

FLUIDODINÂMICA DE LEITO DE JORRO COM LEITE DE CABRA E POLPA DE CAJÁ

Karla dos Santos Melo

Eng. Agrícola, M. Sc., Aluna de Doutorado da UAEEA/CTRN – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. CEP 58109-970, Campina Grande, PB. E-mail: karlasmelo@gmail.com

Marcos Antonio do Nascimento

Química Industrial, M. Sc., Professor – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – UFPE. CEP 58109-970, Belo Jardim, PE. E-mail: marcosagnascimento@hotmail.com

Wolia Costa Gomes

Química Industrial, M. Sc., Aluna de Doutorado da PPG-EP/CCT – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. CEP 58109-970, Campina Grande, PB. E-mail: woliagost@yahoo.com.br

Shâmia Bezerra Cabral

Eng. Química, M. Sc., Aluna de Doutorado da PPG-EP/CCT – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. CEP 58109-970, Campina Grande, PB. E-mail: shamia_cabral@yahoo.com.br

Ana Paula Trindade Rocha.

Eng. Química, D. Sc., Professor Adjunto II da UAEEA/CTRN – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. CEP 58109-970, Campina Grande, PB. E-mail: anatrindade@deag.ufcg.edu.br

Resumo: Estudos fluidodinâmicos foram realizados como primeira etapa de uma pesquisa sobre a secagem da mistura de leite de cabra e polpa de cajá em leito de jorro. Foram realizados testes com partículas inertes de poliestireno de diâmetro 0,326 cm e leite de cabra com 10, 20 e 30% de adição de polpa de cajá num percentual de 2 % da massa do material inerte (900 g). A alimentação da mistura leite de cabra/polpa de cajá foi feita por gravidade na parte superior da coluna. Para ensaios com inertes, a velocidade de jorro mínimo no secador foi encontrada em torno de 19,6 m/s. Nos ensaios realizados com 2% de mistura leite de cabra com 10, 20 e 30% de adição de polpa de cajá não foram verificados efeitos expressivos na velocidade de jorro mínimo em função do acréscimo de leite de cabra/polpa de cajá.

Palavras-chave: secagem; polpa de fruta; leite de cabra

FLUIDO DINÁMICA DEL LECHO JORRO CON LECHE DE CABRA Y LA PASTA DE CAJÁ

Resumen: Se realizaron estudios hidrodinámicos como la primera etapa de la investigación sobre el secado de la mezcla de leche de cabra y pasta de Caja em leche de jorro. Se realizaron pruebas con partículas de poliestireno inerte de 0,326 cm de diámetro y la leche de cabra con 10, 20 y 30% de la adición de pulpa de caja un porcentaje del 2% en peso de material inerte (900 g). La alimentación de la mezcla de leche de cabra / caja fue realizado por la gravedad en la em la parte superior de La columna. Para los ensayos con inertes, la mínima velocidad de jorros en la secadora se encuentra alrededor de 19,6 m / s. En los ensayos realizados con 2% mezcla de leche de cabra con 10, 20 y 30% de la adición de pulpa de caja no se observaron efectos significativos en el mínimo de jorros la velocidad en función de la adición de leche de cabra / pasta de caja.

Palabras claves: secagen, pasta de frutas, leche de cabra

SPOUTED BED FLUID DYNAMIC WITH GOAT MILK AND HOG PLUM PULPS

Abstract: Hydrodynamic studies were carried out as the first stage of a study on the drying of the mixture of goat milk and yellow mombin fruit pulp spouted bed. Tests were conducted with inert polystyrene particles of diameter 0.326 cm and goat milk with 10, 20 and 30% of adding yellow mombin fruit pulp a percentage of 2% by weight of inert material (900 g). Feeding the mixture of goat milk/yellow mombin fruit pulp was done by gravity on the upper spine. For tests with inert, the minimum spouting velocity in the dryer was found around 19.6 m / s. For tests with 2% mixture of goat milk with 10, 20 and 30% of adding yellow mombin fruit pulp no significant effects were observed in the minimum spouting velocity depending on the addition of goat milk/yellow mombin fruit pulp.

Key words: drying; fruit pulps; goat milk

INTRODUÇÃO

A composição do leite é determinante para o estabelecimento de sua qualidade nutricional e aptidão para consumo humano e processamento de seus derivados (SILVA et al, 1997). Este alimento é fonte de cálcio, proteínas e micronutrientes importantes para o desenvolvimento humano, principalmente durante a infância (BARBOSA et al, 2010).

Atualmente, o leite de cabra deixou de ser um produto que se destina estritamente a pessoas que necessitam de um substituto ao leite de vaca. Apesar disso, o mercado é ainda muito restrito e com um volume de vendas muito baixo, sendo que o processamento deste tipo de leite acontece basicamente em unidades fabris de médio e pequeno porte.

Segundo Barbosa et al. (2010) a procura por alimentos cada vez mais saudáveis tem impulsionado a produção de pesquisa, no desenvolvimento de técnicas e gestões de controle mais acuradas na área alimentícia, especialmente nos derivados de leite.

Por ser um produto muito perecível faz-se necessário que seja aplicado ao leite métodos de conservação, com o objetivo de prolongar sua vida útil. Um dos métodos mais utilizados é o processo de secagem, dentre os quais destaca-se a secagem em leite de jorro.

A utilização do secador tipo leite de jorro tem sido difundida devido as suas características, tais como: alta taxa de circulação de partículas inertes, bons coeficientes de transferência de calor e massa e a uniformidade da temperatura no leite, o que propicia principalmente a utilização desta técnica na secagem de pasta e suspensões de materiais termo sensíveis de acordo Lima et al (2008). Segundo Jacob-Lopes et al. (2006) a técnica do leite de jorro possui relevante aplicação em operações envolvendo contato entre partículas sólidas e fluidos.

Medeiros et al. (2007) afirma que a condição operacional mais favorável à produção do leite de cabra em pó em leite de jorro corresponde à alimentação gotejante e intermitente da emulsão de leite sobre o leite de partículas de polipropileno.

O leite de cabra em pó, de acordo com BRASIL (2007), pode ser preparado com a adição prévia de substâncias permitidas pela legislação pertinente, cuja denominação será leite em pó modificado, que acarretará em um produto enriquecido.

A *Spondias mombin* L. (cajazeira) é uma árvore frutífera tropical largamente explorada, através do extrativismo ou em pomares domésticos e em plantios desorganizados conduzidos empiricamente. Esta espécie é planta produz frutos de boa aparência, qualidade nutritiva, aroma e sabor agradáveis, os quais são muito apreciados para o consumo como fruta fresca ou na forma processada como polpa, sucos, doces, néctares, picolés e sorvetes. (RODRIGUES et al., 2010).

A crescente demanda pelos produtos das Spondias como o cajá confirma o potencial agrossocioeconômico de exploração dessa espécie. No entanto, no processo de colheita e comercialização dos frutos *in natura*, verifica-se um desperdício muito grande pelo não aproveitamento dos frutos que não apresentam atratividades para o comércio, ou que apresentam danos durante o processo de colheita. Logo, surge a necessidade de desenvolvimento de tecnologias que busquem minimizar essas perdas.

Conforme Cavalcanti Mata et al. (2003), a utilização do cajá como substância enriquecedora ao leite de cabra se dará devido a esta fruta ser bastante apreciada em todo o Brasil, principalmente na região Nordeste, onde é consumida tanto “in natura” como na forma de polpa. O cajá apresenta, ainda, um exótico e aromático sabor, além de acrescentar nutrientes alimentares naturais, como ácido ascórbico, glicídios, cálcios e fósforo, segundo (FRANCO, 1998; NARAIN, 2004).

O leite de jorro como secador tem sido estudado por diversos autores para secagem de diversos produtos como, por exemplo, acerola, leite de cabra, polpa de frutas tropicais, leveduras e sementes e os resultados mostram-se satisfatórios (ROCHA et al., 2008; MEDEIROS et al., 2007; GOMES et al., 2002; ALMEIDA & ROCHA, 2008). A literatura reporta a trabalhos utiliza o leite de jorro para recobrimento polimérico de estrato de plantas. (ROCHA et al., 2009).

O objetivo deste trabalho foi estudar a influência de misturas compostas por leite de cabra e polpa de cajá nas proporções de 10, 20 e 30% na fluidodinâmica do leite de jorro constituído de partículas de polietileno, visando à definição das condições para a operação de secagem. Os parâmetros queda de pressão máxima, queda de pressão de jorro mínimo e velocidade de jorro mínimo foram determinadas por meio do levantamento de curvas fluidodinâmicas.

MATERIAL E MÉTODOS

Matéria prima

As matérias-primas utilizadas foram o leite de cabra integral, pasteurizado e empacotado, adquirido na usina de beneficiamento de leite da Associação dos caprinocultores do município de Gurjão, PB, e a polpa de cajá a partir dos frutos adquiridos na zona rural do município de Lagoa Seca, PB, após o transporte, seleção, higienização, despulpamento, refino, envase, congelamento e armazenagem.

Material Inerte

Como material inerte foi utilizado partículas de poliestireno do tipo 849, produzido pela EDN, Camaçari – Bahia, material este aprovado para uso em alimentos, com diâmetro igual a 0,3260cm, densidade de 1,0450 g cm⁻³,

esfericidade 0,411 e número de Arquimedes (Ar) igual a $1,2 \cdot 10^6$.

Secador em leito de jorro

O leito de jorro convencional utilizado nesta pesquisa é constituído de uma coluna de acrílico, com ângulo interno de 60°, diâmetro interno de 15 cm, diâmetro do orifício de entrada do ar de 2,8 cm, 44 cm de altura na parte cilíndrica e 8 cm de altura na parte cônica. A Figura 1 representa o equipamento utilizado.

Conforme mostra a Figura 1, o ar de secagem era fornecido ao sistema por um compressor (1) e aquecido por um conjunto de resistências (3). A vazão do ar na entrada era medida por um rotâmetro (2) e controlada por uma válvula (4). A pressão dentro do leito era medida através de um manômetro diferencial em U (15). A suspensão de cada mistura (8) era transportada por uma bomba peristáltica (9) até o bico atomizador de duplo fluido (7) e uma linha de ar comprimido (10) fornecia ar ao bico atomizador, sendo a pressão do ar medida por um manômetro Bourdon (12) e a vazão controlada por uma válvula.

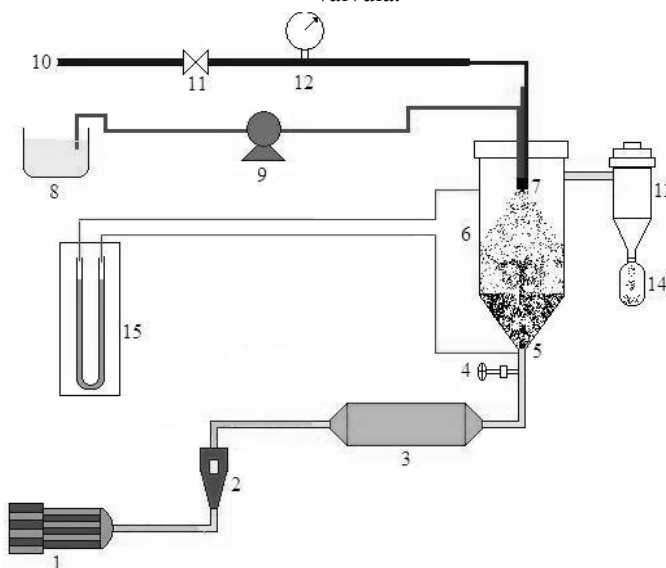


FIGURA 1 - Leito de jorro convencional

Preparo das Formulações

As formulações de leite de cabra com polpa de cajá foram preparadas a partir da porcentagem sobre o peso do leite de cabra nas proporções de 10, 20 e 30% de polpa de cajá. Após a adição da polpa, as misturas foram homogeneizadas, acondicionadas, congeladas e armazenadas a temperatura de -20°C em freezer convencional, até sua utilização nos experimentos.

Ensaio fluidodinâmico em leito de jorro

Inicialmente, foram introduzidas no secador 900 g de partículas inertes de poliestireno, correspondendo à altura do leito estático de 15 cm, sendo 9,5 cm da parte cônica e o restante na parte cilíndrica. As amostras foram pesadas de modo a se obter uma proporção de $Ma/Mi=2\%$, onde, Ma é a massa da amostra e Mi a massa do inerte.

Com a válvula que controla a entrada de ar no leito fechada, acionava-se o compressor, aumentando a vazão do gás até um valor de $85 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, em seguida as formulações de leite de cabra com diferentes concentrações de polpa de cajá foram injetadas no leito com inerte, com alimentação gotejante na parte superior do secador. Finalizado o gotejamento o secador permanecia jorrando por 15 minutos, em seguida o compressor era desligado e as partículas se acomodavam

no secador. Para a obtenção das curvas características o compressor era novamente acionado, aumentando-se de forma gradativa a vazão do gás (0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e $100 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$) e registrando-se a queda de pressão correspondente. No momento da formação do jorro interno, registrava-se a queda de pressão máxima ΔP_M e atingida a estabilidade, anotava-se a queda de pressão de jorro estável ΔP_{jm} . Observado o menor valor da velocidade em que ainda verificava-se a formação da fonte era registrada a velocidade de jorro mínimo U_{jm} e prosseguia-se o experimento até interrupção completa do fluxo de gás. Foi determinada a perda de carga no leito vazio e subtraída a perda de carga no distribuidor do ΔP total na determinação da queda de pressão do leito.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas características de queda de pressão para um leito de jorro, determinadas pelo método à velocidade crescente são ilustrados nas Figuras 1 e 2. O estudo das variáveis fluidodinâmicas em leito de jorro, principalmente a velocidade de jorro mínimo, tornou-se essencial neste trabalho, pois através destes resultados é possível definir os níveis de velocidade para o estudo da

secagem de leite de cabra/polpa de cajá neste tipo de secador.

Para o levantamento dos dados que deu origem as curvas fluidodinâmicas foram mantidas uma altura fixa de inerte (15 cm), partindo-se da região cilíndrica do secador, variando a proporção de mistura leite de cabra/polpa de fruta alimentada em 2% da massa de inertes conforme

metodologia descrita. Inicialmente foi obtida a curva característica do leito formado apenas por partículas inertes, obtendo uma velocidade de jorro mínimo de 19,6 m/s para queda de pressão de 129,03 Pa. Empregando-se a mesma metodologia, acompanharam-se as mudanças no comportamento fluidodinâmico do leito devido à presença de leite de cabra/polpa de fruta.

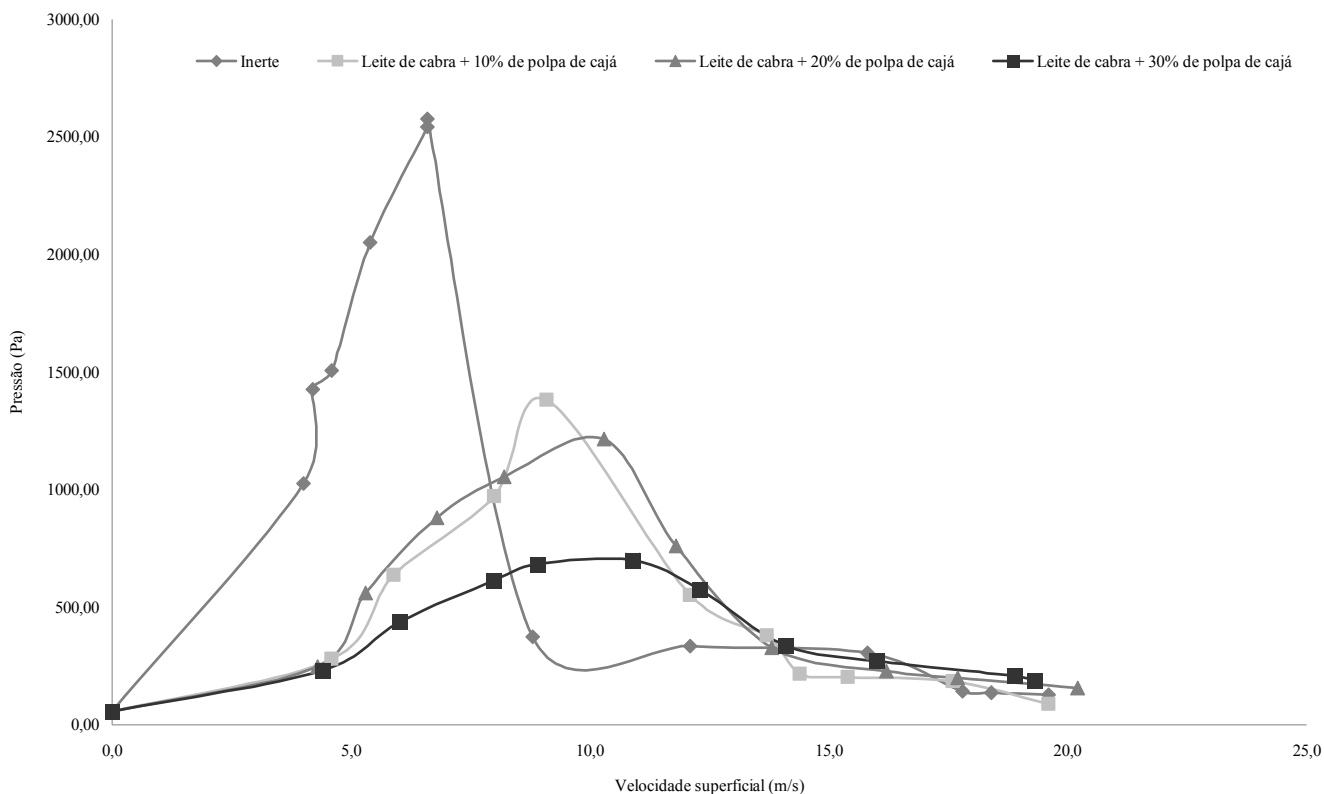


FIGURA 2 - Curva característica de leito de jorro com vazão de ar crescente

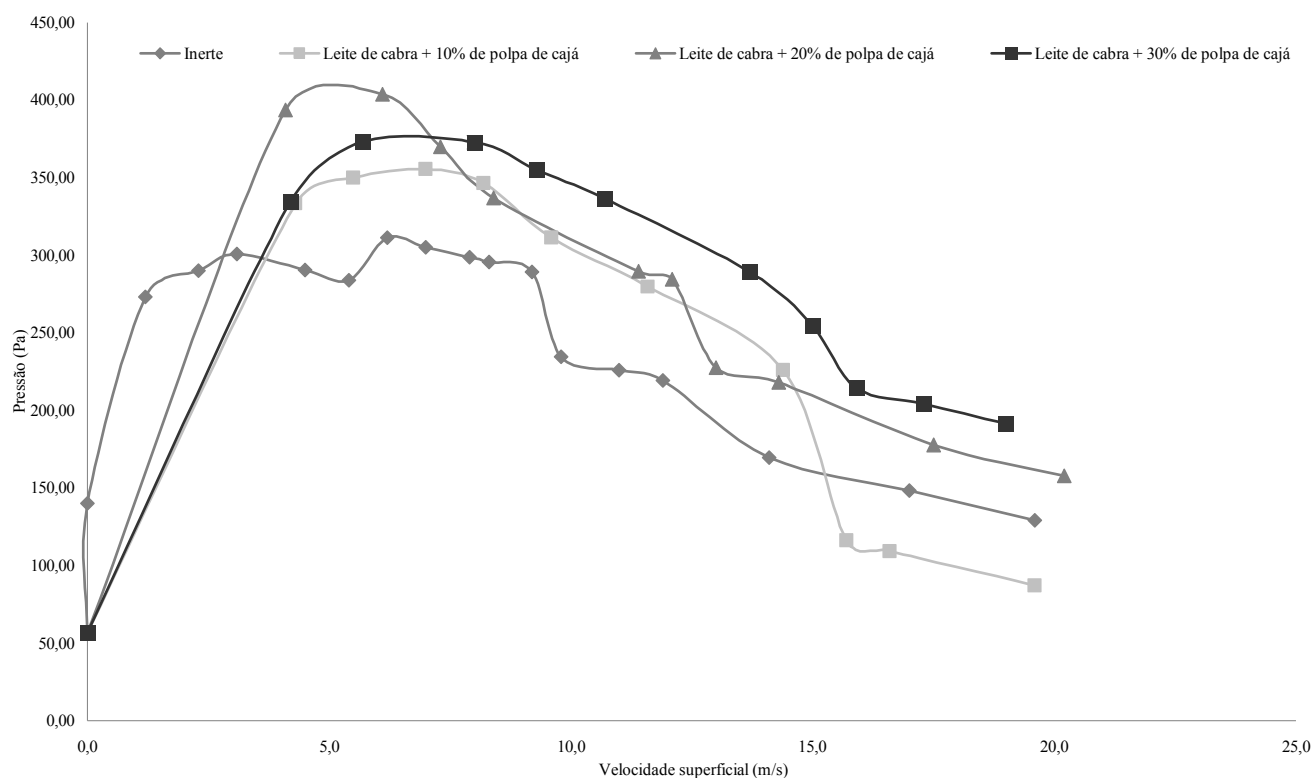


FIGURA 3 - Curva característica de leito de jorro com vazão de ar decrescente

Na Tabela 1 observamos os valores dos parâmetros fluidodinâmicos para o leito apenas com o material inerte e leite de cabra com diferentes concentrações de polpa de cajá. Verifica-se que entre os valores obtidos para a queda de pressão máxima (ΔP_M), o maior valor encontrado foi para a situação em que o secador está apenas com o material inerte, em seguida para o leite de cabra com adição de 10% de polpa de cajá, e o menor valor foi para o leite de cabra com adição de 30% de polpa de cajá.

Analisando-se a influência da adição de polpa de cajá no leite de cabra para este parâmetro, constata-se uma redução na queda de pressão máxima (ΔP_M), com o aumento da concentração de polpa de cajá. Medeiros et al. (2007) relataram que no processo de secagem de polpa de fruta em secador de leito de jorro, as características físico-químicas da polpa influenciam no processo, principalmente, o teor de gordura e de açúcares redutores. Sendo assim, se

faz necessário uma caracterização físico-química do material utilizado neste trabalho para verificar se a constatação feita pelos autores converge com os dados aqui apresentados.

Um resumo dos parâmetros fluidodinâmicos ΔP_M , ΔP_{jm} e U_{jm} podem ser observados na Tabela 4 para todas as situações estudadas. Em geral, o ΔP_M diminui com o aumento da relação entre leite de cabra e polpa de cajá. Quanto a velocidade de jorro mínimo, observa-se que praticamente não houve variação desse parâmetro em consequência da adição de leite de cabra/polpa de cajá.

Resultados similares foram encontrados por outros pesquisadores, trabalhando com recobrimento de uréia em leito de jorro bidimensional e recobrimento de celulose microcristalina em leito fluidizado, respectivamente (DONIDA, 2000; SILVA, 2006).

TABELA 1 – Parâmetros fluidodinâmicos em dos tratamentos estudados

Tratamento	ΔP_M (Pa)	ΔP_{jm} (Pa)	U_{jm} (m/s)
Inerte	2568,26	129,03	19,6
Leite de cabra + 10% de polpa de cajá	1382,20	87,34	19,6
Leite de cabra + 20% de polpa de cajá	1214,92	157,96	20,2
Leite de cabra + 30% de polpa de cajá	701,84	189,61	19,3

Conforme se observa na Tabela 1 à presença da mistura leite de cabra/polpa de cajá não teve efeito significativo nas velocidades de jorro mínimo para as condições estudadas. Em vista disto há um indicativo de definição da vazão do ar de secagem em 1,3 da vazão de jorro mínimo para todas as proporções de polpa de cajá adicionadas ao leite de cabra em secadores com a configuração descrita nesse trabalho, sendo ainda, necessários testes preliminares antes da secagem desse material em secador de leite de jorro.

CONCLUSÕES

As curvas fluidodinâmicas apresentaram perfil típico.

A presença da mistura leite de cabra/polpa de cajá altera o comportamento fluidodinâmico do secador em leite de jorro em todas as proporções estudadas nesse trabalho.

O maior valor para a queda de pressão máxima (ΔP_M) encontrado foi para o secador apenas com o material inerte, seguida do leite de cabra com adição de 10% de polpa de cajá, e o menor valor foi para o leite de cabra com adição de 30% de polpa de cajá.

A presença da mistura leite de cabra/polpa de cajá não teve efeito significativo nas velocidades de jorro mínimo para as condições estudadas

A partir dos resultados é possível definir a velocidade do ar de secagem para a secagem de leite de cabra/polpa de cajá no secador em leite de jorro, necessitando, ainda, a realização de testes preliminares de secagem.

LITERATURA CITADA

ALMEIDA, C.; E ROCHA, S. C. S. Eficiência do processo de recobrimento de sementes de brócolos recobertas com polímero em leite de jorro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 305-314, 2008.

BARBOSA, A. S.; ARAUJO, A. S.; MARTINS, W. F.; ARAÚJO, M. S. R.; FLORENTINO, E. R.. Utilização do soro como substrato para produção de aguardente: estudo cinético da produção de etanol. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 1, p. 63-79, 2010.

BRASIL, Ministério da Agricultura. **Regulamento para fixação de identidade e qualidade do leite em pó modificado (RTIQ)**. Brasília, 2007 (Instrução normativa 27 de 12/06/2007).

CAVALCANTI MATA, M.E.R.M.; DUARTE, M.E.M.; SILVA, M. Curvas de congelamento de frutos de cajá (*Spondias lutea* L.) a temperaturas semi-criogênicas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 5, n. Especial, p. 53-60, 2003.

DONIDA, M. W. **Recobrimento polimérico de uréia em leite de jorro bidimensional**. Campinas, Faculdade de Engenharia Química – UNICAMP, 2000. (Dissertação de mestrado).

FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos**. 9. ed. São Paulo. Atheneu, 1998. 307p.

GOMES, P. M. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Caracterização e isotermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.2, p.157-165, 2002.

JACOB-LOPES, E.; ZEPKA, L. Q.; PINTO, L. A. A.; QUEIROZ, M. I. Drying of *Aphanothece* microscopic Nágeli microalgae in spouted bed. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.17, n.4, p.387-392, 2006.

LIMA, L. M. R.; MORAIS, Vera Lúcia Meira de ; ALSINA, O. L. S. . Correlação Empírica para a Circulação de Sólidos na Secagem de Polpa de Frutas em Leite de Jorro. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 17, 2008, Recife. **Anais...**, Engenharia Química: Energia e Novos Desafios, 2008.CD-Rom.

MEDEIROS, U.K.L.; MARCIANO, L.A.; NASCIMENTO, R.J.A.; PASSOS, M.L.; MEDEIROS; M.F.D. Efeito das condições de processo no desempenho da secagem de leite de cabra em secador de leite de jorro com partículas inertes. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, 33, 2007, Aracaju. **Anais...**, 2007. CD-Rom.

NARAIN, N.; ALMEIDA, J. N.; GALVÃO, M.S.; MADRUGA, M.S.; BRITO, E.S. Compostos voláteis dos frutos de maracujá (*Passiflora edulis* forma *Flavicarpa*) e de cajá (*Spondias mombin* L.) obtidos pela técnica de headspace dinâmico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n.2, p.212-216, 2004.

ROCHA, A. P. T.; ALSINA, O. L. S.; SILVA, V. S.; SILVA, F. L. H. da. Cinética de produção de levedura seca em leite de jorro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.1, p. 81-86, 2008.

ROCHA, A. P. T., SILVA, O. S., ALSINA, O. L. S. Caracterização física de grânulos de quebra-pedra para uso em leite de jorro. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v. 4, n.1, p. 31-37, 2009.

RODRIGUES, F. F. G.; NASCIMENTO, E. M. M.; FURTADO, C. A. N.; COSTA, J. G. M. Análise físico-química de espécies *Spondias* oriundas do cariri cearense. **Cadernos de Cultura e Ciência**, Crato, v. 1, n. 1, p. 44-52, 2010.

SILVA, P.F.; PEREIRA, D.B.C.; OLIVEIRA, L.L.; COSTA, L.C.G.J. **Físico-química do leite e derivados: métodos analíticos**. Oficina de Impressão Gráfica, Juiz de Fora, 1997, 190p.

SILVA, O. S.; SOUZA, C. R. F.; OLIVEIRA, W. P.; ROCHA, S. C. S. In vitro dissolution studies of sodium diclofenac granules coated with Eudragit L-30D-55 by fluidized bed system. **Drug Development and Industrial Pharmacy**, Estados Unidos da América, v.32, n.6, p.661-667, 2006.

Recebido em 10/02/2010

Aceito em 17/08/2010