Revisão DOI: 10.14295/2238-6416.v76i2.805

GORDURA SUPERFICIAL EM LEITE EM PÓ

Fat in the milk powder surface

Louise Bergamin Athayde de Souza[1], Gabriel Gama Netto[1], Karina Coelho Moreira da Silva[1], Rodrigo Stephani[2], Antônio Fernandes de Carvalho[1], Ítalo Tuler Perrone[3]*

RESUMO

O leite em pó é um produto altamente versátil, fabricado geralmente por meio da técnica de *spray drying*, que consiste na remoção de grande parte da água expondo o produto a uma corrente de ar quente. Esse produto possui prazo de validade superior ao leite *in natura* e oferece diversas comodidades, como maior estabilidade microbiológica e química e condições de armazenamento menos restritas. Entretanto, um grande acúmulo de gordura na superfície desses pós tem sido vastamente documentado em diversas partes do mundo. Frações dessa gordura que se apresenta na camada externa do pó estão na forma livre sendo associadas a características indesejáveis do produto, como dificuldades de reidratação, oxidação de lipídios, aumento de viscosidade e outros, levando a redução de qualidade do produto. Maneiras de reduzir esse teor de gordura têm sido buscadas para amenizar os efeitos indesejáveis e uma das formas promissoras parece ser pela estabilização da matriz láctea antes das etapas de atomização e secagem. Nessa revisão bibliográfica será abordada as características do leite em pó, características da gordura, assim como ocorrência da gordura superficial, os causadores e algumas das possíveis solução do problema.

Palavras-chave: lácteos desidratados; gordura livre; molhabilidade; pós lácteos.

ABSTRACT

Milk powder is a highly versatile product produced by spray drying, which

1 Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Viçosa, MG, Brasil
2 Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Química, Juiz de Fora, MG, Brasil.
3 Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Farmácia, Rua José Lourenço Kelmer, s/n, São Pedro, 36036-900, Juiz de Fora, MG, Brasil. E-mail: italotulerperrone@gmail.com
* Autor para correspondência.

Recebido / Received: 17/03/2020
Aprovado / Approved: 18/12/2020

consists of removing water by exposing the product to a flow of dry and hot air. This product has a longer shelf life than fresh milk and offers positive points, such as greater microbiological and chemical stability and less restricted storage conditions. However, a large migration of fat to the surface of these powders has been widely documented in several studies. Part of this fat present on the powder surface is in the free form and associated with undesirable characteristics of the product, such as rehydration difficulties, lipid oxidation, increased viscosity, and others, leading to reduced product quality. Stabilizing the milk emulsion matrix before the atomization and drying steps is the best way to avoid free fat. In this bibliographic review, the characteristics of milk powder, characteristics of fat, as well as the occurrence of superficial free fat, the causes, and some of the possible solutions will be aborded.

Keywords: dehydrated dairy products; free fat; wettability; dairy powders.

INTRODUÇÃO

O leite e seus derivados merecem destaque por constituírem um grupo de alimentos de grande valor nutricional, uma vez que são fontes consideráveis de proteínas de alto valor biológico, além de conterem vitaminas e minerais. O consumo habitual desses alimentos é recomendado, principalmente, para que se atinja a adequação diária de ingestão de cálcio, um nutriente que, dentre outras funções, é fundamental para a formação e a manutenção da estrutura óssea do organismo (MUNIZ *et al.*, 2013).

O leite em pó é um derivado do leite, sendo uma forma prática de consumo do mesmo, que é obtido pela concentração e desidratação do leite, que pode ser integral, semidesnatado ou desnatado. O objetivo da desidratação do leite é estabilizar os constituintes para seu armazenamento e uso posterior, pela redução da atividade de água do produto, levando a maior vida de prateleira (PISECKY, 2012).

É um alimento muito valioso e nutritivo, que pode ser usado como ingrediente na formulação de uma gama enorme de produtos, incluindo produtos de confeitaria, molhos, massas e até produtos farmacêuticos. Além disso, ao ser reconstituído, volta a ter características do leite fluido. Entretanto, para que essa reconstituição seja adequada, é necessário que esse produto atenda algumas exigências, como ter características adequadas de: molhabilidade, dispersibilidade, solubilidade e penetrabilidade, que dependem de diversos fatores, entre eles as características da superfície da partícula (CARVALHO *et al.*, 2020).

Durante as etapas de processamento geralmente ocorre uma camada indesejada de gordura sobre a superfície das partículas, sendo composta por frações de gordura livre que leva a efeitos prejudiciais nas propriedades do pó, incluindo solubilidade reduzida na água, oxidação de lipídios, aumento de viscosidade e perda da qualidade do produto (MURRIETA-PAZOS *et al.*, 2012).

Diversos estudos têm documentado uma grande quantidade de gordura na superfície dos pós, que ocorre principalmente durante as etapas de atomização e secagem, e seus efeitos prejudiciais. Tem-se notado que possivelmente maneiras eficientes de se reduzir esse teor de gordura pode ser pela estabilização da matriz láctea antes dela passar por esses processos, de modo que o glóbulo de gordura esteja mais protegido antes de sofrer as alterações (FOERSTER *et al.*, 2017a; FOERSTER *et al.*, 2016a; FOERSTER *et al.*, 2016b).

Conhecer as características dessa gordura e procurar maneiras de reduzi-la se

faz necessário para aumentar a qualidade do leite em pó e outros produtos lácteos que apresentam esse mesmo problema (VIGNOLLES *et al.*, 2007).

Essa revisão tem como foco abranger as características do leite em pó, de sua gordura, os relatos sobre esse acúmulo superficial de gordura e indicar algumas alternativas para redução do problema trazido.

REVISÃO DE LITERATURA

Leite em pó

Entende-se por leite em pó o produto que se obtém por desidratação do leite, integral, desnatado ou parcialmente desnatado e apto para a alimentação humana, mediante processos tecnologicamente adequados. É classificado como integral quando o teor de gordura for maior ou igual a 26,0%, desnatado quando o teor de gordura for menor ou igual a 1,5% de gordura e parcialmente desnatado se o teor de gordura for maior do que 1,5% e menor que 26,0%. Pode ser classificado como instantâneo ou não, a depender de sua umectabilidade e dispersibilidade, e, seu teor de umidade deve ser de no máximo 5,0% (BRASIL, 2018).

O leite em pó, por possuir baixa atividade de água, é considerado um produto estável em termos microbiológicos. Apesar do alto custo energético do processo de secagem, tem-se como outras vantagens o transporte do produto que não necessita de refrigeração e é facilitado devido à redução considerável de volume. Como basicamente somente a água é retirada do produto, a redução de volume não altera a composição do extrato seco do leite e facilita, ainda, o manuseio e o armazenamento. Além disso, há uma enorme demanda de leite em pó como ingrediente para diversos produtos, como biscoitos, massas, farinhas, sorvetes e diversos outros alimentos lácteos (MEDEIROS, 2010).

A produção mundial de leite em pó tem aumentando constantemente nos últimos anos devido a diversas comodidades trazidas pela sua fabricação, como: os elevados atributos de qualidade do produto, que pode ser mantido sem condições especiais de armazenamento preservando a funcionalidade, a segurança e suas propriedades tecno-funcionais para aplicação; a redução de volume, favorecendo etapas como transporte e estocagem; a possibilidade de oferta do produto por tempo superior ao produto fluido, a não exigência de embalagens complexas; a facilidade de reconstituição, entre outras. (SCHUCK *et al.*, 2016).

As etapas de processamento do leite em pó consistem em recepção, clarificação, resfriamento e armazenamento, padronização, tratamento térmico, evaporação, homogeneização, secagem e embalagem (FENELON *et al.*, 2021).

Características de reconstituição

O pó obtido pelo processo de secagem deve ser de fácil hidratação e reconstituição. Ao ser despejado sobre a superfície da água deverão ocorrer os seguintes fenômenos: (i) molhabilidade ou umectabilidade, que consiste na penetração do líquido para o interior da estrutura do pó, movido por forças capilares; (ii) imersibilidade, que é a imersão das partículas ou de porções do pó no líquido; (iii) dispersibilidade, ou seja, a capacidade do pó de se espalhar no liquido e a (iv) solubilidade, que é a dissolução das partículas pelo líquido, desde que estas sejam solúveis. O índice de insolubilidade de um pó é uma medida do grau em que pode ser prontamente solubilizado em água antes da utilização. Está relacionado com a quantidade de sedimento obtido sob condições definidas de mistura de pós de leite. A fluidez também é influenciada por outros fatores, como a gordura total no pó e a quantidade de gordura livre. As

propriedades associadas a essas quatro etapas são denominadas de "instantaneidade" do produto (PISECKY, 2012).

O leite em pó instantâneo visa atender consumidores que são exigentes quanto à praticidade e à qualidade do produto. Diversos fatores estão relacionados com a obtenção de leite em pó instantâneo, dentre os quais destacam-se gordura livre, densidade da partícula, aglomeração, intensidade do tratamento térmico, presença de lactose amorfa, retorno de finos para câmara de secagem, tipo de atomizador e equipamento de secagem empregado (SILVEIRA *et al.*, 2013).

Em relação à molhabilidade, existe uma correlação inversa entre esta e o conteúdo de gordura livre. Quando maior o teor de gordura livre mais difícil será a penetração do líquido pelas partículas, dificultando a hidratação (PISECKY, 2012).

Gordura livre, encapsulada e gordura superficial

A partícula de leite em pó é composta por gordura livre e encapsulada, a gordura livre é considerada como a gordura (i) que não é inteiramente revestido e estabilizado por moléculas anfifílicas, por exemplo, pela membrana nativa do glóbulo de gordura, composta por fosfolipídios e proteínas ou por um revestimento reconstituído de proteínas adsorvidas após alguns passos de processamento, tais como tratamento térmico e homogeneização, ou (ii) que não é totalmente protegido por uma matriz composta por carboidratos amorfos (por exemplo, lactose) e proteínas durante a secagem. Essa gordura está localizada tanto na superfície quanto nas partes internas de uma partícula do pó (VIGNOLLES *et al.*, 2007).

As frações de gordura livre apresentam concentrações levemente mais altas de ácidos graxos saturados C6-C18 e concentrações ligeiramente menores de ácidos graxos insaturados C16-C18 em comparação com a gordura total. Apresentam maior proporção de triacilgliceróis de alto ponto de fusão do que a gordura encapsulada. Os triacilgliceróis de alto ponto de fusão presentes nas frações de gordura livre são levemente acumuladas na superfície do pó (KIM *et al.*, 2005a). Entretanto, a gordura encapsulada representa cerca de 90% da gordura total (VIGNOLLES *et al.*, 2007).

A gordura livre pode ser também definida como a fração de gordura que é extraída por solventes orgânicos sob condições padronizadas, sendo um aspecto importante para caracterizar os pós lácteos que contêm gordura. O tempo, o solvente e a técnica delimitam qual fração da gordura será extraída, frações internas e encapsuladas são extraídas consideravelmente de forma mais lenta (KIM *et al.*, 2005a). Acredita-se que a gordura livre esteja presente principalmente (e, portanto, extraída) na superfície do pó (VIGNOLLES *et al.*, 2007).

Nem toda gordura presente na superfície estará na forma livre, uma parte dela será encapsulada. A quantidade total de gordura superficial livre, frequentemente expressa pela eficiência de encapsulação de uma amostra de pó, é frequentemente quantificada pela extração de gordura superficial. Contudo, nenhum procedimento padrão foi estabelecido e as técnicas na literatura variam consideravelmente entre si, conforme resumido por Vega; Roos (2006). A quantidade de gordura extraída depende ainda do tamanho e da porosidade da partícula (VIGNOLLES *et al.*, 2007).

Acredita-se que uma quantidade significativa de gordura extraível não se origine das superfícies das partículas, mas da gordura livre interna que é extraída do interior das partículas através de poros e fissuras, em particular em misturas relativamente intensas e longos tempos de exposição ao solvente (SCHMIDMEIER *et al.*, 2019; BUCHHEIM,

1982). Por essa razão, os resultados da extração de gordura das amostras de leite em pó podem, na maioria das vezes, representar a quantidade de gordura livre em vez da quantidade de gordura da superfície livre (KIM *et al.*, 2005b).

Nesse sentido, para caracterizar amostras de pós quanto à gordura superficial, comumente utiliza-se análise espectroscópica de fotoelétrons de raios X (XPS), também referida como espectroscopia de elétrons para análise química, neste contexto é o método predominante para quantificar a composição química superficial de partículas de leite (GAIANI *et al.*, 2010; MURRIETA-PAZOS *et al.*, 2012; WU *et al.*, 2014; NIKOLOVA *et al.*., 2014; NIKOLOVA *et al.*, 2015; KELLY *et al.*, 2015). Nesta técnica de análise de superfície sensível, as amostras de pó são irradiadas com um feixe de raios X de um nível de energia bem definido sob alto vácuo, e elétrons são emitidos se sua energia de ligação for ultrapassada pela energia do fóton (FOERSTER *et al.,* 2017b).

Apesar da técnica não detectar a gordura livre, ela é capaz de determinar a composição superficial do pó, que geralmente é rica por lipídeos. Como grande parte da gordura se acumula na superfície, consequentemente junto a ela estará a gordura livre. É de grande importância medir adequadamente a composição superficial de pós lácteos, a fim de prever suas propriedades de uso, pois quanto maior o teor de gordura na superfície maior será o teor de gordura livre e pior será a qualidade do pó (VIGNOLLES *et al*., 2007).

Na maioria dos casos, gordura livre é considerado um defeito. A exceção é onde gordura livre é necessária para uma aplicação específica, por exemplo, fabricação de chocolate. Uma das influências mais críticas da 'gordura livre' é o teor de umidade do pó. Se a umidade for muito baixa (< 2,5%), a gordura livre aumenta e diminui à medida que o teor de umidade aumenta de 2,5% para 4% a 5%, mas aumenta novamente se o teor de umidade for superior a 6% a 7% (LI et al., 2019).

GORDURA SUPERFICIAL EM LÁCTEOS DESIDRATADOS

Aspectos indesejáveis

A camada hidrofóbica, formada devido ao acúmulo de gordura, torna as partículas de pó hidrofóbicas, dificultando a hidratação do pó, e, além disso, a gordura livre na superfície é um fácil alvo para a oxidação, podendo levar o produto a rancidez hidrolítica, aumento de viscosidade, redução das características de reconstituição (molhabilidade, penetrabilidade, dispersibilidade e solubilidade) e perda de qualidade do produto, dentre outros (PISECKY, 2012; VEGA; ROOS, 2006; KIM *et al.*, 2005a; KIM *et al.*, 2005b; NIJDAM; LANGRISH, 2006).

A segregação de componentes do leite em pó é sistematicamente observada entre a superfície e o núcleo, onde a gordura migra preferencialmente para a superfície afetando fortemente as propriedades do pó (NIKOLOVA *et al.*, 2015). O acúmulo de gordura na superfície do pó não é desejado, atribuindo ao produto algumas características indesejáveis, como dificuldade de reconstituição, aumento da taxa de oxidação de lipídios, aumento da viscosidade, perdas do produto, entre outros (KIM *et al.*, 2005a; KIM *et al.*, 2005b; VIGNOLLES *et al.*, 2007; KIM *et al.*, 2009; GAIANI *et al.*, 2010; MURRIETA-PAZOS *et al.*, 2012).

Ocorrências sobre acúmulo de gordura superficial

O acúmulo de gordura na superfície tem sido documentado por diversos estudos (GAIANI *et al.*, 2010; MURRIETA-PAZOS *et al.*, 2012; WU *et al.*, 2014; NIKOLOVA *et al.*, 2014; NIKOLOVA *et al.*, 2015; KELLY *et*

al., 2015) trazendo consequências negativas para qualidade do pó.

KIM *et al.* (2005a) investigaram a composição em massa e a composição superficial de pós lácteos (Tabela 1).

Como pode ser observado pela Tabela 1, à medida que o teor de gordura do pó aumenta, há um aumento acentuado na cobertura de gordura da superfície. O leite em pó integral com composição de 29% de gordura em massa apresentou uma cobertura superficial de 98% de gordura, ou seja, praticamente toda a superfície foi formada por gordura. Mesmo para lácteos com teor muito baixo de gordura, como leite em pó desnatado, por exemplo, com apenas 1% de gordura, sua superfície era constituída por 18% de gordura (KIM *et al.*, 2005a). O comportamento de escoamento dos pós também foi verificado, e o pó com menor teor de gordura superficial, o leite em pó desnatado, pode fluir mais facilmente que os demais. A gordura na superfície dos pós tem tendência a fazer com que as partículas se colem umas às outras ou se aglomerem, diminuindo a fluidez deles (KIM *et al.*, 2005a).

Mesmo para pós com baixo teor de gordura como fosfato nativo, é possível observar sobreposição de gordura na superfície dos mesmos, fosfato nativo possuindo apenas 0,4% de lipídios em massa, possuiu 6% de gordura em sua superfície. Após 30 dias de armazenado houve aumento do teor de gordura na superfície sendo encontrados valores de 13% de gordura e após 60 dias o teor de gordura superficial foi de 17%, evidenciando migração desta para a superfície durante a etapa de armazenamento (GAIANI *et al.*, 2010).

Outros estudos têm também relatado que a gordura tende a se sobrepor na superfície da partícula em comparação com a composição da massa (KIM *et al.*, 2005a; KIM *et al.*, 2009; GAIANI *et al.*, 2010; FYFE *et al.*, 2011; FOERSTER *et al.*, 2016a; FOERSTER *et al.*, 2017a). Emulsões de leite (modelo) com teor de gordura similar ao leite integral, após secas, apresentaram em suas superfícies mais de 80% de gordura (KIM *et al.*, 2005; MURRIETA-PAZOS *et al.*, 2012; FOERSTER *et al.*, 2016b; FOERSTER *et al.*, 2017a), teor de gordura quase três vezes maior em relação à composição em massa. Emulsões modelo de leite desnatado e concentrados de proteína do leite também obtiveram acúmulo de gordura na superfície do pó com 3,5% e 45,9% de gordura superficial para conteúdo de gordura de 0,6% e 1,5% em massa, respectivamente, sobreposição de gordura de 6 a 30 vezes em comparação com a composição em massa (KIM *et al.*, 2009; FYFE *et al.*, 2011;

Tabela 1 – Composição em massa e composição superficial dos pós industriais lácteos secos* por pulverização (assumindo que os pós lácteos são compostos por três componentes principais: lactose, proteína e gordura)

	Composição em massa (%)			Composição da superfície (%)		
Produtos	Lactose	Proteína	Gordura	Lactose	Proteína	Gordura
LPD	58	41	1	36	46	18
LPI	40	31	29	2	-	98
CLP	13	12	75	1	-	99
WPC	8	86	6	6	41	53

* LPD: Leite em pó desnatado; LPI: Leite em pó integral; CLP: Creme de leite em pó, WPC: *Whey protein concentrate*.

Fonte: adaptado de KIM *et al.*, 2005a.

MURRIETA-PAZOS *et al.*, 2012; NIKOLOVA et al., 2014; KELLY *et al.*, 2015).

Processos de acúmulo de gordura

Uma das técnicas de secagem mais utilizadas para lácteos desidratados é a por atomização, também conhecida como *spray drying*. O leite concentrado é pulverizado em pequenas gotículas na câmara de secagem que em contato com uma corrente de ar quente e seco, seca-se instantaneamente devido à diferença de temperatura e pressão parcial de vapor entre o ar e a gotícula (PERRONE *et al.*, 2016). O processo de secagem faz com que ocorram modificações estruturais e físico-químicas no leite, que por sua vez influenciará a reconstituição e propriedades de manuseamento dos pós (CARVALHO *et al.*, 2020).

A migração de componentes do leite ocorre tanto durante a atomização (WU *et al.*, 2014; FOERSTER *et al.*, 2016a; FOERSTER *et al.*, 2017a) quanto durante a secagem (ADHIKARI *et al.*, 2009; GAIANI *et al.*, 2010; FU *et al.*, 2011; NIKOLOVA *et al.*, 2014; WU *et al.*, 2014; KELLY *et al.*, 2015). Durante ambos os processos, as gorduras se acumulam preferencialmente na superfície das gotículas de leite, levando a uma cobertura de gordura dominante no leite em pó (KIM *et al.*, 2009; FU *et al.*, 2011; FOERSTER *et al.*, 2017a).

Os principais fatores que foram estudados como causadores da segregação durante a secagem, onde as gotículas entram em contato com o ar quente, foram a difusividade, atividade de superfície, hidrofobicidade dos componentes e formação de crosta (ADHIKARI *et al.*, 2009; GAIANI *et al.*, 2010; FU *et al.*, 2011; NIKOLOVA *et al.*, 2014; WU *et al.*, 2014; KELLY *et al.*, 2015).

No caso da atomização propõe-se que durante esse estágio, um mecanismo de desintegração ao longo da interface óleo-água dos glóbulos de gordura cause a predominância superficial da gordura (FOERSTER *et al.*; 2016a, FOERSTER *et al.*, 2017a).

O teor de gordura superficial não é significativamente redutível modificando as condições de secagem por pulverização, já que grande parte da gordura se acumula na superfície dos pós durante a etapa de atomização. Pelo motivo exposto, uma forma promissora de reduzir a quantidade de gordura superficial é modificar a emulsão antes da secagem por pulverização, para moderar a segregação entre o lipídio e a fase aquosa durante a atomização (FOERSTER *et al.*, 2016a; FOERSTER *et al.*, 2017a).

PROCESSOS DE ESTABILIZAÇÃO

Lecitinação

A lecitina tem propriedades hidrofílicas e lipofílicas e pode ser utilizada para recobrir a superfície das partículas do leite em pó, pois suas características anfifílicas permitem que elas sejam adsorvidas na interface gordura/ água, com a porção hidrofílica na fase aquosa e a porção lipofílica na fase oleosa. O resultado é um revestimento em torno da superfície das partículas de leite em pó (contendo gordura) aumentando a sua afinidade pela água servindo literalmente de ponte entre a gordura e a água e facilitando, assim, a dispersão do pó (PISECKY, 2012). O teor máximo permitido no Brasil de lecitina para leite em pó instantâneo é de 5g/ kg (BRASIL, 2018).

Aglomeração

A aglomeração em leito fluidizado é utilizada para produzir aglomerados secos, grandes e porosos com propriedades instantâneas melhoradas. É um processo de transformação do material do estado do pó

para o estado de grânulos com estrutura porosa permitindo melhorias na reconstituição do leite em pó. As partículas de pó secas por atomização são umidificadas, inchando rapidamente e fechando os capilares, de modo que suas superfícies se tornem pegajosas e se colem umas às outras para formar aglomerados/ conglomerados (BARKOUTI *et al.*, 2013). As propriedades de reidratação (por exemplo, molhabilidade, capacidade de escoamento, dispensibilidade, solubilidade e taxa de dissolução) são aprimoradas. Em grandes indústrias são as etapas de aglomeração e lecitinação que dão ao leite em pó seu caráter instantâneo, por meio de uma unidade de leito fluidizado adicionada ao final da linha de secagem por pulverização (GAIANI *et al.*, 2010).

Adição de estabilizantes à emulsão

Uma forma de reduzir o teor de gordura livre pode ser pela estabilização da emulsão antes dela passar pelo processo de secagem, que consiste no encapsulamento eficiente da gordura (FOERSTER *et al.*, 2017a). Isso pode ser feito pela adição de agentes interfaciais, como surfactantes, polissacarídeos, e outros agentes interfaciais antes do processo de atomização (XU *et al.*, 2013; LALLBEEHARRY *et al.*, 2014; FOERSTER *et al.*, 2017a).

Para emulsões lácteas a adição de agentes interfaciais pode ser de grande interesse, entretanto tratando-se de leite em pó, como aditivo, somente é permitido o uso da lecitina, no teor máximo de 5g/ kg para leite em pó instantâneo (BRASIL, 2018). Portanto a estabilização com outros compostos não é possível.

Redução do tamanho do glóbulo de gordura por homogeneização

Uma forma de reduzir a ocorrência de gordura livre na superfície do pó é a homogeneização com pressões mais altas que as convencionais. Havendo por esse processo maior redução do tamanho dos glóbulos de gordura e melhor encapsulamento desses glóbulos, tornando a emulsão mais estável e possivelmente com menor ocorrência de gordura livre na superfície do pó. A pressão de homogeneização mais comumente utilizada nas indústrias é em torno de 20 MPa. No entanto, com o desenvolvimento de projetos de homogeneizadores, os processos de homogeneização podem atingir pressões muito mais elevadas, como 350 MPa, (MERCAN *et al.*, 2018) o que permite novas pesquisas, desenvolvimento de produtos e área de aplicações.

Durante a homogeneização há deformação e quebra de gotículas de gordura líquida, formando gotículas menores que são rapidamente adsorvidas pelo surfactante, que no caso do leite são suas proteínas, que são capazes de ajudar na separação das gotículas durante a homogeneização e prevenção da coalescência das gotículas de óleo (FENNEMA *et al.*, 2017). As proteínas do leite adsorvidas aos glóbulos de gordura são responsáveis por promover repulsão eletrostática entre as gotículas e também promover estabilização estérica (VIGNOLLES *et al.*, 2007).

Dependendo da pressão diferencial utilizada no processo de homogeneização, o fluido apresenta grande cisalhamento, cavitação e turbulência, e esses efeitos mecânicos são utilizados para mistura, dispersão, redução do tamanho de partículas e emulsificação. A adsorção de proteínas e a coalescência ocorrem em escalas de tempo curtas e a faixa final de tamanho de gotas da dispersão coloidal e sua estabilidade é governada pela entrada de energia mecânica, tipo e concentração do estabilizador e proporção de emulsificante para estabilizador (LEE *et al.*, 2013).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O leite e produtos lácteos em pó apresentam maior vida de prateleira, viabilizando ganhos econômicos no armazenamento e transporte, enquanto o leite *in natura* é altamente perecível e volumoso, exigindo embalagem, estocagem e transporte especiais. Entretanto, a ocorrência de gordura na superfície de pós lácteos, tanto gordura livre como gordura encapsulada, tem sido vastamente documentada junto com problemas tecnológicos que também estão atrelados a essas características como maior taxa de oxidação, maior viscosidade, dificuldades de reidratação e outros.

Leites em pós integrais podem apresentar mais de 80% de gordura em sua composição superficial e para leites ou lácteos em pós, este com teor reduzido de gordura, ainda assim se observa predominância desse componente na superfície, diferindo bastante da composição em massa. As etapas mais críticas para esse acúmulo de gordura são as etapas de atomização e secagem. Muitas indústrias já usam as etapas de aglomeração e lecitinação para reduzir os efeitos indesejáveis da gordura superficial.

Outras propostas para menor ocorrência de gordura livre na superfície estão atreladas a melhor estabilização da emulsão antes do processo de secagem por atomização. Como no Brasil a adição de componentes no leite em pó não é permitida, salvo os especificados em regulamento, uma das ideias promissoras é tentar estabilizar a emulsão com a utilização da ultra alta homogeneização. Estudos sistemáticos sobre o papel da alta pressão durante a emulsificação da gordura são escassos, podendo ser uma nova linha de pesquisa a ser estudada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelas bolsas de produtividade e pelos investimentos em pesquisas.

REFERÊNCIAS

ADHIKARI, B. *et al.* Effect of addition of proteins on the production of amorphous sucrose powder through spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 2, p. 144-153, 2009. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2009.01.029.

BARKOUTI, A. *et al.* Milk powder agglomerate growth and properties in fluidized bed agglomeration. **Dairy Science and Technology**, v. 93, n. 4-5, p. 523-535, 2013. DOI: 10.1007/s13594-013-0132-7.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 53, de 1º de outubro de 2018. Regulamento Técnico Mercosul de Identidade e Qualidade do Leite em Pó. **Diário Oficial da União:** seção 1, Brasília, DF, n. 199, p. 11, 16 out. 2018.

BUCHHEIM, W. Electron microscopic localization of solvent-extractable fat in agglomerated spray-dried whole milk powder particles. **Food Structure**, v. 1, n. 2, Article 12, 1982.

CARVALHO *et al.* (org.). **Química e Tecnologia do Soro de Leite**. 1ª ed. Juiz de Fora: Innóvite, 2020.

FENELON, M. A. *et al.* Innovations and prospects. In: FLOCH-FOUÉRÉ, C. *et al.* (org.). **Drying in the Dairy Industry:** From Established Technologies to Advanced Innovations. 1ª ed. Boca Raton: CRC Press, 2021.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. Introduction to food chemistry. *In*: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. (ed.). **Fennema's Food Chemistry**. 5ª ed. Boca Raton: CRC Press, 2017.

FOERSTER, M. *et al.* The impact of atomization on the surface composition of spray-dried milk droplets. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 140, p. 460-471, 2016a. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2016.01.012.

FOERSTER, M. *et al.* The influence of the chemical surface composition on the drying process of milk droplets. **Advanced Powder Technology**, v. 27, n. 6, p. 2324-2334, 2016b. DOI: 10.1016/J.APT.2016.07.004.

FOERSTER, M. *et al.* Reduction of surface fat formation on spray-dried milk powders through emulsion stabilization with λ-carrageenan. **Food Hydrocolloids**, v. 70, p. 163-180, 2017a. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2017.04.005.

FOERSTER, M.; WOO, M. W.; SELOMULYA, C. Component segregation during spray drying of milk powder. *In*: VARELIS, P.; MELTON, L.; SHAHIDI, F. **Encyclopedia of Food Chemistry**. Amsterdam: Elsevier, 2017b.

FU, N.; WOO, M. W.; CHEN, X. D. Colloidal transport phenomena of milk components during convective droplet drying. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 87, n. 2, p. 255-266, 2011. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2011.05.026.

FYFE, K. *et al.* Influence of dryer type on surface characteristics of milk powders. **Drying Technology**, v. 29, n. 7, p. 758-769, 2011. DOI: 10.1080/07373937.2010.538481.

GAIANI, C. *et al.* How surface composition of high milk proteins powders is influenced by spray-drying temperature. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 75, n. 1, p. 377-384, 2010. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2009.09.016.

KELLY, G. M. *et al.* Influence of protein concentration on surface composition and physico-chemical properties of spray-dried milk protein concentrate powders. **International Dairy Journal,** v. 51, p. 34-40, 2015. DOI: 10.1016/j.idairyj.2015.07.001.

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, n. 2, p. 169-181, 2009. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2008.10.020.

KIM, E. H. J.; CHEN, X. D.; PEARCE, D. Effect of surface composition on the flowability of industrial spray-dried dairy powders. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 46, n. 3, p. 182-187. 2005b. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2005.11.005.

KIM, E. H. J.; DONG, X.; PEARCE, D. Melting characteristics of fat present on the surface of industrial spray-dried dairy powders. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 42, p. 1-8, 2005a. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2005.01.004.

LALLBEEHARRY, P. *et al.* Effects of ionic and nonionic surfactants on milk shell wettability during co-spray-drying of whole milk particles. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 9, p. 5303-5314, 2014. DOI: 10.3168/jds.2013-7772.

LEE, L. L. *et al.* Emulsification: Mechanistic understanding. **Trends in Food Science and Technology**, v. 31, n. 1, p. 72-78, 2013. DOI: 10.1016/j.tifs.2012.08.006.

LI, Y. H. *et al.* Comparative study on the characteristics and oxidation stability of commercial milk powder during storage. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 10, p. 8785-8797, 2019. DOI: /10.3168/jds.2018-16089.

MEDEIROS, U. K. L. **Viabilidade técnica de uma rota não convencional para a produção de leite de cabra em pó em**

cooperativas do Rio Grande do Norte. 2010. 189 f. Tese (Doutorado em Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias Regionais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

MERCAN, E.; SERT, D.; AKIN, N. Determination of powder flow properties of skim milk powder produced from high-pressure homogenization treated milk concentrates during storage. **LWT Food Science and Technology**, v. 97, p. 279-288, 2018. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.07.002.

MUNIZ, L. C. *et al.* Consumo de leite e derivados entre adultos e idosos no sul do Brasil: Um estudo de base populacional. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 18, p. 3515-3522, 2013.

MURRIETA-PAZOS, I. *et al.* Composition gradient from surface to core in dairy powders: Agglomeration effect. **Food Hydrocolloids**, v. 26, n. 1, p. 149-158, 2012. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2011.05.003.

NIJDAM, J. J.; LANGRISH, T. A. G. The effect of surface composition on the functional properties of milk powders. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 4, p. 919-925, 2006. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.08.020.

NIKOLOVA, Y. *et al.* Is it possible to modulate the structure of skim milk particle through drying process and parameters? **Journal of Food Engineering**, v. 142, p. 179-189, 2014.

NIKOLOVA, Y. *et al.* Toward a better determination of dairy powders surface composition through XPS matrices development. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 125, p. 12-20, 2015. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2014.11.009.

PERRONE, I. T. *et al.* Uso de ferramentas matemáticas em processos de secagem de leite e soro. **Indústria de Laticínios**, v. 123, p. 68-70, 2016.

PISECKY, J. **Handbook of Milk Powder Manufacture**. 2ª ed. Copenhagen: GEA Process Engineering, 2012.

SCHMIDMEIER, C. *et al.* Elucidation of factors responsible for formation of white flecks in reconstituted fat filled milk powders. **Colloids and Surfaces A**: Physicochemical and Engineering Aspects, v. 575, p. 245-255, 2019. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2019.03.034.

SCHUCK, P. *et al.* Recent advances in spray drying relevant to the dairy industry: A comprehensive critical review. **Drying Technology**, v. 34, p. 1773-1790, 2016.

SILVEIRA, A. C. P. *et al.* Secagem por spray drying: Uma revisão. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 68, n. 391, p. 51-58, 2013.

VEGA, C.; ROOS, Y. H. Invited review: Spray-dried dairy and dairy-like emulsions – compositional considerations. **Journal of Dairy Science**, v. 89, n. 2, p. 383-401, 2006. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72103-8.

VIGNOLLES, M. L. *et al.* Free fat, surface fat and dairy powders: interactions between process and product – A review. **Le Lait**, v. 87, n. 3, p. 187-236, 2007.

XU, Y. Y. *et al.* Effects of emulsification of fat on the surface tension of protein solutions and surface properties of the resultant spray-dried particles. **Drying Technology**, v. 31, n. 16, p. 1939-1950, 2013. DOI: 10.1080/07373937.2013.802331.

WU, W. D. *et al.* Towards spray drying of high solids dairy liquid: Effects of feed solid content on particle structure and functionality. **Journal of Food Engineering**, v. 123, p. 130-135, 2014. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2013.05.013.