Artigo

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO EM SPRAY DRYER PILOTO SOBRE A UMIDADE E A ATIVIDADE DE ÁGUA DO LEITE EM PÓ INTEGRAL

Influence of pilot spray dryer settings on moisture and water activity of whole milk powder

Ítalo Tuler PERRONE[1*]
Moisés SIMEÃO[2]
Paulo Henrique Rodrigues JÚNIOR[3]
Rodrigo STEPHANI[4]
Antonio Fernandes de CARVALHO[5]

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi determinar a influência das condições de operação em spray dryer piloto sobre a umidade e a atividade de água do leite em pó integral. Foram empregados seis tratamentos nos quais se variou a temperatura do ar de entrada, a vazão de ar na câmara e a vazão de produto. O tratamento com menor temperatura do ar de entrada, menor vazão de ar e menor temperatura do ar de saída neste experimento possibilitaram que o leite em pó integral tivesse atividade de água média superior a 0,200 (0,236). O controle de apenas um único atributo durante a secagem não possibilitou a padronização da umidade e da atividade de água do leite em pó.

Palavras-chave: secagem; armazenamento; processamento.

ABSTRACT

The aim of this study was to determinate the influence of pilot spray dryer settings on moisture and water activity of whole milk powder. In this experiment were applied six treatments and the variables were: the temperature of inlet air, the air flow and the flow rate of product. The treatment with the lowest temperature of the inlet air, air flow and outlet air temperature allowed water activity values higher than 0.200 (0.236) in the whole milk powder. It was not possible standardize the moisture and water activity of the whole milk powder controlling only one attribute of the spray dryer settings.

Keywords: drying; storage; processing.

1 Doutor. Professor Adjunto do Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. E-mail: ítalo.perrone@ufv.br
2 Bacharelando em Ciência e Tecnologia de Laticínios na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. E-mail:moises.simeao@ufv.br
3 Mestrando em Ciência e Tecnologia em Alimentos na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. E-mail: paulo.h.junior@ufv.br
4 Doutorando em Química. Gerente de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da Gemacom Tech, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil. E-mail: rodrigo@gemacomtech.com
5 Doutor em Sciences et Techniques des Industries Agricoles et Alimentaire. Professor do Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. E-mail: antoniofernandes@ufv.br
* Autor para correspondência:Universidade Federal de Viçosa (UFV).Departamento de Tecnologia de Alimentos. Avenida Peter Henry Rolfs S/N, Campus Universitário, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.CEP 36571-000. E-mail: ítalo.perrone@ufv.br

Recebido / Received: 26/04/2013
Aprovado / Approved: 21/06/2013

1 INTRODUÇÃO

O leite em pó pode ser definido segundo seu regulamento técnico de identidade e qualidade como um produto obtido através do método da desidratação de um leite de vaca integral, desnatado ou parcialmente desnatado e apto para alimentação humana, mediante processos tecnologicamente adequados (BRASIL, 1996).

A secagem por pulverização envolve a atomização de alimentos em um spray de gotículas que são colocadas em contacto com o ar quente numa câmara de secagem. Há três modelos de equipamentos classificados pelo fluxo de troca de energia na forma de calor: correntes paralelas, fluxo em contra corrente ou fluxo combinado. As partículas do produto são produzidas por um atomizador centrífugo ou por um bico atomizador (MASTERS, 2002).

Na indústria de laticínios a secagem em *spray dryer* é largamente empregada para a produção de ingredientes lácteos com custos de processamento comercialmente viáveis, apresentando custo de evaporação dez vezes inferior ao processo de liofilização (SCHUCK, 2013). Na Figura 1 é apresentado um esquema de um *spray dryer*.

Em relação aos efeitos de tecnologia, o tempo de residência médio do produto na câmara de secagem é ligeiramente modificado pelas mudanças na configuração do *spray dryer*. No entanto, quando se utiliza o sistema de leito fluidizado como uma etapa adicional do processo de secagem acarreta em um tempo de residência superior devido a uma maior retenção do produto, enquanto que o retorno de finos para a câmara de secagem diminui o tempo de residência. Esse fato está atribuído a uma melhor aglomeração das partículas, o que reduz a permanência dos finos no secador. A distribuição do tempo de residência é uma representação estatística do tempo de residência do produto no equipamento, que descreve estatisticamente o tempo/temperatura em que o produto é submetido durante a secagem. As perspectivas futuras estão no nível de combinação desta abordagem com a temperatura do produto e conteúdo de água no *spray dryer*. Estes atributos podem ser acessados por meio de modelagem ou de medição, e possibilita descrever o histórico de tempo/temperatura do produto, incluindo os efeitos dos tratamentos anteriores à secagem pela medida da distribuição do tempo de residência durante a concentração por evaporação, e estabelecer novas correlações com as mudanças nos constituintes e com as propriedades do pó (JEANTET et al., 2008).

As experiências de um estudo mostram que a temperatura do ar de saída do *spray dryer* nem sempre é o melhor parâmetro que afeta o teor de umidade de lácteos em pó. A umidade relativa do ar na saída é o atributo chave para otimizar o teor de umidade e atividade de água nos pós lácteos. Contudo, os trabalhos foram realizados em condições controladas e com pequeno número de repetições, desta forma faz-se necessário mais estudos para a transferência destes conhecimentos para a realidade industrial (SCHUCK et al., 2008).

A aderência de produtos lácteos a superfície das paredes do *spray dryer* pode ser minimizada por meio do controle da umidade do ar de entrada e de saída da

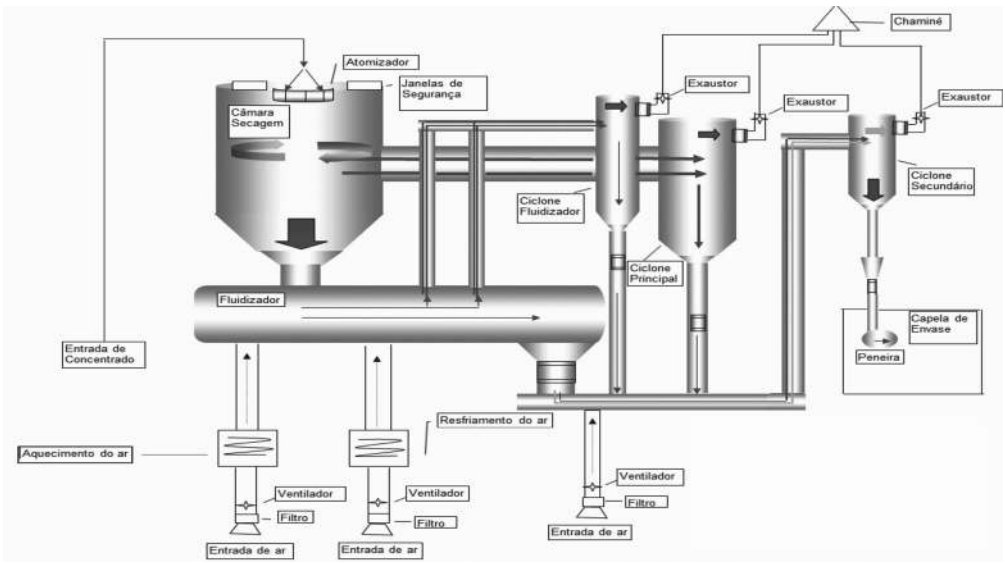


Figura 1- Diagrama de fluxo do processo de secagem em um *spray dryer*.

câmara. Foi demonstrado que um termo-higrômetro pode ser usado para evitar a aderência e para controlar o teor de água e atividade de água em lácteos desidratados. Quando a diferença entre a umidade relativa do ar determinada pelo termo-higrômetro e os valores calculados é inferior a 2g de água por kg-1 de ar seco, não ocorre à aderência dos pós às paredes do *spray dryer*, independentemente do lácteo concentrado utilizado. As variações na umidade absoluta e relativa do ar de saída da câmara, resultantes de mudanças na umidade absoluta do ar de entrada, conteúdo de sólidos totais do concentrado, da taxa de cristalização e da temperatura do ar de saída podem ser rapidamente determinadas pelo termo-higrômetro, antes que essas variações afetem a umidade, a atividade de água e por consequência a adesão das partículas do produto desidratado no *spray dryer* (SCHUCK et al., 2005).

O controle dos atributos de secagem no *spray dryer* impacta nas propriedades dos derivados lácteos desidratados, das quais se destaca o controle da cristalinidade. Em escala piloto a intensidade da cristalização de soluções de lactose pode ser determinada por meio da calorimetria diferencial de varredura e pela indução da cristalização por água. Debolinas Das et al. (2010) determinou uma faixa total para a cristalinidade de soluções de lactose entre 20% e 72 %, utilizando diferentes condições operacionais do equipamento. A diminuição da temperatura de entrada do ar na câmara de secagem de 230 ^{o}C para 170 ^{o}C aumentou a cristalinidade do produto em 35 % na saída do *spray dryer* e quando utilizada uma vazão reduzida do ar na atomização, aumentou a média de calor de cristalização, consequentemente uma diminuição do grau de cristalização.

O balanço de massa e de energia em spray dryer pode ser determinado conhecendo-se a massa de todos os agentes envolvidos no processo de secagem e pelos diagramas de entalpia do ar de entrada e de saída da câmara, sendo também possível avaliar o efeito aproveitamento da energia por meio do retorno do ar de saída (BIMBENET et al., 2002).

Alguns métodos são empregados para aperfeiçoar os atributos de controle do *spray dryer* para a secagem de lácteos. Dentre esses métodos, destaca-se o da secagem por dessorção, que possibilita determinar o tempo, a temperatura e a relação área/volume para a secagem. Um sistema computacional (SD2P) baseado neste princípio foi desenvolvido e é aplicado em pesquisas e em escala industrial (SCHUCK et al., 2009).

O objetivo desse trabalho foi determinar a influência das condições de operação em *spray dryer* piloto sobre a umidade e a atividade de água do leite em pó integral.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento consistiu na secagem de leite integral pasteurizado utilizando 6 (seis) tratamentos diferentes quanto aos atributos de secagem e foram realizadas três repetições de cada tratamento do delineamento experimental executado. A produção dos leites em pó e as análises foram realizadas no Laboratório de Leite e Derivados do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa. O processo de secagem ocorreu em *spray dryer* de único estágio, com atomizador de bico da marca Labmaq do Brasil modelo MSDi 1.0, cedido pela empresa Gemacom Tech para a realização do experimento. As condições empregadas para cada tratamento durante a secagem foram realizadas conforme apresentado na Tabela 1.

Após a secagem dos produtos de cada tratamento foram realizadas as análises de umidade e atividade de água. A umidade foi determinada pelo método gravimétrico (FIL 15B: 1988) segundo Pereira et al. (2001). A análise de atividade de água foi executada no determinador modelo Aqualab Série3. Os resultados foram analisados quanto à correlação de Pearson entre os atributos avaliados e foram aplicados os testes de *Tukey* e o Teste F para comparação entre médias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite em Pó, pela portaria nº 146 do MAPA (BRASIL, 1996), estipula teor máximo de umidade para este produto em 3,5%m·m-1, e de acordo com a Tabela 2, todos os tratamentos empregados neste experimento possuem valor médio de umidade inferior ao estipulado. Contudo, visando entender e controlar as modificações químicas nos constituintes dos lácteos

Tabela 1 – Condições empregadas durante a produção do leite em pó integral (n=3).

Tratamento (T)	Vazão do produto(L·h-^{1})	Vazão do Ar (L·min-^{1})	Temperatura do ar de entrada (^{o}C)
T1	1,00	3,00	150
T2	1,09	3,10	165
T3	1,00	3,00	160
T4	1,09	3,10	165
T5	1,09	3,30	170
T6	0,84	2,80	140

desidratados, durante o prazo de armazenamento, deve-se analisar a atividade de água do mesmo. Para produtos alimentícios amorfos como o leite em pó a estabilidade durante o armazenamento está relacionada à temperatura de transição vítrea (Tg) do mesmo (PATEL et al, 2010; SCHUCK et al, 2005; VUATAZ, 2002). A atividade de água crítica, aquela na qual o produto apresenta baixa Tg, ficando susceptível a absorção de umidade ambiente e a modificações químicas dos seus constituintes, para a lactose pura é de 0,370 (JOUPPILA & ROOS, 1994). Segundo Thomas et al (2004), a transição vítrea está relacionada a difusão molecular e a viscosidade, dessa forma, em produtos alimentícios amorfos é necessário o fornecimento de energia na forma de calor (temperaturas superiores a Tg) para promover esta transição e consequentemente as modificações químicas como escurecimento, perda de fluidez e perda de solubilidade. Leite em pó com atividade de água de 0,370 apresenta Tg igual a 24 ºC, enquanto que com atividade de 0,200 apresenta Tg igual a 50ºC (ROOS, 2002).

O tratamento seis foi o único dentro dos empregados neste experimento que apresentou atividade de água superior a 0,200, o que segundo Roos (2002), faz com que este leite em pó apresente Tg inferior a 50 ºC, sendo portanto uma temperatura limite de conservação. A condição de operação do *spray dryer* no tratamento seis fez com o leite em pó apresentasse ao mesmo tempo maiores valores para umidade e atividade de água quando comparados aos demais tratamentos. Como demonstrado na Tabela 2, quando alteradas as temperaturas de saída no *spray dryer*, o tratamento seis diferiu significativamente das demais médias ao nível de probabilidade de 0,01 pelo teste de *Tukey* e em relação à umidade e atividade de água suas médias não diferiram significativamente entre os tratamentos quando submetidas ao teste F a 0,01 de probabilidade. No tratamento seis foi empregada a menor temperatura para o ar de entrada (140 ºC), a menor vazão do ar de aquecimento (2,80 L·min-1) e a menor temperatura do ar de saída (68 ºC). Apesar do leite em pó obtido no tratamento seis atender o atributo teor de umidade para a legislação brasileira, esse tratamento foi classificado como inadequado ao processamento industrial, por possibilitar que o leite em pó apresente atividade de água superior ao valor de 0,200, referenciado como valor ideal de conservação do produto em temperaturas inferiores a 50 ºC durante o armazenamento.

Como observado pela Tabela 3 não foi possível determinar uma correlação significativa entre os atributos

Tabela 2 – Estatística descritiva dos atributos medidos no experimento (n=3)

Tratamento (T)	Temperatura de saída (ºC)	Umidade (%m·m^{-1})	Atividade de água
T1	83 ± 2,08^{a}	1,98 ± 0,08^{a}	0,176 ± 0,21^{a}
T2	88 ± 5,13^{a}	2,00 ± 0,73^{a}	0,191 ± 0,03^{a}
T3	86 ± 1,53^{a}	1,60 ± 0,48^{a}	0,166 ± 0,06^{a}
T4	86 ± 7,57^{a}	2,16 ± 0,50^{a}	0,153 ± 0,03^{a}
T5	91 ± 7,00^{a}	1,89 ± 0,58^{a}	0,163 ± 0,03^{a}
T6	68 ± 4,04^{b}	2,20 ± 0,82^{a}	0,236 ± 0,05^{a}

Letras diferentes indicam médias estatisticamente deferentes de acordo com o teste de Tukey ($p<0,01$)

Tabela 3 – Correlações de Pearson entre os atributos em estudo.

Correlações	
Aw versus umidade	0,254
Aw versus temperatura de entrada	-0,488
Aw versus temperatura de saída	-0,284
Aw versus vazão do produto	-0,511
Aw versus vazão do ar de aquecimento	-0,463
Umidade versus temperatura de entrada	-0,211
Umidade versus temperatura de saída	-0,317
Umidade versus vazão do produto	-0,17
Umidade versus vazão do ar de aquecimento	-0,179
Temperatura de entrada versus temperatura de saída	0,825
Temperatura de saída versus vazão do produto	0,834
Temperatura de saída versus vazão do ar de aquecimento	0,784

Sendo: Aw = Atividade de água.

avaliados neste experimento. Dessa forma, controlando apenas um único atributo não é possível a padronização da umidade e da atividade de água do leite em pó.

4 CONCLUSÕES

As condições de operação do *spray dryer* podem afetar a conservação dos produtos desidratados. O tratamento com menor temperatura do ar de entrada, menor vazão de ar e menor temperatura do ar de saída neste experimento possibilitaram que o leite em pó integral tivesse atividade de água média superior a 0,200 (0,236), o que segundo a literatura faz com este produto tenha uma baixa temperatura de transição vítrea e consequentemente esteja mais susceptível a modificações químicas durante o armazenamento. Observou-se também que controlar apenas um único atributo durante a secagem não possibilita a padronização da umidade e da atividade de água do leite em pó.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIMBENET, J. J. et al. Heat balance of a multistage spray-dryer: principles and example of application. **Le Lait**, Rennes, v.82, n.4, p. 541–551, 2002.

BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Portaria n° 146, de 07 de março de 1996. Aprova os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade dos Produtos Lácteos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 11 mar. 1996.

DEBOLINA DAS; HUSNI, H. A.; LANGRISH, T. A. G. The effects of operating conditions on lactose crystallization in a pilot-scale spray dryer. **Journal of Food Engineering**, London, v.100, n.3, p.551–556, 2010.

JEANTET, R.et al. Residence time distribution: a tool to improve spray-drying control. **Dairy Science and Technology**, Rennes, v.88, p.31–43, 2008.

JOUPPILA, K.;ROOS,Y. H. Glass Transitions and Crystallization in Milk Powders. **Journal of Dairy Science**, Ohio, v.77, n.10, p.2907-2915, 1994.

MASTERS, K. **Spray drying in practices**. 6th ed. England: Longman Scientific & Technical and John Wiley & Sons Inc: New York, 2002. 725 p.

PATEL, K. et al. One-dimensional simulation of co-current, dairy spray drying systems – pros and cons. **Dairy Science and Technology**, Rennes, v.90, n.1, p.181-210, 2010.

PEREIRA, D. B. C. et al. **Físico-química do leite e derivados – Métodos Analíticos** 2ed. Juiz de Fora: Oficina de Impressão Gráfica e Editora, 2001. 190p.
ROOS, Y.H. Importance of glass transition and water activity to spray drying and stability of dairy powders. **Le Lait**, Rennes, v.82, n.4, p.478-484, 2002.

SCHUCK, P. et al. Water activity and glass transition in dairy ingredients. **Le Lait**, Rennes, v.85, n.4-5, p.295–304, 2005.

SCHUCK, P. et al. Thermohygrometric sensor: A tool for optimizing the spray drying process. **InnovativeFood Science and Emerging Technologies**, Wageningen, v.6, n.1, p.45–50, 2005.

SCHUCK, P. et al. Spray drying of dairy bacteria: New opportunities to improve theviability of bacteria powders. **International Dairy Journal**, Oxford, v.31, n.1, p.12-17, 2013.

SCHUCK, P. et al. Drying by desorption: A tool to determine spray drying parameters. **Journal of Food Engineering**, London, v.94, n.2, p.199-204, 2009.

SCHUCK, P. et al. Relative humidity of outlet air: the key parameter to optimize moisture content and water activity of dairy powders. **Dairy Science and Technology**, Rennes, v.88, n.1, p.45–52, 2008.

THOMAS, M.E.C.; et al. Milk Powders Ageing: Effect on Physical and Functional Properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, London, v.44, p.297–322, 2004.

VUATAZ,G. The phase diagram of milk: a new tool for optimizing the drying process. **Le Lait**, Rennes, v.82, n.4, p.485–500, 2002.