

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Elisama Rosa

Uma abordagem das propriedades tecnológicas e físico-químicas de produtos lácteos em pó: leite, queijo e iogurte

Florianópolis

2020

Elisama Rosa

**Uma abordagem das propriedades tecnológicas e físico-químicas de
produtos lácteos em pó: leite, queijo e iogurte**

Trabalho Conclusão do Curso de
Graduação em Ciência e Tecnologia
de Alimentos do Centro de Ciências
Agrárias da Universidade Federal de
Santa Catarina como requisito para a
obtenção do Título de Bacharel em
Ciência e Tecnologia de Alimentos

Orientadora: Prof. ^a Dr. ^a Elane
Schwinden Prudêncio

Florianópolis

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Rosa, Elisama

Uma abordagem das propriedades tecnológicas e físico químicas de produtos lácteos em pó : leite, queijo e iogurte / Elisama Rosa ; orientador, Elane Schwinden Prudêncio, 2020.

54 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Ciência e Tecnologia de Alimentos. 2. Derivados lácteos desidratados. 3. Spray Drying. 4. Liofilização. 5. Propriedades Físico-químicas. I. Schwinden Prudêncio, Elane. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. III. Título.

Elisama Rosa

Uma abordagem das propriedades tecnológicas e físico-químicas de produtos lácteos em pó: leite, queijo e iogurte

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos” e aprovado em sua forma final pelo Curso Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Florianópolis, 11 de dezembro de 2020.

Prof.^a Carmen Maria Oliveira Muller. Dra.

Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof.^a Elane Schwinden Prudêncio, Dra.

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Carmen Maria Oliveira Muller. Dra.

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Isabela Maia Toaldo Fedrigo, Dr.^a

Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Minha gratidão à Jesus, meu melhor amigo, pelo seu grande amor e graça entregues a mim todos os dias de vida minha. Eu nada seria sem Ele.

Minha gratidão à minha família, meu porto seguro, que estiveram comigo celebrando cada passo. Aos meus pais, Marcelo e Marlise, por todo o consolo, amor, carinho, orações e por sempre acreditarem em mim, e ao meu irmão, Netto, por me incentivar, me animar e me fazer rir em todos os momentos.

Minha gratidão à minha coordenadora Prof.^a Dra. Elane Schwinden Prudêncio por todo apoio, força e compreensão dedicados a mim.

Minha gratidão aos meus amigos, que mesmo com a distância se fizeram presentes em meu coração.

A todos (as), meu muito obrigado.

RESUMO

O leite é um alimento complexo de alto valor nutritivo e grande versatilidade de consumo, classificado como um produto importante para a agroindústria alimentar. Dentre as diversas transformações tecnológicas que envolvem essa matéria-prima, têm-se destaque aos produtos lácteos desidratados, por apresentarem segurança alimentar e elevada praticidade de uso. Dessa forma, este trabalho teve por objetivo agregar os conhecimentos por meio de uma revisão bibliográfica sobre as propriedades tecnológicas e físico-químicas dos derivados lácteos em pó, com ênfase em leite, queijo e iogurte todos em pó. O leite em pó possui um mercado já consolidado no Brasil, sendo um produto muito requerido pela indústria e pelos consumidores. Quanto ao queijo em pó e o iogurte em pó, estes ainda não são plenamente utilizados na indústria brasileira, e por isso, encontram-se dentro do mercado de inovações, apesar de já terem alcançado reconhecimento no mercado internacional. Vê-se então, a necessidade do desenvolvimento crescente em tecnologia, e até mesmo legislação que determine os parâmetros de qualidade, que referente ao iogurte em pó é inexistente até o momento atual. Com relação às tecnologias de desidratação dos produtos lácteos em pó, têm-se por destaque duas operações unitárias, a atomização (spray drying) e a liofilização (freeze-drying), processos estes de desidratação por ar quente e por sublimação, respectivamente. Ademais, relacionado com a funcionalidade dos produtos lácteos têm-se o estudo das propriedades físico-químicas, e para melhor compreensão das mesmas, foram avaliadas as seguintes propriedades: umidade e atividade de água, tempo de dissolução, densidade, fluidez, coesividade, bem como, a determinação da estabilidade.

Palavras-chaves: Desidratação. Spray drying. Liofilização. Derivados lácteos desidratados. Análises físico-químicas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática do processo de desidratação empregando <i>spray-dryer</i> /atomizador, composto pelas etapas de (a) alimentação, (b) atomizador, (c) ar de secagem, (d) ciclone/separador, (e) coletor de pó, e (f) exaustão.....	21
Figura 2 - Bico e disco rotatório atomizadores presentes no <i>spray dryer</i> visando a transformação do leite em pequenas gotículas visando o processo de desidratação do leite em pó	23
Figura 3 - Representação esquemática das partes de um liofilizador	26
Figura 4 - Representação esquemática de um evaporador de múltiplos efeitos filme descendente	31
Figura 5 - Fluxograma representando as etapas de obtenção do leite em pó instantâneo.....	32
Figura 6 - Representação das etapas de um secador de leite fluidizado	35
Figura 7 - Fluxograma representando as etapas de obtenção do queijo em pó	39
Figura 8 - Esquema de medição do ângulo de repouso das amostras em pó .	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação dos parâmetros do processo de atomização e liofilização.....	18
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações para o índice de Carr e para a taxa de Hausner.....	47
Tabela 2 - Critérios de escoabilidade para pós empregando o cálculo do ângulo de repouso	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
4.1 PRODUTOS LÁCTEOS EM PÓ	17
4.2.1 O leite em pó	28
4.2.2 O queijo em pó	36
4.2.3 O logurte em pó	40
4.2 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DOS PRODUTOS LÁCTEOS EM PÓ	42
4.2.1 Umidade e atividade de água	42
4.2.2 Tempo de dissolução	43
4.2.3 Densidade	45
4.2.4 Fluides e coesividade	47
4.2.5 Determinação da estabilidade	50
5 CONCLUSÃO	52
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

Produtos lácteos em pó têm o seu consumo aumentado em todo o mundo em função da sua praticidade de uso e da sua segurança alimentar. De acordo com Siqueira (2019) trabalhar com a industrialização de leite tem sido incentivada nas últimas três décadas devido à relação custo-benefício dos produtos lácteos em comparação com outros alimentos em termos dos nutrientes oferecidos.

O leite é um alimento complexo que contém altas concentrações de macro e micronutrientes. Além da sua importância nutritiva, o leite é uma fonte de renda e sobrevivência para a população mundial, sendo que aproximadamente 10% depende diretamente da produção leiteira (SIQUEIRA, 2019).

O leite é considerado um dos produtos mais versáteis da agroindústria de alimentos porque além de ser consumido na sua forma fluida, ele também pode ser transformado em diversos tipos de produtos, como por exemplo, os produtos lácteos desidratados. Siqueira (2019) relata que além disso, novas exigências do mercado consumidor estão revolucionando o mercado de alimentos e, conseqüentemente, o de produtos lácteos. O leite em pó por sua vez é um produto lácteo consolidado no mercado internacional e brasileiro.

Conforme Agrolink (2019) apesar da sua representatividade, o Brasil importa leite em pó desnatado e integral principalmente da Argentina e Uruguai, sendo que quase 92% das importações brasileiras vêm destes países.

Dentre as inovações no desenvolvimento de um produto lácteo desidratado têm-se o queijo e o iogurte em pó. Uma das vantagens na produção de queijo em pó é relacionada ao uso de uma moderna tecnologia que não utiliza a separação do soro lácteo, ou seja, este produto secundário da indústria queijeira é também incorporado ao queijo em pó produzido.

Produtos lácteos fermentados, como iogurte, já estabeleceram seus próprios benefícios para a saúde. El-Sayed, Salama e Edris (2020) citaram que os produtos lácteos fermentados, especialmente iogurte, geralmente são consumidos frescos. No entanto, estes autores ressaltaram como inovadora a produção de iogurte em pó visando uma aplicação prática mais conveniente.

Uma importante ferramenta empregada para determinar a propriedades e uso destes produtos em pó é através da análise de suas propriedades físico-químicas. Desta forma, este trabalho de revisão bibliográfica pretende contribuir para o conhecimento das tecnologias, bem como das propriedades físico-químicas de leite, queijo e iogurte na forma de pó.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica sobre as propriedades tecnológicas e físico-químicas de produtos lácteos em pó, ou seja, leite, queijo e iogurte todos em pó.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho foram realizar revisão bibliográfica sobre os seguintes temas:

- produtos lácteos em pó
- leite em pó;
- queijo em pó; e
- iogurte em pó.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Na realização deste trabalho de revisão bibliográfica foram consultados artigos científicos, livros, capítulos de livros, trabalhos acadêmicos, trabalhos publicados em eventos científicos, legislação e endereços eletrônicos, divulgados em língua portuguesa e inglesa. As pesquisas ocorreram em bases de dados como: Science Direct, Scopus, Scielo, Google Acadêmico, consultados entre os meses de agosto a dezembro de 2020.

Os parâmetros de inclusão dos levantamentos bibliográficos foram com base na temática, norteadas com as seguintes palavras de busca: leite, produtos lácteos em pó, leite em pó, queijo em pó, iogurte em pó, atomização, liofilização, propriedades físicas, propriedades físico-químicas, estabilidade de pós, *dairy products, milk, milk powder, cheese powder, yoghurt powder, spray drying, freeze-drying, physical properties, functional properties flow properties, water properties, water activity*.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 PRODUTOS LÁCTEOS EM PÓ

Os produtos lácteos em pó são classificados como alimentos que apresentam reduzido teor de água na sua composição, transformando-os de um produto perecível à um produto que pode ser armazenado em temperatura ambiente por um tempo prolongado sem perdas significativas na qualidade (SHARMA; JANA; CHAVAN, 2012; SILVA *et al.*, 2017 *apud* ZACARCHENCO; VAN DENDER; REGO, 2017).

A aplicação dos pós lácteos é extensa, podendo ser utilizado reconstituído, ou até mesmo como ingrediente alimentar na produção de produtos cárneos, padaria e confeitaria (SHARMA; JANA; CHAVAN, 2012). Estes produtos apresentam um mercado mundialmente consolidado, devido a sua aceitabilidade pelos consumidores, e porque os mesmos podem apresentar alto valor agregado (SHARMA; JANA; CHAVAN, 2012; SILVA *et al.*, 2017 *apud* ZACARCHENCO; VAN DENDER; REGO, 2017).

Os desafios encontrados pela indústria no desenvolvimento de produtos lácteos em pó, são principalmente relacionados à produção de produtos diferenciados e a máxima eficiência de instalação, promovendo assim redução do consumo energético e menores perdas do produto (HENNING *et al.*, 2006). Alguns alimentos lácteos em pó apresentam destaque de consumo, dentre os quais pode-se citar o leite em pó, queijo em pó e o iogurte em pó. Para a obtenção desses produtos em grande escala, dentre os vários processos de redução de água, destacam-se duas operações unitárias, que são a atomização/pulverização (desidratação por aspersão), também conhecida como processo de *spray drying*, e a liofilização, *freeze-drying* (OLIVEIRA; PETROVICK, 2010). Vê-se no quadro 1 os parâmetros do processo de atomização comparado ao processo de liofilização.

Quadro 1 - Comparação dos parâmetros do processo de atomização e liofilização

Parâmetros do processo	Operações Unitárias	
	Atomização	Liofilização
Tipo de desidratação	Desidratação por ar quente	Desidratação por sublimação (baixas temperaturas)
Pressão da desidratação	Pressão atmosférica	Pressão reduzida (vácuo)
Estado físico da matéria-prima na alimentação	Fluida, viscosa	Congelada
Qualidade do produto final	Pode não ser adequado para produtos termo sensíveis	Melhores características de sabor, aroma, e conservação da estrutura
Características de instantaneização	O produto final não se apresenta instantâneo, sendo necessários processos	O produto final apresenta-se instantâneo
Custo do processo	Acessível e viável para a indústria de lácteos	Não acessível por seu elevado custo energético, operacional e de manutenção
Aplicação industrial	É amplamente usado em larga escala	Não é usado em larga escala

Fonte: O autor (2020).

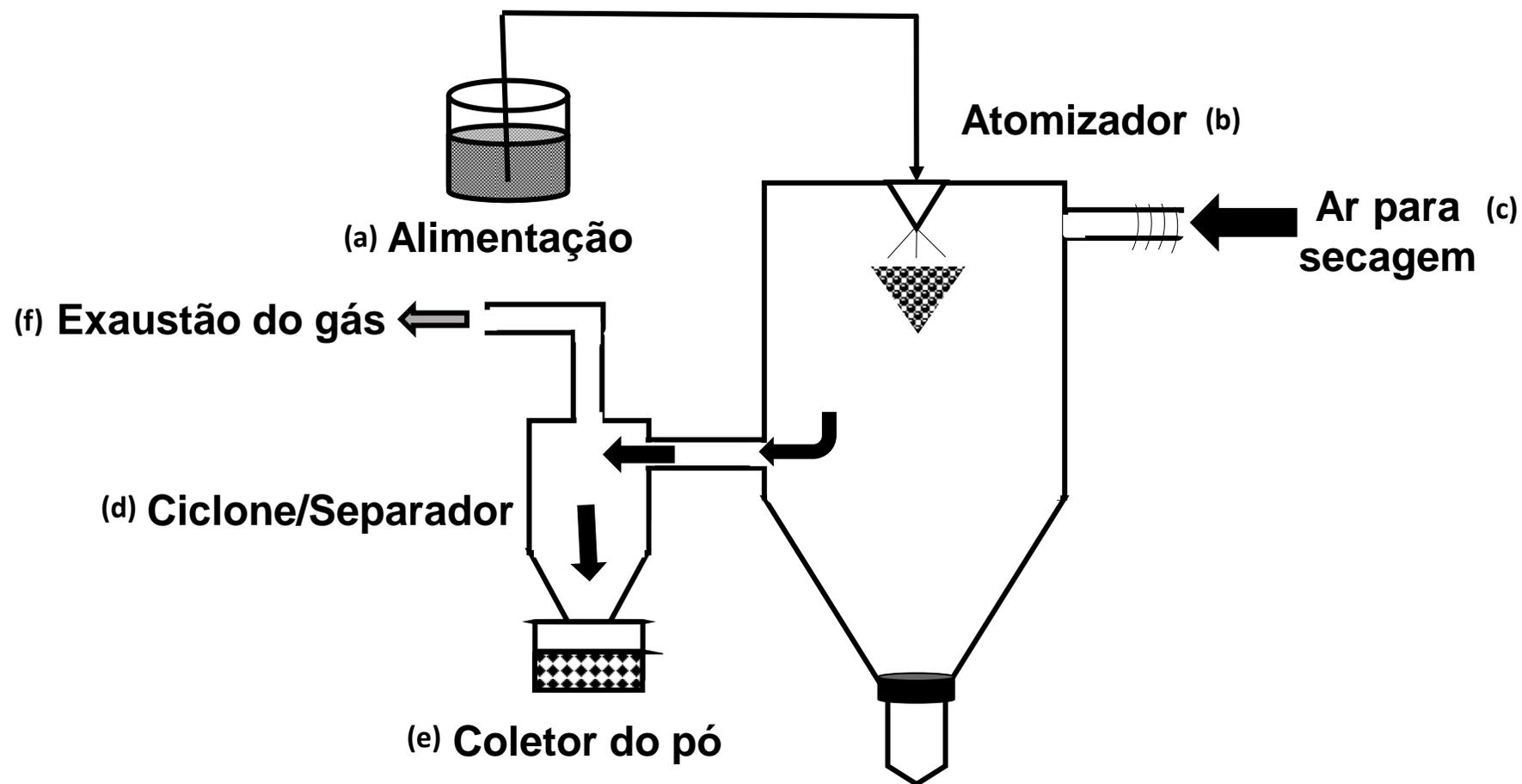
No caso da desidratação por atomização, devido à redução de gastos energéticos deve-se realizar uma concentração prévia do leite antes da desidratação (ERBAY; KOCA, 2012). A desidratação por atomização é considerada o processo mais usado para desidratar produtos lácteos. O uso da desidratação pelo método de atomização ou *spray drying* evoluiu levando em consideração a complexidade das matérias-primas, com relação aos aspectos físico-químicos, bioquímicos e termodinâmicos do leite, bem como dos parâmetros de controle do processo. Definir esses parâmetros antes do processamento por atomização é essencial na produção dos produtos lácteos em pó, pois sem eles a indústria dificilmente manterá a qualidade do pó e a otimização de custos energéticos de suas instalações (SCHUCK, 2002; HENNING *et al.*, 2006).

Assim, o processo de desidratação por atomização, define-se por uma transformação de um alimento fluido em um produto desidratado. Na Figura 1 pode-se observar as etapas do equipamento de atomização (*spray drying*), ou seja, o atomizador (*spray dryer*) empregado na desidratação do leite em pó (GEA, 2010; KESHANI, *et al.*, 2015; SOSNIK; SEREMETA, 2015) que são descritas a seguir: (a) a solução de alimentação que consiste do leite previamente concentrado; (b) o atomizador cujo soluto é levado até ele por uma bomba, sendo que nele o leite concentrado é atomizado transformando-se em gotículas; (c) essas gotículas são expostas a um fluxo de ar quente de desidratação e rapidamente transformadas em pó, sendo que quanto maior a área superficial das gotículas contendo água em contato com o ar quente, mais rapidamente a água é retirada; (d) o ciclone cujas partículas finas de pó são direcionadas para este aparato que promove a retirada do ar quente e da umidade da câmara principal do atomizador; e (e) o coletor onde acontece a saída do produto em pó.

O desenho dos equipamentos de desidratação pode variar de acordo com a especificidade requerida pela indústria. Para a produção do leite em pó, por exemplo, dois diferentes desenhos de equipamentos podem ser usados, sendo eles as câmaras verticais e as câmaras horizontais. A primeira câmara de desidratação é a mais usada por apresentar boa resistência à pressão, um importante fator de segurança. Em relação à conformação do fundo dessa

câmara o mais utilizado é o cônico, facilitando a retirada do pó (HENNING *et al.*, 2006).

Figura 1 - Representação esquemática do processo de desidratação empregando *spray-dryer*/atomizador, composto pelas etapas de (a) alimentação, (b) atomizador, (c) ar de secagem, (d) ciclone/separador, (e) coletor de pó, e (f) exaustão.



Fonte: Prudêncio (2020).

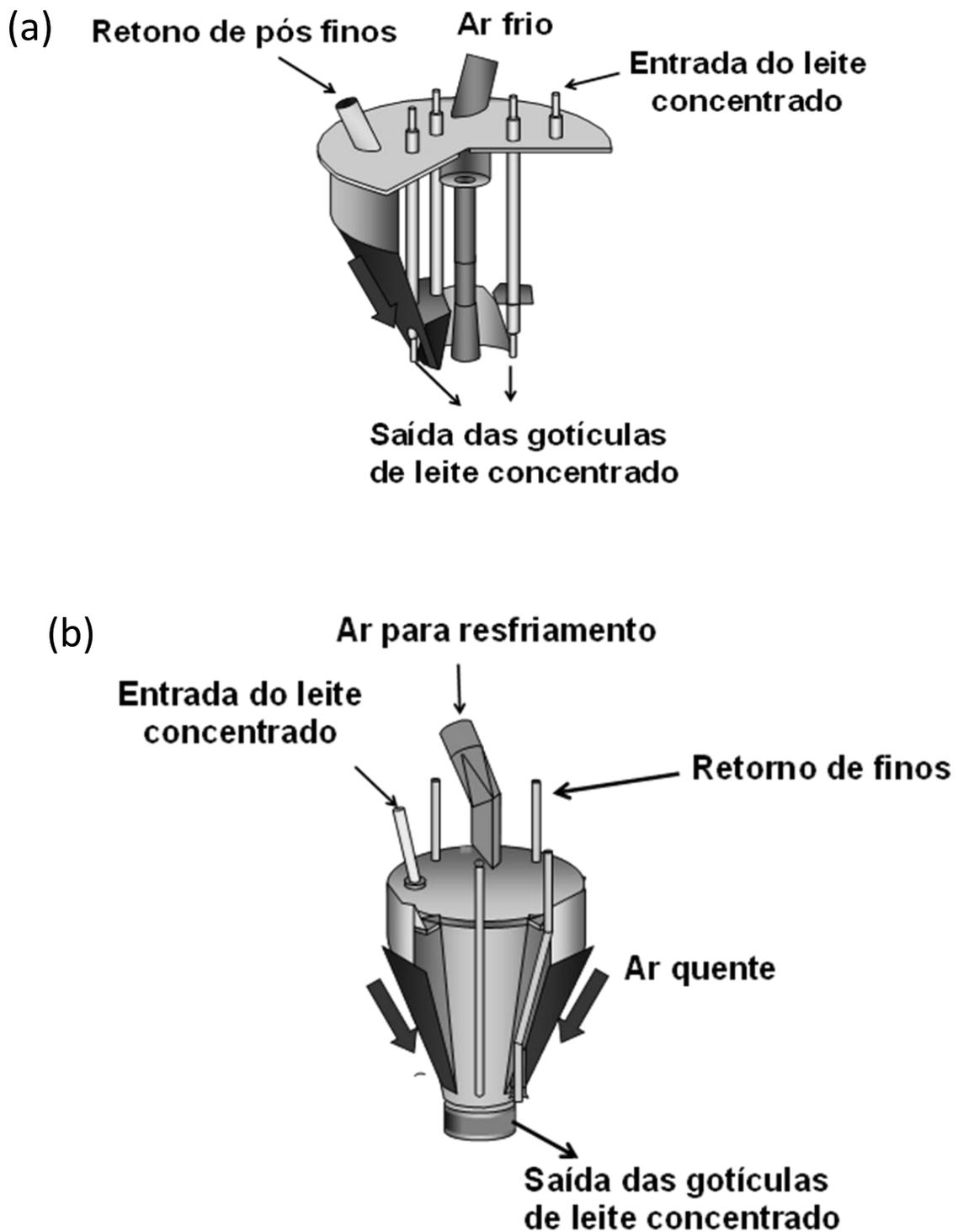
Os sistemas de desidratação podem ocorrer com a instalação de um ou dois estágios, ou seja, o pó com 4,0 a 4,5% de umidade segue da câmara para um secador para finalizar a retirada de umidade no primeiro estágio e, posteriormente, ao segundo estágio em um resfriador para a redução de sua temperatura. Contudo, visando a eficiência térmica do processamento, com redução de gastos e melhora na qualidade dos produtos, as indústrias de alimentos realizam a desidratação dos produtos lácteos em atomizadores de múltiplos estágios (HENNING *et al.*, 2006).

As características finais do produto são em sua maioria resultado do tipo de atomizador usado no processo, pois estes podem fornecer produtos desde mais granulares até pós muito finos. Existem diferentes modelos de atomizador, sendo o de bico e o de disco rotatório são os mais usados (Figura 2). Selecionar o tipo de atomizador é importante, pois ele determinará aspectos essenciais para a dimensão final do pó, bem como a distribuição, o tamanho, a velocidade e a trajetória das gotas. O tamanho da gotícula formada é um fator significativo, pois influenciará na taxa de desidratação já que está relacionada a superfície de troca calórica (FILKOVÁ; MUJUMDAR, 1995 *apud* MUJUMDAR, 1995).

Filková e Mujumdar (1995 *apud* MUJUMDAR, 1995) relataram que um produto em pó estará em conformidade, em relação às propriedades físico-químicas, se este for desenvolvido com as especificações corretas dos equipamentos e atender os requisitos do desenvolvimento controlando a qualidade do produto na etapa de alimentação. Oliveira e Petrovick (2010) afirmaram que é necessário atentar-se a configuração do equipamento e de parâmetros de operação, para então se ter um maior rendimento no processo, produtos mais estáveis, com teores adequados de umidade, e ainda, menores taxas de adesão das partículas do produto na câmara de desidratação.

Um produto em pó pode ter suas propriedades nutricionais mantidas se a velocidade de desidratação for controlada. Um curto tempo de desidratação, aliado ao controle de temperatura do produto resultam em uma atomização efetiva para produtos termo sensíveis. Dessa forma, vê-se que uma remoção rápida da água é capaz de manter baixa a temperatura das gotículas, não comprometendo as propriedades físico-químicas e nutritivas do pó formado (FILKOVÁ; MUJUMDAR, 1995 *apud* MUJUMDAR, 1995).

Figura 2 - Bico e disco rotatório atomizadores presentes no spray dryer visando a transformação do leite em pequenas gotículas visando o processo de desidratação do leite em pó



Fonte: Prudêncio (2020).

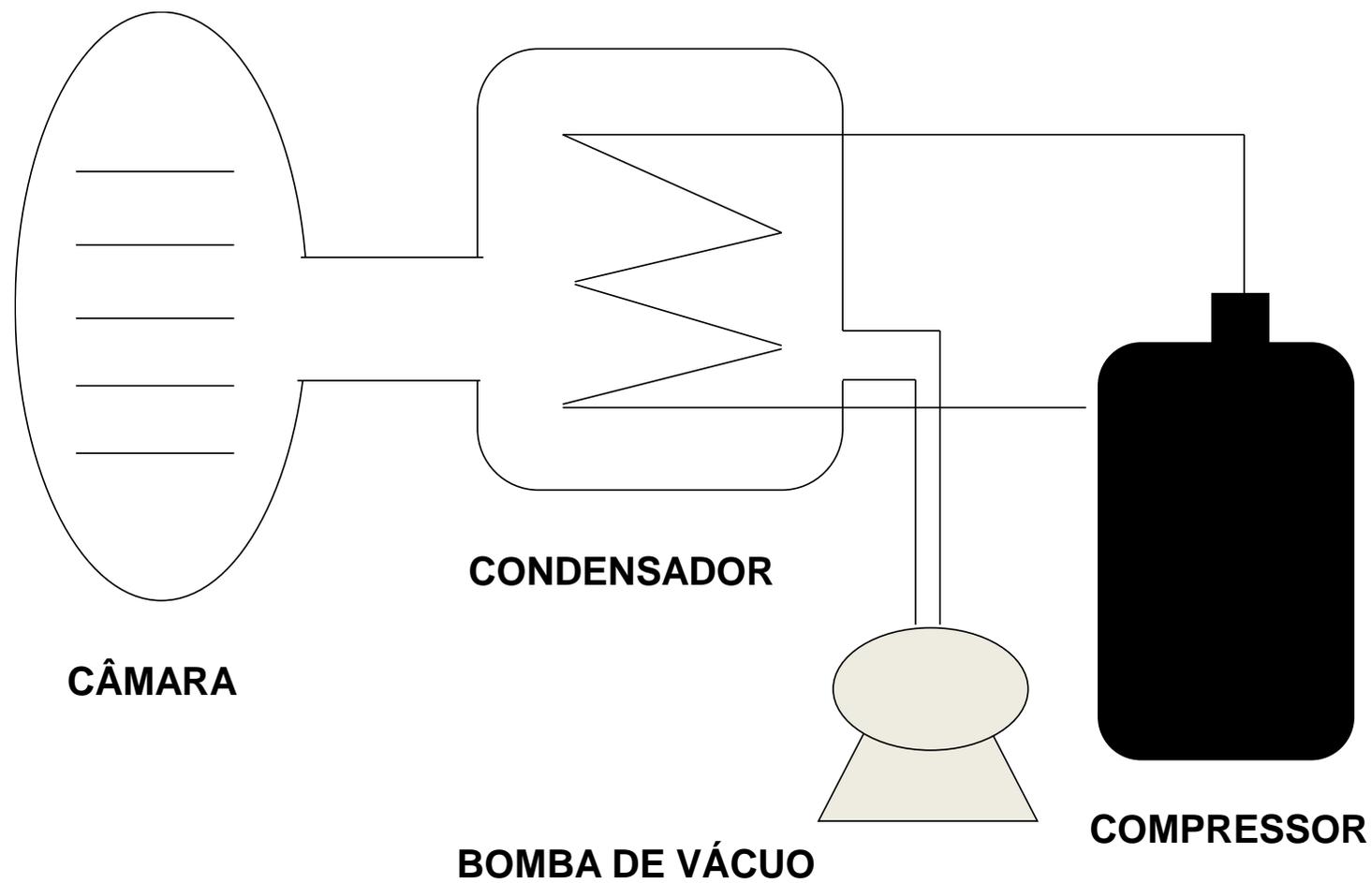
A atomização apresenta alguns parâmetros vantajosos quando comparado aos outros processos de desidratação, como por exemplo, o controle eficiente da qualidade e das propriedades do produto; a alta produção de pó gerada pela planta industrial; o menor tempo de permanência das gotículas em temperaturas elevadas; o uso de pressão atmosférica. Ao final do processo de atomização os pós apresentam formato esférico (FILKOVÁ; MUJUMDAR, 1995 *apud* MUJUMDAR, 1995; RATTI, 2001). No entanto, outra forma de se obter um produto lácteo em pó é através da operação unitária de liofilização.

Entre os consumidores globais, os alimentos liofilizados são vistos como populares, com destaque de consumo e produção na Europa e América do Norte. Vê-se, também, uma rápida expansão desse mercado na Ásia-Pacífico, onde a necessidade por alimentos práticos, de fácil armazenamento, manuseio e elevada conservação sensorial e nutricional, tornou os liofilizados como produtos requeridos pelos consumidores (INTELLIGENCE, 2019). Contudo, a indústria brasileira ainda não é produtora de derivados lácteos em pó liofilizados em larga escala.

A liofilização é um processo de desidratação que emprega o vácuo, e promove a sublimação da água mantendo o alimento em baixas temperaturas. (RATTI, 2001; CIURZYŃSKA; LENART, 2011; SAVO; DRAGAN; MILADIN, 2012; BEDIR; KULEASAN, 2019). Os principais componentes que compõe o processo de liofilização estão apresentadas a seguir na Figura 3 (CIURZYŃSKA; LENART, 2011; SAVO; DRAGAN; MILADIN, 2012; DAS; BORDOLOI; GANGULY, 2014): (a) o pré-tratamento é uma etapa opcional no processo de liofilização sendo realizado quando se deseja obter requisitos específicos, como por exemplo, a adição de estabilizantes, entre outros; (b) o congelamento etapa obrigatória realizada com o produto antes da liofilização, geralmente de - 30 °C até - 80 °C, a fim de garantir que o produto não se funda ou entre em colapso; (c) na etapa de desidratação ocorre a aplicação parcial de vácuo que permite o leve aumento de temperatura, cuja aplicação de calor sendo baixa tende a ser demorado, se tornando uma importante forma de preservar materiais termo sensíveis; (d) a sublimação é responsável pela separação da água do produto congelado, difundindo-se e saindo pelos poros do produto; e (e) na etapa de condensação o vapor é condensado com a finalização do processo.

Dentre todas essas etapas, o congelamento é a mais relevante na determinação da qualidade do produto final liofilizado. Song *et al.* (2005), citaram que o aumento do tamanho dos cristais de gelo formados na etapa de congelamento, é influenciado pela taxa de congelamento.

Figura 3 - Representação esquemática das partes de um liofilizador



Fonte: Prudêncio (2020).

O congelamento lento forma cristais de grande tamanho, sendo que isto resultará num tamanho grande de poros, para que haja uma otimização no tempo de desidratação. Contudo, os grandes cristais de gelo poderão gerar o rompimento das paredes celulares alterando assim o teor nutritivo e a textura da matéria-prima (SONG *et al.*, 2005; DAS; BORDOLOI; GANGULY, 2014). Savo, Dragan e Miladin (2012), relataram que o processo da desidratação ocorre com o calor latente da própria matéria-prima, e mesmo com a dissipação de calor durante o processo, a sua temperatura permanece constante.

Ratti (2001) afirmou que, devido às baixas temperaturas necessárias para o processo, a maioria das reações, assim como as deteriorações microbianas não progridem, o que resulta na alta qualidade do produto. O produto liofilizado apresenta características próprias como uma grande porosidade, resultando em um produto instantâneo (SAVO; DRAGAN; MILADIN, 2012; DAS; BORDOLOI; GANGULY, 2014; BEDIR; KULEASAN, 2019).

Em relação aos produtos lácteos liofilizados, têm-se uma preocupação também com a oxidação lipídica, que é induzida pelo baixo teor de umidade sendo recomendado para evitá-la o uso de embalagens adequadas (BARBOSA-CANOVAS *et al.*, 2005; SAVO; DRAGAN; MILADIN, 2012).

Quando comparado com outros processos convencionais de desidratação a liofilização apresenta diversas vantagens, sendo a principal delas a manutenção de sabor e aroma (BEDIR; KULEASAN, 2019). Há também diferenças morfológicas significativas entre os produtos liofilizados e atomizados, por conta do processamento. Na atomização a desidratação ocorre por remoção da água por ar seco e quente, no entanto, a remoção de água nem sempre é uniforme, podendo o exterior da gotícula ser seco mais rapidamente que o interior formando uma camada externa rígida na partícula de pó. Já no processo de liofilização, a gotícula se solidifica por congelamento antes da remoção de água e com a sublimação dos cristais de gelo, os poros ficam com uma estrutura uniforme semelhante a estrutura do cristal formado (ROGERS *et al.* 2008).

Com relação as propriedades do alimento obtido pelo processo de liofilização os benefícios são os seguintes: alto rendimento, conservação da estrutura (sem que haja encolhimento ou endurecimento), estabilidade em temperatura ambiente, preservação dos sabores e aroma, preservação do valor

nutritivo, instantaneização, menor peso da amostra o que facilitaria o seu transporte e armazenamento, e aumento da validade (CIURZYŃSKA; LENART, 2011; DAS; BORDOLOI; GANGULY, 2014). Entretanto, apesar destas vantagens a liofilização apresenta alto custo energético, operacional e de manutenção, tornando-se inviável a sua aplicação em alguns produtos (CIURZYŃSKA; LENART, 2011; BEDIR; KULEASAN, 2019). Apesar das desvantagens supracitadas, Lorentzen (1979 *apud* RATTI, 2001) afirmou que a liofilização pode ser considerada economicamente viável, pois, quando comparada com outras tecnologias de desidratação resultam em produtos com excelentes propriedades físicas e químicas gerando aumento do valor comercial do produto. De acordo com Ratti (2001) esta tecnologia é a mais recomendada para ser empregada na obtenção de produtos em pó.

Cabe ressaltar que o sucesso da manutenção das propriedades dos produtos em pó está também associado ao tipo de embalagem utilizada. É recomendado que para estes tipos de produtos a composição do material da embalagem apresente a capacidade de bloquear fatores extrínsecos, como por exemplo, a luz, a umidade, entre outros (GEA, 2010). Dentre os principais produtos lácteos em pó pode-se citar o leite em pó, o queijo em pó e o iogurte em pó.

4.1.1 O leite em pó

De acordo com a Instrução Normativa Nº 53/2018, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o leite em pó é definido como o produto resultante de processos tecnologicamente adequados, resultando na desidratação do leite. De acordo com esta Instrução Normativa o leite em pó é classificado pelo seu teor de gordura como integral, parcialmente desnatado e desnatado. Para o leite em pó integral os teores de gordura precisam ser maiores ou igual a 26,0%, enquanto que para o parcialmente desnatado os teores de gordura precisam ser maiores que 1,5% e menores que 26,0%. Com relação ao leite em pó desnatado o teor de gordura deverá ser menor ou igual a 1,5%. Ainda conforme esta instrução as características sensoriais do leite em pó estão relacionadas ao seu aspecto, que deve ser uniforme e com ausência de grumos,

coloração branco amarelada, sabor e odor depois de diluído em água similar ao leite fluido, e sem a presença de sabor de ranço e agradável ao paladar (BRASIL, 2018).

A aceitação e a intenção de compra do leite em pó pelos consumidores estão relacionadas segundo Hammes (2013), à qualidade sensorial. Ainda de acordo com este autor, na obtenção do leite em pó são utilizados processos tecnológicos como a padronização do leite (desnate), a pasteurização, a concentração/evaporação, a atomização e de forma opcional a instantaneização. Desta forma, as operações unitárias consideradas básicas na obtenção do leite em pó são as etapas de evaporação (concentração) e desidratação por pulverização (atomização) (HENNING, *et al.*, 2006; HAMMES, 2013; ROSSI *et al.*, 2018 *apud* VIDAL; NETTO, 2018). Para o processamento do leite em pó, precedente às duas etapas mencionadas acima, faz-se o beneficiamento do leite padronizando, pasteurizando e homogeneizando-o, sendo esse último importante para obter-se um pó com melhor solubilidade (ROSSI *et al.*, 2018 *apud* VIDAL; NETTO, 2018).

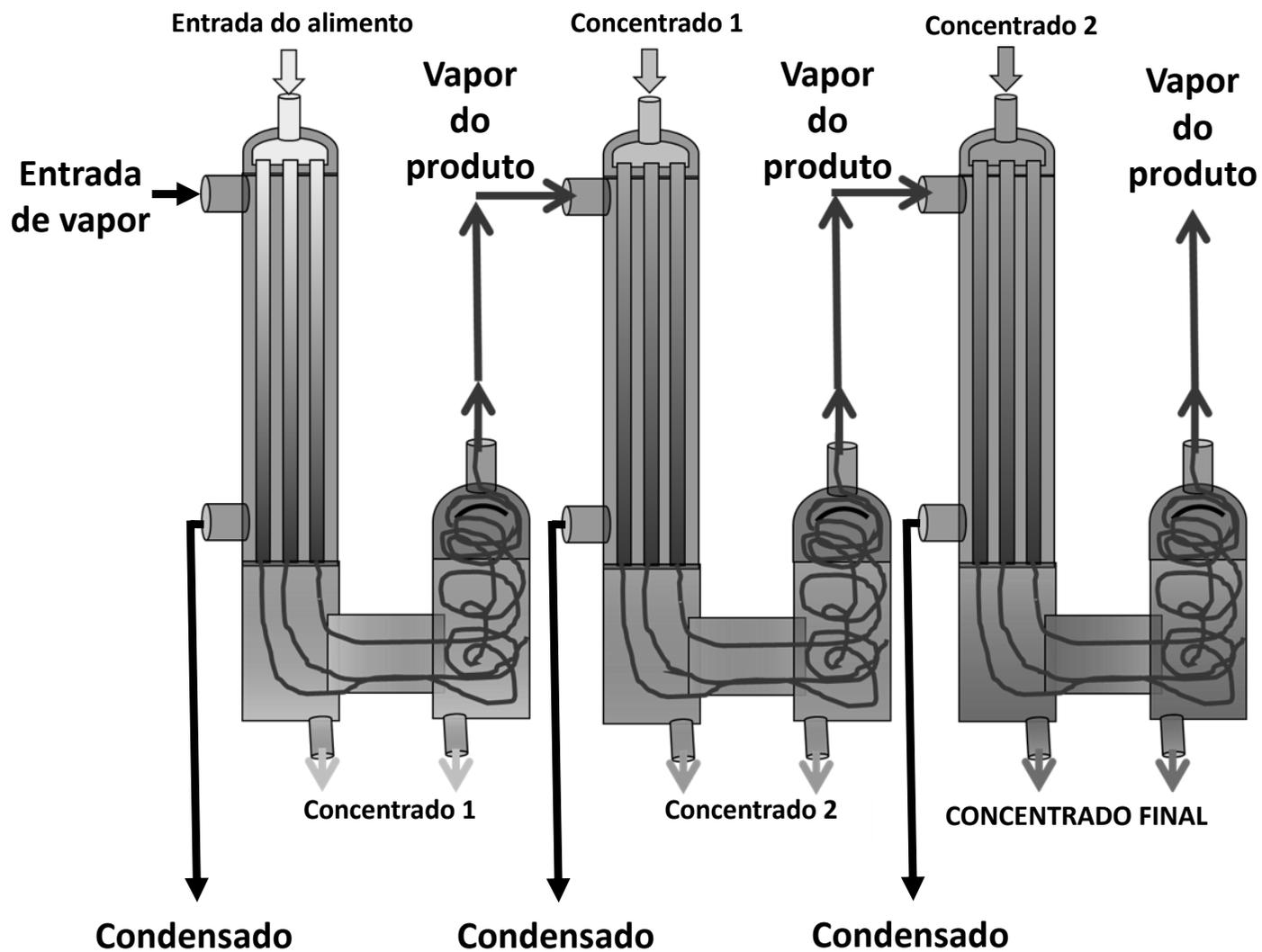
O processo de concentração do leite é realizado em evaporadores de múltiplos efeitos de filme descendente (Figura 4). Essa etapa do processamento é importante porque nela se obtém a remoção parcial da água, à pressão reduzida, com temperatura entre 50°C – 60°C, reduzindo gastos energéticos na etapa seguinte que é a atomização do leite concentrado (ROSSI *et al.*, 2018 *apud* VIDAL; NETTO, 2018). Vale ressaltar que caso não fosse realizada a concentração prévia do leite os custos seriam maiores.

A atomização (*spray drying*), por sua vez, consiste em remover a água do leite parcialmente evaporado, em um curto tempo de desidratação, de forma a minimizar prejuízos nutritivos, sensoriais e tecnológicos para o leite em pó. A desidratação por *spray drying* é aplicada em grande escala sendo relevante a sua utilização em alimentos como o leite (KIM; CHEN; PEARCE, 2009). De forma sucinta, esse método consiste em transformar gotículas do leite previamente concentrado, em pós, dentro de uma câmara com formato cilíndrico e fundo cônico, contendo um ciclone cuja função é separar o ar úmido das pequenas partículas de pós (BIRCHAL; PASSOS, 2005).

Kim, Chen e Pearce (2009) citaram que a corrente de ar seco que passa pelo atomizador, seja pelo sistema de bico ou disco rotativo, deve estar numa temperatura entre 180°C e 220°C. O leite em pó poderá ser submetido, depois da desidratação, a um processo de instantaneização. Este processo pode ser realizado no leite em pó através da adição de um aditivo químico, ou empregando um processo físico. Este último é denominado de aglomeração (HENNING, *et al.*, 2006; ROSSI *et al.*, 2018 *apud* VIDAL; NETTO, 2018) (Figura 5).

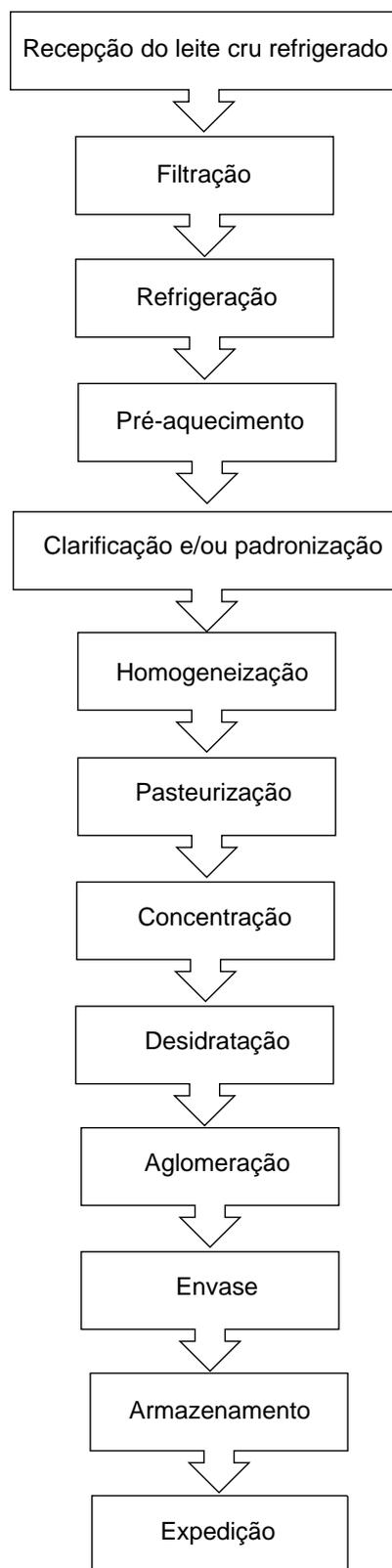
O processo químico é obtido por meio da adição de um emulsificante (HENNING, *et al.*, 2006; ROSSI *et al.*, 2018 *apud* VIDAL; NETTO, 2018). Conforme a RDC Nº 244/2018 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) a lecitina de soja é o único emulsificante permitido para obter um leite em pó instantâneo, sendo que o limite máximo de uso deste emulsificante é de 0,5 g de lecitina por cada 100 g de leite em pó (ANVISA, 2018).

Figura 4 - Representação esquemática de um evaporador de múltiplos efeitos filme descendente



Fonte: Prudêncio (2020)

Figura 5 - Fluxograma representando as etapas de obtenção do leite em pó



Fonte: O próprio autor.

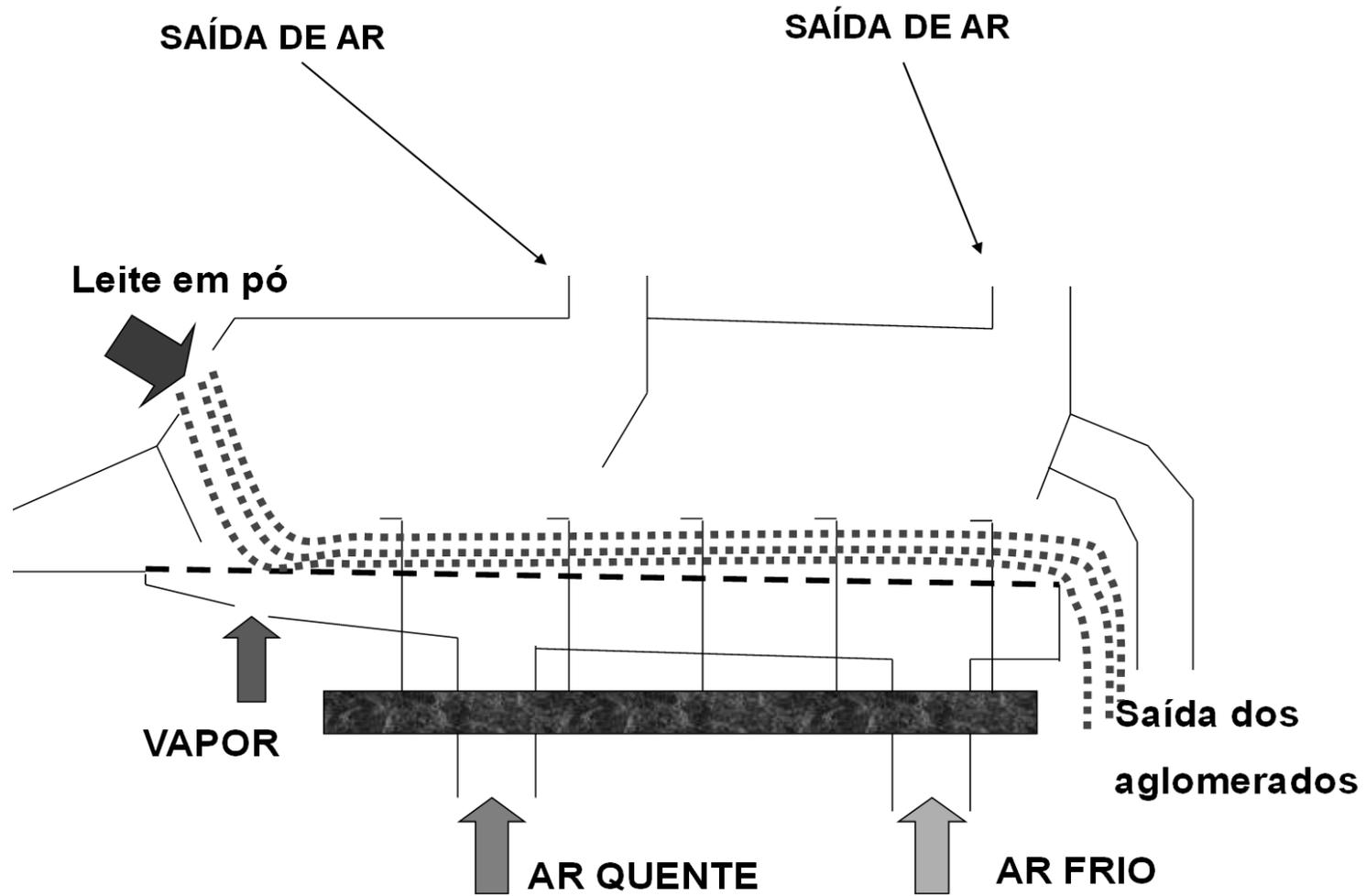
A instantaneização por aglomeração de partículas, por sua vez, pode ocorrer por um processo direto ainda na etapa de desidratação, ou após essa etapa utilizando um secador de leito fluidizado. O processo direto iniciado no atomizador começa com colisões entre as partículas úmidas e as partículas secas. Um exemplo da formação dos aglomerados é com o retorno dos finos que são redirecionados do ciclone para o atomizador (HENNING, *et al.*, 2006; ROSSI *et al.*, 2018 *apud* VIDAL; NETTO, 2018). Quando empregado um secador de leito fluidizado na obtenção de um leite em pó instantâneo, este estará localizado depois do equipamento *spray dryer*. Este equipamento geralmente é vibratório e, resulta na formação de pós aglomerados que apresentam identidade física própria.

No secador de leito fluidizado, o leite em pó é pulverizado com um líquido aglutinante, ou seja, o vapor de água, que é responsável por agrupar agrupa as partículas em tamanhos maiores que 100 μm . Nas etapas seguintes ocorre a remoção da água em excesso por um ar de desidratação, e ainda um resfriamento do pó por ar frio (Figura 6). O produto final possui característica de reagrupamento das partículas, com o mesmo teor de umidade de entrada no secador de leito fluidizado (HENNING, *et al.*, 2006; ROSSI *et al.*, 2018 *apud* VIDAL; NETTO, 2018). Desta forma, o leite em pó não instantâneo ao ser adicionado em um solvente, como a água, forma uma película concentrada com as partículas superficiais, tornando-se resistente ao umedecimento da parte interna do aglomerado, impedindo-o de dispersar-se rapidamente. Com o processo de instantaneização ocorre uma melhora das propriedades desse pó, seja com a aglomeração das partículas ou com a adição do emulsificante, há uma maior dispersão do pó no solvente, aumentando a sua molhagem e velocidade de dissolução (GEA, 2010).

O leite em pó não é comercialmente produzido por liofilização, mas estudos foram realizados com esse processo de desidratação em amostras de leite desnatado e o produto obtido apresentou ótimas propriedades físicas. Foram feitos testes de molhabilidade em condições recomendadas para esse tipo de amostra e, percebeu-se também uma maior espalhabilidade e dispersibilidade, resultando em um produto com melhores características

quando comparados com leite em pó desnatado obtido pelo processo de desidratação por *spray drying* (ROGERS *et al.* 2008).

Figura 6 - Representação das etapas de um secador de leito fluidizado



Fonte: Prudêncio (2020).

Em substituição a evaporação tradicional do leite, empregando o evaporador de múltiplos efeitos filme descendente, têm-se utilizado para concentrá-lo o processo de separação por membranas. Santos, Maciel e Seixas (2014) citaram que quando comparados aos diversos processos de separação convencionais, usados industrialmente, os processos de separação por membranas se destacam pelo baixo consumo energético. Outras vantagens destacadas por estes autores no uso do processo de separação por membranas seriam a possibilidade de operar tanto em sistema contínuo, quanto em batelada. De acordo com Santos, Maciel e Seixas (2014 *apud* PRUDÊNCIO *et al.*, 2004) os principais processos de separação por membranas utilizados para concentrar o leite são a microfiltração, a ultrafiltração e a nanofiltração que se diferenciam pelos tamanhos dos poros das membranas utilizadas e, pelos parâmetros de operação como o valor para a pressão.

Os processos com membranas são usados para substituir, total ou parcialmente, outros processos convencionais da indústria leiteira, como a evaporação. Entretanto, como amplamente revisado para todos os processos de membrana acionados por pressão, a principal desvantagem em usar UF para concentração de leite é o declínio no fluxo de permeado devido a dois fenômenos que são a camada de polarização, que é reversível, e o entupimento do depósito, que é irreversível, creditados à proteína do leite e a gordura, respectivamente (LEU *et al.*, 2017).

4.1.2 O queijo em pó

Conforme a Portaria Nº 355/1997, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) considera-se queijo em pó o produto obtido por processos adequados tecnologicamente, como fusão e desidratação, de uma mistura de tipos de queijo, adicionado ou não de outros produtos de origem láctea e/ou condimentos, especiarias ou demais substâncias alimentícias, sendo o queijo o ingrediente majoritário deste tipo de produto. Os ingredientes opcionais que podem ser adicionados são manteiga, leite, leite em pó, creme, açúcares, caseinatos, amidos, amidos modificados, extrato de levedura, cloreto de sódio, condimentos, entre outros. Todos esses ingredientes que não fazem

parte da formação da base láctea devem ser adicionados, combinados ou isolados, na proporção máxima de 30% (m/m) em relação ao produto final, e os amidos ou amidos modificados na máxima proporção de 3% (m/m) do produto final (BRASIL, 1997).

Os progressos na ciência e tecnologia conduziram o curso da produção e comercialização, que tem crescido significativamente, baseado no entendimento dos constituintes do leite, nos mecanismos de coagulação, no tratamento e microbiologia do leite, na maturação e na mecanização dos processos de produção dos queijos. Foram por meio desses avanços que a indústria se tornou capacitada para produzir queijos com valor nutricional e funcionalidade desejados. Algumas das importantes propriedades físicas observadas em queijos são: viscosidade, elasticidade, capacidade de espalhamento, fusão e trituração. Essas características podem ser influenciadas pelos parâmetros dos tratamentos térmicos, e ainda, pela variedade específica desejada de queijo, por meio da qualidade do leite, tipo de cultura usada na fermentação do queijo e teor de umidade (HENNING *et al.*, 2006).

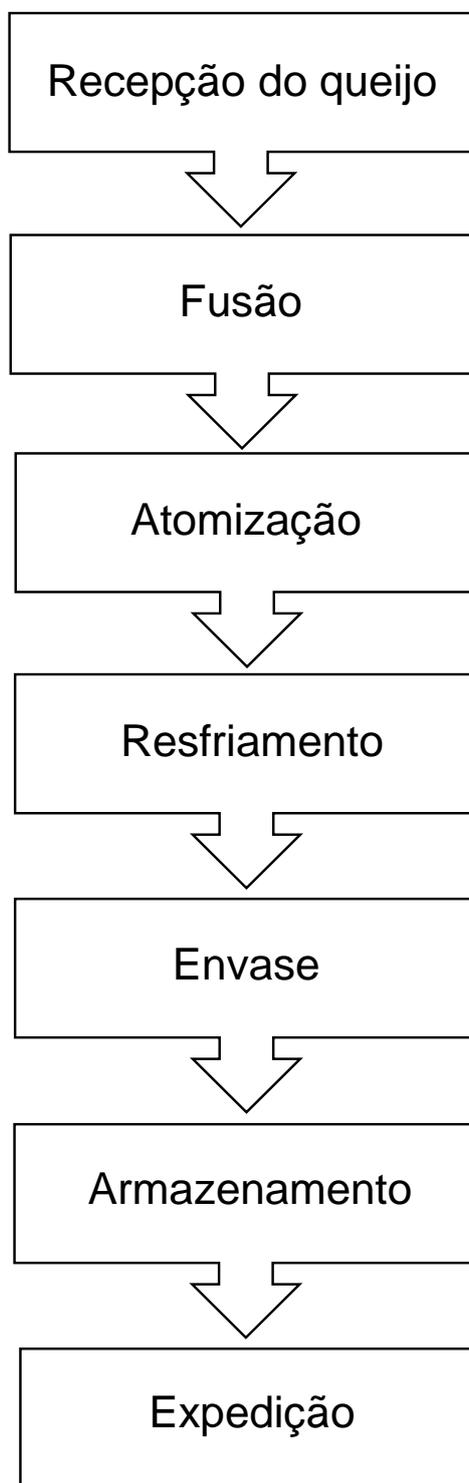
As etapas para a obtenção do queijo em pó estão apresentadas na Figura 7. A transformação do queijo em queijo em pó envolve as etapas de fusão do queijo que é feita visando a alimentação do *spray dryer*, assim primeiramente se deve remover a casca do queijo que é então, moído, aquecido e agitado conjuntamente com ingredientes e aditivos, sendo que ao final apresentará cerca de 35 % de sólidos totais (SHARMA; JANA; CHAVAN, 2012; KOCA; ERBAY; KAYMAK-ERTEKIN, 2015). Esta pasta de queijo é encaminhada ao *spray dryer* cuja temperatura de entrada do ar neste equipamento varia de 180°C a 190°C. As temperaturas de entrada do ar, pressão do atomizador e temperatura de saída do ar tem relação direta com as variações das características físicas dos queijos em pó. Dentre esses, o critério mais relevante no processamento de queijos em pó é a temperatura do ar de saída, pois promove ao produto uma mudança na coloração (SHARMA; JANA; CHAVAN, 2012; KOCA; ERBAY; KAYMAK-ERTEKIN, 2015). Observa-se que a elevação da temperatura do ar de saída dos pulverizadores, em torno de 100°C, pode induzir nos queijos em pó a reação de Maillard (KOCA; ERBAY; KAYMAK-ERTEKIN, 2015).

Dentre os defeitos que podem ocorrer durante o processamento de queijos em pó, destaca-se o depósito da matéria-prima na câmara de desidratação (SHARMA; JANA; CHAVAN, 2012). Os queijos desidratados por atomização podem ser aplicados, reconstituídos ou não, em produtos de panificação, massas, bolos, pizzas e como aditivos, principalmente, em biscoitos, molhos, em sopas e macarrão sabor de queijo (BEDIR; KULEASAN, 2019).

Koca, Erbay e Kaymak-Ertekin (2015) avaliaram a composição de queijos em pó, em diversas condições de desidratação por atomização, e relataram não haver diferenças significativas entre os produtos. Contudo, a redução da temperatura do ar de saída promoveu melhora nas características de densidade aparente, dispersibilidade, molhabilidade e no índice de solubilidade do queijo em pó. Além disso, a baixa pressão na atomização produziu efeitos favoráveis nas características de dispersibilidade e molhabilidade do queijo em pó (SHARMA; JANA; CHAVAN, 2012; KOCA; ERBAY; KAYMAK-ERTEKIN, 2015).

Em estudos com queijo branco em pó, foi possível determinar teores de atividade de água de 0,3 e umidade menores que 2,85%, em diferentes condições de desidratação por pulverização, destacando-se como um produto seguro do ponto de vista microbiológico (KOCA; ERBAY; KAYMAK-ERTEKIN, 2015).

Figura 7 - Fluxograma representando as etapas de obtenção do queijo em pó



Fonte: O próprio autor.

4.1.3 O iogurte em pó

O iogurte pode ter sua vida útil aumentada ao ser conservado na condição de um pó, por meio da redução do seu teor de água. O iogurte em pó é um importante produto para a indústria de alimentos pois pode ser usado para consumo direto (após sua reconstituição), ou como iniciador de cultivo de iogurte por seu elevado teor de bactérias (KOÇ *et al.*, 2014).

Segundo Krasaekoopt e Bhatia (2012) o iogurte em pó é usado na elaboração de muitos alimentos, sendo adicionado por sua praticidade e características nutricionais e sensoriais (KUMAR; MISHRA, 2004). O processo de obtenção desse produto lácteo em pó pode ser alcançado por diferentes operações, dentre as quais pode-se citar como exemplo, a atomização (*spray drying*) e a desidratação por micro-ondas (KUMAR; MISHRA, 2004). Kumar e Mishra (2004) ressaltaram a importância de fazer a retirada do soro, por ultrafiltração ou algum método mecânico, antes de submeter-se o iogurte ao processo de atomização.

A operação unitária principal na produção comercial do iogurte em pó é a desidratação empregando o método de atomização (*spray drying*), com o uso do iogurte previamente fermentado, contendo as culturas de *Lactobacillus bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus* (KRASAEKOOPT; BHATIA, 2012). Oberman e Libudizisz (1998 *apud* WOOD, 1998) ressaltaram a importância da relação protossimbiótica das bactérias adicionadas no iogurte.

Os autores Kumar e Mishra (2004), afirmaram a importância de um processamento adequado para que mantenham-se no iogurte em pó as propriedades do produto original. Conforme Silva *et al.* (1997 *apud* KUMAR; MISHRA, 2004), durante a desidratação do iogurte empregando o método de *spray drying*, modificações das características morfológicas das gotículas de iogurte podem resultar em alterações que estão diretamente associadas com a integridade e porosidade do material. De acordo com Silva *et al.* (1997 *apud* KUMAR; MISHRA, 2004) este método de desidratação em iogurtes pode prejudicar a retenção de compostos como o acetaldeído. Os mesmos autores citaram que ficaram retidas quantidades mínimas no iogurte em pó do composto acetoína. Apesar disso, verificou-se que, a temperatura do ar de saída do

atomizador (70°C) não modificou de forma significativa os índices de solubilidade e dispersibilidade do iogurte em pó (SILVA *et al.*, 1997 apud KUMAR; MISHRA, 2004). Contudo, o controle dos compostos aromáticos no iogurte em pó, pode ocorrer por meio do monitoramento dos parâmetros de processamento. Uma das alternativas seria a adição de hidrocolóides, como a goma xantana e a carragena, que resultaram numa melhora na retenção de acetaldeído, além de desenvolver melhora na dispersibilidade e na solubilidade do iogurte em pó (FIGUEIROA *et al.*, 2002 apud KUMAR; MISHRA, 2004).

A reconstituição do iogurte em pó, é um desafio para a indústria pois assemelhar as suas características de sabor, estrutura do gel e textura com as do iogurte fresco pode ser difícil de retornar depois da desidratação. Kumar e Mishra (2004), apontam a adição de estabilizantes, como medida que pode ser adotada para promover melhora na viscosidade do iogurte reconstituído. Além disso, os mesmos autores apresentam que há melhores propriedades de reconstituição em iogurtes desidratados por liofilização, quando comparados com os iogurtes desidratados por atomização. Desfavoravelmente, esse métodos ainda resultam em maiores custos de produção em larga escala (KUMAR; MISHRA, 2004).

Em relação à viscosidade aparente do iogurte em pó reconstituído, os autores Sakin-Yilmazer *et al.* (2014) demonstraram em seus estudos, que a temperatura de entrada e saída do atomizador é um dos fatores de maior influência na mudança dessa propriedade física. Neste estudo observou-se que os valores de viscosidade sofreram reduções quando empregadas temperaturas elevadas no ar de saída do atomizador porque também resultou no aumento da temperatura do iogurte em pó. O aumento da temperatura do iogurte em pó, resulta em danos destrutivos à rede proteica e a desnaturação proteica (SAKIN-YILMAZER *et al.*, 2014). Cuidados apropriados no armazenamento do iogurte em pó também influenciam na absorção de água pelo mesmo. Assim, as condições do ambiente de armazenamento como o controle de umidade do ar, aliado ao uso da embalagem correta, com menor permeação de gases, permitirá um menor dano ao produto (KUMAR; MISHRA, 2004).

4.2 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DOS PRODUTOS LÁCTEOS EM PÓ

Industrialmente, para o processamento de produtos lácteos em pó é fundamental o conhecimento de suas propriedades físico-químicas. Compreender a funcionalidade, ou seja, as características de uso final do produto, permitirá a aplicação tecnológica adequada nas diferentes etapas como processamento, manipulação e armazenamento (ILARI, 2002; FITZPATRICK; BARRINGERB; IGBALA, 2004).

A determinação das propriedades físico-químicas do produto final pode não ser de fácil avaliação, pois dependem não só de um fenômeno único, mas de um conjunto de características físicas do material. Assim muitas vezes recomenda-se avaliar as propriedades físico-químicas da matéria-prima úmida, ao invés de avaliar as partículas de pó secas, para prever as condições ideais de operação e os parâmetros do processo de desidratação (KWAPINSKA; ZBICINSKI, 2005).

Segundo Ilari (2002), o pó pode ser descrito como um produto que possui um comportamento multifásico, não tendo um estado físico muito estabelecido, podendo ter o início das mudanças de fases no decorrer do processo de desidratação, com continuidade ao longo do processamento. Quanto ao conjunto de partículas destacam-se propriedades como umidade e atividade de água; tempo de dissolução; densidade; fluidez e coesividade; e ainda, a determinação da estabilidade.

4.2.1. Umidade e atividade de água

O teor de umidade é um importante aspecto para os alimentos em pó, desde o manuseio, processamento até o armazenamento, pois a água entre as partículas pode afetar diversas outras propriedades físicas como coesão, densidade aparente e adesividade (BARBOSA-CANOVAS *et al.*, 2005). As interações que podem ocorrer entre a água e os demais componentes de um alimento em pó, são determinadas majoritariamente pelos grupos ionizáveis e/ou presença de íons que formarão ligações de hidrogênio, sendo o estado de hidratação dos produtos em pós um fator relevante nas interações entre partículas (HARDY; SCHER; BANON, 2002).

O teor de umidade pode ser determinado por métodos analíticos simples, onde calcula-se o teor de umidade pesando a amostra antes e depois do processo de desidratação em estufa, até peso constante. Métodos mais sofisticados também podem ser usados para na determinação do teor de umidade, entre eles estão os métodos de absorção de infravermelho (BARBOSA-CANOVAS *et al.*, 2005).

A atividade de água (A_w) é um dos fatores mais importantes na prevenção da oxidação de produtos lácteos em pó, exercendo influência na validade e na morfologia do produto (REDDY *et al.*, 2014). Contudo, avaliar unicamente o teor de atividade de água, não permitirá alcançar plenamente o conhecimento dos seus efeitos no produto, assim, é preciso analisar as interações que a água possui com os outros componentes do alimento. Também deverá se determinar a atividade de água de referência para então controlar as condições de desidratação e de transferência de umidade ao longo do armazenamento, minimizando processos de escurecimento e estabilizando processos oxidativos do produto (HARDY; SCHER; BANON, 2002). Em conformidade com esses autores Kasai (2014) afirma, que variadas reações de deterioração nos alimentos são dependentes da atividade de água e do teor de umidade dentre as quais pode-se citar o escurecimento não enzimático (reação de Maillard) e enzimático, que possuem uma relação de aumento direto das taxas de reações conforme aumenta a atividade de água, a hidrólise, e as reações oxidativas (KASAAI, 2014).

4.2.2. Tempo de dissolução

A dissolução pode ser definida como a capacidade de um produto em pó em se dispersar na água, com uma taxa constante de agitação. A desintegração completa ocorre após a dissolução dos aglomerados do produto a partículas individuais, não sendo possível a visualização de grumos (GEA, 2010; SHARMA; JANA; CHAVAN, 2012). O curto tempo de dissolução é uma característica desejável entre os consumidores porque é uma prática frequente e muito considerada na comercialização de produtos lácteos (SHARMA; JANA; CHAVAN, 2012). Existem quatro propriedades de dissolução relacionadas a um

produto em pó que são a molhabilidade, a decantação, a dispersibilidade e a solubilidade (BARBOSA-CANOVAS *et al.*, 2005).

A molhabilidade é descrita como a capacidade de um líquido em penetrar um sistema de pós aglomerados, ou seja, é a propriedade primária da reconstituição das partículas. A molhabilidade dos pós pode ser influenciada por três fatores principais. O primeiro é com relação ao tamanho das partículas, que interfere diretamente na resposta de absorção, como por exemplo, pós com partículas pequenas por possuírem uma grande área específica não são facilmente molháveis. Segundo, pode ser definida pela temperatura do solvente, que quando elevada tende a facilitar que o pó se molhe e absorva água. Por fim, vê-se que, as partículas que possuem gordura livre em sua superfície tendem e apresentar baixa molhabilidade, sendo necessário a adição de tensoativos (lecitina) a fim de melhorar essa propriedade (BARBOSA-CANOVAS *et al.*, 2005; SHARMA; JANA; CHAVAN, 2012).

A decantação de um recipiente consiste na submersão total dos pós. Essa propriedade é dependente do tamanho e da densidade das partículas, pois quanto maiores e mais densas forem as partículas de pós maiores serão as quantidades de depósito de pós no fundo do recipiente. É necessário que ambas as características estejam presentes em altos valores para que os aglomerados precipitem mais rapidamente (BARBOSA-CANOVAS *et al.*, 2005).

A dispersibilidade é caracterizada pela dispersão dos aglomerados em um sistema sob pouca agitação. Entende-se, então, que a dispersibilidade está ligada a facilidade das partículas se distribuírem no volume de água em que serão reconstituídos. Essa propriedade pode ser influenciada por vários atributos individuais, e por isso o equilíbrio dessas propriedades pode proporcionar um comportamento ideal para a reidratação (BARBOSA-CANOVAS *et al.*, 2005). Pós com boa dispersibilidade usualmente demonstram ter também boa molhabilidade (GEA, 2010; SHARMA; JANA; CHAVAN, 2012).

A solubilidade pode ser definida como a taxa de dissolução de aglomerados em um líquido, sendo uma propriedade dependente do estado físico e da composição química do pó (BARBOSA-CANOVAS *et al.*, 2005). Vários são os fatores que podem levar a um produto lácteo em pó com baixa solubilidade, dentre os quais pode-se destacar o uso somente do processo de

desidratação por atomização; elevada viscosidade do produto e temperaturas no processamento; leite com altos teores de ácido láctico resultante da atividade bacteriana. Observa-se, que, com a tecnologia adequada de desidratação a taxa de solubilidade pode chegar a 100% nos produtos finais (GEA, 2010).

Existem vários métodos analíticos possíveis para avaliar o tempo de dissolução de um produto em pó. Conforme Lee e Yoo (2020), essa determinação pode ocorrer com adição da amostra em água destilada (na proporção de 1 para 1, sendo 100g de amostra para 100 mL de água destilada), com agitação uniforme, empregando agitador magnético (nível máximo) em temperatura ambiente. O líquido agitado será avaliado visualmente contra um fundo preto quanto à clareza/transparência e partículas residuais. O tempo de dissolução da amostra será definido como o tempo em que as partículas não podem mais ser visualizadas. Em concordância com Lee e Yoo (2020), GEA (2010) afirma que esse é um método analítico rápido e com alta reprodutibilidade.

As qualidades instantâneas dos pós são importantes para a indústria de alimentos, sendo então determinada para cada segmento um controle para obter-se as qualidades e tempo desejado de dissolução. (BARBOSA-CANOVAS *et al.*, 2005). Os processos de aglomeração relacionam-se diretamente com o tempo de dissolução de um produto, além de melhorar as características de molhabilidade e dispersibilidade do produto proporcionando um menor tempo de dissolução (BARBOSA-CANOVAS *et al.*, 2005; REDDY *et al.*, 2014).

4.2.3. Densidade

As partículas de um pó possuem diferentes características, podendo apresentar cavidades, rachaduras, poros, entre outras formações que revelam a complexidade da avaliação da densidade das partículas. De maneira geral, a densidade de uma partícula de pó, pode ser definida pela divisão da massa total sob seu volume total. Sendo assim, destacam-se três tipos de densidade, a densidade aparente, a densidade real e a densidade de partícula efetiva (BARBOSA-CANOVAS *et al.*, 2005).

A densidade aparente de uma partícula pode ser expressa como sendo o resultado da divisão da massa de uma partícula pelo seu volume, após a remoção total do ar, pela exclusão dos poros abertos dessas partículas, e é caracterizada por sua complexidade, dependendo de um conjunto de propriedades, como o ar presente nas partículas (ar intersticial), e a fluidez (BARBOSA-CANOVAS *et al.*, 2005; GEA, 2010). Além disso, Kwapinska e Zbicinski (2005) relataram que a morfologia, o tamanho e a distribuição das partículas de pó também são fatores que influenciam na densidade aparente destes. Os mesmos autores afirmam que, quanto maior forem as partículas maior será a densidade aparente do pó, podendo ser medida empregando o método de deslocamento dos líquidos ou por métodos de deslocamento de gás, com o uso de picnômetros ou densímetros (BARBOSA-CANOVAS *et al.*, 2005).

A densidade aparente é uma propriedade fundamental para a produção dos produtos lácteos em pó, uma vez que influencia de forma econômica e comercial nessa indústria. Sob o ponto de vista econômico, tende a ser mais vantajoso quando os produtos em pó possuem alta densidade, pois assim, o transporte e o armazenamento ocorrem com menores volumes e, conseqüentemente, com menores custos. Por outro lado, do ponto de vista comercial, ou seja, da funcionalidade do produto, deseja-se obter produtos lácteos em pó com baixa densidade aparente. Essa baixa densidade é obtida por aglomeração, um processo físico de instantaneização, resultando em um produto em pó instantâneo, uma característica altamente requerida pelos consumidores (GARDINER *et al.*, 2002; GEA, 2010).

A densidade real, por sua vez, é obtida pela divisão da massa da partícula por seu volume, com a exclusão dos poros fechados e abertos, partindo da composição da própria amostra. A forma de medição dessa densidade também ocorre por métodos de deslocamento de fluidos, com o uso de líquidos ou de um gás, através de um picnômetro (BARBOSA-CANOVAS *et al.*, 2005). Por outro lado, a densidade efetiva é a massa da partícula dividida pelo seu volume, com a inclusão de poros abertos e fechados. Sua caracterização é importante em processos com fluidização, que envolvem fluxo de massa de ar em volta das partículas, ou de sedimentação que compreendem o fluxo de líquidos por meio de leitos compactados (BARBOSA-CANOVAS *et al.*, 2005).

A densidade do conjunto das partículas, é determinada como densidade *bulk*, e diferencia-se das demais densidades porque avalia o volume dos espaços vazios que estão presentes entre as partículas (BARBOSA-CANOVAS *et al.*, 2005).

4.2.4. Fluides e coesividade

A fluides ideal de um pó deve apresentar aglomerados ou partículas grandes, relacionando-se com a densidade aparente do pó e, por isso, quando o produto apresentar um valor mais alto para a densidade aparente estará propenso a ter características de uma boa fluides (GEA, 2010).

Para alguns pós, percebe-se uma redução significativa da fluides do produto avaliado com partículas pequenas, em razão da elevada área superficial do pó. Com a grande área de contato, as partículas do pó tornaram-se mais propensas à ação das forças coesivas superficiais tornando o fluxo mais coeso (FITZPATRICK; BARRINGERB; IGBALA, 2004; REDDY *et al.*, 2014). Além da redução do tamanho das partículas, as condições do ambiente, como o aumento da umidade do ar pode tornar os pós mais coesos (GEA, 2010).

A fluides de um produto em pó pode ser influenciada de forma majoritária pelo tamanho da partícula e pelo teor de umidade. Contudo, outros parâmetros podem exercer ação de resistência ao fluxo como as interações de forças coesivas e de fricção interna, que estão relacionados com a estrutura física e composição das partículas dos pós (FITZPATRICK; BARRINGERB; IGBALA, 2004).

Em relação a composição dos pós, a gordura pode ser um fator bloqueador da fluides, pois quando em contato com elevadas temperaturas sofre um derretimento tornando-se um líquido viscoso, com propriedades adesivas. Assim, pós com menor teor de gordura superficial dispõem de uma maior fluides (ILARI, 2002; SHARMA; JANA; CHAVAN, 2012).

Avaliar o fluxo do pó em si e relacionar com uma metodologia de medida não é uma tarefa fácil, pois por ser uma propriedade comportamental, a fluides de um pó deve ser vista como uma integração de partículas, sujeita a diversas interações (ILARI, 2002).

As amostras de pó podem ser avaliadas quanto à fluidez e coesividade em termos do índice de Carr (IC) e da Taxa de Hausner (TH), respectivamente. A Tabela 1 ilustra as especificações do índice de Carr e da taxa de Hausner. Tanto IC quanto a TH serão calculadas a partir da determinação da densidade *bulk* e da densidade *bulk* compactada, através das Equações 1 e 2, conforme citado por Reddy *et al.* (2014).

Tabela 1 - Especificações para o índice de Carr e para a taxa de Hausner

Fluidez	Índice de Carr (%)	Taxa de Hausner
Excelente	0 - 10	1,00 – 1,11
Boa	11 - 15	1,12 – 1,18
Razoável	16 - 20	1,19 – 1,25
Aceitável	21 - 25	1,26 – 1,34
Ruim	26 - 31	1,35 – 1,45
Muito ruim	32 - 37	1,46 – 1,59
Péssima	> 38	> 1,60

Fonte: Adaptada de LEBRUN *et al.* (2012).

$$\text{Índice de Carr (IC)} = \frac{\text{Densidade bulk aerada} - \text{Densidade compactada}}{\text{Densidade bulk aerada}} \times 100 (\%) \quad (1)$$

$$\text{Taxa de Hausner (TH)} = \frac{\text{Densidade bulk aerada}}{\text{Densidade compactada}} \quad (2)$$

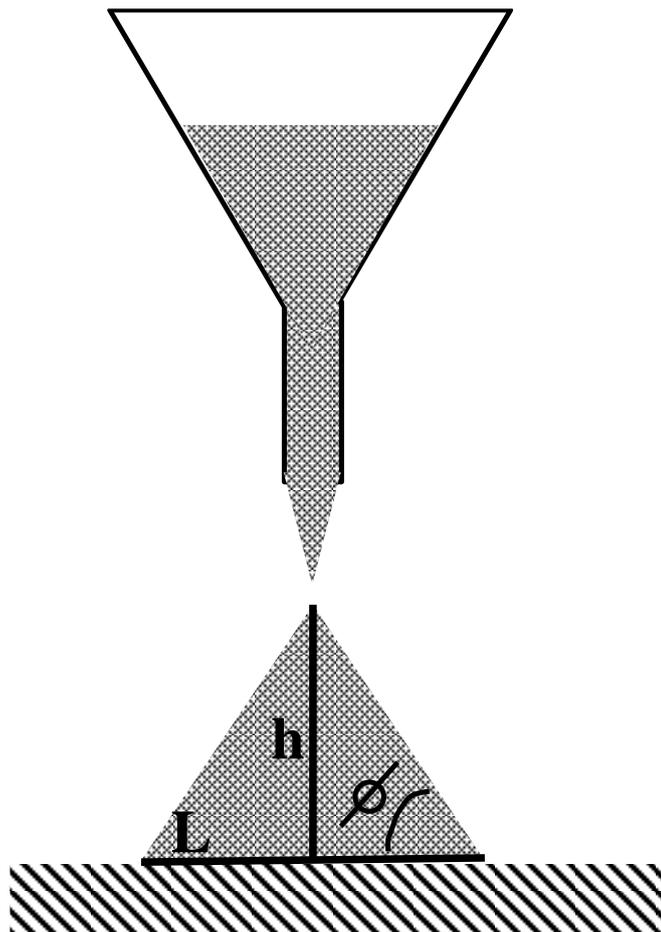
Outro método que determina a fluidez é feito por meio da mensuração do ângulo de repouso, uma medida simples empregada por métodos experimentais, que usa como parâmetro a análise de escoabilidade (ABDULLAH; GELDART, 1999 *apud* ESCUDEIRO; FERREIRA, 2014). O ângulo de repouso define-se

como o ângulo θ formado no repouso de um material sobre uma plataforma (BARBOSA-CANOVAS *et al.*, 2005).

Como calculado por Escudeiro e Ferreira (2014) empregando a Equação 3, pode-se calcular o ângulo de repouso utilizando um funil de vidro com orifício de descarga de aproximadamente 20 mm de diâmetro, cujo ângulo da parede é de 65° . O funil será mantido a uma distância fixa de uma superfície lisa e as amostras serão despejadas por gravidade, conforme demonstrada na Figura 8. O diâmetro (L) e a altura (h) do monte cônico formado serão medidas e o ângulo de repouso calculado pela Equação 3.

$$\theta = \arctg \left(\frac{H}{L/2} \right) \quad (3)$$

Figura 8 - Esquema de medição do ângulo de repouso das amostras em pó



Fonte: O próprio autor.

Os critérios de classificação para o escoamento dos pós serão obtidos através do resultado obtido para o ângulo de repouso como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Critérios de escoabilidade para pós empregando o cálculo do ângulo de repouso

Ângulo de repouso (°)	Escoamento
25 - 30	Muito livre
31 - 38	Livre
39 - 45	Médio
46 - 55	Coesivo
> 55	Muito difícil

Fonte: Escudeiro e Ferreira (2014).

Barbosa-Canovas *et al.* (2005), citaram que a coesão de produtos lácteos em pó aumenta com a elevação do teor de umidade aumentando por consequência a plasticidade do sistema. Essa característica plástica é desenvolvida por causa das pontes sólidas ou líquidas depois do processo de desidratação ou recristalização do produto, isso faz com que o ângulo de repouso aumente (BARBOSA-CANOVAS *et al.*, 2005).

4.2.5. Determinação da estabilidade

A estabilidade de armazenamento é um fator importante para produtos lácteos em pó e quase que integralmente são observados efeitos no produto durante o período de armazenamento. Sabe-se, que, o processo de desidratação de um alimento favorece o desenvolvimento de propriedades higroscópicas, ou seja, tornam-se sensíveis a mudanças de temperatura no armazenamento e principalmente à umidade. Desta forma, percebe-se que a falta de controle dos parâmetros de temperatura e umidade expõe os pós, tornando-os mais suscetíveis a processos deteriorativos durante o armazenamento (ILARI, 2002; SHARMA; JANA; CHAVAN, 2012).

O principal fator de influência no armazenamento é a oxidação dos compostos, por isso avaliar a estabilidade oxidativa dos produtos lácteos em pó

pode ser definitivo para o entendimento de um adequado armazenamento. A oxidação dos lipídios, por exemplo, inicia-se com a formação de radicais livres tendo a capacidade de precursor de reações de oxidação em cadeia (STAPELFELDT; NIELSEN; SKIBSTED, 1997).

A oxidação lipídica durante o armazenamento pode ser influenciada e ter sua velocidade aumentada por fatores como a temperatura, presença de oxigênio e atividade de água (MCCLEMENTS; DECKER, 2010 *apud* DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram abordados os conhecimentos relativos a diferentes produtos lácteos em pó, com ênfase em leite, queijo e iogurte em pó. Estes são produtos muito versáteis, e por estarem dentro do campo de inovações no que se refere a desenvolvimento de produtos lácteos, sua produção e aplicação tem sido estudada e incentivada. Dessa forma, são necessárias tecnologias adequadas para a obtenção de produtos lácteos em pó. Buscou-se por meio deste trabalho explanar os conhecimentos tecnológicos, com destaque para duas operações unitárias, que dentre diferentes processos de desidratação são mais conhecidas, a atomização/pulverização (*spray drying*) e a liofilização (*freeze-drying*). Dentre os parâmetros do processo de atomização pode-se destacar que, a desidratação ocorre por ar quente, em pressão atmosférica, tendo como características da matéria-prima na alimentação do atomizador um alimento fluido ou viscoso. A atomização apesar de não ser adequada para produtos termosensíveis, é o processo mais viável e acessível para a indústria de lácteos, sendo amplamente usado em produções de larga escala. Com relação ao processo de liofilização, o produto é desidratado por sublimação, ou seja, à baixas temperaturas e pressão reduzida (vácuo), com a matéria-prima previamente congelada. Esse processo permite que a qualidade do produto final seja elevada, quando comparado com a atomização, apresentando melhores características de sabor, aroma e até mesmo conservando a estrutura das partículas de pó, contudo o elevado custo energético, operacional e de manutenção não possibilitam que este processo seja usado em larga escala industrial. Também realizou-se nessa revisão bibliográfica um compilado de informações de diferentes fontes acerca de algumas propriedades físico-químicas, tidas como importantes para a funcionalidade dos produtos lácteos em pó, dentre as quais pode-se citar: umidade, atividade de água, tempo de dissolução, densidade, fluidez, coesividade e determinação da estabilidade.

REFERÊNCIAS

- AGROLINK. **Projeto aprovado incentiva produtores de leite em pó**: O Brasil importa leite em pó desnatado e integral principalmente da Argentina e Uruguai. 2019. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/noticias/projeto-aprovado-incentiva-produtores-de-leite-em-po_425110.html>. Acesso em: 11 de novembro de 2020
- ANVISA. Ministério da Saúde. Resolução da Diretoria Colegiada nº 244, de 17 de agosto de 2018. A Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária Dispõe Sobre os Aditivos Alimentares e os Coadjuvantes de Tecnologia Autorizados Para Uso em Leite em Pó. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil União**, Brasília, 21 agosto 2018. Seção 1, p. 64.
- BARBOSA-CANOVAS, G. V. *et al.* **Food powders**: physical properties, processing, and functionality. New York: Plenum, 2005. 388 p.
- BEDIR, T. B.; KULEASAN, H. Determination of microbial properties of freeze dried traditional cheese. **Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology**, v. 7, n. 4, p. 688-692, 2019.
- BIRCHAL, V.S.; PASSOS, M.L. Modeling and simulation of milk emulsion drying in spray dryers. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 22, n. 02, p. 293-302, 2005.
- BRASIL. MAPA. Instrução Normativa nº 53, de 1 de novembro de 2018. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Aprova o Regulamento Técnico Mercosul de Identidade e Qualidade do Leite em Pó. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil União**, Brasília, 16 outubro 2018. Seção 1, p.11-12.
- BRASIL. MAPA. Portaria nº 355, de 4 de setembro de 1997. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Aprova o Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Queijo em Pó. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil União**, Brasília, 4 setembro 1997. Seção 1, p. 1-5.
- CIURZYŃSKA, A. LENART, A. Freeze-drying application in food processing and biotechnology: a review. **Polish Journal of Food and Nutrition Science**, v. 61, n. 3, p. 165-171, 2011.
- DAS, U. K.; BORDOLOI, R.; GANGULY, S. Freeze-Drying Technique and Its Wide Application in Biomedical and Pharmaceutical. **Research Journal of Chemical and Environmental**, v.2, n. 3, p. 1-4,2014.
- EL-SAYED, H. S.; SALAMA, H. H.; EDRIS, A. E. Survival of *Lactobacillus helveticus* CNRZ32 in spray dried functional yogurt powder during processing and storage. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 19, p. 461-467, 2020.
- ERBAY, Z.; KOCA, N. Energetic, Exergetic, and Exergoeconomic Analyses of Spray-Drying Process during White Cheese Powder Production. **Drying Technology**, v. 30, n. 4, p. 435-444, 2012.
- ESCUDEIRO, R. L.; FERREIRA, M. C. Avaliação de índices de escoabilidade de pós obtidos a partir da secagem de suspensões em leitos de jorro. *In*: Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica, 10, 2013, Rio de Janeiro. [S.l.]: **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, 2014, v. 1.

FIGUEIROA *et al.*, (2002) *apud* P. KUMAR, P.; MISHRA, H. N. Yoghurt powder: a review of process technology, storage and utilization. **Food and Bioproducts Processing**, v. 82, p. 133-142, 2004.

FILKOVÁ, I.; MUJUMDAR, A. S. Industrial spray drying systems. *In*: MUJUMDAR, A. S. **Handbook of industrial drying**. 2nd ed. New York: Basel, 1995. v. 1, p. 263-304.

FITZPATRICK, J. J.; BARRINGERB, S. A.; IGBALA, T. Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenike's hopper design methodology to the measured values. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 399-405, 2004.

GARDINER, G. E. *et al.* A spray-dried culture for probiotic Cheddar cheese manufacture. **International Dairy Journal**, v. 12, p. 749-756, 2002.

GEA. **Milk Powder Technology**: Evaporation and Spray Drying. 2010. Disponível em: <<https://www.gea.com/en/search/index.jsp?t=DOCUMENTS&q=evaporation%20and%20spray%20drying&p=0&f=>>. Acesso em: 01 outubro 2020

HAMMES, M. V. **Estudo na influência da adição de lecitina de soja na molhabilidade do leite de búfala em pó obtido por spray-drying**. 2013. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grando do Sul, Porto Alegre, 2013.

HARDY, J. SCHER, J. BANON, S. Water activity and hydration of dairy powders. **Lait**, v. 82, p. 441-452, 2002.

HENNING, D. R. *et al.* Major Advances in Concentrated and Dry Milk Products, Cheese, and Milk Fat-Based Spreads. **Journal of Dairy Science**, v. 89, n. 4, p.1179-1188, 2006.

ILARI, J. L. Flow properties of industrial dairy powders. **Le Lait**, v. 82, p. 383–399, 2002.

INTELLIGENCE, M. **Freeze dried food market**: growth, trends, and forecast (2016 - 2025). 2019. Disponível em: < <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/freeze-dried-food-market>>. Acesso em: 08 de dezembro de 2020

KASAAI, M. R. Use of water properties in food technology: a global view. **International Journal of Food Properties**, v. 17, n. 5, p. 1034-1054, 2014.

KESHANI, S. *et al.* Spray drying: An overview on wall deposition, process and modeling. **Journal of Food Engineering**, v. 146, p. 152-162, 2015.

KIM, E. H. J.; CHEN, X. D.; PEARCE, D. Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 2. Effects of spray drying conditions on the surface composition. **Journal of Food Engineering**, v. 94 p. 169-181, 2009.

KOÇ, B. *et al.* Physical properties of yoghurt poder produced by spray drying. **Journal Food Science Technology**, v. 51, n. 7, p. 1377-1383, 2014.

KOCA, N.; ERBAY, Z.; KAYMAK-ERTEKIN, F. Effects of spray-drying conditions on the chemical, physical, and sensory properties of cheese powder. **Journal Dairy Science**, v. 98, n. 5, p. 2934-2943, 2015.

KRASAEKOOPT, W.; BHATIA, S. Production of yogurt poder using foam-mat drying. **AU Journal of Technology**, v. 15, n. 3, p. 166-171, 2012.

KUMAR, P.; MISHRA, H. N. Yoghurt powder: a review of process technology, storage and utilization. **Food and Bioproducts Processing**, v. 82, p. 133–142, 2004.

KWAPINSKA, M.; ZBICINSKI I. Prediction of final product properties after cocurrent spray drying. **Drying Technology**, v. 23, p. 1653-1665, 2005.

LEBRUN, P. *et al.* Design space approach in the optimization of the spray-drying process. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v. 80, p.226-234, 2012.

LEE, H; YOO, B. Agglomerated xanthan gum powder used as a food thickener: Effect of sugar binders on physical, microstructural, and rheological properties. **Powder Technology**, v. 362, p. 301-306, 2020.

LEU, M. *et al.* Effect of skim milk treated with high hydrostatic pressure on permeate flux and fouling during ultrafiltration. **Journal Dairy Science**, v. 100, p. 7071-7082, 2017.

MCCLEMENTS, D. J.; DECKER, E. A. Lípidios. *In*: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. p. 131-178.

OBERMAN, H.; LIBUDZISZ, Z. Fermented milks. *In*: WOOD, B. J. B. **Microbiology of Fermented Foods**. 2nd ed. London: Blackie Academic and Professional, 1998. v. 1, p. 308-350.

OLIVEIRA, O. W.; PETROVICK, P. R. Secagem por aspersão (spray drying) de extratos vegetais: bases e aplicações. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, n. 4, p. 641-650, 2010.

PRUDÊNCIO, E. S. **Leites de consumo**: leite pasteurizado. 2020. Florianópolis. 22 p. Notas de aula.

RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 311-319, 2001.

REDDY, R. S. *et al.* Influence of processing conditions on functional and reconstitution properties of milk powder made from Osmanabadi goat milk by spray drying. **Small Ruminant Research**, v. 119, p. 130-137, 2014.

ROGERS, S. *et al.* Characteristics of Milk Powders Produced by Spray Freeze Drying. **Drying Technology**, v. 26, n. 4, p. 404-412, 2008.

ROSSI, G. A. M. *et al.* Fluxograma de produção de leite e derivados. *In*: VIDAL, A. M. C.; NETTO, A. S. **Obtenção e processamento do leite e derivados**. São Paulo: 2018. p. 174-220.

SAKIN-YILMAZER, M. *et al.* Rheological behavior of reconstituted yoghurt powder—Anoptimization study. **Powder Technology**, v. 266, p. 433-439, 2014.

SANTOS, J. S.; MACIEL, L. G.; SEIXAS, V. N. C. Processo de separação por membrana (psm): aplicação da tecnologia na indústria láctica. **Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 1, n. 1, p. 210-226, 2014.

SAVO, I.; DRAGAN, M.; MILADIN, B. Specificities of fruit freeze drying and product prices. *Economics of Agriculture*, v. 59, n. 3, p. 461-471, 2012.

SCHUCK, P. Spray drying of dairy products: state of the art. **Lait**, v. 82, p. 375-382, 2002.

SHARMA, A.; JANA, A. H.; CHAVAN, R. S. Functionality of Milk Powders and Milk-Based Powders for End Use Applications—A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v.11, p. 518-528, 2012.

SILVA, A. P. *et al.* (1997) *apud* P. KUMAR, P.; MISHRA, H. N. Yoghurt powder: a review of process technology, storage and utilization. **Food and Bioproducts Processing**, v. 82, p. 133-142, 2004.

SILVA, P. H. F. *et al.* Densidade nutricional e conveniência. *In*: ZACARCHENCO, P. B.; VAN DENDER, A. G. F.; REGO, R. A. **Brasil Dairy Trends 2020: tendências do mercado de produtos lácteos**. 1. ed. Campinas: ITAL, 2017. p. 69-97.

SIQUEIRA, K. B. **O mercado consumidor de leite e derivados**. 1. ed. Juíz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2019. 17 p.

SONG, C. S. *et al.* Temperature distribution in a vial during freeze-drying of skim milk. **Journal of Food Engineering**, v. 67, p. 467-475, 2005.

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.

STAPELFELDT, H.; NIELSEN, B. R.; SKIBSTED, L. H. Effect of heat treatment, water activity and storage temperature on the oxidative stability of whole milk powder. **International Dairy Journal**, v. 7, p. 331-339, 1997.