Artigo de Revisão

SECAGEM POR SPRAY: UMA REVISÃO

Spray drying: a review

Arlan Caldas Pereira SILVEIRA[1]
Ítalo Tuler PERRONE[2*]
Paulo Henrique RODRIGUES JÚNIOR[3]
Antônio Fernandes de CARVALHO[4]

RESUMO

O objetivo deste artigo foi apresentar os princípios da secagem por spray e os mais recentes resultados de pesquisas na área de leite e derivados. Visando abranger este assunto, o artigo foi dividido em seis partes: introdução, princípios da secagem por spray, atomização, secagem em estágios, resultados de pesquisas e conclusão.

Palavras-chave: secagem; lácteos desidratados, tecnologia.

ABSTRACT

The goal of the present article was to present the principles of the spray drying process and the recent research findings in milk and dairy products. In order to reach these objectives, the article was divided into six parts: introduction, principles of spray drying, atomization, drying in stages, research findings and conclusion

Keywords: drying; dried dairy powders; technology.

1 INTRODUÇÃO

A secagem ou desidratação é uma operação muito útil na indústria de alimentos assim como em indústrias farmacêuticas, poliméricas e químicas (SCHUCK, 2002). Esta operação consiste na extração de parte da água de um produto, permitindo uma conservação mais longa e diminuindo os custos logísticos.A tecnologia de secagem do leite é empregada industrialmente desde o inicio do século XX. A primeira menção do processo de secagem por spray é de 1865, sendo relativa ao processamento de ovos. Em 1901, Stauff patenteou um método para a secagem por spray de sangue e leite, na qual empregava um atomizador de bico e uma placa perfurada para dispersão do ar. As primeiras aplicações industriais da secagem por spray datam da década de 1920 e são relativas às indústrias de detergentes e lácteas (MASTERS, 2002). Este trabalho consiste de uma revisão sobre os aspectos tecnológicos do processo de secagem por spray na indústria de laticínios.

1 Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Estudante do INRA-UFV. Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais, Brasil.Email: arcpsi@yahoo.com.br
2 Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Professor Adjunto do Departamento de Tecnologia de Alimentos da UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Email: italo.perrone@ufv.br
3 Estudante de Ciência e Tecnologia de Alimentos da UFV. Departamento de Tecnologia de Alimentos da UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Email: paulo.h.junior@ufv.br
4 Doutor em Sciences et Techniques des Industries Agricoles et Alimentaire. Professor do Departamento de Tecnologia de Alimentos da UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Email:antoniofernandes@ufv.br
* Autor para correspondência: Universidade Federal de Viçosa/ Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Avenida P.H. Rolfs s/n, Campus Universitário, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. CEP 36570-000. E-mail: italo.perrone@ufv.br

Recebido / Received: 06/09/2012
Aprovado / Approved: 04/12/2012

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Princípios da secagem por atomização

A primeira patente que descreve o processo de secagem por spray data de 1872 e foi realizada por Percy nos Estados Unidos, sendo este considerado o inventor da tecnologia de secagem por spray (CARIĆ et al, 2009). Objetivando melhorar as características de solubilidade do leite em pó desnatado, Peebles depositou patentes nos anos de 1936, 1955 e 1958. Essas patentes descreviam a umidificação controlada da superfície de partículas de leite em pó desnatado em correntes turbulentas de ar, o que causava a colisão das partículas úmidas e a consequente formação de aglomerados, que tinham o seu teor de umidade reduzido pela posterior passagem de ar quente. Os produtos tratados por este sistema receberam o nome de leite em pó instantâneo. A introdução do processo de secagem em dois estágios ocorreu na década de 1970 tendo importância significativa no aumento da capacidade de evaporação dos equipamentos e na melhoria da qualidade dos pós oriundos de produtos termo sensíveis (MASTERS, 2002).

A secagem dos líquidos por atomização ou pulverização, frequentemente chamada de secagem por atomização ou "spray drying", consiste em dispersar o produto a ser seco sobre forma de pequenas gotículas em uma corrente de ar quente de maneira a obter um pó. Quando um alimento é colocado em uma corrente de ar com baixa umidade relativa (pressão de 1554 Pa) e elevada temperatura (em média 200ºC), é formada espontaneamente uma diferença de temperatura e pressão parcial de água entre o alimento e o ar, resultando uma transferência de energia na forma de calor do ar para o produto e uma transferência de água do produto para o ar, sendo que o ar em contato com a partícula láctea atomizada possui temperatura de 45ºC e pressão de 9583 Pa (SCHUCK et al., 2010). De acordo com Schuck (2009), as pequenas gotículas formadas e a grande área superficial das mesmas resultam em uma rápida evaporação da água a uma temperatura relativamente baixa, minimizando os danos térmicos ao produto.

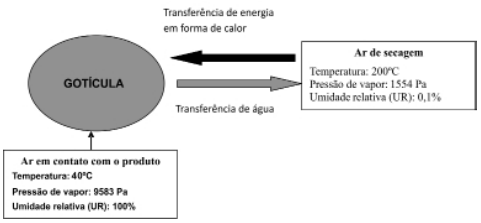


Figura 1 – Princípio de secagem por atomização (SCHUCK, 2010).

Segundo CARIĆ (2009) a taxa de variação infinitesimal da massa de água evaporada durante a secagem pelo tempo é expressa pelas equações 1 e 2.

$$\frac{dW}{dt} = A \cdot K \cdot (p_{vk} - p_v)\ ; equação\ (1)$$

$$\frac{dW}{dt} = A \cdot h \cdot \frac{(T_v - T_{vk})}{r}\ ; equação\ (2)$$

Sendo: dW/dt = taxa de variação infinitesimal da massa de água evaporada durante a secagem pelo tempo (kg·s-1); A = área superficial da partícula atomizada (m2); K = coeficiente de transferência de massa (kg·s-1·N-1); pvk= pressão parcial da água na saturação na temperatura de bulbo úmido (Pa); pv = pressão parcial da água no ar que envolve a partícula atomizada (Pa); h = coeficiente de transferência de calor (W·m-2·K); r = calor latente de evaporação da água (J·kg-1); Tv = temperatura do ar de secagem (K); Tvk = temperatura de bulbo úmido (K).

A velocidade de secagem é ligada a três fatores: a superfície de evaporação, a diferença da pressão parcial de água entre a gotícula e o ar e a velocidade de migração de água na gotícula (SCHUCK, 2010). De acordo com a lei de Fourier, quanto maior a área de troca, mais rápida será a transferência de energia na forma de calor e, portanto maior será a velocidade de secagem. Acontece o mesmo para a cinética de secagem. Baseado na equação 1 conclui-se que a transferência de água do produto para o ar é causada pela diferença da pressão parcial da água entre as gotículas e o ar seco e que quanto maior a diferença mais rápida será a secagem. Uma desidratação do ar e, ou um aumento da temperatura permite uma diminuição de sua pressão parcial da água.

ATOMIZAÇÃO

A atomização é uma etapa do processo de secagem por spray no qual ocorre a partir de um líquido de partida a produção de gotículas com grande relação superfície-massa e que após a evaporação da água cria as partículas do pó que serão descarregadas da câmara de secagem (MASTERS, 2002). Os parâmetros de atomização influenciam importantes propriedades dos pós como densidade, formato, distribuição de tamanho, quantidade de ar ocluso e o teor final de umidade. Desta forma, segundo Schucket al. (2012), as funções básicas da atomização são proporcionar uma elevada taxa de evaporação e produzir partículas com formato, tamanho e densidade com magnitudes controladas e desejadas. Ao se empregar atomizadores centrífugos, as rotações do disco variam entre 10000 e 20000 por minuto e a pressão nos bicos varia entre 17 MPa a 25 MPa (SKANDERBY et al., 2009). Desta forma, pequenas partículas com tamanho uniforme são obtidas, tendo diâmetro variando entre 20 µm e 150µm (WESTERGAARD, 2004).

Na Tabela 1 são apresentadas algumas características dos sistemas de atomização.

Na Tabela 2 são apresentadas algumas características dos sistemas de atomização.

SECAGEM EM ESTÁGIOS

A secagem por atomização evoluiu de um simples estágio até três estágios (Tabela 3). A torre de secagem 'simples estágio' (ou 'um tempo', Figura 2), tem um tempo de estadia na câmara de secagem muito curto, de 20 a 60 segundos em média, portanto não existe um equilíbrio real entre a umidade das partículas ou aglomerados do pó e do ar. A temperatura de saída do ar é, portanto mais elevada e o rendimento térmico é diminuído (SCHUCK, 2009; MASTERS, 2002).A torre de secagem 'dois estágios' (ou 'dois tempos', Figura 3) é construída para obter um tempo de secagem mais longo, até vários minutos e, portanto mais próximo do equilíbrio termodinâmico. Por este tipo de instalação, um leito fluidizado externo vibrante é necessário para obter a umidade residual requerida (WESTERGAARD, 2004; MASTERS,2002).A secagem 'três estágios' (ou 'três tempos' ou 'MSD' ('MultiStagedrying'), Figura 4) é o maior progresso realizado nesta área desde o início da secagem por atomização. Para reduzir os custos de secagem e melhorar as performances das instalações, tem-se que transferir a maior parte possível da secagem da fase 'atomização' para a fase 'fluidização'. O limite é o inicio da aderência entre o produto úmido e a parede da torre. Para evitar este inconveniente, um leito fluidizado no interior da unidade (leito fluidizado interno ou estático) é instalado para secar o produto úmido (CARIĆ, 2009; WESTERGAARD, 2004; MASTERS, 2002). A temperatura do ar de entrada e saída variam de acordo com as diferentes torres de secagem. Para as unidades 'três tempos', aproxima-se o meio do equilíbrio termodinâmico. Devido à melhora do rendimento térmico, a temperatura de entrada deste tipo de torre pode ser mais elevada, sendo que, ao contrário, a temperatura de saída é mais baixa. Uma melhora da qualidade do produto ao nível da aglomeração, da solubilidade, da dispersibilidade e da molhabilidade, é igualmente observado sobre as torres de secagem de três estágios (SKANDERBY et al., 2009; PISECKÝ, 1997).Existem também outras instalações de secagens (Tallform, Filtermat, Secagem a bandas) destinadas aos produtos que tem propriedades específicas, alto teor em matérias gordas, amidos, entre outros (WESTERGAARD, 2004; MASTERS, 2002).

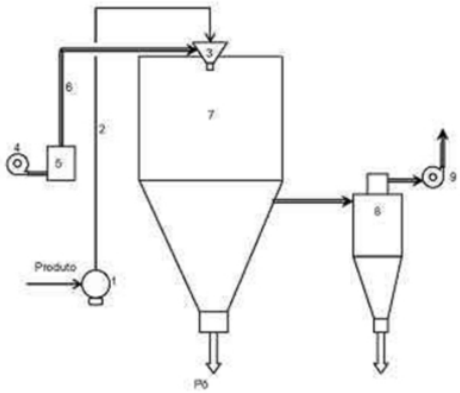


Figura 2 – Esquema do principio da torre de secagem 'simples estágio' (1: Bomba de alimentação, 2: Circuito de alimentação, 3: Atomizador, 4: Ventilador de ar de entrada, 5: Aquecedor de ar, 6: Canalizador de ar quente, 7: Câmara de secagem, 8: Ciclone, 9: Ventilador de ar de saída.

Tabela 1 – Características de sistemas de atomização.

Atomizador rotativo		Atomizador tipo bico de pressão		Atomizador tipo bico pneumático	
Velocidade periférica ($m \cdot s^{-1}$)	Tamanho médio das partículas atomizadas (μm)	Pressão (bar)	Tamanho médio das partículas atomizadas (μm)	Proporção ar-líquido ($kg \cdot g^{-1}$)	Tamanho médio das partículas atomizadas (μm)
>180	20 a 40	>100	20 a 40	>3:1	5 a 20
150 a 180	40 a 80	50 a 100	40 a 75	1,5 a 3:1	20 a 30
125 a 150	80 a 120	25 a 50	15 a 150	1 a 1,5:1	30 a 50
75 a 125	120 a 225	15 a 25	150 a 350	0,5 a 1:1	50 a 125

Fonte: MASTERS (2002).

Tabela 2 – Algumas características dos sistemas de atomização.

	Vantagens	Desvantagens
Atomizador centrifugo ou disco de atomização	Flexibilidade, elevada taxa de fluxo, possibilidade de trabalhar com produtos de elevadas viscosidade e teor de sólidos	Investimento e custo de manutenção dos aparatos de atomização, aumenta a quantidade de ar ocluso e diminui a densidade do pó
Bico de pressão	Diminui a quantidade de ar ocluso e aumenta a densidade do pó, melhora a fluidez do pó, possibilita aglomerações intensas, bai xo investimento no bico	Elevado custo de manutenção da bomba de alta pressão, desgaste das partes que compõem os bicos (principalmente ao trabalhar - se com cristais de lactose), limitações quanto a viscosidade e teor de sólidos do produto de alimentação
Bico de dois fluidos	Adequado a produtos sensíveis e elevadas pressões	Aumenta a quantidade de ar ocluso e diminui a densidade do pó

Fonte: SCHUCK et al. (2012), WESTERGAARD (2004), MASTERS (2002).

Tabela 3 – Características dos diferentes processos de secagem.

Característica	**Secagem em único estágio**	**Secagem em múltiplos (dois e três) estágios**
Câmara de Secagem	Responsável por toda evaporação da água	Responsável pela evaporação parcial da água
Fluidizador	Caso presente realize resfriamento	Realiza evaporação e resfriamento
Temperatura do ar de entrada	170 °C a 200 °C	200 °C a 230 °C
Temperatura do ar de saída	85 °C a 90 °C	60 °C a 75 °C
Eficiência térmica	1595 kcal·kg^{-1} de H_2O evaporada	960 a 1350 kcal·kg^{-1}de H_2O evaporada
Vazão de produto concentrado na câmara	Menor	Maior
Tempo de residência das partículas nos secadores	20 s a 60 s	Alguns minutos
Busca pelo equilíbrio entre ar de saída e o pó	Não há tempo de residência suficiente	O maior tempo de residência possibilita este estado
Aglomeração do pó	Espontânea	Espontânea e intencional
Tipo de pó produzido	Particulado	Particulado e aglomerado

Fonte: Adaptado de PÍSECKÝ (1997) e SCHUCK (2009)

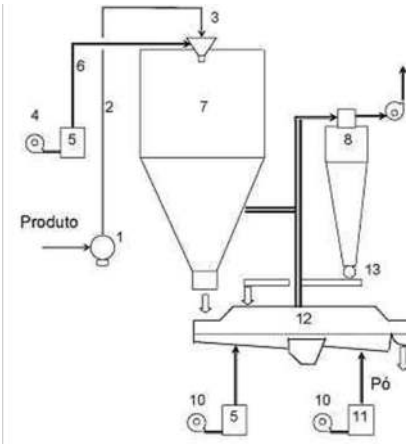


Figura 3 – Esquema do principio da torre de secagem 'dois estágios' (1: Bomba de alimentação, 2: Circuito de alimentação, 3: Atomizador, 4: Ventilador de ar de entrada, 5: Aquecedor de ar, 6: Canalizador de ar quente, 7: Câmara de secagem, 8: Ciclone, 9: Ventilador de ar de saída, 10: Ventilador de leito fluidizado externo, 11: Resfriamento de ar, 12: Leito fluidizado externo, 13: Válvula rotativa).

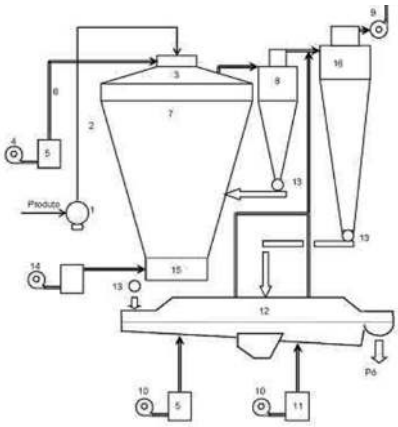


Figura 4 – Esquema do principio da torre de secagem 'três estágios' (1: Bomba de alimentação, 2: Circuito de alimentação, 3: Atomizador, 4: Ventilador de ar de entrada, 5: Aquecedor de ar, 6: Canalizador de ar quente, 7: Câmara de secagem, 8: Ciclone, 9: Ventilador de ar de saída, 10: Ventilador de leito fluidizado externo, 11: Resfriamento de ar, 12: Leito fluidizado externo, 13: Válvula rotativa, 14: Ventilador do ar do leito estático, 15: Leito fluidizado interno, 16: Ciclone secundário).

AGLOMERAÇÃO

Segundo Masters (2002), um aglomerado é formado por duas ou mais partículas de pó aderidas entre si por meio da umidade superficial, de estrutura friável na qual as formas das partículas originais são perceptíveis. A aglomeração possui uma influência direta nas propriedades físicas do leite em pó, uma vez que partículas grandes tornarão o pó mais fluido, sendo uma demanda solicitada pelos consumidores e pelas indústrias (SKANDERBY et al., 2009). A aglomeração afeta positivamente as propriedades de dissolução dos pós, porém apresenta como desvantagem produzir um pó com baixa densidade (bulk density), o que acarreta maiores custos logísticos e de embalagem (WESTERGAARD, 2004). A Tabela 4 define os tipos de aglomeração existentes nos processos de secagem por spray.

RESULTADOS DE PESQUISAS

Diversas pesquisas são realizadas atualmente na área de produtos lácteos desidratados, contando com fortes equipes de pesquisadores em diferentes países. As principais linhas de pesquisa nesta área são: avanços na tecnologia de produção de lácteos desidratados (separação por membranas, evaporação a vácuo, secagem por spray, fluidização e estocagem); soro e seus derivados (principalmente sobre lactose e sua cristalização); engenharia de processo e tecnologias alternativas visando à economia e reaproveitamento de energia; propriedades dos lácteos desidratados e reatividade (análises caracterização e comportamento durante a granulação e reidratação); e aspectos nutricionais de lácteos desidratados (propriedades físico funcionais e valor nutricional de lácteos desidratados). A Federação Internacional de Laticínios (FIL) desde o ano de 2001 realizou cinco simpósios internacionais (Rennes-França 2001, Cork-Irlanda 2004, São Francisco-Estados Unidos 2007, Melbourne-Austrália 2009, Saint Malo-França 2012) sobre produtos lácteos desidratados por spray dryer e um simpósio específico sobre a lactose e seus derivados (Moscou-Rússia 2007), o que indica um cenário internacional favorável à produção e a pesquisa na área em questão.

O avanço na aplicação e nas tecnologias de membranas impulsionam as pesquisas e os desenvolvimentos nesta área de pesquisa. A obtenção de produtos lácteos desidratados com funcionalidades específicas a aplicação industrial implica no desenvolvimento de novos produtos a partir do fracionamento dos constituintes do leite e do soro. O"Cracking" do leite em diferentes formas desidratadas e estáveis levou a um aumento súbito no uso de produtos lácteosintermediários. A Figura 5 ilustra as principais tecnologias empregadas na produção de lácteos desidratados.

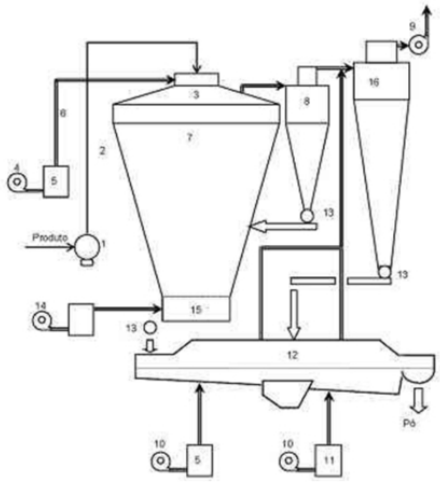


Figura 5 –"Cracking" do leite (Schuck, 2002). Legenda:[ ]: Concentração à vácuo, CMC: Concentrado de micelas de caseína, WPC: Concentrado de proteínassolúveis, CPL: Concentrado de proteínas do leite, ED: Eletro diálise, IE: Troca iônica, EV: Evaporação a vácuo, MF: Microfiltração 0,1 µm, MFat: Microfiltrado, NF: Nanofiltração, UF: Ultrafiltração

Parisot; Remond (2012) estudaram o tempo de residência em evaporadores como uma ferramenta no desenvolvimento de novos equipamentos. O tempo de residência é a chave para aplicação de modelos cinéticos e desta forma, prever as propriedades dos produtos concentrados. O objetivo do estudo é proporcionar melhores condições de processamento para o controle da desnaturação proteica, da digestibilidade dos pós, da reação de Maillard entre outras. Vignolles et al. (2010) estudaram a estrutura supramolecular da gordura em lácteos desidratados e determinaram que esta propriedade pode ser empregada para ajustar as temperaturas empregadas durante o processo de secagem por spray. Gaianiet al. (2010) estudaram o efeito da temperatura de secagem na composição superficial de lácteos proteicos desidratados. Os resultados indicam uma concentração de lipídios na superfície das partículas para todos os pós e uma concentração de proteínas para alguns tipos de produtos. Independentemente da temperatura empregada os lipídios e as proteínas se concentram na superfície e a lactose se concentra no interior das partículas. O enriquecimento desta superfície é altamente afetado pelas temperaturas de secagem. Foi encontrada uma correlação direta entre a concentração de lipídios na superfície dos pós e a sua molhabilidade. Patelet al. (2010) estudaram as vantagens e desvantagens do processo de simulação unidimensional da secagem por atomização "co-corrente". Este método é uma técnica empregada

Tabela 4 – Definições dos diferentes tipos de aglomeração

Tipo de aglomeração	Definição	Exemplos
Espontânea e primária	Aleatória, colisões entre as partículas após a atomização	Todos os tipos de atomização
Forçada e primária	Intencional, colisões provocadas entre as partículas provenientes de diferentes dispositivos de atomização	Colisões causadas por sistemas de atomização do tipo bico
Espontânea e secundária	Aleatória, colisões entre as partículas atomizadas e os finos	Sistemas de secagem de múltiplos estágios
Forçada e secundária	Intencional, colisões entre partículas atomizadas e os finos que são forçados a retornar para a zona de atomização	Sistemas de secagem com retorno de finos para a câmara de secagem

Fonte: SKANDERBY et al. (2009)

para avaliação dos parâmetros de operação e das propriedades dos produtos anteriormente a realização de testes em escala industrial, possuindo a grande vantagem de realizar cálculos rapidamente com relativa simplicidade. O trabalho apresenta um exemplo de aplicação desta técnica no processamento do leite em pó. O aproveitamento do soro corresponde a grande parte da rentabilidade do processo de fabricação dos queijos. A secagem de soro e de seus derivados implica em desafios a ciência e a tecnologia, uma vez que o comportamento dos produtos durante a secagem e o armazenamento é distinto do comportamento do leite. Jelen (2012) descreve o comportamento a as aplicações industriais da cristalização da lactose durante o processamento de soro e de seus derivados. Neste trabalho apresenta as principais propriedades físico-químicas que afetam a cristalização da lactose, em especial o equilíbrio mutarrotacional, a solubilidade, o perfil e a forma dos cristais.Perrone et al. (2012) estudaram a cristalização da lactose em soro concentrado com gordura. Apresentaram as equações empíricas que descrevem a cristalização da lactose no soro concentrado a aproximadamente 59ºBrix, objetivando uma cristalização mínima de 70%, o que configura importante e vital propriedade de controle na produção de soro em pó.No intuito de minimizar os efeitos da cristalização da lactose durante a secagem e o armazenamento de soro busca-se empregar substâncias coma capacidade de elevar a temperatura de transição vítrea da matriz láctea, dentre as quais podemos destacar a maltodextrina. Potes; Roos (2012) estudou a cristalização e a fluidez de sistemas formados por lactose e maltodextrina.A formulação de produtos infantis é um grande mercado para as indústrias de produtos desidratados. O entendimento dos efeitos da formulação e do processamento sobre as características destes produtos constituem uma importante e necessária linha de pesquisa. Dupont et al. (2010) investigaram o efeito do aquecimento, durante a produção de alimentos infantis, sobre a estrutura da caseína e principalmente sobre a resistência desta fração proteica a condições simuladas de digestão. Concluíram que o tratamento térmico do leite antes do processo de secagem por spray aumenta significativamente a resistência desta fração proteica ao processo de digestão em condições simuladas da digestão por crianças. Segundo este estudo as áreas da proteína que apresentavam modificações pós-translacionais e elevada hidrofobicidade foram as de maior resistência a digestão.

3 CONCLUSÃO

O processo de secagem por spray configura importante ferramenta tecnológica para a indústria de laticínios por meio da produção de lácteos com propriedades de aplicação industrial, de elevado valor nutricional e auxiliam na rentabilidade de tecnologias como a de produção de queijos. As principais áreas de pesquisa em lácteos desidratados obtidos da secagem por spray são: avanços na tecnologia de produção de lácteos desidratados; soro e seus derivados; engenharia de processo e tecnologias alternativas visando à economia e reaproveitamento de energia; propriedades dos lácteos desidratados e reatividade; e; aspectos nutricionais de lácteos desidratados.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARIĆ, M.et al. Technology of evaporators, membrane processing and dryers.In: TAMIME, A.Y. **Dairy powders and concentrated products**. 1 ed. Ayr: Wiley-Blackwell, 2009. p. 99-148.

DUPONT,D. et al. Heat treatment of milk during powder manufacture increases casein resistance to simulated infant digestion. **Food Digestion**, New York, v.1, n.1, p.28-39, 2010.

GAIANI,C. et al. How surface composition of high milk proteins powders is influenced by spray-drying temperature. **Colloids and Surfaces B: Biointerface**s, Oxford, v.75, n. 1, p.377-384, 2010.

JELEN,P. Crystallization of lactose – behavior and industrial applications. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPRAY DRIED PRODUCTS, 5., 2012, Saint Malo – França. **Proceedings …**, Saint Malo: INRA, 2012. p.39-40.

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

PARISOT,C.; REMOND,B. Residence time distribution: a new approach for the design of dairy evaporators. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPRAY DRIED PRODUCTS, 5., 2012, Saint Malo – França. **Proceedings…**, Saint Malo: INRA, 2012. p.29-30.

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.1-30, 2010.

PERRONE, I.T. et al.Crystallization in concentrated whey In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPRAY DRIED PRODUCTS, 5., 2012, Saint Malo – França. **Proceedings…**, Saint Malo: INRA, 2012. p.41-42.

PÍSECKÝ, I.J.; **Handbook of milk powder manufacture.Copenhagen**: NIRO A/S, 1997. 261p.

POTES,N.; ROOS,Y.H., Crystallization and

fluidness of Lactose-Maltodextrin Systems In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPRAY DRIED PRODUCTS, 5., 2012, Saint Malo – França. **Proceedings...**, Saint Malo: INRA, 2012. p.43.

SCHUCK, P. Spray drying of dairy products: state of the art. **Lait**,Rennes, v. 82, n.4, p. 375 – 382, 2002.

_____. Understanding the factors affecting spray-dried dairy powder properties and behavior In: CORREDIG, M. **Dairy-derived ingredients**. 1ed. Boca Raton:CRC, 2009. Cap. 2, p.24-50.

_____; JEANTET, R.; CARVALHO, A. F. **Lactose Crystallization and drying of whey**. Viçosa, MG: UFV, 2010. Curso ministrado na disciplina TAL 795 Ciência e Tecnologia de Leite e Derivados.

_____; DOLIVET,A.; JEANTET,R. **Analytical methods for food and dairy powders**. Chichester:Wiley-Blackwell, 2012.248 p.

SKANDERBY,M. et al. Dried Milk Products In: TAMIME,A.Y.**Dairy powders and concentrated product**s. 1ed. Chichester:Wiley-Blackwell, 2009. cap. 5, p. 99-148.

VIGNOLLES,M.L et al. Fat supramolecular structure in fat-filled dairy powders: a tool to adjust spray-drying temperatures. **Dairy Science and Technology**, Rennes,v.90, n.2-3, p.287-300, 2010.

WESTERGAARD, V. **Milk powder technology - Evaporation and spray drying**. Copenhaguen:NiroA/S, 2004.337 p.