

## LEITE EM PÓ DESNATADO, SORO EM PÓ E MISTURAS DE LEITE E SORO EM PÓ OBTIDOS EM MINISPRAY DRYER: ANÁLISE DE ISOTERMA E APLICAÇÃO DO MODELO DE BET

**Skim milk powder, whey powder and milk and whey mixtures in powder produced in minispray dryer: isotherm analysis and application of the bet model**

*Ítalo Tuler PERRONE<sup>1</sup>*

*Antônio Fernandes de CARVALHO<sup>2</sup>*

*João Pablo Fortes PEREIRA<sup>3</sup>*

*Paulo César STRINGUETA<sup>4</sup>*

*Paulo Henrique Fonseca da SILVA<sup>5</sup>*

### SUMÁRIO

Neste estudo foram produzidos em escala laboratorial pós de soro e de leite desnatado. A isoterma de sorção para cada produto desidratado foi obtida gravimetricamente. Os resultados das isotermas estão em concordância com o modelo de BET e as quantidades de água na monocamada, obtidos pelo modelo, são inferiores as quantidades de água dos pós. A produção em escala laboratorial de pós de leite e soro mostrou que o aumento da quantidade de soro em misturas de leite e soro produz problemas de adsorção de água durante a estocagem.

**Termos para indexação:** secagem, estabilidade, armazenamento, leite em pó, soro em pó.

### 1 INTRODUÇÃO

O Brasil presenciou um crescimento considerável na exportação de lácteos a partir do ano de 2004, acarretando em balança comercial favorável. Os produtos que lideraram as exportações de lácteos foram os lácteos desidratados e o leite condensado. Segundo o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite em Pó (1996), entende-se por leite em pó o produto obtido por desidratação do leite de vaca integral, desnatado ou parcialmente desnatado e apto para a alimentação humana, mediante processos tecnologicamente adequados. De acordo com Knipschildt & Andersen (1994), o método de secagem é o mais importante método de conservação de lácteos, pois possibilita a conversão do leite em leite em pó com perdas nutricionais mínimas. Schuck

(2002) afirma que ocorreu uma mudança no tipo de lácteos desidratados produzidos pelas indústrias nos últimos anos, havendo um decréscimo na produção de leite em pó desnatado e um acréscimo na produção de leite em pó integral e de soro em pó, aumentos respectivos de 60 e 73% entre 1986 e 2000. Entretanto, a importação de soro em pó vem causando déficits cada vez maiores a cada ano. O déficit no ano de 2006 foi de US\$ 35.482.286,00 e, conforme Terra Viva (2008), no ano de 2007 foi de US\$ 52.893.713,00, o que representa uma perda aproximadamente 49% maior. O não aproveitamento do soro da indústria queijeira está relacionado aos custos de logística, dispersão espacial da indústria, escala de produção e principalmente pelo domínio restrito e inadequabilidade das tecnologias de concentração e utilização em condições típicas da indústria brasileira. Segundo Vuataz

1 Químico, Doutor em Ciência e Tecnologia dos Alimentos. Professor e Pesquisador do ILCT-EPAMIG. italo.perrone@epamig.br.

2 Doutor em Sciences et Techniques des Industries Agricoles et Alimentaire. Professor Adjunto da UFV. antoniofernandes@ufv.br.

3 Estudante de Farmácia e Bioquímica. Técnico de Laticínios do Departamento de Nutrição da UFJF. joapablo\_fp@yahoo.com.br.

4 Engenheiro de Alimentos. Doutor em Ciência dos Alimentos. Professor Titular da UFV. stringap@ufv.br.

5 Farmacêutico Bioquímico. Doutor em Ciência dos Alimentos. Professor Adjunto da UFJF. paulo.henrique@ufjf.edu.br.

(2002), o processo de secagem do leite e de seus derivados foi desenvolvido empregando uma base mais empírica e tecnológica do que em conceitos da ciência dos materiais alimentícios, o que pode ser desenvolvido por meio de diagramas de fases, análise da temperatura de transição vítrea, curvas de sorção e análise da composição físico química. O processo de secagem de lácteos implica a formação de lactose no estado amorfo que é higroscópica. Segundo Hynd (1980), o soro em pó possui a tendência de absorver água do ar ambiente, acarretando agregação de partículas coloidais do produto durante o armazenamento, causado pela substituição de parte da lactose amorfa por lactose cristalina. A cristalização do soro concentrado anteriormente a secagem possibilita a obtenção de um produto não higroscópico. De acordo com Fox & McSweeney (1998), alguns cuidados tecnológicos devem ser observados na produção do soro em pó, como baixa concentração da acidez, cristalização da lactose no soro concentrado e controle da temperatura do ar na saída da câmara de secagem. Conforme Walstra et al. (2001), a composição média de alguns lácteos desidratados é apresentada na Tabela 1. As curvas de sorção, conforme Jouppila & Roos (1994), são drasticamente afetadas pela presença de lactose amorfa. Segundo Masters (2002), o soro em pó, quando obtido sem prévia cristalização, é um pó muito fino, higroscópico e com grande tendência a agregação de partículas coloidais, o que se deve a presença de lactose em um estado vítreo ou amorfo. De acordo com Knipschildt & Andersen (1994), a cristalização do soro concentrado pode ser realizada pela adição de núcleos de cristalização, lactose microcristalina ou soro em pó, acompanhada de agitação e controle da temperatura.

O objetivo deste trabalho foi determinar a isoterma de sorção do leite desnatado, pré-concentrado por meio de adição de leite desnatado, e estabelecer a influência da adição de soro ao leite desnatado no tocante as isotermas de sorção dos pós obtidos, sem pré-concentração, por secagem em minispray dryer.

**Tabela 1** – Composição média de alguns lácteos desidratados (Walstra et al, 2001).

Constituinte (% m/m)	Leite integral em pó	Leite desnatado em pó	Soro em pó
Gordura	26,0	1,0	1,0
Lactose	38,0	51,0	72,0
Caseína	19,5	27,0	0,6
Proteínas do soro	4,8	6,6	8,5
Cinzas	6,3	8,5	8,0
Água	2,5	3,0	3,0

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Na primeira etapa do experimento foi realizada a secagem de leite desnatado, com teor de sólidos lácteos padronizado para 44% m/v, por meio da adição de leite em pó desnatado, em minispray dryer, totalizando seis ensaios. Na segunda etapa do experimento foi realizada a secagem, sem pré-concentração, com 3 repetições dos seguintes, a saber: 1- leite desnatado, 2- mistura contendo 25% m/m de soro e 75% m/m de leite desnatado, 3- mistura contendo 50% m/m de soro e 50% m/m de leite desnatado e 4- soro, em minispray dryer no Laboratório de Corantes e Pigmentos do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa. O equipamento empregado para a secagem foi o minispray dryer B-190 marca Büchi. As condições técnicas de operação do spray dryer foram: 180°C de temperatura no ar de entrada da câmara, 70°C a 75°C de temperatura no ar de saída e 5000 Pa (50 mbar) de pressão negativa no ciclone. A análise de isotermas foi realizada a 25°C por meio da busca pelo equilíbrio entre as amostras e diferentes soluções saturadas de sais em dessecadores após 21 dias da entrada de cada amostra nos dessecadores. As soluções salinas saturadas utilizadas e seus respectivos valores de atividade de água são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** – Fórmula química dos sais e as respectivas atividades de água das suas soluções saturadas.

Sais empregados nas soluções saturadas	Atividade de água da solução salina saturada
Cloreto de lítio (LiCl)	0,112
Acetato de potássio $KC_2H_3O_2$	0,226
Carbonato de potássio $(K_2CO_3)$	0,438
Nitrato de magnésio $(Mg(NO_3)_2)$	0,523
Nitrato de amônio $(NH_4NO_3)$	0,620
Cloreto de sódio (NaCl)	0,753

Fonte: Walstra et al. (2001)

Para a determinação da umidade foi empregado o método gravimétrico. Os dados obtidos foram aplicados ao modelo proposto por Brunauer, Emmett e Teller (BET). O modelo de BET foi expresso pela equação 1,

$$aw/m(1-aw) = (C_b - 1/m_1 C_b) aw + 1/ (m_1 C_b) \quad (1)$$

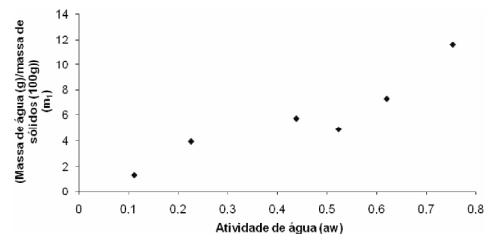
sendo:  $a_w$  = atividade de água da solução salina,  $m$  = massa de água em gramas por massa de sólidos em gramas,  $C_b$  = constante de energia de BET,  $m_1$  = massa de água em gramas por massa de sólidos em gramas na região de sorção primária.

Empregando o método dos mínimos quadrados para os dados experimentais, ao estabelecer que os valores de  $Y$  foram representados por  $a_w/m_1(1-a_w)$  e os valores de  $X$  foram representados por  $a_w$ , foi possível determinar os valores de  $m_1$  e  $C_b$ . O valor da constante  $C_b$  é aproximadamente igual a  $e^{(\Delta(H_1-H_v)/RT)}$ , onde  $R$  é a constante dos gases ideais e possui valor de  $8,314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ,  $T$  é a temperatura na escala Kelvin e  $\Delta(H_1-H_v)$  é a diferença entre a entalpia de adsorção na monocamada e a entalpia de condensação da água na temperatura de equilíbrio  $T$ . Desta forma, por meio do valor obtido para a constante  $C_b$  foi possível determinar o valor de  $\Delta(H_1-H_v)$ . No intuito de avaliar o ajuste ao modelo de BET foram determinados os coeficientes de correlação do modelo ajustado ( $R^2$ ), o coeficiente de Pearson para a análise paramétrica de correlação entre as variáveis (CCP) e o coeficiente de significância estatística do modelo proposto ( $P$ ), sendo considerados, no escopo deste trabalho, os coeficientes de correlação cujo nível de significância seja igual ou menor do que  $0,05$ . A análise estatística dos resultados foi conduzida por intermédio do software Microcal Origin 5.0 (1997). A partir dos dados da Tabela 1 foi calculada, por meio do balanço de massa, a composição para as misturas de leite desnatado e soro, sendo os resultados apresentados na Tabela 5.

**3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O teor médio de umidade do leite em pó desnatado, obtido pela secagem em minispray dryer ( $n = 6$ ), de leite desnatado pré-concentrado com leite em pó, foi de  $2,84 \pm 0,12\%$  m/m, valor que está de acordo com o preconizado pela legislação brasileira (Brasil, 1996). A isoterma obtida para o leite em pó é apresentada na Figura 1. O formato sigmoidal obtido é o esperado para a maioria dos alimentos (Damodaran et al., 2007; Fox, 1998).

Observa-se uma diminuição na massa de água por massa de sólidos na faixa de atividade de água entre 0,4 e 0,6. Pode-se atribuir esta depressão a passagem da lactose amorfa para o estado cristalino, cristais de  $\alpha$ lactose, que normalmente ocorre entre valores de atividade de água de 0,35 e 0,50 (Fox & Mcsweeney, 1998; Berlin et al., 1968). Tecnicamente esta faixa de atividade de água torna-se crítica para os lácteos desidratados, pois a cristalização da lactose acelera modificações deteriorantes como agregação de partículas coloidais, perda de solubilidade, escurecimento não enzimático, oxidação e diminuição significativa da estabilidade do produto durante o armazenamento (Jouppila & Roos, 1994; Píseký, 1997; Bhandari & Howes, 1999). Os resultados provenientes do ajuste dos dados experimentais ao modelo de BET são apresentados na Tabela 3.



**Figura 1** – Isoterma a 25°C para o leite em pó desnatado, obtido por secagem em minispray dryer, a partir de leite desnatado pré-concentrado com leite desnatado em pó a 44% de sólidos lácteos.

O teor de água encontrado para a monocamada ( $2,97 \text{ g de água}/100\text{g base seca do produto}$ ) a  $298,15 \text{ K}$  está de acordo com o esperado para leite em pó industrial segundo Bobbio & Bobbio (1992).

O valor médio de umidade na base seca dos pós obtidos no experimento foi de  $2,97 \text{ g de água}/100\text{g}$ . O valor de  $9,37$  encontrado para a constante de energia de BET ( $C_b$ ) possibilita determinar a diferença entre a entalpia de adsorção na monocamada e a entalpia de condensação da água no leite em pó obtido, estando em consonância com trabalhos descritos na literatura para leite

**Tabela 3** – Coeficientes obtidos após ajuste dos dados ao modelo de BET.

A	b	( $R^2$ )	CCP	P	$m_1$ g/100g	$C_b$ (kJ/mol)	$\Delta(H_1-H_v)$
0,3012	0,036	0,876	0,9360	0,006	2,97	9,37	5,54

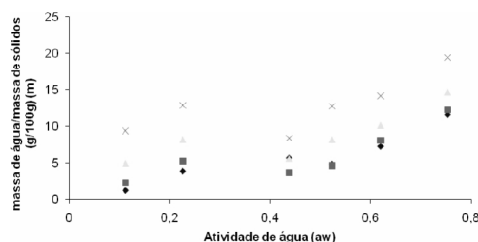
sendo:  $a$  = coeficiente angular da reta;  $b$  = coeficiente linear da reta;  $R^2$  = coeficiente de correlação do modelo ajustado; CCP = coeficiente de Pearson para a análise paramétrica de correlação entre as variáveis (CCP);  $P$  = coeficiente de significância estatística do modelo proposto;  $m_1$  = massa de água (g)

em pó desnatado industrial (Teixeira et al., 1985; Jouppila & Roos, 1994). Os resultados encontrados para o teor de umidade final, a forma sigmoïdal da isoterma, a presença da depressão na isoterma na região de cristalização da lactose e o valor da constante de energia de BET indicam que o leite em pó obtido pela secagem, de leite desnatado pré-concentrado por adição de leite em pó desnatado, em minispray dryer apresenta propriedades físico químicas de sorção semelhantes à de leites em pó industriais. Um limitante ao emprego do minispray dryer durante o experimento foi à impossibilidade de controle do teor de umidade do ar de aquecimento, o que dificulta o controle adequado do teor de umidade final do pó. De acordo com Chuck et al. (2008), somente o controle da temperatura do ar de saída da câmara é um processo ineficiente para a padronização do teor de umidade do leite desnatado desidratado, devendo ser associado o controle do teor de umidade do ar de entrada e do ar de saída da câmara. Segundo Masters (2002), a secagem do soro sem o pré-tratamento da cristalização pode ser realizada por meio de bicos de atomização operando com pressão de 20 MPa (200 bar), sendo alimentados por soro concentrado entre 42% e 45% m/m de sólidos totais, utilizando temperatura do ar de entrada entre 170°C e 180°C e de saída entre 85°C e 90°C, no intuito de obter um pó entre 3% m/m e 4% m/m de umidade final. Os resultados obtidos, na segunda etapa do experimento, para os teores médios de umidade e de atividade de água (aw) dos lácteos após a secagem são apresentados na Tabela 4. Os valores de umidade encontrados estão de acordo com o preconizado pela legislação brasileira (Brasil, 1996). As isotermas obtidas após o equilíbrio com as soluções saturadas dos sais são apresentadas na Figura 2. O mesmo formato sigmoïdal foi obtido para os quatro lácteos desidratados, o que é o comportamento esperado para a maioria dos alimentos (Damodaran et al., 2004; Fox & McSweeney, 1998).

**Tabela 4** – Teores de umidade e de atividade de água médios para os lácteos desidratados obtidos na segunda etapa do experimento (n=3).

Produto	Atividade de água (aw)	Água (%m/m)
Leite em pó desnatado	0,391±0,013	2,94±0,09
Soro 25% + Leite 75%	0,304±0,018	3,64±0,08
Soro 50% + Leite 50%	0,351±0,030	3,87±0,15
Soro	0,291±0,023	3,13±0,13

Observa-se na figura 2 que a isoterma do leite desnatado encontra-se mais próxima ao eixo X (atividade de água) e à medida que aumenta-se o teor de soro na composição da mistura, até a isoterma do soro, há um distanciamento gradativo das isotermas em relação a este eixo.



**Figura 2** – Isoterma dos lácteos desidratados obtidos no experimento.

sendo: losango azul = leite pó desnatado, quadrado rosa = 25% soro + 75% leite desnatado, triângulo amarelo = 50% soro + 50% leite desnatado, cruz vermelha = soro.

Este comportamento indica que para um mesmo valor de atividade de água os solutos do soro absorvem maior quantidade de água do que a mistura com 50% m/m de soro e 50% m/m de leite, que por sua vez absorve maior quantidade de água do que a mistura com 25% m/m de soro e 75% m/m de leite desnatado, e esta, maior quantidade do que o leite desnatado. O mesmo comportamento foi observado por Berlin et al. (1968), ao estudar isotermas de leite em pó integral, leite em pó desnatado e soro, obtidos por secagem em spray dryer piloto. Pode-se depreender que o aumento no teor de soro em misturas de leite desnatado com soro leva a produtos desidratados que possuem maior facilidade de absorção de água à mesma atividade de água, o que os torna mais susceptíveis a modificações químicas e bioquímicas, como reação de Maillard, atividade enzimática e desenvolvimento microbiano. As dificuldades para a conservação de lácteos com elevados teores de soro, devido a sua facilidade em absorver água e conseqüentemente sofrer modificações químicas e bioquímicas são relatadas na literatura (Fox & McSweeney, 1998; Pisecký, 1997; Walstra et al., 2001; Westergaard, 2001; Masters, 2002). As limitações associadas ao armazenamento de produtos com teores elevados de soro pode ser controlada por meio de um pré-tratamento do soro concentrado, que baseia-se na cristalização da lactose anteriormente a secagem. A lactose cristalizada presente no soro concentrado e conseqüentemente no soro em pó não é higroscópica, possibilitando que o produto seja armazenado por mais tempo e

em condições de umidade relativa ambiente mais elevadas. Para o efeito do pré-tratamento da cristalização do soro concentrado ser efetivo deve-se promover a cristalização induzida de pelo menos 70% da lactose (Pisecký 1997; Westergaard, 2001). De acordo com Schuck & Dolivet (2002), a taxa de cristalização pode ser controlada pela variação da velocidade de mutarrotação da forma  $\beta$  na forma  $\alpha$ , podendo ser determinada em lácteos desidratados por meio da quantificação da água de cristalização. A metodologia analítica clássica para determinação do teor de água de cristalização consiste na diferença entre o teor total de umidade do pó e o teor de umidade livre ou não hidratada. Schuck & Dolivet (2002), desenvolveram um método não destrutivo para determinação do teor de água de cristalização, tendo encontrado excelente correlação com a metodologia clássica ao trabalharem com pós de leite desnatado, suspensão de caseína e proteínas do soro. Conforme Pisecký (1997), a secagem de soro pré-cristalizado em spray dryer de único estágio deve ser conduzida por meio da concentração do soro entre 48% m/m e 55% m/m, emprego de temperatura de entrada entre 180°C e 200°C e temperatura do ar de saída em 92°C. Nenhum dos produtos obtidos pela secagem no spray dryer de bancada atingiu o valor de atividade de água próximo a 0,2, que é preconizado como faixa na qual os lácteos desidratados apresentam melhor conservação (Schuck et al., 2008). Observa-se na isoterma do leite em pó desnatado (Fig.1) uma diminuição na massa de água por massa de sólidos na atividade de água de 0,523. Depressão semelhante aparece nas isotermas (Fig.2) dos demais lácteos desidratados que possuem soro na sua composição em atividade de água mais baixa, na faixa ao redor de 0,438. Jouppila & Roos (1994), relatam depressão semelhante para isoterma de lactose em pó na região de atividade de água próxima a 0,4 e na região de atividade de água próxima a 0,5 para a isoterma de leite em pó desnatado obtido pelo processo de liofilização. Pode-se atribuir estas depressões nas isotermas a passagem da lactose amorfa para a forma cristalina, cristais de alactose, que normalmente ocorre entre valores de atividade de água de 0,35 e 0,50 (Fox & McSweeney, 1998; Berlin et al., 1968). Segundo Schuck & Dolivet (2002), durante a produção de lácteos desidratados, a evaporação da água é tão rápida que mesmo saturada a lactose não consegue cristalizar, transformando-se em lactose amorfa ou vítrea, problema que é acentuado em produtos com elevados teores de lactose. Pode-se atribuir ao aumento no teor de lactose das misturas o deslocamento da depressão das respectivas isotermas

para valor de atividade de água mais baixo, quando comparado ao leite em pó desnatado. Tecnicamente esta faixa de atividade de água torna-se crítica para os lácteos desidratados, pois a cristalização da lactose acelera modificações deteriorantes como agregação de partículas coloidais, perda de solubilidade, escurecimento não enzimático, oxidação e diminuição significativa da estabilidade do produto durante o armazenamento. (Jouppila & Roos, 1994; Pisecký, 1997; Bhandari & Howes, 1999). Na Tabela 5 é apresentada a composição centesimal calculada para as misturas de leite e soro. Por meio do balanço de massa é possível estimar a composição final na base seca dos lácteos desidratados obtidos no experimento. Na Tabela 6 são apresentados os resultados calculados para a massa e o teor de lactose cristalizada. Considerando que as depressões apresentadas nas isotermas são relativas à cristalização da lactose na forma de alactose monohidratada, é possível estimar a quantidade de alactose formada a partir da massa de água diminuída durante a depressão.

**Tabela 5** – Composição centesimal calculada na base seca para os lácteos desidratados obtidos.

Constituinte (%m/m)	I	II	III	IV
Gordura <sup>1</sup>	1,03	1,03	1,03	1,03
Lactose <sup>1</sup>	52,58	57,99	63,40	74,23
Caseína <sup>1</sup>	27,84	21,03	14,23	0,62
Proteína do soro <sup>1</sup>	6,80	7,29	7,78	8,76
Cinzas <sup>1</sup>	8,76	8,63	8,51	8,25

sendo: I = leite desnatado; II = 25% m/m de soro e 75% m/m de leite desnatado; III = 50% m/m de soro e 50% m/m de leite desnatado; IV = soro; <sup>1</sup> = valores calculados.

**Tabela 6** – Valores calculados para massa e percentual de lactose cristalizada.

Tratamento	MADI (g)	LP (%m/m)	LC <sup>1</sup> (%) <sup>1</sup>	LC (g)
I	0,847	52,6	16,1	30,6
II	1,554	58,0	29,5	50,9
III	2,654	63,4	50,4	79,5
IV	4,355	74,2	82,7	111,5

sendo: I = leite desnatado; II = 25% m/m de soro e 75% m/m de leite desnatado; III = 50% m/m de soro e 50% m/m de leite desnatado; IV = soro; <sup>1</sup> =

valores calculados; MADI = massa atribuída à água na depressão da isoterma; LP = teor de lactose no pó; LC = lactose cristalizada.

Observa-se que com o aumento no teor de lactose na mistura maior é a quantidade de água envolvida na depressão das isotermas, o que indica que esta massa de água correlaciona-se positivamente com o teor de lactose (coeficiente de correlação de Pearson igual a 0,9981). O teor de lactose cristalizado estimado varia de 30,6% do total deste constituinte no leite desnatado, chegando a 79,5% na mistura contendo 50% m/m de soro e 50% m/m de leite desnatado. O valor calculado de 111,5% de lactose cristalizada, encontrado para o soro, é indicativo de que outros constituintes como os sais minerais e as proteínas (proteínas do soro, caseína) contribuem para absorção de água na referida região de atividade de água. Desta forma, pode-se depreender que o teor de lactose presente nos pós após a secagem possui papel preponderante no comportamento de sorção na região de atividade de água compreendida entre 0,438 e 0,523, e, no distanciamento das isotermas em relação ao eixo X (atividade de água), tornando os produtos mais susceptíveis a modificações químicas e bioquímicas durante o seu transporte e armazenamento.

#### 4 CONCLUSÃO

A secagem de leite desnatado, pré-concentrado por adição de leite desnatado a 44% de sólidos lácteos, em minispray dryer possibilita a obtenção de um produto em pó com propriedades de sorção, indicadas pelo comportamento das isotermas, semelhantes a leites em pó industriais. O modelo de BET ajustou-se aos dados de equilíbrio para o leite em pó desnatado obtido por secagem em minispray dryer, possibilitando o cálculo do teor de água na monocamada. Na isoterma foi possível identificar o valor de atividade de água no qual se atribui a cristalização da lactose. O aumento gradativo na quantidade de lactose, devido ao aumento do teor de soro das misturas dos lácteos desidratados estudados, impacta no distanciamento das isotermas em relação ao eixo X (atividade de água), indicando maior absorção de água para o mesmo valor de atividade de água. O deslocamento da depressão observado nas isotermas dos pós adicionados de soro, em relação ao leite em pó desnatado, pode ser atribuído a uma cristalização precoce da lactose. O emprego de misturas de leite e soro, sem nenhum tipo de mudança na tecnologia de secagem, leva a obtenção de lácteos desidratados mais propensos a modificações químicas e bioquímicas durante o período de transporte e armazenamento.

#### SUMMARY

In this study whey powders and skim milk powder were produced in laboratory scale. Water vapor sorption for each powder was measured gravimetrically. The results of the isothermal adsorption were in agreement with the BET model and the quantities of water in the monolayer, obtained by the model, were less than the total quantities of water in the powders. Laboratory scale production of milk and whey powders showed that increasing whey percentage in the mixture of milk and whey before drying led to water adsorption problems during the storage of the powders.

**Index terms:** drying, stability, storage, skim milk powder, whey powder.

#### AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) pelo suporte financeiro ao projeto APQ 00499-08 e pela bolsa de incentivo a pesquisa.

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERLIN, E.; ANDERSON, B. A.; PALLNSCH, M. J. Water vapor sorption properties of various dried milks and wheys. **Journal of Dairy Science**, Champaign, Ohio, v. 51, p. 1339-1344, 1968.
- BHANDARI, B. R.; HOWES, T. Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. **Journal of Food Engineering** v. 40, p. 71-79, 1999.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Portaria nº 146, de 07 de março de 1996. Aprova os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade dos Produtos Lácteos. Publicada no Diário Oficial da União de 11/03/1996, Seção 1, Página 3977. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade portaria 396/97 – Ministério de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
- BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Varela, 151 p., 1992.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L., FENNEMA, O. R. **Fennema's Food Chemistry**. 4ed. New York: CRC Press, 2007. 1144p.
- FOX, P. F., McSWEENEY, P. L. H. **Dairy Chemistry and Biochemistry** 1ed. London: Thomson Science, 461p., 1998.

- HYND, J. Drying of whey. **Journal of The Society of Dairy Technology**, Wembley, v. 33, n. 2, p. 52-55. Apr.1980.
- JOUPPILA, K., ROOS, Y. H. Water sorption and time-dependent phenomena of milk powders. **Journal of Dairy Science, Champaign, Ohio**, v. 77, p. 1798-1808, fev. 1994.
- KNIPSCHILDT, M. E., ANDERSEN, G. G. In: ROBINSON, R. K., **Advances in Milk Processing**, London: Chapman & Hall, 1994. v. 1. p. 159-254.
- MASTERS, K. **Spray Drying in Practices**. Denmark: Spray Dry Consult International ApS, 2002. 464 p.
- MICROGAL ORIGIN 5.0, versão 1.0.0.1: Microgal Software, Inc. United States, 1997.
- PÍSECKÝ, J. **Handbook of milk powder manufacture**, Niro A/S, Copenhagen, Denmark 7.
- SCHUCK, P. Spray drying of dairy products: state of the art. **Le Lait**, Rennes, v. 82, p. 375-382, 2002.
- SCHUCK, P.; DOLIVET, A. Lactose crystallization: determination of lactose monohydrate in spray-dried dairy products. **Le Lait**, Rennes, v. 82, p. 413-421, 2002.
- SCHUCK, P.; DOLIVET, A.; MÉJEAN, S.; JEANTET, R. 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, p. 45-52, 2008.
- TERRA VIVA – **Tabelas sobre dados de exportação de produtos lácteos**. 2008. Disponível em: <<http://www.terraviva.com.br/PHPNovo/Estatistica>>. Acesso em 03 de março de 2009.
- TEIXEIRA, M. C. B.; FILHO, J. B. P.; BRANDÃO, S. C. C.; PINHEIRO, A. J. R.; FORTES, M. Teor de umidade da monocamada de leite em pó desnatado. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, Juiz de Fora*, v. 40, p. 49-59, 1985.
- VUATAZ, G. The phase diagram of milk: a new tool for optimizing the drying process. **Le Lait**, Rennes, v. 82, p. 485-500, 2002.
- WALSTRA, P.; GEURTS, T. J.; NOOMEN, A.; JELLEMA, A.; BOEKEL, M. A. J. S. **Ciência de la leche y tecnología de los productos lácteos**. Zaragoza: Editorial Acribia, 2001. 729 p.
- WESTERGAARD, V. **Tecnología de La Leche en Polvo – Evaporación y Secado por Atomización**. Copenhagen: Niro A/S, 2001. 166 p.