olhaduras de origem propiônica não é desejável e é configurada como um defeito do queijo (FURTADO, 2019).

A coagulação do leite dura de 30 a 40 minutos e, então é feito o corte da coalhada em tamanho de grão de milho. A coalhada é deixada em repouso por cerca de 3 minutos, seguido de agitação lenta por 15 minutos. Posteriormente, é feita a retirada parcial do soro (~35%) e adição de água quente (70 a 75 °C) em quantidade de 20 a 25% em relação ao volume de leite, com agitação intensa. A temperatura da massa deve chegar de 40 a 42 °C, visando deixá-la bem firme. A agitação é mantida até se obter o ponto da massa, o que ocorre de 70 a 80 minutos após o corte da coalhada. Então, é feita a retirada da maior parte do soro e a pré-prensagem da massa no soro restante. Após essa etapa, é feito o corte e a colocação da massa em formas com dessoradores e a prensagem é realizada. Os queijos são colocados em salmoura (8 a 10 °C, 20% de sal) quando apresentam valor de pH de ~5,5 (valor atingido após 4-5 horas da adição do fermento). Um teor de sal no queijo de até 1% é desejável para não inibir o fermento propiônico. Contudo, é tolerável que esse limite seja de até 1,4%. Após 24 horas, o pH do queijo não deve estar abaixo de 5,25 para não inibir os microrganismos propiônicos. O valor de pH ideal é de 5,35. A secagem do queijo é feita em câmara fria (8 a 10 °C) por um período de 24 horas. A embalagem à vácuo costuma ser realizada após a salga, secagem e pintura com solução alcóolica de fuccina ou magenta, seguido de maturação. Em alguns casos, o queijo é levado à primeira fase da maturação ainda sem a embalagem e, neste caso, um cuidado extra com a casca deve ser tomado e a pintura pode ser realizada posteriormente (FURTADO, 2019).

A maturação desse queijo pode ser dividida em algumas fases. A primeira fase da maturação consiste em um período de 10 a 15 dias, em que o queijo é mantido entre 8 e 10 °C em ambiente com 85% de umidade relativa. Na segunda fase, a temperatura é aumentada para 16-18 °C, a umidade relativa permanece em 85% e os queijos são mantidos nesta condição por 1 a 3 semanas para formação das olhaduras. A etapa final da maturação dura, em média, 3 meses e é realizada em temperaturas entre 8 e 10 °C. Nessa fase, o sabor final do queijo é complementado. O que se verifica na prática é que, normalmente, a venda do queijo gouda ocorre com 30 a 60 dias de cura (FURTADO, 2019).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O leite é um alimento muito apreciado, seja na forma fluida ou de seus derivados. A partir dessa matéria-prima uma infinidade de produtos pode ser elaborada, entre os quais a produção de queijos merece destaque. Como visto, embora tenham tecnologias de fabricação distintas, os diversos tipos de queijos apresentam várias etapas em comum e, mesmo pequenas modificações no processo produtivo podem acarretar produtos com características sensoriais muito distintas, levando à grande diversificação desse tipo de alimento no mercado.

REFERÊNCIAS

BANKS, J. M. What is cheddaring and what physicochemical changes occur during this process. *In*: McSWEENEY, P.L.H (Ed.). **Cheese problems solved**. Cambridge: CRC Press, 2007. p. 402.

BENNETT, R. J.; JOHNSTON, K. A. General Aspects of Cheese Technology. *In*: FOX, P.F.; McSWEENEY, P. L. H.; COGAN, T. M; GUINEE, T. P. (Ed.). **Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology**. 3. ed. Academic Press, 2004.

BERESFORD, T. What factors affect microbial growth in cheese? *In*: McSWEENEY, P.L.H (Ed.). **Cheese problems solved**. Cambridge: CRC press, 2007. p. 402.

BERG, G. MEIJER, W. C.; DUSTERHOFT, E. M.; SMIT, G. Gouda and Related Cheeses. *In*: FOX, P.F.; McSWEENEY, P. L. H.; COGAN, T. M; GUINEE, T. P. (Ed.). **Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology**. 3. ed. Academic Press, 2004. p. 456.

BRASIL (1997). Ministério da Agricultura e Abastecimento. **Portaria MAPA 358, de 04 de setembro de 1997**. Aprova o Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Queijo Prato. Disponível em: <https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/legislacoes/portaria-ma-358-de-04-09-1997,674.html>. Acesso em: 16 abr. 2020.

BYLUND, G. **Dairy processing handbook**. Tetra Pak Processing Systems ABS-221 86 Lund, Sweden, 1995.

DUSTERHOFT, E. M.; ENGELS, W.; HUPPERTZ, T. Gouda and Related Cheeses. *In*: McSWEENEY, P. L. H.; FOX, P. F.; COTTER, P. D.; EVERETT, D. W. (Ed.). **Cheese: Chemistry, Physics & Microbiology**. 4. ed. London: Academic Press, 2017. p. 1032.

DUSTERHOFT, E. M.; BERG, G. Dutch-type cheeses. *In*: McSWEENEY, P. L. H (Ed.). **Cheese problems solved**. CRC press, 2007. p. 402.

FOX, P. F. *et al.* **Fundamentals of Cheese Science**. Gaithersburg, Maryland: Aspen, 2000.

FOX, P. F.; MCSWEENEY, P. L. H. Cheese: An Overview. *In*: McSWEENEY, P.L.H.; FOX, P.F.; COTTER, P.D.; EVERETT, D.W. (Ed.). **Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology**. 3. ed. Academic Press, 2004.

FOX, P. F.; MCSWEENEY, P. L. H. Cheese: An Overview. *In*: McSWEENEY, P. L. H. *et al.* (Ed.). **Cheese: Chemistry, Physics & Microbiology**. 4. ed. London: Academic Press, 2017. p. 1302.

FURTADO, M. M. **Queijos semiduros**. 1. ed. São Paulo: Setembro editora, 2019.

LAWRENCE, R. C. *et al.* Cheddar Cheese and Related Dry-salted Cheese Varieties. *In*: FOX, P.F.; McSWEENEY, P. L. H.; COGAN, T. M; GUINEE, T. P. (Ed.). **Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology**. 3. ed. Academic Press, 2004. p. 434.

LOBATO, V. **Tecnologia de fabricação de derivados do leite na propriedade rural (Boletim técnico)**. Lavras: UFLA, 2000.

ONG, L. *et al.* Cheddar Cheese and Related Dry-Salted Cheese Varieties. *In*: McSWEENEY, P.L.H.; FOX, P.F.; COTTER, P.D.; EVERETT, D.W. (Ed.). **Cheese: Chemistry, Physics & Microbiology**. 4. ed. London: CRC press, 2017. p. 1032.

SILVA, F. T. **Queijo prato**. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

WALSTRA, P.; WOUTERS, J. T. M.; GEURTS, T. J. **Dairy Science and Technology**. 2 nd ed. Netherlands: CRC Press, 2006.

Capítulo 9

Métodos para controle da cristalização da lactose na produção de doce de leite

Leandro Levate Macedo

Cintia da Silva Araújo

Wallaf Costa Vimercati

Luciano José Quintão Teixeira

1 INTRODUÇÃO

O leite é uma secreção das glândulas mamárias de fêmeas mamíferas com a incumbência de fornecer nutrientes ao indivíduo recém-nascido. É um alimento muito consumido pelos humanos ao longo de toda a vida, devido ao seu apreço sensorial e nutricional, tanto o leite in natura quanto seus diversos derivados, como, bebidas lácteas,

creme de leite, doce de leite, iogurtes, leite condensado, leites fermentados, manteiga e requeijão (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2007; KOBLITZ, 2011; ORDÓÑEZ, 2005).

Todos os países do mundo, atualmente, produzem leite oriundos de diferentes espécies. No Brasil, o leite é um dos alimentos mais produzidos, seja em pequenas ou grandes propriedades pecuaristas. No entanto, o leite é um produto muito perecível, por apresentar pH próximo a neutralidade, entre 6,4 e 6,9, e, além disso, o leite é rico em nutrientes, pois trata-se de uma mistura homogênea de água, proteínas, gordura, lactose, sais minerais e vitaminas. Logo, é um substrato ideal para uma grande diversidade de microrganismos encontrados na natureza, o que, muitas das vezes, reduz drasticamente seu prazo de vida útil. O processamento do leite, portanto, torna-se indispensável (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2007; KOBLITZ, 2011; ORDÓÑEZ, 2005).

Uma das alternativas para o processamento do leite é a produção de doce de leite. O doce de leite é um produto obtido pela concentração do leite e ação do calor, apresentando coloração escura e sabor inerente provenientes das reações, principalmente Maillard e caramelização, que ocorrem durante a elaboração. Esse produto é menos perecível que o leite, podendo ser consumido individualmente ou pode atuar como ingrediente para elaboração de diversos outros produtos, entre eles, produtos de confeitaria (KLEIN; DE JONG; RÉVILLION, 2010; MALEC; LLOSA; VIGO, 1999; PERRONE *et al.*, 2011; RANALLI; ANDRÉS; CALIFANO, 2017).

O doce de leite, por ser um produto com alta concentração de açúcar, está sujeita a cristalização. A formação de grandes cristais causa um aspecto negativo à textura do doce de leite, levando a percepção de arenosidade no produto, constituindo, portanto, um importante problema tecnológico (ARES; GIMÉNEZ; GÁMBARO, 2006a; KLEIN; DE JONG; RÉVILLION, 2010; WONG; HARTEL, 2014).

Embora as preferências dos consumidores sejam heterogêneas, a preocupação pela qualidade dos produtos que estão consumindo

tem sido cada vez maior nos últimos anos, de tal forma que boas características sensoriais (aparência, aroma, sabor, textura e aceitação geral) e nutricionais sejam requisitos mínimos dos produtos alimentícios. Mediante a isso, as indústrias têm buscado formas de aprimorar todos os processos envolvidos ao longo da cadeia produtiva dos alimentos, desde o campo até a mesa do consumidor, de forma a atender as demandas e exigências da população (ARES; GIMÉNEZ; GÁMBARO, 2006a; FERREIRA *et al.*, 2012; MADRONA *et al.*, 2009; RANALLI; ANDRÉS; CALIFANO, 2017).

A cristalização é um fenômeno inevitável na elaboração de doce de leite. Entretanto, diversos métodos têm sido estudados e utilizados pelas indústrias visando controlar a cristalização na produção de doce de leite, de forma a minimizar o tamanho dos cristais, requeimando significativamente a qualidade do produto (BELLARDE, 2006; GIMÉNEZ; ARES; GÁMBARO, 2008; KLEIN; DE JONG; RÉVILLION, 2010; LIMA; ROCHA, 2016; SILVA *et al.*, 2015).

Diante disso, o objetivo dessa revisão de literatura foi apresentar as técnicas utilizadas e estudadas para controlar e minimizar a cristalização da lactose na elaboração de doce de leite.

2 DOCE DE LEITE

O doce de leite é um produto muito popular em países da América do Sul, como Brasil, Argentina e Uruguai. Pode ser considerado um tipo de leite condensado adoçado, produzido a partir da concentração do leite e adição de sacarose (GAZE *et al.*, 2015; GIMÉNEZ; ARES; GÁMBARO, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2016; ZARPELON *et al.*, 2016). Dada sua alta pressão osmótica, conferida pelos processos de evaporação e adição de açúcar, o doce de leite apresenta boa estabilidade, podendo ser armazenado em temperatura ambiente (MADRONA *et al.*, 2009).

Conforme estabelecido pela Portaria número 354 de 4 de setembro de 1997, doce de leite é o produto com ou sem adição de outras

substâncias alimentícias, obtido por concentração e ação do calor a pressão normal ou reduzida do leite ou leite reconstituído, com ou sem adição de sólidos de origem láctea e/ ou creme e adicionado de sacarose (parcialmente substituída ou não por monossacarídeos e/ ou outros dissacarídeos) (BRASIL, 1997).

No Brasil, o estado de Minas Gerais é o maior produtor nacional de leite, representando cerca de 30% da produção total. Além disso, detém o maior parque industrial de laticínios e lidera a produção nacional de doce de leite, com aproximadamente 50% da produção brasileira (OLIVEIRA *et al.*, 2016; STEPHANI, 2012).

Esse produto apresenta uma consistência cremosa ou pastosa, cor caramelo brilhante, bem como sabor e aroma característicos (MADRONA *et al.*, 2009). Durante sua produção, é adicionado o bicarbonato de sódio visando favorecer a reação de Maillard e evitar a coagulação de proteínas (ARES; GIMÉNEZ; GÁMBARO, 2006b; GIMÉNEZ; ARES; GÁMBARO, 2008; MALEC; LLOSA; VIGO, 1999) Pode ser consumido diretamente ou ainda, ser adicionado à outras preparações como bolos, doces, confeitos e sorvetes (DEMIATE; KONKEL; PEDROSO, 2001; VIEIRA *et al.*, 2011).

A adição de amido ao doce de leite é permitida desde que não ultrapasse o limite de 0,5 g/100 mL. Essa adição pode contribuir com a consistência e aumento do rendimento devido ao aumento na capacidade de retenção de água do produto e, além disso, facilita o controle da cristalização da lactose (SILVA *et al.*, 2015). Essa cristalização representa um dos maiores defeitos apresentados pelo doce de leite, visto que a lactose tem sua solubilidade reduzida devido à alta concentração de sacarose (ARES; GIMÉNEZ, 2008). Uma alternativa é adicionar β -galactosidase ao leite antes do processamento. Desta forma, ocorre uma hidrólise parcial da lactose, evitando a formação de cristais durante e após o processo de evaporação do leite (CORRADINI; PELEG, 2000).

A produção de doce de leite, no Brasil, ocorre desde a maneira artesanal até a produção em grande escala, realizada por grandes

empresas. Desta forma, é verificada uma grande variabilidade nas propriedades físico-químicas e sensoriais desse produto (VIEIRA *et al.*, 2011). Segundo Giménez; Ares; Gámbaro (2008), essas mudanças no perfil sensorial do produto podem levar o consumidor a rejeitá-lo.

3 LACTOSE

A lactose ($C_{12}H_{22}O_{11}$) é um dissacarídeo redutor formado por uma molécula de D-glicose e uma de D-galactose, unidas por ligação glicosídica do tipo β -1,4. Trata-se do açúcar mais abundante no leite, representando cerca de 4 a 5% no leite bovino. Entretanto, essa porcentagem pode ser afetada por diversos fatores, entre eles, espécie do mamífero, período e número de lactação e condições de saúde da glândula mamária e do animal como um todo (GÄNZLE; HAASE; JELEN, 2008; KOBLITZ, 2011; STRZAŁKOWSKA; JASIŃSKA; JÓŻWIK, 2018; WONG; HARTEL, 2014).

A lactose pode ser encontrada nas formas anoméricas α -lactose e a β -lactose. A diferença entre elas encontra-se nas posições relativas do hidrogênio e do grupo hidroxila no átomo de carbono (C1). Em uma solução aquosa, transformações entre as formas ocorrem até atingir o equilíbrio. Esse fenômeno é conhecido como mutarrotação. Quando em solução aquosa de pH neutro, a lactose entrará em equilíbrio com 37 e 63% de α -lactose e a β -lactose, respectivamente. Esse equilíbrio pode ser alcançado dentro de 3,5 a 6 horas a temperatura ambiente. Contudo, a taxa da mutarrotação é fortemente influenciada pelo teor de açúcar e sal, assim como pela temperatura e pH do meio (GÄNZLE; HAASE; JELEN, 2008; KOBLITZ, 2011; MACFHIIONNGHAILE *et al.*, 2017; STRZAŁKOWSKA; JASIŃSKA; JÓŻWIK, 2018).

De acordo com Strzałkowska; Jasińska e Józwick (2018), lactose representa cerca de 30% do valor calórico do leite, sendo que 1 grama de lactose fornece cerca de 4 calorias. Além disso, a lactose não apresenta aroma, mas sim um sabor levemente doce, sendo que

a α -lactose e a β -lactose apresentam 20 e 50%, respectivamente, do poder adoçante da sacarose. Além disso, esse dissacarídeo possui um baixo índice glicêmico, apresentando 46% do valor da glicose (FOS-TER-POWELL; HOLT; BRAND-MILLER, 2002).

Comparada a outros carboidratos, a lactose possui baixa solubilidade, aproximadamente 12g/100 mL, sendo a α -lactose menos solúvel que a β -lactose (GÄNZLE; HAASE; JELEN, 2008; KOBLITZ, 2011). Contudo, conforme estudos de Saldaña; Alvarez; Haldar (2012), a solubilidade da lactose em água pressurizada aumenta com o aumento da temperatura. Porém, o aumento da pressão reduz a solubilidade da lactose.

A lactose é considerada um açúcar muito estável. Todavia, esse carboidrato está sujeito a hidrólise química mediante a tratamentos com ácidos diluídos combinados com altas temperaturas. Além da hidrólise química, a lactose pode ser degradada termicamente, como ocorre durante tratamentos térmicos do leite, em que os produtos dessa degradação podem contribuir com reações de escurecimento (caramelização e Maillard) (KOBLITZ, 2011).

No organismo, antes de ser hidrolisada pela enzima lactase no intestino delgado, a lactose estimula a absorção intestinal e a retenção de cálcio. Em indivíduos com baixa produção dessa enzima pela mucosa intestinal, denominados intolerantes à lactose, a lactose é pouco ou nada absorvida, chegando intacta ao intestino grosso, onde esse açúcar é fermentado pela microbiota, principalmente coliformes, causando flatulência, inflamação e dores. Além da fermentação, a alta concentração de lactose no lúmen do intestino delgado pode levar ao acúmulo de água, provocando diarreia (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2007; KOBLITZ, 2011; STRZAŁKO-WSKA; JASIŃSKA; JÓŻWIK, 2018).

4 CRISTALIZAÇÃO DA LACTOSE NO DOCE DE LEITE

No processo tradicional de elaboração de doce de leite, por envolver uma alta concentração, ultrapassando a faixa de saturação, faz com

que a cristalização ocorra de uma forma inevitável, devido à baixa solubilidade da lactose, principalmente em processos em que há adição de sacarose, havendo agitação e resfriamento (KLEIN; DE JONG; RÉVILLION, 2010).

A cristalização é responsável por um grave defeito em doce de leite, leite condensado, sorvete, por causar a sensação de arenosidade, devido a formação de grandes cristais de lactose. Os cristais são duros e pouco solúveis, podendo ser detectados pelos consumidores quando apresentam tamanho superior a 16 μm . Em situações em que os cristais apresentam tamanho inferior a 30 μm , geralmente há uma tolerância por parte dos consumidores. No entanto, acima desse valor, a rejeição do produto passa a ser expressiva (KLEIN; DE JONG; RÉVILLION, 2010; KOBLITZ, 2011).

Segundo Giménez; Ares e Gámbaro (2008), o crescimento e a aglomeração de cristais podem ocorrer em taxas distintas, dependendo de algumas variáveis, tais como, composição, temperatura de armazenamento e manuseio de amostras.

Segundo Zamanipoor e Mancera (2014), a cristalização pode ser dividida em três fases distintas: formação da supersaturação; nucleação e crescimento dos cristais.

A supersaturação é a força motriz para a nucleação e ocorre devido à diferença entre a concentração do soluto e a solubilidade, ou seja, quando um soluto está presente em um solvente numa quantidade superior a máxima que o solvente é capaz de dissolver, não havendo precipitação do soluto em questão. A supersaturação pode ser alcançada utilizando-se, por exemplo evaporação, aquecimento ou resfriamento (HARTEL; SHASTRY, 1991; KAIALY; NOKHODCHI, 2012; ZAMANIPOOR; MANCERA, 2014).

Embora a quantidade de soluto seja grande, o início da cristalização requer um tempo, chamado de “tempo de indução”. Quanto maior for a supersaturação de uma solução, menor tende a ser o tempo de indução (ZAMANIPOOR; MANCERA, 2014). O tempo de indução representa o tempo entre o início da supersaturação e a

formação dos núcleos, influenciando diretamente a taxa de nucleação (WONG; HARTEL, 2014).

A segunda etapa da cristalização é a nucleação. De acordo com Wong e Hartel (2014), a nucleação é o processo de formação de núcleos cristalinos a partir do agrupamento e agregação de moléculas ou íons em uma solução supersaturada. Esse aglomerado é denominado de embrião, semente ou núcleo.

A nucleação pode ser categorizada em nucleação primária e secundária. Segundo Zamanipoor e Mancera (2014) e Wong e Hartel (2014), a nucleação primária ocorre na presença (heterogênea) ou ausência (homogênea) de partículas que catalisam a formação de aglomerados estáveis. A nucleação primária homogênea é também chamada de nucleação espontânea, em que ocorre somente em níveis muito altos de supersaturação. Já na heterogênea, a nucleação é induzida por uma interfase sólida, seja ela uma parede do recipiente ou uma partícula pré-existente. A nucleação primária heterogênea é a principal fonte de geração inicial de núcleos.

A nucleação secundária, por sua vez, ocorre a partir de cristais do próprio soluto já existentes, pois esses cristais atuam como moldes para a formação de novos núcleos ou se fragmentam, formando novos núcleos. A nucleação secundária exige menor energia de ativação comparada à primária e pode ocorrer em níveis baixos de supersaturação. A agitação intensifica a nucleação secundária (WONG; HARTEL, 2014; ZAMANIPOOR; MANCERA, 2014).

A terceira etapa da cristalização, crescimento dos cristais, ocorre em três fases: transferência de massa (difusivo ou convectivo) para a superfície do cristal; reação/integração superficial; e transporte do calor latente para fora do crescimento dos cristais. O crescimento dos cristais depende das interações físico-químicas, taxa de adsorção para as várias faces do cristal, tendência à nucleação espontânea, temperatura, viscosidade, pH, concentração de diversas substâncias e impurezas. Além disso, uma vez que a α -lactose e a β -lactose possuem solubilidades distintas, a mutarrotação passa a ser um fator

muito importante na cristalização (GÄNZLE; HAASE; JELEN, 2008; WONG; HARTEL, 2014; ZAMANIPoor; MANCERA, 2014).

5 CONTROLE DA CRISTALIZAÇÃO EM DOCE DE LEITE

A cristalização do açúcar do leite tem sido um dos grandes desafios quanto a padronização do produto, principalmente para que a textura do doce de leite não se torne arenosa ao longo armazenamento (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Embora, conforme alguns autores, a cristalização da lactose na elaboração de doce de leite seja um fenômeno inevitável (ARES; GIMÉNEZ, 2008; KLEIN; DE JONG; RÉVILLION, 2010), diversos métodos e processos têm sido estudados visando controlá-la.

5.1 Adição de cristais de lactose

As condições ótimas para nucleação dos cristais não são ideais para suportar o crescimento dos cristais, visto que, níveis de supersaturação altos favorecem a nucleação espontânea, porém proporciona crescimento rápido e desordenado dos cristais. Por essa razão, tem sido estudado métodos de promover a nucleação e o crescimento de cristais de forma desacoplada (BERGFORS, 2003).

A semeadura consiste na adição de cristais como sementes, introduzidos em novas gotas em níveis mais baixos de supersaturação. As sementes podem ser adicionadas apresentando tamanhos submicroscópicos ou cristais únicos, com tamanho entre 5 e 50 μm (BERGFORS, 2003).

A adição de sementes de cristais é geralmente utilizada para induzir a cristalização, principalmente quando a concentração de lactose no produto é baixa. Essa adição pode ser conduzida utilizando lactose em pó, sendo, normalmente, empregada a α -lactose (MENDES; FURTADO; PERRONE, 2012).

Além da lactose, a adição de outras substâncias, como a glicose, pode apresentar efeitos semelhantes, favorecendo a nucleação.

Segundo esses autores, a inulina é solúvel em água, inclusive em altas concentrações, apresenta boa dispersão nos líquidos e possui a capacidade de formar microcristais quando misturada com água e leite (SANTOS; GOULART; RAMOS, 2012). Santos; Goulart; Ramos (2012) estudaram a elaboração de doce de leite com adição de 3 e 3,5% de inulina. Entretanto, não foi constatado diferença significativa na aceitação sensorial do doce de leite com e sem adição de inulina. Porém, de qualquer forma, a adição de inulina agrega valor funcional ao produto, visto que a inulina é considerada um prebiótico.

5.2 Hidrólise da lactose

A hidrólise da lactose em glicose e galactose, além de conferir maior sabor doce ao produto e aliviar os intolerantes a lactose, favorece o controle da cristalização da lactose, visto que esses monossacáridos são mais solúveis que a lactose, reduzindo, portanto, a cristalização. A hidrólise da lactose pode ser conduzida, por exemplo, pela ação de microrganismos, enzima (lactase) e adição de ácidos (GÄNZLE; HAASE; JELEN, 2008; KOBLITZ, 2011; NATH *et al.*, 2014).

Giménez; Ares e Gámbaro (2008) produziram doce de leite a partir de diferentes graus de hidrólise da lactose e verificaram que o processo de hidrólise culminou com mudanças significativas em todos os atributos sensoriais avaliados. De modo geral, ocorreu uma redução da aceitação por parte dos consumidores a medida em que o grau de hidrólise aumentou.

Klein; De Jong e Révillion (2010) realizaram análise sensorial ao longo do tempo de armazenamento de doce de leite, sendo comprovado que a hidrólise enzimática da lactose foi eficiente no controle da cristalização, dentro dos parâmetros estudados.

5.3 Adição de amido

O principal objetivo da adição de amido no doce de leite é reter a água livre no produto, o que leva ao aumento da viscosidade, controle da cristalização e, conseqüentemente, à melhora da textura (FRANCISQUINI *et al.*, 2016; KONKEL *et al.*, 2004; MADRONA *et al.*, 2009).

A Portaria número 354 de 4 de setembro de 1997 estabelece que o amido ou amido modificado são ingredientes opcionais na elaboração de doce de leite, em uma proporção não superior a 0,5 g/100 mL de leite (BRASIL, 1997). Entretanto, o amido pertence à classe de ingredientes que as algumas indústrias adicionam em quantidade superior à permitida pela legislação, de forma a aumentar o rendimento e reduzir custos (FRANCISQUINI *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2015).

Conforme relatado por Silva *et al.* (2015), a utilização dos amidos de milho e mandioca modificados não alterou as características do doce de leite e foi capaz de impedir o aparecimento de cristais de lactose durante o armazenamento.

Konkel *et al.* (2004) avaliaram a aceitação sensorial de duas amostras comerciais de doce de leite, contendo 1,0 e 7,6% de amido, em que as amostras obtiveram as notas 6,7 e 4,9, respectivamente, em uma escala hedônica de 9 pontos, concluindo-se que o doce de leite com quantidade de amido acima do permitido apresentou menor aceitação. Neste mesmo estudo, doces de leite com diferentes concentrações de amido (0 a 2,9%) elaborados no laboratório apresentaram aceitações iguais entre si. Segundo os autores, essa igualdade na aceitação pode estar associada ao grande consumo de amostras fraudadas encontradas no comércio brasileiro.

Rovedo; Viollaz e Suarez (1991) elaboraram doce de leite para o uso na confeitaria, adicionando 2% de amido ao doce, como agente espessante, sendo constatado, ao final, que essa adição contribuiu com uma maior consistência e comportamento mais pseudoplástico, comparado ao doce de leite sem adição de amido.

5.4 Adição de soro

O soro é um subproduto oriundo da produção de queijo ou caseína, sendo produzido em grandes quantidades pelas unidades de processamento do leite. No soro são encontradas as proteínas do soro, lactose, vitaminas e minerais (BALDASSO; BARROS; TESSARO, 2011).

Em trabalho realizado por Lima e Rocha (2016) foi verificado que quanto maior a adição de soro à formulação do doce de leite, menor o rendimento.

Bellarde (2006) elaborou doce de leite pastoso tradicional e com 20 e 30% de substituição dos sólidos do leite por concentrado proteico do soro, verificando que a amostra tradicional apresentou maior dureza, adesividade e coloração mais escura, seguida da amostra com 30% de substituição. Desta forma, o doce de leite com 30% de substituição foi o que mais se aproximou ao doce de leite tradicional.

Doce de leite light: Os consumidores estão cada vez mais conscientes do papel que a alimentação desempenha na saúde humana e, desta forma, têm a cada dia buscado por alimentos mais saudáveis e de melhor qualidade nutricional. Desta forma, são relatados na literatura diversos estudos que buscaram modificar a formulação original do doce de leite, visando desenvolver um produto menos calórico e por vezes, com apelos funcionais (GUIMARÃES *et al.*, 2012).

5.5 Ultrassom

Ultrassom são ondas sonoras que operam acima do alcance da audição humana, devido à alta frequência. Essa propriedade é capaz de gerar forças de mistura e cisalhamento de fluidos. Dessa forma, o ultrassom pode ser aplicado durante a nucleação para controlar a cristalização. A forma de atuação do ultrassom na cristalização da lactose ainda não é totalmente esclarecida. Entretanto, alguns autores afirmaram que essa tecnologia promove a nucleação, o que leva à formação de cristais menores. Além disso, a sonicação pode atuar

no desmembramento de cristais maiores (KENTISH; FENG, 2014; ZAMANIPOOR; MANCERA, 2014).

Zamanipoor; Mancera (2014) categorizaram a atuação do ultrassom em três mecanismos distintos: formação de núcleos primários devido a transferência de massa e colisões moleculares promovidas pelas ondas de choque liberadas pelas bolhas de cavitação; a formação e movimento de bolhas da cavitação causam aeração, promovendo transferência de massa; e atuação das bolhas de cavitação como centros de nucleação, devido ao desenvolvimento de supersaturação interna e grande nucleação causados resfriamento em razão da evaporação da superfície interna das bolhas.

Dhumal *et al.* (2008) constataram que a sonocristalização proporcionou uma supersaturação espontânea, dando início a nucleação, em que os cristais se desenvolveram de forma mais acelerada no sentido do comprimento e menos acelerado na largura e espessura, formando cristais no formato de bastonete.

5.6 Anti-solvente

O uso de anti-solvente tem o objetivo de reduzir o tempo de indução e acelerar a cristalização lactose, visto que essas substâncias diminuem a solubilidade da solução e, conseqüentemente, aumentam a supersaturação (ZAMANIPOOR; MANCERA, 2014).

Entretanto, de acordo com Zamanipoor e Mancera (2014), essa técnica apresenta algumas características negativas, como por exemplo: ampla variabilidade entre os lotes, visto que a grande supersaturação é formada rapidamente e de forma pouco controlável; formação de aglomerados de cristal; cristais finos e irregulares; e exigência de etapas para remoção dos anti-solventes do produto.

O antissolvente proporciona um aumento na taxa de nucleação, fazendo com que haja muitos núcleos, formando muitos cristais, porém de tamanho pequeno.

5.7 Temperatura de armazenamento

A temperatura de armazenamento pode influenciar no tamanho dos cristais formados, pois apresenta uma relação direta com a mobilidade do cristal no doce de leite. Temperaturas mais baixas aumentam a viscosidade do doce de leite e, portanto, reduzem a mobilidade, dificultando a aglomeração dos cristais (ARES; GIMÉNEZ, 2008; HARTEL; SHASTRY, 1991).

Ares e Giménez (2008) avaliaram a formação de cristais de lactose em doce de leite durante o armazenamento às temperaturas de -5, 5, 20 e 35°C por 25 dias, sendo constatada que temperaturas mais baixas provocaram um aumento do número de cristais e, consequentemente, uma diminuição do tamanho de cada cristal.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cristalização da lactose ainda representa um problema para a indústria de produção de doce de leite. Alguns métodos têm sido estudados e outros já vem sendo utilizados para minimizar esse obstáculo. Entretanto, existe a demanda de pesquisas para elucidar por completo o processo de cristalização da lactose, em especial no doce de leite, de forma a contribuir com o desenvolvimento de novas técnicas e aprimoramento das técnicas existentes para, assim, atender às demandas e expectativas dos consumidores de doce de leite com produtos de qualidade e estáveis ao longo do armazenamento.

REFERÊNCIAS

ARES, G.; GIMÉNEZ, A. Influence of temperature on accelerated lactose crystallization in dulce de leche. **International Journal of Dairy Technology**, v. 61, n. 3, p. 277 -283, 2008.

ARES, G.; GIMÉNEZ, A.; GÁMBARO, A. Preference mapping of texture of dulce de leche. **Journal of Sensory Studies**, v. 21, n. 6, p. 553 - 571, 2006a.

ARES, G.; GIMÉNEZ, A.; GÁMBARO, A. Instrumental methods to characterize nonoral texture of dulce de leche. **Journal of Texture Studies**, v. 37, n. 5, p. 553 -567, 2006b.

BALDASSO, C.; BARROS, T. C.; TESSARO, I. C. Concentration and purification of whey proteins by ultrafiltration. **Desalination**, v. 278, p. 381-386, 2011.

BELLARDE, F. B. Elaboração de doce de leite pastoso com substituição parcial dos sólidos de leite por concentrado proteico de soro. **Revista Uniara**, n. 17, p. 249 - 256, 2006.

BERGFORS, T. Seeds to crystals. **Journal of Structural Biology**, v. 142, n. 1, p. 66 -76, 2003.

BRASIL. Instrução Normativa, de 4 de Setembro de 1997. **Regulamento Técnico para fixação de identidade e qualidade de doce de leite**. Disponível em: <https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/legislacoes/portaria-ma-354-de-04-09-1997,664.html>. Acesso em: 30 abr. 2018.

CASTILLO-PEINADO, L. de los S.; LUQUE DE CASTRO, M. D. The role of ultrasound in pharmaceutical production: sonocrystallization. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 68, n. 10, p. 1249 -1267, 2016.

CORRADINI, M. G.; PELEG, M. Lubricated squeezing flow viscometry for dulce de leche (milk sweet). **Food Science and Technology International**, v. 6, n. 4, p. 339 - 344, 2000.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Fennema's food chemistry**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2007.

DEMIATE, I. M.; KONKEL, F. E.; PEDROSO, R.. Avaliação da qualidade de amostras comerciais de doce de leite pastoso - composição química. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 1, p. 108–114, 2001.

DHUMAL, R. S.; BIRADAR, S. V.; PARADKAR, A. R.; YORK, P. Ultrasound Assisted Engineering of Lactose Crystals. **Pharmaceutical Research**, v. 25, n. 12, p. 2835–2844, 2008.

FERREIRA, L. de oliveira; PEREIRA, P. aparecida pimenta; MARIA, J.; PINTO, S. M. Avaliação das características de qualidade de doces de leite comerciais. **Revista do Instituto de Lactícinios Cândido Tostes**, v. 387, n. 67, p. 5 -11, 2012.

FOSTER-POWELL, K.; HOLT, S. H.; BRAND-MILLER, J. C. International table of glycemic index and glycemic load. **American journal of clinical nutrition**, v. 76, n. 2, p. 5 -56, 2002.

FRANCISQUINI, J. d'Almeida; OLIVEIRA, L. N. de; PEREIRA, J. P. F.; STEPHANI, R.; PERRONE, Í. T.; SILVA, P. H. F. da. Avaliação da intensidade da reação de Maillard, de atributos físico-químicos e análise de textura em doce de leite. **Revista Ceres**, v. 63, n. 5, p. 589–596, 2016.

GÄNZLE, M. G.; HAASE, G.; JELEN, P. Lactose: Crystallization, hydrolysis and value-added derivatives. **International Dairy Journal**, v. 18, n. 7, p. 685–694, 2008.

GAZE, L. V.; COSTA, M. P.; MONTEIRO, M. L. G.; LAVORATO, J. A. A.; CONTE JÚNIOR, C. A.; RAICES, R. S. L.; CRUZ, A. G.;

FREITAS, M. Q. Dulce de Leche, a typical product of Latin America: Characterisation by physicochemical, optical and instrumental methods. **Food Chemistry**, v. 169, p. 471–477, 2015.

GIMÉNEZ, A.; ARES, G.; GÁMBARO, A. Consumer reaction to changes in sensory profile of dulce de leche due to lactose hydrolysis. **International Dairy Journal**, v. 18, n. 9, p. 951–955, 2008.

GUIMARÃES, I. C. O.; LEÃO, M. H. M. R.; PIMENTA, C. J.; FERREIRA, L. O.; FERREIRA, E. B. Development and description of light functional dulce de leche with coffee. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 36, n. 2, p. 195–203, 2012.

HARTEL, R. W.; SHASTRY, A. V. Sugar crystallization in food products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 30, n. 1, p. 49–112, 1991.

KAIALY, W.; NOKHODCHI, A. Antisolvent crystallisation is a potential technique to prepare engineered lactose with promising aerosolisation properties: Effect of saturation degree. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 437, n. 1–2, p. 57–69, 2012.

KENTISH, S.; FENG, H. Applications of Power Ultrasound in Food Processing. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 5, n. 1, p. 263–284, 2014.

KLEIN, M. P.; DE JONG, E. V.; RÉVILLION, J. P. P. Utilização da β -galactosidase para prevenção da cristalização em doce de leite. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 34, n. 6, p. 1530–1535, 2010.

KOBLITZ, M. G. B. **Matérias-primas alimentícias: composição e controle de qualidade**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.

KONKEL, F. E.; OLIVEIRA, S. M. R. de; SIMÕES, D. R. S.; DEMIATE, I. M. Avaliação sensorial de doce de leite pastoso com diferentes concentrações de amido. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 2, p. 249–254, 2004.

KOUGOULOS, E.; MARZIANO, I.; MILLER, P. R. Lactose particle engineering: Influence of ultrasound and anti-solvent on crystal habit and particle size. **Journal of Crystal Growth**, v. 312, n. 23, p. 3509–3520, 2010.

LIMA, F. R.; ROCHA, L. D. O. F. Aproveitamento do soro de leite proveniente da produção do queijo do serro para fabricação de doce de leite: viabilidade econômica. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 71, n. 2, p. 83, 2016.

MACFHIONNGHAILE, P.; SVOBODA, V.; MCGINTY, J.; NORDON, A.; SEFCIK, J. Crystallization diagram for antisolvent crystallization of lactose: using design of experiments to investigate continuous mixing-induced supersaturation. **Crystal Growth & Design**, v. 17, n. 5, p. 2611–2621, 3 2017.

MADRONA, G. S.; ZOTARELLI, M. F.; BERGAMASCO, R.; BRANCO, I. G. Estudo do efeito da adição de soro de queijo na qualidade sensorial do doce de leite pastoso. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 4, p. 826–833, 2009.

MALEC, L. S.; LLOSA, R. A.; VIGO, M. S. Sugar formulation effect on available lysine content of dulce de leche. **Journal of Dairy Research**, v. 66, n. 2, p. 335–339, 1999.

MENDES, P. N.; FURTADO, M. A. M.; PERRONE, Í. T. Osmose reversa na produção de leite condensado: uma possibilidade tecnológica. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 67,

n. 388, p. 68–76, 2012. Disponível em: <https://www.revistadoilct.com.br/rilct/article/view/268>. Acesso em: 05 jul. 2021.

NATH, A.; MONDAL, S.; CHAKRABORTY, S.; BHATTACHARJEE, C.; CHOWDHURY, R. Production, purification, characterization, immobilization, and application of β -galactosidase: a review. **Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering**, v. 9, n. 3, p. 330–348, 2014.

OLIVEIRA, A. C. P. de; PINTO, S. M.; DE CARVALHO, A. F.; SCHUCK, P.; PERRONE, Í. T.; ABREU, L. R. PARÂMETROS INDUSTRIAIS DA PRODUÇÃO DE DOCE DE LEITE. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 71, n. 3, p. 179, 2016.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos - alimentos de origem animal**. 1. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.

PATEL, S. R.; MURTHY, Z. V. P. Effect of process parameters on crystal size and morphology of lactose in ultrasound-assisted crystallization. **Crystal Research and Technology**, v. 46, n. 3, p. 243–248, 2011.

PERRONE, Í. T.; RENHE, I. R. T.; PEREIRA, J. P. F.; COLOMBO, M.; COELHO, J. S.; MAGALHÃES, F. A. R. Influência de diferentes espessantes nas características sensoriais do doce de leite para confeitaria. **Revista do Instituto de Laticínios “Candido Tostes”**, v. 66, n. 379, p. 45–50, 2011.

RANALLI, N.; ANDRÉS, S. C.; CALIFANO, A. N. Dulce de leche-like product enriched with emulsified pecan oil: Assessment of physicochemical characteristics, quality attributes, and shelf-life. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 119, n. 7, p. 1–10, 2017.

ROVEDO, C. O.; VIOLLAZ, P. E.; SUAREZ, C. The Effect of pH and Temperature on the Rheological Behavior of Dulce De Leche, A Typical Dairy Argentine Product. **Journal of Dairy Science**, v. 74, n. 5, p. 1497–1502, 1991.

SALDAÑA, M. D. A.; ALVAREZ, V. H.; HALDAR, A. Solubility and physical properties of sugars in pressurized water. **Journal of Chemical Thermodynamics**, v. 55, p. 115–123, 2012.

SÁNCHEZ-GARCÍA, Y. I.; GARCÍA-VEGA, K. S.; LEAL-RAMOS, M. Y.; SALMERON, I.; GUTIÉRREZ-MÉNDEZ, N. Ultra-sound-assisted crystallization of lactose in the presence of whey proteins and κ -carrageenan. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 42, p. 714–722, 2018.

SANTOS, J. P. V.; GOULART, S. M.; RAMOS, A. M. Influência da adição de inulina nas características físico-químicas e sensoriais do doce de leite cremoso. **Revista do Instituto de Laticínios “Candido Tostes”**, v. 67, n. 388, p. 35–40, 2012.

SILVA, F. L. da; FERREIRA, H. A. L.; CARVALHO, A. F. de; PERRONE, Í. T. Effect of whey during the concentration of “dulce de leche”. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 68, n. 394, p. 20–24, 2013.

SILVA, F. L.; FERREIRA, H. A. L.; SOUZA, A. B.; ALMEIDA, D. F.; STEPHANI, R.; PIROZI, M. R.; CARVALHO, A. F.; PERRONE, I. T. Production of dulce de leche: The effect of starch addition. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 417–423, 2015.

STEPHANI, R. Atributos tecnológicos de controle para produção do doce de leite Technological control attributes for doce de leite production. p. 42–51, 2012.

STRZAŁKOWSKA, N.; JASIŃSKA, K.; JÓŻWIK, A. Physico-chemical properties of lactose, reasons for and effects of its intolerance in humans – a review. **Animal Science Papers and Reports**, v. 36, n. 1, p. 21–31, 2018.

VIEIRA, M. C.; CAVICHIOLO, J. R.; ABEILAR, R.; GOMES, R.; FACHINI, C. Produção de doce de leite tradicional, light e diet : estudo comparativo de custos e viabilidade econômica. **Informações Econômicas**, v. 41, n. 10, p. 15–27, 2011.

WONG, S. Y.; HARTEL, R. W. Crystallization in Lactose Refining-A Review. **Journal of Food Science**, v. 79, n. 3, p. R257–R272, 2014.

ZAMANIPoor, M. H.; MANCERA, R. L. The emerging application of ultrasound in lactose crystallisation. **Trends in Food Science & Technology**, v. 38, n. 1, p. 47–59, 2014.

ZARPELON, J.; MOLOGNONI, L.; VALESE, A. C.; RIBEIRO, D. H. B.; DAGUER, H. Validation of an automated method for the analysis of fat content of dulce de leche. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 48, p. 1–7, 2016.

Capítulo 10

Tecnologia do processamento de massas alimentícias

Wallaf Costa Vimercati

Leandro Levate Macedo

Cintia da Silva Araújo

Antonio Manoel Maradini Filho

Luciano José Quintão Teixeira

1 INTRODUÇÃO

Massa alimentícia ou macarrão é um produto popularmente consumido na Europa e na América. Esse produto surgiu em 5000 a. C. no norte da China, de acordo com algumas descobertas arqueológicas, onde encontraram misturas de farinha de trigo, de soja, de arroz e

até de feijão mungo. Alguns escritos de civilizações antigas relatam que os assírios e babilônios por volta de 2500 a. C. já conheciam um produto à base de cereais e água (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE BISCOITOS, MASSAS ALIMENTÍCIAS E PÃES & BOLOS INDUSTRIALIZADOS - ABIMAPI, 2018). No entanto, a incorporação das massas alimentícias na alimentação e na cultura de indivíduos do mundo todo foi, especialmente, devido à emigração europeia, principalmente de italianos, sendo esses considerados os maiores difusores e consumidores de macarrão, a partir do século XVIII (ABIMAPI, 2018; SILVA *et al.*, 2013).

No Brasil, as massas alimentícias chegaram no início do século XIX por meio da imigração de italianos. Com o passar dos anos, o produto foi ganhando cada vez mais aceitabilidade pelos consumidores, devido ao seu preparo fácil e rápido, custo acessível e pela estabilidade no armazenamento, desde que produzido de forma adequada (ABIMAPI, 2018; GUERREIRO, 2006; VIMERCATI *et al.*, 2020a).

O Brasil ocupa o quarto lugar no mercado mundial na venda de massas alimentícias. No ano de 2020, o consumo per capita foi de 5,063 kg/hab e as vendas em 2022, foram de, aproximadamente, 1,284 milhão de toneladas, gerando um faturamento de R\$ 13,462 bilhões. As massas alimentícias são amplamente consumidas, estando presente em 99,6% nos lares dos brasileiros (ABIMAPI, 2021; ABIMAPI, 2023)

O processo de fabricação das massas alimentícias é relativamente simples, inicia-se com a mistura e amassamento dos ingredientes, tais como farinha de trigo e água, com adição ou não de outras substâncias permitidas. Posteriormente, realiza-se a laminação, corte, secagem e armazenamento. Outra forma de processamento é por extrusão, em que as etapas de mistura, amassamento e moldagem ocorrem em um mesmo equipamento, denominado de extrusor. Logo após, seguem para a secagem e acondicionamento (GIANNETTI *et al.*, 2014; FINNIE; ATWELL, 2016; MARCHYLO; DEXTER, 2001; VIMERCATI *et al.*, 2020a, 2020b).

A qualidade das massas alimentícias é definida, principalmente, pelas propriedades das matérias-primas, do tipo de processamento, das condições de secagem e da forma de armazenamento do produto, além das boas práticas de fabricação (GUERREIRO, 2006; OGAWA *et al.*, 2015).

Diante disso, este capítulo abordará a definição, os ingredientes permitidos e todas as etapas para a produção de massas alimentícias, destacando os principais fatores que afetam na qualidade desse produto.

2 DEFINIÇÃO

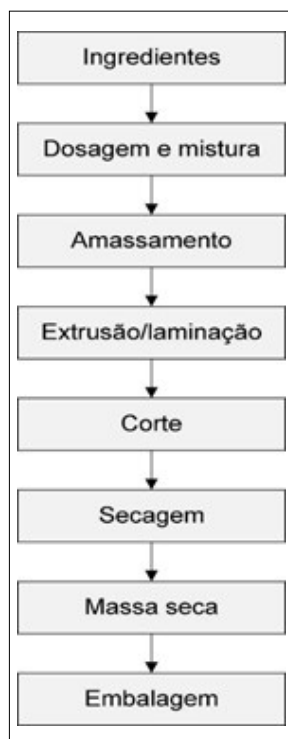
No Brasil, a legislação vigente da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), RDC nº 711, de 1º de julho de 2022, apresenta a seguinte definição:

Massa alimentícia: produto obtido da farinha de trigo (gênero *Triticum*), de derivados de trigo durum (*Triticum durum* L.) ou de derivados de outros cereais, leguminosas, raízes ou tubérculos, resultante do processo de empasto e amassamento mecânico, sem fermentação, podendo ser apresentado seco, fresco, pré-cozido, instantâneo ou pronto para o consumo, em diferentes formatos e recheios (BRASIL, 2022).

3 ETAPAS DO PROCESSAMENTO

As massas alimentícias podem ser produzidas pelos processos de laminação (cilindragem) ou de extrusão. Um fluxograma foi montado para representar, simplificada, as etapas de fabricação de massas secas por esses dois processos (Figura 1).

Figura 1 – Etapas do processo de fabricação de massas alimentícias



Fonte: adaptado de Arendt e Zannini (2013).

Conforme verificado na Figura 1, a produção das massas alimentícias secas pelos dois métodos (laminação e extrusão) envolve etapas em comum, que serão discutidas em conjunto. As principais diferenças serão descritas nos próximos tópicos.

3.1 Ingredientes

Os ingredientes indispensáveis para a produção das massas alimentícias são a água e a farinha de trigo. No entanto, outros ingredientes podem ser adicionados para melhorar as propriedades tecnológicas, sensoriais e nutricionais desses produtos, tais como farinhas,

coprodutos e extratos de vegetais e cereais, ovos e aditivos (corantes, emulsificantes, conservantes, entre outros) (CIACCO; CHANG, 1986; GIANNETT *et al.*, 2014; OGAWA *et al.*, 2015).

3.1.1 Farinha de trigo

O *Triticum durum* é o trigo preferido para a produção de massas alimentícias. Na moagem desse trigo, o objetivo não é reduzir o endosperma para o tamanho da partícula de farinha, mas sim convertê-lo em semolina, que tem um tamanho de partícula maior (<10% irão passar por uma peneira de 180 µm). A semolina do *Triticum durum* apresenta características próprias para as massas alimentícias, como quantidade e qualidade de proteína, boas propriedades reológicas (farinografia, extensografia e alveografia), alta pigmentação (cor amarelada), apresentando-se em um estado mais duro e mais vítreo. No cozimento, as massas produzidas com esse trigo apresentam as características de serem “*al dente*”, menor perda de sólidos solúveis e são menos adesivas (CONAB, 2017; CUBADDA *et al.*, 2007; FINNIE; ATWELL, 2016; PATACO *et al.*, 2015;).

Na literatura, não é comum encontrar parâmetros tecnológicos pré-definidos para o *T. durum*, pois, na maioria das vezes, todo trigo durum é ideal para o processamento de massas alimentícias, dadas suas características únicas de gerar um glúten forte, alta qualidade e teor de proteínas (11 a 15% b.s.) e cor amarelada (FINNIE; ATWELL, 2016; KURT; EVERS, 2018).

No Brasil, o *Triticum durum* não é produzido em escala comercial, pois as condições climáticas e do solo não contribuem para o desenvolvimento dessa espécie, sendo obtido exclusivamente por importação (JESUS JÚNIOR; RODRIGUES; MORAES, 2011). Portanto, vários países, assim como o Brasil, utilizam o trigo comum (*T. aestivum*) ou incorporação de proporções adequadas de *T. durum* no trigo comum para a produção de massas alimentícias. Isso ocorre devido a maior produção do *T. aestivum* no Brasil e, também, devido aos custos

relacionados a importação e a disponibilidade da semolina do *T. durum* no mercado (CHANG; FLORES, 2004; CIACCO; CHANG, 1986).

De acordo com Benassi e Watanabe (1997) e Guerreiro (2006), no Brasil, a semolina do trigo comum é o produto obtido pela trituração do *Triticum aestivum*, em que as partículas passam pela peneira n° 40 (420 µm) e ficam retidas na peneira n° 60 (250 µm). A semolina é utilizada, na maioria das vezes, para produção de massas alimentícias e na sua ausência podem ser utilizadas farinhas especiais, pois apresentam maior granulometria (>250 µm) que as farinhas comuns, é mais branca e uniforme.

Nesse contexto, o Brasil ao longo dos anos estabeleceu algumas classificações e parâmetros de qualidade para o uso do *T. aestivum*, por meio do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). As legislações vigentes são:

- Instrução Normativa (IN) n° 08/2005 que aprova o Regulamento Técnico De Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo (*T. aestivum*), classificando as farinhas de trigo em tipos 1, 2 e integral, sendo a mais utilizada para massas alimentícias a farinha tipo 1 (BRASIL, 2005).

- IN n° 38/2010 que estabelece o Regulamento Técnico do Trigo, “definindo o seu padrão oficial de classificação, com os requisitos de identidade e qualidade, a amostragem, o modo de apresentação e a marcação ou rotulagem, nos aspectos referentes à classificação do produto” (BRASIL, 2010).

De acordo com CONAB (2017), a IN n° 38/2010, alterada pela IN n° 23/2016, foi estabelecida para tentar aproximar a qualidade tecnológica requerida para as principais utilizações da farinha de trigo, tais como na produção de pães, biscoitos, massas alimentícias, entre outros.

A IN n° 38/2010 classifica o trigo destinado à moagem e a outras finalidades (Grupo II) em várias classes (Quadro 1). Geralmente, a classe mais utilizada na produção de massas alimentícias é a classe de trigo melhorador, dadas as suas propriedades tecnológicas de alta estabilidade e força do glúten (CONAB, 2017).

Quadro 1 - Classes do trigo do Grupo II destinado à moagem e a outras finalidades

Classes	Força do Glúten (Valor mínimo expresso em 10^{-4} J)	Estabilidade (Tempo expresso em minutos)	Número de Queda (Valor mínimo expresso em segundos)
Melhorador	300	14	250
Pão	220	10	220
Doméstico	160	6	220
Básico	100	3	200
Outros usos	Qualquer	Qualquer	Qualquer

Fonte: Brasil (2010).

Nitzke e Thys (2010) também apresentaram os principais parâmetros tecnológicos da farinha de trigo para a produção de massas alimentícias (Quadro 2).

Quadro 2 – Principais propriedades tecnológicas da farinha de trigo destinada a produção de massas alimentícias

Características	Massas alimentícias
Glúten úmido (%)	>28
Glúten seco (%)	>9
Cinzas (%)	0,5-0,7
Falling number (segundos)	>350
Absorção de água (%)	60-64
Tempo de desenvolvimento (minutos)	8,0-13,0
Estabilidade (minutos)	>15
Índice de tolerância à mistura (UF)	≤49
Extensibilidade (cm)	120-160
Energia ou força do glúten W' (10^{-4} J)	>280

Fonte: adaptado de Nitzke e Thys (2010).

Conforme observado nos Quadros 1 e 2, há uma pequena variação dos parâmetros tecnológicos da farinha de trigo destinada ao processamento de massas. Vale ressaltar que cada empresa ainda pode definir os parâmetros tecnológicos específicos para um determinado produto, com base no mínimo exigido na legislação. Portanto, um mesmo lote de farinha com especificações excelentes para uma empresa pode não ser adequado para uma outra empresa que fabrica um mesmo produto (NITZKE; THYS, 2010).

3.1.2 Água e demais ingredientes

A água utilizada deve atender ao padrão de potabilidade estabelecido na Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da saúde, apresentar baixo teor de minerais e não oferecer riscos à saúde (GUERREIRO, 2006).

Os ovos podem ser utilizados para conferir cor, aumentar o valor nutritivo, melhorar a elasticidade e as propriedades sensoriais, reduzir a perda de sólidos solúveis na água de cozimento e a adesividade. Geralmente, os ovos são utilizados na forma em pó, inteiros pasteurizados, congelados ou frescos. Alguns cuidados devem ser tomados com esse ingrediente em relação ao aspecto microbiológico, pois o ovo é um alimento muito perecível. A qualidade microbiológica desse ingrediente pode ser avaliada pela presença de alguns microrganismos, tais como *Salmonella*, coliformes totais e termotolerantes e *S. aureus* (LEITÃO *et al.*, 1990; ORMENESE *et al.*, 2004; TETERYCZ *et al.*, 2019; XIE *et al.*, 2020). A legislação brasileira estabelece o mínimo de 0,45 g de colesterol/kg de massa, correspondendo a 3 ovos ou 135 g de ovo/kg de farinha, para massas alimentícias com ovos (BRASIL, 2000; GUERREIRO, 2006). Por outro lado, Xie *et al.* (2020) relataram que os ovos são incorporados em massas em uma quantidade que pode variar de 17 a 30% para atingir as propriedades necessárias. Vimercati *et al.* (2020a) também verificaram que a quantidade de ovos adicionada em massas com diferentes ingredientes não tradicionais

varia para cada formulação (4,33 a 31,80%). De modo geral, a quantidade de ovos a ser utilizada na fabricação de massas alimentícias depende da legislação de cada país (ORMENESE *et al.*, 2004) ou de algumas características mais desejáveis no produto final.

Os aditivos (emulsificantes, conservantes, corantes, espessantes, entre outros) podem ser utilizados, quando necessário, desde que obedeça aos limites estabelecidos pela legislação vigente de cada país (BENASSI; WATANABE, 1997).

A adição de ingredientes, tais como vegetais (beterraba, espinafre, tomate seco, manjerição etc.) e outros produtos (café, vinho, chocolate etc.) contribuem para produção de massas alimentícias diferenciadas, com cor, sabor e o aroma mais atraentes. Além disso, contribuem também com a melhoria de propriedades tecnológicas (por exemplo, menor perda no cozimento) e nutricionais. A melhoria das propriedades nutricionais deve-se a presença de fibras e alguns compostos bioativos que conferem benefício à saúde do consumidor como, por exemplo, as betalaínas carotenoides e melanoidinas que têm ação antioxidante (GAO *et al.*, 2018; VIMERCATI *et al.*, 2020a, 2020b; YADAV *et al.*, 2014).

3.2 Dosagem e mistura

A dosagem e a mistura são as primeiras etapas para a produção de massas alimentícias. Inicialmente, os ingredientes secos (semolina, farinhas, aditivos e ovo em pó) são peneirados e misturados antes da adição dos ingredientes líquidos. Após a homogeneização, adiciona-se os ingredientes líquidos (água, ovos, entre outros) e realiza-se a mistura novamente, por um período que pode variar de 2 a 20 min., dependendo do equipamento utilizado. Nessa etapa, o glúten ainda não é formado e o produto resultante é um pouco seco e esfarelado (FINNIE; ATWELL, 2016; GUERREIRO, 2006; MARCHYLO; DEXTER, 2001; POLLINI *et al.*, 2012).

Para a obtenção de uma massa com boa consistência, a faixa normal de adição de água nas formulações varia de 25–30 kg de água/100 kg de farinha. No entanto, a quantidade de água deve ser ajustada, caso sejam utilizados ovos líquidos ou demais ingredientes líquidos (MARCHYLO; DEXTER, 2001).

A quantidade de água necessária para a formulação é influenciada por vários fatores, tais como: temperatura da água, quantidade e qualidade da proteína do trigo, variedade do trigo, granulometria da farinha e a umidade inicial. As farinhas devem ser hidratadas uniformemente durante a mistura, para evitar manchas brancas ou estrias no produto (farinhas não hidratadas). Para reduzir esse problema de hidratação, a farinha deve apresentar granulometria o mais uniforme possível, pois partículas menores absorvem água de forma mais rápida que as maiores (GERREIRO, 2006; MARCHYLO; DEXTER, 2001).

De acordo com Guerreiro (2006), a determinação da temperatura da água depende da granulometria da farinha e do processamento empregado. As maiores temperaturas reduzem o tempo de mistura, contribuem com a maior plasticidade da massa e minimizam a descoloração, devido o menor tempo do processo. Entretanto, para o processo de extrusão, recomenda-se que a água esteja a temperatura ambiente, a fim de evitar superaquecimento durante o amassamento.

Alguns fabricantes empregam o vácuo durante a etapa de mistura, pois o ar pode comprometer a resistência mecânica e a aparência do produto. Além do mais, a ausência de ar restringe a atividade de enzimas oxidativas que atuam na degradação de pigmentos naturais da semolina, previnem a oxidação de lipídios e o crescimento de microrganismos aeróbicos (FINNIE; ATWELL, 2016; POLLINI *et al.*, 2012).

3.3 Amassamento

Na etapa de amassamento, uma série de reações e interações dos constituintes ocorrem, tais como absorção de água e interação das proteínas do trigo para formação da rede de glúten, absorção de água pelo amido

e formação de emulsão pelos lipídios, devido a ação mecânica. Dessa forma, ocorre a formação de um sistema coloidal complexo, envolvendo os vários constituintes. Esse processo é de extrema importância para a obtenção das características viscoelásticas na produção de massas alimentícias (CIACCO; CHANG, 1986; KURT; EVERS, 2018).

A combinação da gliadina e glutenina na presença de água e ação mecânica forma o glúten, componente com propriedades viscoelásticas responsável pela funcionalidade da farinha de trigo. O glúten determina a elasticidade e a extensibilidade da massa e as propriedades finais dos produtos panificados, sendo influenciado por vários fatores, tais como o tipo de trigo utilizado, as propriedades das proteínas glutenina e gliadina, além da relação, quantidade e qualidade dessas proteínas (ABEDI; POURMOHAMMADI, 2021; BARAK; MUDGIL; KHATKAR, 2015; ORTOLAN; STELL, 2017).

A etapa de amassamento no processo por laminação é realizada em batelada, a massa é misturada até obtenção de uma pasta homogênea. No processo por extrusão, as etapas de mistura, amassamento e a formação da massa ocorrem em um mesmo equipamento, denominado de extrusora (BERK, 2018; GUERREIRO, 2006), conforme será descrito a seguir.

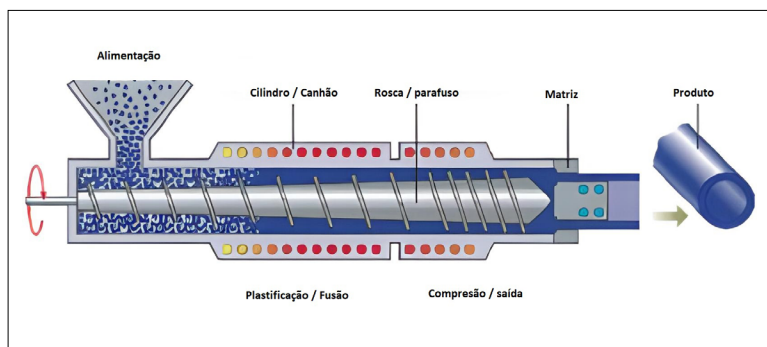
3.4 Extrusão

A palavra extrusão é de origem latina (*extrudere*) sendo definida como a ação de empurrar ou a operação de forçar um material a sair em um orifício estreito. No entanto, essa definição corresponde apenas a uma pequena parte das inúmeras aplicações industriais desse processo (BERK, 2018).

Para o processamento de massas alimentícias, a extrusão é utilizada principalmente para dar o formato desses produtos, podendo ser empregada inúmeras matrizes ou trefilas, de acordo com o formato que se deseja obter. Nesse processo, os ingredientes são adicionados na extrusora por um funil de alimentação, misturados e o amassamento ocorre

no canhão extrusor, onde forma-se a massa (Figura 2). A massa é submetida a alta pressão (80 a 120 kgf/cm²) ao ser conduzida por uma rosca sem fim até a saída na matriz, onde ocorrerá a moldagem no formato previamente determinado. A matriz é confeccionada em bronze ou em aço inox e seus orifícios, na maioria das vezes, são revestidos com teflon para gerar um fluxo constante da massa e proporcionar uma superfície lisa ao produto (GUERREIRO, 2006; MARCHYLO; DEXTER, 2001).

Figura 2 – Esquema do processo de extrusão



Fonte: Abiplast (2014).

O processo de extrusão gera um aquecimento da massa. Isso ocorre devido a força de atrito com a rosca sem fim e as paredes do cilindro. Alguns autores recomendam que a temperatura da massa não ultrapasse 50 °C, para evitar danos a rede de glúten e na qualidade do produto. O calor gerado é dissipado por meio de um sistema externo de resfriamento com circulação de água fria acoplado ao canhão extrusor (BERK, 2018; FINNIE; ATWELL, 2016; MARCHYLO; DEXTER, 2001).

A extrusão ocorre em processo contínuo, sendo amplamente empregada no meio industrial para fabricação de massas secas. O tipo de extrusão utilizada no processamento de massas é a extrusão a frio (POLLINI *et al.*, 2012; BERK, 2018).

3.5 Laminação

No início do século XX, bem antes da utilização das extrusoras, a laminação era considerada o processo tradicional para fabricação de massas. Com o passar dos anos, extrusoras modernas foram sendo desenvolvidas e mais utilizadas nos processos industriais (KURT; EVERS, 2018).

A laminação, também conhecida como cilindragem, consiste em passar a massa em cilindros lisos, para formar uma lâmina fina, podendo ser realizada manualmente ou por prensas hidráulicas. Inicialmente, a massa passa por cilindros que apresentam uma maior distância entre si, sendo reduzida essa distância entre os cilindros a cada passagem da massa (Figura 3). Esse processo é realizado até a massa se tornar homogênea, lisa, elástica e com espessura desejada (aproximadamente 2 mm) (GUERREIRO, 2006; KURT; EVERS, 2018).

Figura 3 – Máquina automática combinada para massas laminadas



Fonte: Technopast ([sd]).

Atualmente, a laminação manual é mais utilizada em restaurantes, agroindústrias e casas para atrair a atenção de consumidores (KURT; EVERS, 2018). O sistema de laminação a nível industrial segue o mesmo princípio do processo artesanal e utiliza equipamentos compatíveis com a produção da indústria. Geralmente, esse processo é realizado em bateladas, sendo mais aplicado na produção de massas caseiras e frescas (GUERREIRO, 2006; POLLINI *et al.*, 2012).

De acordo com Kurt e Evers (2018), o processo de amassamento/laminação gera uma textura mais elástica no produto, levando a uma boa qualidade. Já a extrusão produz uma massa com uma textura mais firme, maior variedade de formas, fabricação mais eficiente e menos demorada. Além disso, a massa que sai da extrusora tem um menor teor de umidade do que a massa laminada, exigindo um menor tempo de secagem. Contudo, a massa feita pelo processo de extrusão pode apresentar uma cor menos atraente, estrutura e qualidade inferiores a massa produzida pelo processo de laminação, caso o processo não seja conduzido corretamente.

3.6 Corte

No processo por laminação, a etapa de corte é realizada após a formação das lâminas da massa, podendo ser cortada em tiras de comprimento e largura desejados. Essa etapa pode ser realizada manualmente ou automaticamente. No processo automático, a massa passa por cilindros cortadores, em que apresentam diferentes distâncias entre as ranhuras (2 a 7,5 mm), sendo possível obter produtos com larguras distintas (GUERREIRO, 2006).

Para os demais produtos, como a lasanha, realiza-se o empilhamento das lâminas (geralmente 10), sendo separadas por um filme plástico e, posteriormente, são cortadas em tamanho desejado. Comumente, encontra-se para comercialização o tamanho de 17,5 x 5,5 cm (GUERREIRO, 2006).

As massas laminadas também podem ser submetidas a uma etapa de estampagem e corte que irão dar o formato final desejado, podendo gerar produtos de configuração complexa, como as gravatinhas, formato de orelha, por exemplo (CIACCO; CHANG, 1986).

O corte da massa no processo de extrusão é realizado por facas rotativas acopladas na parte externa da matriz, sendo que a velocidade de rotação dessas facas é que determina o comprimento desejado da massa (FINNIE; ATWELL, 2016; GUERREIRO, 2006). Os produtos mais longos são pendurados em hastes para transporte durante o processo de secagem e os produtos curtos são agitados sob ventilação para evitar a aglomeração. Em seguida, as massas são transportadas para os secadores em correias transportadoras (FINNIE; ATWELL, 2016).

Após o corte, as massas alimentícias podem ser embaladas e comercializadas frescas ou submetidas a etapa de secagem (EL-DASH; GERMANI, 1994).

3.7 Secagem

A secagem é considerada a etapa mais crítica no processo de fabricação de massas alimentícias, uma vez que a temperatura, umidade relativa e velocidade do ar exercem grande influência na manutenção das características do produto final (CIACCO; CHANG, 1986; LEITÃO *et al.*, 1990). Portanto, para uma melhor eficiência do processo de secagem e qualidade das massas, esses fatores devem ser cuidadosamente controlados e otimizados.

A massa que sai do processo de laminação ou extrusão apresenta um teor de umidade que pode variar de 29-34%. Portanto, o principal objetivo da etapa de secagem das massas alimentícias é reduzir o teor de umidade para cerca de 12%, a fim de obter um produto mais estável para o armazenamento (CIACCO; CHANG, 1986, EL-DASH; GERMANI, 1994; KURT; EVERS, 2018).

Alguns estudos relataram que atividade de água menor que 0,6 e teor de umidade menor que 12% são características desejáveis para

as massas alimentícias secas, uma vez que proporcionam redução do crescimento de microrganismos e outras reações de deterioração, facilita o transporte e prolonga a vida útil do produto (PONGPICHAIUDOM; SONGSERMPONG, 2017; VIMERCATI *et al.*, 2020a, 2020b).

Vale ressaltar que essa etapa contribui também com a redução dos custos no transporte e no armazenamento, pois promove uma significativa redução do peso e volume, e os produtos não necessitam de refrigeração (ANANDHARAMAKRISHNAN, 2017; FELLOWS, 2019). Além disso, a secagem pode contribuir com a melhoria das propriedades tecnológicas e microbiológicas das massas alimentícias, dependendo das condições adotadas e da qualidade da matéria-prima (MARCHYLO; DEXTER; MALCOLMSON, 2004; MERCIER *et al.*, 2016).

O controle do processo de secagem é necessário, pois uma secagem rápida pode levar a quebras ou trincas nos produtos e uma secagem muito lenta resulta em maiores taxas de deterioração microbológica e enzimática. Sendo assim, esse processo deve ser rigorosamente controlado, para não comprometer a segurança e qualidade do produto (EL-DASH; GERMANI, 1994; FINNIE; ATWELL, 2016).

3.7.1 Estágios do processo de secagem

O processo de secagem das massas alimentícias pode ser dividido em três estágios: pré-secagem ou secagem rápida, repouso e secagem final (FINNIE; ATWELL, 2016; LEITÃO *et al.*, 1990).

A pré-secagem consiste em colocar a massa recém extrusada/laminada em contato com o ar quente, para a remoção rápida da umidade da superfície do produto, chegando a aproximadamente 18-20% de umidade. As temperaturas utilizadas podem variar de 45 a 75 °C e a umidade relativa do ar próxima de 65 a 85%. O período pode variar de 45 a 90 minutos. Nessa etapa, o produto ainda é flexível, porém a adesão entre eles é reduzida. A pré-secagem contribui com a estabilização da rede de glúten, gerando uma estrutura mais rígida do produto e

maior consistência no formato, reduz a velocidade das reações enzimáticas e microbiológicas e diminui o período de secagem total (CIACCO; CHANG, 1986; KURT; EVERS, 2018; LEITÃO *et al.*, 1990).

O segundo estágio da secagem das massas consiste em vários períodos de repouso, com duração total de 60 a 90 min. O repouso é necessário para que ocorra um equilíbrio entre o gradiente de umidade do interior para o exterior da massa. A parte externa da massa terá um menor teor de umidade em relação a parte interna, pois está em contato direto com o ar quente. Com isso, o repouso após a pré-secagem é necessário, a fim de evitar a ruptura no formato e trincas na massa, devido as tensões acentuadas pelo gradiente de umidade do interior para a superfície do produto. Nessa etapa, a circulação de ar é desligada e a umidade relativa é superior a 95% (CIACCO; CHANG, 1986; EL-DASH; GERMANI, 1994; LEITÃO *et al.*, 1990).

A secagem final das massas consiste na retirada da maior parte da água até alcançar o teor de umidade entre 12-13%. Essa é a etapa mais longa do processo e deve ser controlada cuidadosamente. As condições ideais de secagem dependem do tipo de massa a ser seca (CIACCO; CHANG, 1986; LEITÃO, *et al.*, 1990). No final dessa etapa, devido à baixa umidade (<13%) e atividade de água (<0,6), o produto se mantém estável. A temperatura de secagem final pode variar de 45–70 °C e o tempo total de secagem pode variar de 6 a 28 h (KURT; EVERS, 2018).

3.7.2 Processos de secagem utilizados em escala industrial

O processo de mecanização na fabricação de massas alimentícias ganhou força, principalmente, após a revolução industrial, em que a construção e a disponibilidade de equipamentos, tais como as prensas e os secadores, contribuíram substancialmente com a eficiência e o rendimento do processo. A secagem das massas alimentícias é uma das etapas que passa por constantes aperfeiçoamentos, a fim de otimizar o processo e obter produtos de melhor qualidade (MAR-CHYLO; DEXTER, 2001; POLLINI *et al.*, 2012).

Os processos de secagem das massas podem ser divididos, basicamente, em 4 tipos: Secagem em condições ambientais ou a baixas temperaturas, secagem convencional, secagem a altas temperaturas e secagem a ultra alta temperatura (MARCHYLO; DEXTER, 2001; OGAWA; ADACHI, 2017; ORMENESE *et al.*, 1998; PLAVŠIĆ *et al.*, 2010).

Inicialmente, antes da década de 70, a secagem das massas era realizada em cabines de secagem com baixas temperaturas (<60 °C), por longos períodos (18 h ou mais) ou em condições ambientais, utilizando como fonte de calor a luz solar. Entre as décadas de 70 e 80, foi introduzida a secagem em alta temperatura (60-85 °C), com duração de 8 a 12 h. Com o passar dos anos, a secagem de massas alimentícias utilizando ultra alta temperatura (85-110 °C/máximo de 4 h) foi desenvolvida, se tornando comum no meio industrial (MARCHYLO; DEXTER, 2001; KURT; EVERS, 2018; POLLINI *et al.*, 2012).

No decorrer dos anos, os processos de secagem das massas alimentícias apresentaram algumas variações em relação a faixa de temperatura, conforme descrito por alguns autores a seguir.

Milatovich e Mondelli (1990) descreveram a classificação dos processos de secagem de massas alimentícias como: tradicional a baixa temperatura (em torno de 50 °C/48 h), a alta temperatura (faixa de 65-75 °C/ 12-17 h) e a ultra alta temperatura (> 86 °C, chegando a 90-105 °C/ cerca de 5 h).

Ormenese *et al.* (1998) relataram que o processo de secagem convencional de massas alimentícias utiliza temperaturas de 40 a 55 °C, enquanto a utilização de temperaturas de secagem na faixa de 60 a 90 °C é considerada como secagem a alta temperatura.

Cubadda *et al.* (2007) consideram temperaturas de secagem de massas alimentícias menores que 60 °C como baixas temperaturas; temperaturas médias de no máximo 75 °C e altas temperaturas até cerca de 90 °C.

Plavšić *et al.* (2010) classificam os processos de secagem como baixas temperaturas (40 °C a 60 °C), altas temperaturas (60 °C a 84 °C) e ultra alta temperatura (>84 °C).

Stuknyte *et al.* (2014) consideraram que a utilização de temperaturas na faixa de 60-70 °C e superior a 70 °C são classificadas como baixas e altas temperaturas, respectivamente.

Gianetti *et al.* (2014) e Pataco *et al.* (2015) relataram que o processo de secagem de massas alimentícias pode ser realizado utilizando baixas temperaturas (29-40 °C/24-60 h), sendo mais empregado na forma artesanal, enquanto altas temperaturas (75-100 °C/5-12 h) ou altíssimas temperaturas (>100 °C/1-2 h) tem sido mais empregadas na produção industrial. Ogawa e Adachi (2017) também descreveram que o processo tradicional de secagem de massas alimentícias situa-se entre as temperaturas de 30 a 40 °C e no processo industrial pode se utilizar altas temperaturas (80-90 °C).

Ogawa *et al.* (2015), consideram as faixas de 40 a 50 °C como baixas temperaturas, até 70 °C como alta temperatura e valores superiores a 85 °C até 110 °C como ultra alta temperatura.

Mercier *et al.* (2016) destacaram que os processos de secagem das massas em altas temperaturas (cerca de 80 °C) ou altíssimas temperaturas (>100 °C) têm sido práticas adotadas pelas indústrias atualmente.

Nesse contexto, um resumo geral das faixas de temperatura utilizadas até hoje em escala industrial e em algumas agroindústrias para a secagem das massas alimentícias é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Faixas de temperaturas empregadas para secagem de massas alimentícias

Processo de secagem	Faixa de temperatura
Condições ambientais ou em baixas temperaturas	$29\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T^a < 40\text{ }^{\circ}\text{C}$
Convencional	$40\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T^a < 60\text{ }^{\circ}\text{C}$
Altas temperaturas	$60\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T^a < 84\text{ }^{\circ}\text{C}$
Ultra alta temperatura	$\geq 84\text{ }^{\circ}\text{C}$

Fonte: os autores (2023).

3.8 Embalagem

As massas secas devem ser resfriadas a uma temperatura próxima a do ambiente (28-32 °C), para posterior empacotamento. As massas frescas devem ser transportadas e armazenadas sob refrigeração. Geralmente, são utilizadas embalagens de celofane, polietileno, papel cartão, entre outros (EL-DASH; GERMANI, 1994; MARCHYLO; DEXTER, 2001).

As embalagens são utilizadas para manter as características do produto, protegê-los da deterioração e danos durante o transporte e armazenamento (MARCHYLO; DEXTER, 2001). Além disso, é por meio da embalagem que ocorre o primeiro contato do consumidor com o produto, sendo decisiva na intenção de compra (KOBAYASHI; BENASSI, 2015).

Vale ressaltar que as boas práticas de fabricação (BPF) e os procedimentos operacionais padronizados (POP's) devem ser seguidos nos dois processos (laminação e extrusão). Além disso, todos os ingredientes e o produto deverão passar por um rígido controle de qualidade, a fim de oferecer aos consumidores um produto seguro e de qualidade.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A qualidade das massas alimentícias pode ser influenciada por várias etapas durante a sua produção, sendo a secagem a etapa mais crítica. Portanto, compreender o objetivo e buscar a melhoria contínua de cada etapa é de fundamental importância para a qualidade desses produtos, redução de custos e eficiência do processo de produção.

A escolha dos equipamentos na implantação de uma empresa para a produção de massa alimentícia fresca ou seca, deve ser feita de acordo com a disponibilidade financeira, volume a ser produzido e nível de automação desejado.

REFERÊNCIAS

ABEDI, E.; POURMOHAMMADI, K. Chemical modifications and their effects on gluten protein: An extensive review. **Food Chemistry**, v. 343, p. 128398, 2021.

ABIMAPI. Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados. **Anuário 2023**. São Paulo: BB Editora, 2023. 148 p.

ABIPLAST. Associação Brasileira da Indústria do Plástico. **Processos de transformação para materiais plásticos**. São Paulo, 2014. Disponível em: http://file.abiplast.org.br/download/links/links%202014/apresentacao_sobre_transformacao_vf.pdf. Acesso em: 19 jul. 2021.

ABIMAPI. **Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados**, 2018. Disponível em: <https://www.abimapi.com.br/anuario/pdf/Cap3.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2021.

ANANDHARAMAKRISHNAN, C. **Handbook of drying for dairy products**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2017. 339 p.

ARENDT, E. K.; ZANNINI, E. Wheat and other Triticum grains. In: ARENDT, E. K.; ZANNINI, E. **Cereal grains for the food and beverage industries**. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 2013, cap. 1, p. 1-67.

BARAK, S.; MUDGIL, D.; KHATKAR, B. S. Biochemical and functional properties of wheat gliadins: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 55, p. 357–368, 2015.

BENASSI, V.; WATANABE, E. **Manual para produção de massas frescas**. Rio de Janeiro: Embrapa-CTAA, 1997. 42 p. (Embrapa-CTAA, Documentos n.12).

BERK, Z. Extrusion. In: BERK, Z. **Food process engineering and technology**, 3. ed. Londres: Academic Press, 2018, cap. 15, p. 373-394.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC n° 93, de 31 de outubro de 2000. Dispõe sobre o regulamento técnico para fixação de Identidade e qualidade de massas alimentícias. **Diário Oficial da União**: seção 1. Brasília, DF. 11 nov. 2000. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/legislacaoalimentos_000fgqfs0fv02wyiv8020uvkpsom46kk.htm. Acesso em: 2 fev. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n° 711, de 1º de julho de 2022. Dispõe sobre os requisitos sanitários dos amidos, biscoitos, cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas integrais, massas alimentícias e pães. **Diário Oficial da União**: seção 1. Brasília, DF. 06 jul. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Instrução Normativa - n° 8, de 2 de junho de 2005. Aprovar o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo, conforme o anexo desta Instrução Normativa. **Diário Oficial da União**: seção 1. Brasília, DF. 27 jun. 2005. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/normativos-cgqv/pocs/instrucao-normativa-no-8-de-02-de-junho-de-2005-farinha-de-trigo/view>. Acesso em: 01 fev. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Instrução Normativa - nº 38, de 30 de novembro de 2010. Estabelece o Regulamento Técnico do Trigo, definindo o seu padrão oficial de classificação, com os requisitos de identidade e qualidade, a amostragem, o modo de apresentação e a marcação ou rotulagem, nos aspectos referentes à classificação do produto, na forma dos Anexos à presente Instrução Normativa. **Diário Oficial da União**: seção 1. Brasília, DF. 01 dez. 2010. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/normativos-cgqv/pocs/trigoinstrucao normativa38_2010-com-alteracoes-in23_2016.pdf/view. Acesso em: 01 fev. 2021.

CHANG, Y. K.; FLORES, H. E. M. Qualidade tecnológica de massas alimentícias frescas elaboradas de semolina de trigo durum (*T. durum* L.) e farinha de trigo (*T. aestivum* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 4, p. 487–493, 2004.

CIACCO, C. F.; CHANG, Y. K. **Massas: Tecnologia e qualidade**. 1 ed. Campinas: Editora da Unicamp, 1986, 127 p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **A cultura do trigo**, 2017. Disponível em: https://www.conab.gov.br/uploads/arquivos/17_04_25_11_40_00_a_cultura_do_trigo_versao_digital_final.pdf. Acesso em: 01 fev. 2021.

CUBADDA, R. E.; CARCEA, M.; MARCONI, E.; TRIVISONNO, M. C. Influence of gluten proteins and drying temperature on the cooking quality of durum wheat pasta. **Cereal Chemistry Journal**, v. 84, p. 48–55, 2007.

EL-DASH, A.; GERMANI, R. **Tecnologia de farinhas mistas**. Brasília: Embrapa, 1994, 39 p.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: Princípios e prática**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2019. 922 p.

FINNIE, S.; ATWELL, W. A. **Wheat flour**. 2. ed. St. Paul, Minnesota: AACC International Press, 2016, 164 p.

GAO, Y.; JANES, M. E.; CHAIYA, B.; BRENNAN, M. A.; BRENNAN, C. S.; PRINYAWIWATKUL, W. Gluten-free bakery and pasta products: prevalence and quality improvement. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 1, p. 19–32, 2018.

GIANNETTI, V.; BOCCACCI, M., M.; MANNINO, P.; TESTANI, E. Furosine and flavour compounds in durum wheat pasta produced under different manufacturing conditions: Multivariate chemometric characterization. **LWT - Food Science and Technology**, v. 56, n. 1, p. 15–20, 2014.

GUERREIRO, L. **Dossiê técnico de massas alimentícias**. Rio de Janeiro: Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, 2006. 39 p.

JESUS JUNIOR, C. de; RODRIGUES, L. S.; MORAES, V. E. G. de. Panorama das importações de trigo no Brasil. **BNDES Setorial**, n. 34, p. 389–419, 2011.

KOBAYASHI, M. L.; BENASSI, M. T. Impact of packaging characteristics on consumer purchase intention: Instant coffee in refill packs and glass jars. **Journal of Sensory Studies**, v. 30, p. 169–180, 2015.

KURT, A. R.; EVERS, A. D. **Kent's technology of cereals - An introduction for students of food science and agriculture**. 5. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2018, 900 p.

LEITÃO, R. F. de F.; GONÇALVES, J. R.; EIROA, M. N. U.; GARCIA, E. E. C. **Tecnologia de macarrão**. 1. ed. Campinas: ITAL. Manual Técnico n. 5, 1990. 71 p.

MARCHYLO, B. A.; DEXTER, J. E. Pasta production. *In*: OWENS, G. **Cereals processing technology**. 1. ed. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd and CRC Press, 2001, cap. 6, p. 109-130.

MARCHYLO, B. A.; DEXTER, J. E.; MALCOLMSON, L. J. Improving the texture of pasta. *In*: KILCAST, D. **Texture in food - Volume 2: Solid foods**. 1. ed.: Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 2004, cap. 20, p. 475-494.

MERCIER, S.; MONDOR, M.; MORESOLI, C.; VILLENEUVE, S.; MARCOS, B. Drying of durum wheat pasta and enriched pasta: A review of modeling approaches. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, p. 1146–1168, 2016.

MILATOVICH, L. & MONDELLI, G. **La tecnologia della pasta alimentare**. 1. ed. Pinerolo: Chiriotti Editori, 1990, 330 p.

NITZKE, J. A; THYS, R. C. S. **Avaliação da qualidade tecnológica/industrial da farinha de trigo**, 2010. Disponível em: <https://lume-re-demonstracao.ufrgs.br/avaliacao-qualidade/index.php>. Acesso em: 28 jan. 2021.

OGAWA, T.; ADACHI, S. Drying and rehydration of pasta. **Drying Technology**, v. 35, n. 16, p. 1919–1949, 2017.

OGAWA, T.; CHUMA, A.; AIMOTO, U.; ADACHI, S. Characterization of spaghetti prepared under different drying conditions. **Journal of Food Science**, v. 80, n. 9, p. 1959–1964, 2015.

ORMENESE, R. de C. S. C.; LEITÃO, R. F. F.; SILVEIRA, N. F. A.; BALDINI, V. L. S. Influência da secagem à alta temperatura nas características das massas com ovos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 1, p. 7-12, 1998.

ORMENESE, R. de C. S. C.; MISUMI, L.; ZAMBRANO, F.; FARIA, E. V. Influência do uso de ovo líquido pasteurizado e ovo desidratado nas características da massa alimentícia. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, p. 255-260, 2004.

ORTOLAN, F.; STEEL, C. J. Protein characteristics that affect the quality of vital wheat gluten to be used in baking: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, p. 369-381, 2017.

PATACO, I. M.; MOURINHO, M. P.; OLIVEIRA, K.; SANTOS, C.; PELICA, J.; PAIS, I. P.; RAMALHO, J. C.; LEITÃO, A. E.; CAMPOS, P. S.; LIDON, F. C.; REBOREDO, F. H.; PESSOA, M. F. Durum wheat (*Triticum durum*) biofortification in iron and definition of quality parameters for the industrial production of pasta - A review. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 27, n. 3, p. 242, 2015.

PLAVŠIĆ, D. V.; PSODOROV, D. B.; KALENJUK, B. M.; TEŠANOVIĆ, D. V. ŠARIĆ, L. Č.; ČABARKAPA, I. S.; FILIPOVIĆ, J. S. Comparison of microbiological safety of pasta and pasta related products depending on the conditions of production. **Food and Feed Research**, v. 2, p. 51-58, 2010.

POLLINI, C. M.; PANTO, F.; NESPOLI, A.; SISSONS, M.; ABECASSIS, J. Manufacturing of pasta products. In: SISSONS, M.; ABECASSIS, J.; MARCHYLO, B.; CARCEA, M. **Durum wheat - Chemistry and technology**. 2. ed. St. Paul, Minnesota: AACC International, 2012, cap. 9, p. 161-175.

PONGPICHAIUDOM, A.; SONGSERMPONG, S. Characterization of frying, microwave-drying, infrared-drying, and hot-air drying on protein-enriched, instant noodle microstructure, and qualities. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, p. 1–10, 2017.

SILVA, J. P. da.; SCAPIM, M. R. S.; MONTEIRO, A. R. G.; OLIVEIRA, E. R. N.; MADRONA, G. S. Development of rice flour pasta for gluten induced enteropathy patients. **International Journal of Food Science and Nutrition Engineering**, v. 3, n. 5, p. 101–104, 2013.

STUKNYTĖ, M.; CATTANEO, S.; PAGANI, M. A.; MARTI, A.; MICARD, V.; HOGENBOOM, J.; DE NONI, I. Spaghetti from durum wheat: Effect of drying conditions on heat damage, ultrastructure and *in vitro* digestibility. **Food Chemistry**, v. 149, p. 40–46, 2014.

TECHNOPAST. **Equipamentos e linhas para massas**. Brannoux-França, [sd]. Disponível em: <https://technopast.com/pt/maquinas-para-massa-ravioli-e-gnocchi/combinados/maquina-combinada-automatica-para-massa-laminada-tech-kt160s-detail>. Acesso em: 19 jul. 2021.

TETERYCZ, D.; SOBOTA, A.; KOZŁOWICZ, K.; ZARZYCKI, P. Substitution of semolina durum with common wheat flour in egg and eggless pasta. **Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**, v. 18, n. 4, p. 439–451, 2019.

VIMERCATI, W. C.; ARAÚJO, C. da S.; MACEDO, L. L.; MARADINI FILHO, A. M.; SARAIVA, S. H.; TEIXEIRA, L. J. Q. Influence of drying temperature on drying kinetics, energy consumption, bioactive compounds and cooking quality of pasta enriched with spinach. **Journal of Food Process Engineering**, e13571, p. 1–12, 2020a.

VIMERCATI, W. C.; MACEDO, L. L.; ARAÚJO, C. da S.; MARADINI FILHO, A. M.; SARAIVA, S. H.; TEIXEIRA, L. J. Q. Effect of storage time and packaging on cooking quality and physicochemical properties of pasta with added nontraditional ingredients. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. e14637, p. 1–12, 2020b.

XIE, L.; NISHIJIMA, N.; ODA, Y.; HANDA, A.; MAJUMDER, K.; XU, C.; ZHANG, Y. Utilization of egg white solids to improve the texture and cooking quality of cooked and frozen pasta. **LWT - Food Science and Technology**, v. 122, p. 1–7, 2020.

YADAV, D. N.; SHARMA, M.; CHIKARA, N.; ANAND, T.; BANSAL, S. Quality characteristics of vegetable-blended wheat-pearl millet composite pasta. **Agricultural Research**, v. 3, n. 3, p. 263–270, 2014.

Capítulo 11

Processamento do café e relação entre as formas de preparo denominadas como via seca e via úmida e qualidade da bebida

*Cintia da Silva Araújo
Leandro Levate Macedo
Wallaf Costa Vimercati*

1 INTRODUÇÃO

A qualidade do café está associada às atividades de manejo pré e pós-colheita. Cada etapa, desde a seleção da melhor variedade de café

para o plantio, até a preparação final da bebida, determina a sua qualidade (SUNARHARUM; YUWONO; NADHIROH, 2018).

A forma com que o café é processado, via seca ou úmida, determina sabores característicos de cada via e, conseqüentemente, a qualidade dos cafés obtidos (KLEINWÄCHTER; SELMAR, 2010). Para a via seca podem ser utilizados grãos em diferentes estágios de maturação, enquanto na via úmida, uma seleção mais rigorosa quanto ao grau de maturação é aplicada. No entanto, embora a homogeneidade do lote de café afete a qualidade final, esse fato isolado não é capaz de explicar as diferenças que ocorrem na qualidade do café processado por via seca ou úmida. Diferenças de qualidade podem ser observadas quando um material de partida idêntico e completamente classificado é usado para ambos os métodos de processamento do café (BYTOF *et al.*, 2005).

De acordo com Hameed *et al.* (2018), estima-se que 60% dos atributos de qualidade do café sejam definidos pelo tipo de processamento pós-colheita aplicado. Conforme destacado por esses autores, ainda existem muitas questões a serem respondidas para que se possa entender completamente as relações entre os diferentes métodos de processamento pós-colheita e os atributos de qualidade da bebida. Esse entendimento deverá auxiliar no planejamento de novas tecnologias para processamento do café no futuro.

2 ETAPAS DO PROCESSAMENTO DO CAFÉ

O café, após a colheita, deve seguir para as seguintes etapas de processamento: recepção, abanação, lavagem e separação, processamento via seca/via úmida, secagem, armazenamento, beneficiamento, armazenamento e comercialização. O beneficiamento inclui etapas de limpeza, descascamento e seleção preliminar (BORÉM, 2008). O local em que cada uma dessas operações ocorre varia nos diversos países. No Brasil, a maior parte do café é processada na fazenda até o estágio de descasque (BRANDO, 2004).

2.1 Colheita

O café pode ser colhido de formas distintas, uma delas é a colheita manual, em que pode ser realizada a derriça completa ou colheita seletiva. Na derriça completa, ocorre a retirada de todos os frutos de um galho, independentemente do grau de maturação que apresentam. Nesse sistema de colheita, o café de todas as plantas é colhido de uma única vez, embora possa também ser realizada uma rodada de colheita adicional, concentrando-se a colheita apenas em galhos onde a maturação é mais uniforme. Esse sistema é muito empregado no Brasil e por outros produtores de café arábica natural, bem como por produtores de café robusta. Na colheita seletiva, apenas frutos cereja são colhidos. Desta forma, uma mesma árvore de café é colhida por diversas vezes durante o período de colheita. Esse sistema é empregado em muitos países que produzem o café lavado. No entanto, em países como o Brasil, essa não é uma realidade devido aos custos de mão-de-obra. Além da colheita manual, pode também ser empregada a colheita mecânica. Nesse caso, podem ser empregadas as colheitadeiras manuais ou grandes máquinas colheitadeiras (BRANDO; BRANDO, 2014).

2.2 Recepção/separação

O café proveniente da lavoura é recepcionado em moegas, uma estrutura feita de chapa metálica ou alvenaria, geralmente localizada acima dos lavadores e que permite a movimentação do café por gravidade (BORÉM, 2008).

O ideal é que grãos em diferentes estágios de maturação sejam separados antes do processamento para garantir uma melhor qualidade (BRANDO; BRANDO, 2014). Isso se deve ao fato de que grãos de café em diferentes estágios de maturação apresentam diferenças quanto à sua anatomia, composição química e teor de umidade. Desta forma, quanto mais homogêneo for um lote de café, melhor e mais

eficiente será o processamento em todas as etapas pós-colheita (GUIMARÃES *et al.*, 2019). Em alguns casos, os produtores de café natural passam diretamente da colheita para a fase de secagem, sem uma limpeza ou separação prévia (BRANDO; BRANDO, 2014).

A retirada de impurezas leves, como folhas e gravetos, do café pode ser realizada em peneira manual ou mecânica. Pequenos produtores ainda utilizam o sistema manual. A abanação mecânica é realizada por meio de máquinas móveis ou estacionárias que movem o ar pela superfície da peneira, geralmente uma tela, por sucção ou soprando ar pelo ventilador (GUIMARÃES *et al.*, 2019). A etapa de abanação pode ocorrer juntamente com a colheita. Neste caso, a máquina colheitadeira é dotada de um sistema de ventilação adequado à essa finalidade. Além disso, a abanação pode ocorrer logo após a moega de recepção (BORÉM, 2008).

A etapa seguinte é a separação por densidade usando água, às vezes chamada de separação hidráulica ou lavagem mecânica e separação, consistindo em uma das etapas mais importantes do processamento do café. Nesse caso, frutos com diferentes densidades são separados. Os frutos verdes e cerejas que são mais densos separam-se do boia. Além disso, materiais leves, como paus e outras impurezas, bem como materiais mais densos como pedras também são separados. O sistema consiste, basicamente, em dois tanques de água conectados na parte inferior, um sistema para mover o café e recircular a água, duas saídas frontais e uma saída lateral (GUIMARÃES *et al.*, 2019).

No caso de cafés colhidos seletivamente, a separação hidráulica é útil para retirada de frutos chochos e brocados. Os frutos-boia consistem em frutos de café secos, super-maduros, passa, chochos, mal granados ou com uma única semente, e podem ser separados por tamanho por meio de uma peneira perfurada instalada na saída do café boia. Essa peneira pode estar presente também na saída de verdes e cereja para separação de frutos chumbinho, esses passam pela peneira do descascador e podem prejudicar a qualidade do café cereja descascado (BORÉM, 2008).

A separação do café em lotes permite que esses sejam secos, processados, armazenados e vendidos separadamente, visto que possuem qualidades distintas. Além disso, quando esses lotes são secos separadamente a umidade final é mais uniforme e possibilita um melhor controle da torra (BRANDO; BRANDO, 2014).

2.3 Via seca/úmida

Após as etapas de abanação, separação hidráulica e tamanho, o café é seco diretamente ou é submetido ao descascamento, despolpamento ou desmucilamento, sendo essa escolha dependente do método de processamento escolhido pelo produtor (BORÉM, 2008).

No processo por via seca, os frutos de café são processados em sua forma íntegra, dando origem ao café natural. Esse é o tipo de processamento mais antigo e mais simples para o café, apresentando um bom custo-benefício e sendo amplamente utilizado em regiões tropicais, onde a estação seca coincide com o período da colheita. Esse processo é utilizado predominante para o café arábica no Brasil, Etiópia e Iêmen, assim como na maioria do café robusta, produzido mundialmente (BRANDO; BRANDO, 2014; GUIMARÃES *et al.*, 2019; MORRIS, 2019). O processo de secagem desse café dura, em média, duas semanas (MORRIS, 2019). O processo via seca costuma ser empregado quando o café é colhido por derriça completa ou mecânica (BRANDO; BRANDO, 2014). Quando comparado ao processo por via úmida, a via seca apresenta-se mais ambientalmente amigável, visto que, não gera efluentes de elevada quantidade de matéria orgânica (BORÉM, 2008).

A via úmida pode dar origem ao café pergaminho de diferentes maneiras. A partir da remoção mecânica da casca e remoção da mucilagem por fermentação (café despolpado), remoção mecânica da casca e parte da mucilagem (cereja descascado) ou remoção mecânica da casca e da mucilagem (café desmucilado). Esses processamentos podem resultar em melhoria da qualidade do café, quando feitos

adequadamente. Como visto, na via úmida ocorre, necessariamente, a retirada da casca do fruto. A remoção da casca ocorre em descascadores que forçam a passagem do grão por uma peneira perfurada. Por apresentarem maior resistência à pressão exercida nessa fase, os grãos verdes são deslocados para a região lateral do equipamento, sendo separados dos grãos cereja que apresentam menor resistência, se dividem e passam pelas perfurações. Não é recomendado que haja grandes quantidades de grãos verdes durante o descascamento para que não ocorra danos ao equipamento, redução da capacidade de descascamento e perda de qualidade do produto. Desta forma, a colheita seletiva apresenta grande importância para esse processo. O descascamento necessita de quantidades expressivas de água e, portanto, gera quantidade substancial de efluente poluidor (BORÉM, 2008).

Os cafés despulpados são cafés processados por via úmida, nos quais a polpa e parte da mucilagem é removida mecanicamente e, em seguida, a mucilagem restante que adere ao pergaminho é removida via fermentação controlada e lavagem subsequente. O processo de fermentação pode ser concluído deixando o café no tanque de fermentação (fermentação seca), mergulhando o café em água (fermentação úmida) ou através de fermentação mista. A fermentação pode durar de 12 a 36 horas ou mais, variando com base em fatores como temperatura, tipo de fermentação, nível de maturação do lote de café, altura da camada de café e cultivar de café, entre outros fatores. A mucilagem restante, após a fermentação, deve ser removida do grão e o café pergaminho deve ser levado para a secagem. Esse tipo de processamento é o mais comum para cafés de via úmida e confere aos grãos características sensoriais de maior acidez, aroma agradável e menos corpo, quando comparado ao café processado por via seca (BRANDO, 2004; GUIMARÃES *et al.*, 2019).

O café cereja descascado é submetido à remoção da casca e parte da mucilagem mecanicamente. No entanto, a mucilagem restante não é removida (MORRIS, 2019). Esse método é muito utilizado no Brasil e, por vezes, é considerado uma categoria separada dos métodos

úmido e seco. Com relação ao seu sabor, esse tipo de processamento resulta em um café que apresenta um perfil próprio e diferente dos cafés despolpados e desmucilados (BRANDO, 2004; GUIMARÃES *et al.*, 2019). Pelo fato de que parte da mucilagem permanece aderida ao grão, esse tipo de processamento apresenta dificuldades no revolvimento dos grãos e risco de fermentações (BORÉM, 2008). A utilização desse processo resolveu o problema de mistura entre grãos verdes e maduros, quando não é feita a colheita seletiva, visando tratar os grãos maduros separadamente e aumentar a qualidade. Desta forma, a produção de café cereja descascado aprimorou o processo por via seca e trouxe uma alternativa para produção de cafés de qualidade, mesmo sem a realização da colheita seletiva (BRANDO; BRANDO, 2014).

Os cafés desmucilados são aqueles nos quais ocorre a remoção mecânica da casca e de toda a mucilagem. No desmucilamento mecânico, ocorre a retirada da mucilagem pelo atrito dos grãos uns contra os outros e contra uma superfície cilíndrica de aço perfurado ou arame. Desta forma, a mucilagem é separada e descarregada na parte inferior da máquina, enquanto o pergaminho sai pela parte superior. Esse processo, além de reduzir o consumo de água e energia, evita a perda de peso e o risco de deterioração da qualidade durante o longo processo de fermentação (BRANDO; BRANDO, 2014).

2.4 Secagem/limpeza/descascamento

A etapa de secagem é crucial para que os frutos possam ser armazenados com segurança. Nesse processo, o café passa de um teor de umidade elevado para, aproximadamente, 12%. A secagem pode ser realizada de forma natural ou artificial, em ambos os casos, deve-se monitorar a temperatura, pois o recomendado é que a temperatura não seja superior a 40 °C para o café em pergaminho e 45 °C para o fruto inteiro (BRANDO, 2004).

Após a secagem, uma etapa de limpeza pode ser realizada visando remover poeira e impurezas capazes de danificar equipamentos de

processamento. A limpeza pode ser feita por sucção, abanação e vibração onde são removidos materiais como folhas, cascas, paus, pedras e areia. Além disso, ímãs também podem ser utilizados para remoção de materiais metálicos (BRANDO, 2004).

Para que o café possa ser comercializado, deve ocorrer a etapa de remoção das camadas externas, deixando apenas o grão, utilizando uma máquina de descascar. No caso de cafés processados a seco, todo o pericarpo deve ser removido, enquanto para os cafés processados úmidos, o endocarpo deve ser removido, juntamente com qualquer mucilagem aderida. O descascamento pode ser feito a qualquer momento desde que o café esteja seco. No entanto, é recomendável que os produtores deixem o café descansar por pelo menos um mês antes do início do processo. Dependendo do método de colheita usado e da qualidade do café desejada, os grãos podem passar por outras etapas para remover defeitos e separar o café por tamanho (GUIMARÃES *et al.*, 2019; MORRIS, 2019). Existem máquinas que realizam o descascamento e o polimento do grão, visando retirar a película prateada aderida (BRANDO, 2004).

2.5 Classificação/separação/acondicionamento

O café é classificado por tamanho com o intuito de melhorar as etapas subsequentes de separação por densidade e cor (que se tornam mais rápidas e precisas quando os grãos apresentam um tamanho uniforme), torrefação e para atender às necessidades individuais de cada cliente. A separação por gravidade tem seu princípio baseado na flutuação do produto induzida pelo fluxo de ar. Desta forma, ocorre a separação dos grãos de acordo com a densidade que apresentam, permitindo a separação de grãos defeituosos, visto que, muitos defeitos apresentados pelos grãos têm relação com a perda de densidade. Uma correlação positiva existe entre grãos de qualidade e de maior densidade (BRANDO, 2004).

Cafés de diferentes qualidades, tamanhos e origens podem ser misturados para produção de lotes em quantidade e especificações desejadas. Além dessa mistura, pode também ser realizada a mistura de cafés com a mesma qualidade, porém, de produtores diferentes, visando produzir um lote homogêneo na quantidade requerida pelo comprador (BRANDO, 2004).

O acondicionamento do café verde geralmente é feito em sacos de estopa ou juta, que permitem que o ar flua através dos grãos, evitando o mofo (MORRIS, 2019).

3 EFEITOS DO PROCESSAMENTO SOBRE A QUALIDADE DO CAFÉ

A escolha pelo processamento por via seca ou úmida depende de fatores como a uniformidade da maturação dos frutos, condições climáticas durante o período de colheita e disponibilidade de água. Em comum, todos esses processos envolvem uma etapa de fermentação, em que ocorre a hidrólise do material da polpa e mucilagem. Desta forma, não somente a composição química do grão, como também a microbiota envolvida nessa fermentação contribuirá com os sabores e aromas do café (SILVA, 2014).

Alguns fatores inerentes à forma de produção por via seca podem acarretar perda da qualidade dos grãos, como a falta de cuidados na colheita, resultando em uma mistura de frutos de diferentes estágios de maturação; o tempo de secagem mais demorado e o risco da ocorrência de fermentações indesejáveis devido à presença da mucilagem com altos níveis de açúcares. No entanto, se apenas grãos maduros forem colhidos de forma seletiva e, posteriormente, forem secos cuidadosamente, a qualidade final pode ser substancialmente elevada (BORÉM, 2008).

Os frutos destinados à produção de café natural, geralmente, são provenientes do método de derriça completa, ocasionando uma mistura de grãos em diferentes estágios de maturação e,

consequentemente, com diferentes teores de umidade que, quando não são separados, são levados diretamente para a secagem. Durante a secagem ao sol, que pode durar diversos dias, ocorrem fermentações espontâneas devido à presença de microrganismos presentes nos frutos e no ambiente de processamento. A fermentação é um processo que permite que polissacarídeos complexos da polpa e mucilagem do café sejam degradados, facilitando a secagem do grão. Além disso, durante a fermentação, os microrganismos crescem e produzem enzimas, como as poligalacturonases e pectina-liases que atuam na despolimerização e hidrólise da pectina da mucilagem (SILVA, 2014).

Nos grãos secos em sua forma íntegra ocorrem fermentações espontâneas e incontroladas na polpa e mucilagem, devido à alta concentração de açúcares e outros substratos, como proteínas e aminoácidos, que contribuem para o desenvolvimento dos microrganismos. Durante essa fermentação, são produzidos álcoois, ácidos orgânicos e outros metabólitos (HAMEED *et al.*, 2018; SILVA, 2014).

Para a via úmida, é comum que grupos específicos de cepas microbianas sejam intencionalmente inoculados para fermentação, o que produz compostos que dão um perfil de metabólitos diferente daqueles encontrados no processamento a seco. Os metabólitos produzidos são muito específicos para cada classe de microrganismos, sejam eles bactérias, fungos filamentosos ou leveduras. Esses metabólicos podem se difundir nos grãos de café e afetar a qualidade final da bebida, interferindo nos compostos aromáticos voláteis e não voláteis (HAMEED *et al.*, 2018). A fermentação é utilizada no processamento do café, não apenas para remover a mucilagem, mas também, se bem controlada, para criar características sensoriais de qualidade. No entanto, tem a desvantagem de que, se a fermentação prosseguir além do tempo recomendado, os microrganismos também podem reduzir a qualidade, criando sabores desagradáveis e características indesejáveis (HAILE; KANG, 2019; MARTINS *et al.*, 2019). De acordo com Silva (2014), bebidas preparadas a partir de cafés de via úmida apresentam menos corpo quando comparado à via seca e tem características florais.

Em comparação ao processamento seco, o processamento úmido possibilita um maior controle de fatores como temperatura e tempo, resultando em crescimento dos microrganismos espontâneos mais bem controlado. Dessa maneira, impactos negativos na qualidade do café podem ser minimizados e impactos positivos podem ser melhor conduzidos. Com relação à diversidade de microrganismos, também há diferenças entre as duas vias de processamento, em que a via úmida apresenta uma menor diversidade microbiana devido ao menor tempo de fermentação e à rápida queda dos valores de pH. Geralmente, na via úmida, a fermentação ocorre pela ação de bactérias e leveduras. Já para os cafés da via seca, há uma predominância de bactérias Gram-negativas e Gram-positivas no início do processo, em que a atividade de água ainda é muito elevada. Posteriormente, com a redução da atividade de água e do valor de pH, o crescimento de leveduras é substancialmente elevado, seguido pelo desenvolvimento de fungos (SILVA, 2014).

No decorrer do processamento do café surgem uma série de reações que são provenientes do processo germinativo e do metabolismo de estresse. Desta forma, as substâncias químicas presentes nos grãos são alteradas e isso resulta em mudança de qualidade. A quantidade e composição de carboidratos solúveis e de baixo peso molecular, aminoácidos e metabólitos de estresse estão altamente relacionados com o método de processamento (BYTOF *et al.*, 2005; SELMAR *et al.*, 2006). Segundo Selmar *et al.* (2006), durante o processamento úmido, a polpa da fruta é removida, permitindo início da germinação das sementes. Por outro lado, durante a via seca, a polpa permanece ao redor das sementes e a germinação não deve ocorrer até que aconteça um desbloqueio endógeno. Desta forma, a extensão e a progressão da germinação devem ser diferentes nos cafés processados por esses dois métodos.

A secagem é uma etapa importante do processamento do café, seja do ponto de vista do consumo de energia ou da qualidade dos grãos. Uma secagem feita de forma inadequada pode resultar em

perda da qualidade em decorrência de alterações físicas, químicas e sensoriais indesejáveis. Sendo assim, o controle de parâmetros como temperatura do ar de secagem, temperatura da massa de grãos, umidade relativa e fluxo de ar podem auxiliar na manutenção da qualidade do café. A secagem pode ser considerada a segunda etapa mais importante no processamento pós-colheita do café, sendo responsável por produzir aroma e sabor de qualidade premium, se adequadamente manipulada para minimizar danos a proteínas, enzimas e outras substâncias sensíveis (BORÉM *et al.*, 2008; HAMEED *et al.*, 2018).

A seguir, são apresentados os resultados de alguns estudos em que a qualidade do café foi avaliada sob diferentes aspectos. Nesses estudos, os métodos via seca e via úmida foram empregados e as secagens também foram consideradas como fatores importantes na determinação da qualidade.

Borém *et al.* (2008) realizaram um estudo com o intuito de verificar a qualidade do café natural e despulpado durante a secagem em terreiro e secagem com ar aquecido nas temperaturas de 40 e 60 °C. Nesse caso, foi realizada a colheita seletiva de grãos cereja e os autores concluíram que o tempo de secagem foi diretamente afetado pelos diferentes tipos de secagem e processamentos (via seca e via úmida). A condutividade elétrica, lixiviação de potássio, acidez total titulável e a acidez graxa aumentaram com a elevação da temperatura de secagem, independentemente do tipo de processamento. Além disso, o teor de açúcares redutores e totais diminuíram com o aumento da temperatura de secagem, para ambos os processamentos e o teor de açúcares redutores foi maior para o café natural em relação ao despulpado. De forma geral, a secagem com temperatura de 60 °C afetou negativamente a qualidade do café de via seca e úmida. Santos; Chalfoun e Pimenta (2009) também estudaram diferentes tipos de processamento - via seca e via úmida (boia, descascado e desmucilado) e diferentes tipos de secagem (terreiro e terreiro/secador) sobre alguns parâmetros de qualidade do café, sendo eles, o teor de açúcares totais, sólidos solúveis totais, lixiviação de potássio, condutividade

elétrica, atividade da polifenoloxidase e pH. Esses autores concluíram que o método por via úmida (descascado) proporcionou um café com maior número de parâmetros indicadores de qualidade.

Kleinwächter e Selmar (2010) realizaram um estudo para verificar o impacto da secagem sobre o teor de açúcares (importantes precursores de aroma) nos grãos processados pela via úmida. Foi verificado que a secagem teve influência sobre a redução dos níveis de açúcar nos grãos e que o conteúdo de frutose e glicose diminuíram, especialmente, no primeiro dia de secagem. Segundo esses autores, essa redução de carboidratos (glicose e frutose) durante a secagem de grãos oriundos da via úmida explicam, pelo menos em parte, o porquê de cafés de via úmida apresentarem menor teor de açúcares em comparação à via seca, e que essa diferença pode ser inerente ao metabolismo do processo úmido e não à ocorrência de lixiviação desses açúcares para a água. Isso se explica pelo fato de que quando os cafés de via úmida são secos, ocorre a indução de diversas respostas metabólicas devido ao estresse hídrico. Também foi verificado que o teor de sacarose não foi alterado significativamente pela secagem e que a secagem intermitente e com pausas geram cafés com conteúdo muito próximo de açúcares.

Tarzia; Scholz e Petkowicz (2010) avaliaram cafés provenientes de diferentes métodos de processamento pós-colheita (seco, semiseco e úmido) em relação aos polissacarídeos (compostos importantes para a viscosidade, formação de espuma no café espresso e retenção de voláteis) e aspectos físico-químicos da bebida. Arabinose, galactose e manose foram os principais monossacarídeos encontrados, confirmando que galactomananos e arabinogalactanos são os polissacarídeos predominantes em grãos de café verde. Com relação à bebida preparada a partir de grãos dos diferentes processamentos, foi verificado que essas possuíam valores de viscosidade e tensão superficial semelhantes, mesmo possuindo quantidades diferentes de material solúvel de alto peso molecular. As frações de polissacarídeos isoladas das bebidas apresentaram diferentes teores de açúcares totais e proteínas.

A bebida preparada a partir do processamento úmido apresentou o maior teor de manose, sugerindo também um maior teor de galactomananos solúveis. Apesar desses resultados, neste estudo, não foi possível estabelecer uma relação entre as diferenças nas composições químicas e os valores de viscosidade e tensão superficial das bebidas.

Bytof *et al.* (2005) concluíram que o conteúdo do metabólito ácido γ -aminobutírico (GABA), um composto relacionado ao estresse em plantas, é maior em café processado por via seca em comparação à via úmida, podendo ser útil na determinação do tipo de processamento ao qual foi submetido o café. Esse resultado demonstrou claramente que as sementes de café submetidas ao processamento possuem metabolismo ativo, certamente relevante para a qualidade do café. Segundo esses autores, as diferenças em relação ao acúmulo de GABA nas sementes ocorrem devido ao tempo de secagem gasto para os métodos seco e úmido. Na via seca há tempo suficiente para que ocorra a síntese e acumulação do GABA. Por outro lado, GABA também pode ser observado em grãos de via úmida, quando ocorrem condições desfavoráveis de secagem.

Alguns autores também realizaram estudos para verificar a qualidade apresentada pelos grãos de café verdes (imaturos), após a secagem. Esses estudos são altamente relevantes devido ao volume produzido desses grãos, especialmente em países como o Brasil, em que a derriça completa ainda é muito utilizada.

Quando frutos maduros são separados dos verdes, uma quantidade substancial de verdes é gerada. Esses frutos podem ser submetidos ao processamento úmido visando melhorar sua qualidade (DIAS *et al.*, 2012). De acordo com Borém (2008), após o descasamento e secagem, a bebida do café verde apresenta cerca de 2,8% de defeitos preto, verde e ardido e bebida duro/verde. No entanto, o processamento de frutos verdes por via seca, resulta em um produto de pior qualidade.

Em um estudo realizado por Dias *et al.* (2012) os frutos de café verde, obtidos do processo de despulpamento de café cereja, foram

processados pela via seca e via úmida. O descascamento dos frutos verdes foi realizado imediatamente após a obtenção dos frutos e após um período de 12 horas de descanso na presença e na ausência de água. A secagem foi realizada em terreiro de concreto sob luz solar. De acordo com os resultados desse estudo, o tipo de processamento utilizado após a colheita resultou alterações nos níveis de aminoácidos livres nos grãos de café verde. Entre os aminoácidos presentes, a asparagina foi o aminoácido primário encontrado nesses grãos. A asparagina produz acrilamida, uma substância potencialmente perigosa gerada durante a reação de Maillard. Foi verificado que grãos verdes processados pela via seca continham maiores níveis de asparagina, em relação à via úmida. Desse modo, a via úmida poderia ser útil para controlar a formação de acrilamida durante a torra do café.

Nobre *et al.* (2011) também avaliaram a composição química e a qualidade de grãos de café imaturos submetidos aos processamentos por via seca e via úmida. Nesse trabalho, foram utilizados lotes de café verde formados na produção do café cereja descascado. Os cafês, após o processamento e secagem foram submetidos às análises de açúcares totais, redutores e não redutores, acidez total titulável, sólidos solúveis, lixiviação de potássio, condutividade elétrica e ácidos clorogênicos. Por meio desse estudo, concluiu-se que o café verde descascado teve uma elevação dos seus indicadores químicos e fisiológicos de qualidade. Além disso, foi verificado que descascamento dos frutos imaturos pode ser realizado imediatamente após a operação de descascamento dos frutos maduros, sem prejuízo à qualidade, e que o repouso em água não é necessário e não contribui significativamente com a qualidade do café verde.

A seguir são apresentados alguns estudos que buscaram avaliar a qualidade de frutos submetidos à processos fermentativos. Como já mencionado, a fermentação dos grãos de café é uma etapa realizada para remover a mucilagem. Esse processo pode ser conduzido via fermentação seca e úmida.

Wamuyu *et al.* (2017) realizaram um estudo visando determinar o efeito de diferentes métodos de fermentação na composição físico-química e na qualidade sensorial do café. Para isso, os grãos de café cereja foram despulpados e levados à fermentação natural em diferentes recipientes (balde de plástico, saco e tanque de cimento). As fermentações realizadas foram: fermentação seca do café em saco, em balde de plástico e tanque de cimento e fermentação úmida em balde de plástico. Após a fermentação, o pergaminho foi lavado e seco. Os resultados desse estudo demonstraram que os métodos de fermentação não apresentaram variações significativas dos parâmetros físico-químicos analisados (proteínas, sacarose, cafeína, trigonelina, ácido clorogênico e acidez titulável), sendo esses estatisticamente iguais. Somente o valor de pH apresentou diferença significativa, sendo menor para o café da fermentação úmida. Com relação aos parâmetros sensoriais, os autores verificaram que houve diferença significativa para o parâmetro de cor, tendo esse recebido menor nota para o tratamento úmido em relação ao tratamento seco. Com relação à qualidade geral, o método de fermentação úmida mostrou ter melhor qualidade.

Sunarharum; Yuwono e Nadhiroh (2018) investigaram o impacto de diferentes métodos de fermentação (seca, semiúmida e úmida) e métodos de secagem (secagem mecânica e solar) sobre a qualidade sensorial do café arábica. Os resultados revelaram que os diferentes fatores de processamento influenciaram significativamente a qualidade sensorial do café, principalmente em quatro atributos de degustação: fragrância/aroma, sabor, defeitos e notas finais. Todos os cafés obtiveram notas abaixo de 80 pontos, conforme protocolo de degustação. Verificou-se que a fermentação com mais água e a secagem mecânica proporcionam um melhor perfil sensorial do café. Além disso, os principais defeitos encontrados na degustação se referiam ao aroma ácido e fermentado, o que foi verificado de forma mais pronunciada em cafés de fermentação seca e secagem ao sol. Entretanto, os diferentes processos criaram cafés com características

próprias, os quais teriam um mercado próprio, desde que a qualidade fosse adequadamente controlada.

Evangelista *et al.* (2014) elaboraram um estudo com o objetivo de avaliar o potencial de linhagens de leveduras como culturas iniciadoras para fermentação a seco de café lavado e não lavado, seguido de secagem ao sol. Para isso, quatro linhagens de leveduras foram inoculadas e uma amostra controle, sem a inoculação, foi considerada. Os grãos de café não lavados inoculados com leveduras apresentaram sensações mais agradáveis do que os experimentos em que o café foi lavado antes da inoculação. Além disso, o café inoculado com levedura apresentou sabores superiores ao café controle, indicando aumento da qualidade sensorial. Foi possível a manutenção das leveduras durante toda a fermentação, resultando em um sabor de caramelo e frutado nas amostras de café.

Zhang *et al.* (2019) analisaram os parâmetros de tipo de processamento (cafés desmucilados e despulpados), duração da fermentação e aplicação de imersão sobre a dinâmica da comunidade microbiana, composição de metabólitos nas águas de processamento e qualidade da bebida. Os tempos de fermentação natural foram de 36, 48 e 84 horas para grãos despulpados e de 12 e 72 horas para os grãos desmucilados. Os maiores tempos de fermentação (84 e 72 horas) representam uma situação de fermentação prolongada para ambos os cafés. Nesse estudo, foi verificado que as comunidades microbianas foram afetadas pelo tipo de processamento e pela duração da fermentação. O metabolismo endógeno do grão de café permaneceu ativo durante o processamento, o que foi observado através de mudanças nas concentrações de carboidratos, ácidos orgânicos e aminoácidos livres nas águas de processamento. Dos parâmetros avaliados, a duração do processo fermentativo apresentou o maior impacto sobre a composição e qualidade do café. Desta forma, quanto maior o tempo de fermentação maiores foram as tendências de uma bebida frutada e mais ácida. O desmucilamento mecânico resultou em uma bebida de qualidade comparável ao de

café despolpados, mas com odor frutado de menor intensidade e sabor de húmus mais acentuado.

As condições de processamento são a força motriz por trás de eventos metabólicos relacionados à germinação e ao estresse. No entanto, todo o impacto e as consequências gerais desses processos ainda são pouco compreendidos. Além desses fatores metabólicos endógenos, certos fatores exógenos como a ecologia microbiana e condições de fermentação, também exibem um forte impacto na qualidade do café. Embora várias espécies de bactérias, leveduras e fungos filamentosos tenham sido identificadas na fermentação do café, não está claro quais espécies ou linhagens têm maior impacto na qualidade. Desta forma, uma compreensão completa dos eventos metabólicos, ecologia microbiana e ocorrência de compostos aromáticos é um grande desafio para futuras pesquisas sobre o café (EVANGELISTA *et al.*, 2014; HAMEED *et al.*, 2018; MARTINS *et al.*, 2019).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma visão geral das pesquisas realizadas sobre a tecnologia de processamento de grãos de café, até o momento, ilustra que diferentes técnicas de processamento de café influenciam não apenas os principais compostos voláteis e não voláteis que definem a qualidade, mas também que a germinação das sementes e os fatores relacionados ao estresse desempenham um papel importante na definição da qualidade final do café. No entanto, muitos estudos ainda devem ser realizados para total compreensão de tais eventos e suas consequências sobre a qualidade dessa bebida tão consumida e apreciada em todo o mundo.

REFERÊNCIAS

BORÉM, F. M. Processamento do café. In: BORÉM, F. M. (Ed.). **Pós-colheita do café**. Lavras: UFLA, 2008. p. 631.

BORÉM, F. M. *et al.* Qualidade do café natural e despulpado após a secagem em terreiro e com altas temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1609–1615, 2008.

BRANDO, C. H. J. Harvesting and Green Coffee Processing. *In*: WINTGENS, J. N. (Ed.). **Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production**. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH, 2004. p. 983.

BRANDO, C. H. J.; BRANDO, M. F. P. Methods of coffee fermentation and drying. *In*: SCHWAN, R. F.; FLEET, G. H. (Eds.). **Cocoa and Coffee Fermentations**. Boca Raton: CRC press, 2014. p. 613.

BYTOF, G. *et al.* Influence of processing on the generation of γ -aminobutyric acid in green coffee beans. **European Food Research and Technology**, v. 220, n. 3, p. 245–250, 2005.

DIAS, E. C. *et al.* Amino acid profiles in unripe Arabica coffee fruits processed using wet and dry methods. **European Food Research and Technology**, v. 234, n. 1, p. 25–32, 2012.

EVANGELISTA, S. R. *et al.* Improvement of coffee beverage quality by using selected yeasts strains during the fermentation in dry process. **Food Research International journal**, v. 61, p. 183–195, 2014.

GUIMARÃES, R. J. *et al.* Coffee growing and post-harvest processing. *In*: FARAH, A. (Ed.). **Coffee: Production, quality and chemistry**. [s.l.] Royal Society of Chemistry, 2019. p. 836.

HAILE, M.; KANG, W. H. The role of microbes in coffee fermentation and their impact on coffee quality. **Journal of Food Quality**, n. 12, p. 1–6, 2019.

HAMEED, A. *et al.* Farm to consumer: factors affecting the organoleptic characteristics of coffee. ii: postharvest processing factors. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 5, p. 1184–1237, 2018.

KLEINWÄCHTER, M.; SELMAR, D. Influence of drying on the content of sugars in wet processed green Arabica coffees. **Food Chemistry**, v. 119, n. 2, p. 500–504, 2010.

MARTINS, P. M. M. *et al.* Production of coffee (*Coffea arabica*) inoculated with yeasts: impact on quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 13, p. 5638–5645, 2019.

MORRIS, J. **Coffee: A global history**. London: Reaktion Books Ltd, 2019.

NOBRE, G. W. *et al.* Composição química de frutos imaturos de café arábica (*Coffea Arabica* L.) processados por via seca e via úmida. **Coffee Science**, v. 6, n. 2, p. 107–113, 2011.

SANTOS, M. A.; CHALFOUN, S. M.; PIMENTA, C. J. Influência do processamento por via úmida e tipos de secagem sobre a composição, físico-química e química do café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 1, p. 213–218, 2009.

SELMAR, D.; BYTOF, G.; KNOPP, S. E.; BREITENSTEIN, B. Germination of coffee seeds and its significance for coffee quality. **Plant Biology**, v. 8, n. 2, p. 260–264, 2006.

SILVA, C. F. Microbial Activity during Coffee Fermentation. *In*: SCHWAN, R. F.; FLEET, G. H. (Ed.). **Cocoa and Coffee Fermentations**. Boca Raton: CRC Press, 2014. p. 613.

SUNARHARUM, W. B.; YUWONO, S. S.; NADHIROH, H. Effect of different post-harvest processing on the sensory profile of Java Arabica coffee. **Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering**, v. 1, n. 1, p. 9–14, 2018.

TARZIA, A.; SCHOLZ, M. B. S.; PETKOWICZ, C. L. O. Influence of the postharvest processing method on polysaccharides and coffee beverages. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 45, n. 10, p. 2167–2175, 2010.

WAMUYU, K. A. *et al.* Effect of different fermentation methods on physicochemical composition and sensory quality of Coffee (*Coffea arabica*). **Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology**, v. 11, n. 6, p. 31–36, 2017.

ZHANG, S. J. *et al.* Influence of various processing parameters on the microbial community dynamics, metabolomic profiles, and cup quality during wet coffee processing. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, p. 1–24, 2019.

Sobre os autores

ORGANIZADORES

Luciano José Quintão Teixeira

Professor Associado do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE-UFES, Engenheiro de Alimentos, Mestre e Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV. Contato: luqteixeira@yahoo.com.br

Wallaf Costa Vimercati

Engenheiro de Alimentos e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFES. Especialista em Controle de Qualidade e Segurança de Alimentos pelo IFES Campus Piúma e Doutor em Ciência dos Alimentos pela UFLA. Contato: wallafcosta@hotmail.com

COLABORADORES

Antonio Manoel Maradini Filho

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE da UFES. Engenheiro de Alimentos, Mestre e Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV. Contato: antoniomaradinifilho@yahoo.com

Betsy Gois Santos

Engenheira de pesca pelo IFES *campus* Piúma e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFES. Contato: betsy_gois@yahoo.com

Caroline de Souza Motta

Cientista de Alimentos pelo IFF *campus* Bom Jesus do Itabapoana e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFES. Contato: carolinemottacs@gmail.com

Cintia da Silva Araújo

Engenheira de Alimentos e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFES e Doutora em Ciência dos Alimentos pela UFLA. Contato: araujo.s.cintia@gmail.com

Danielle Esthefane Sousa Lima

Tecnóloga em Alimentos pelo IFAP e Pós-graduada em Gestão e Docência do Ensino Superior pela FATECH e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFES. Contato: danielle.lima@ifap.edu.br

Dayvison Mendes Moreira

Engenheiro de pesca, Especialista em Controle de qualidade e Segurança de alimentos pelo IFES campus Piúma, Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFES e Doutorando em Ciência de Alimentos pela UFRJ. Contato: dayvison.engpesca@gmail.com

Gisele da Silva Polvarini

Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos e Técnica em Agroindústria pelo IFF campus Bom Jesus do Itabapoana e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFES. Contato: gisele.polvarini@edu.ufes.br

Gustavo Victor Louvain

Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos pelo IFF campus Bom Jesus do Itabapoana. Contato: gustavo.louvain@edu.ufes.br

Jefferson Luiz Gomes Corrêa

Professor titular do Departamento de Ciência dos Alimentos da UFLA. Engenheiro Químico, Mestre em Engenharia Química e Doutor em Engenharia Mecânica pela UNICAMP. Contato: jefferson@ufla.br

Klinger Vinícius de Almeida

Pesquisador em Inovação na empresa Duas Rodas Industrial. Engenheiro de Alimentos pela UFMG. Especialista em Controle de Qualidade e Segurança de Alimentos pelo IFES Campus Piúma e Mestrando em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFES. Contato: klinger_vinicius@yahoo.com.br

Lara Louzada Aguiar

Engenheira de Alimentos e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFES. Contato: laralaguiar@hotmail.com

Larissa Queiroz Bravo

Técnica de Produção na empresa Agrofruta do Brasil Alimentos LTDA. Engenheira de Alimentos pela UFES. Contato: larissaqueirozbravo@hotmail.com

Leandro Levate Macedo

Engenheiro de Alimentos e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFES e Doutor em Ciência dos Alimentos pela UFLA. Contato: leandrolevate@hotmail.com

Luciano José Quintão Teixeira

Professor Associado do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE da UFES, Engenheiro de Alimentos, Mestre e Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV. Contato: luqteixeira@yahoo.com.br

Maria da Penha Piccolo

Professora Associada do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE da UFES. Engenheira de Alimentos, Mestre e Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV. Contato: penhapiccolo@gmail.com

Samarha Pacheco Wichello

Engenheira de Alimentos pela Universidade Federal do Espírito Santo - UFES. Mestranda no programa de pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - UFES.

Sérgio Henriques Saraiva

Professor Associado do Departamento de Engenharia de Alimentos do CCAE da UFES. Engenheiro de Alimentos, Mestre e Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV. Contato: sergiohsaraiva@gmail.com

Wallaf Costa Vimercati

Engenheiro de Alimentos e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFES. Especialista em Controle de Qualidade e Segurança de Alimentos pelo IFES Campus Piúma e Doutor em Ciência dos Alimentos pela UFLA. Contato: wallafcosta@hotmail.com

