

ESTUDO DO PROCESSO DE SECAGEM DE BANANA VERDE EM LEITO PULSO-FLUIDIZADO

Langley Marcossi Pinheiro¹; Lilian de Cassia Santos Victorino²

¹Aluna de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

²Professora da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. *Este projeto estudou o processo de secagem de banana verde em leito pulso-fluidizado. Os parâmetros variados durante o estudo foram frequência de rotação (200 e 400 rpm) a temperatura (55 e 65 °C). A vazão de 435,2 Nm³ h⁻¹ foi mantida constante ao longo de todos os ensaios. As curvas de secagem obtidas mostram que a variação dos parâmetros avaliados não influenciou no tempo de secagem da banana verde que ocorre por volta de 70 minutos. Dessa forma torna-se necessário realizar novos ensaios variando-se em um intervalo maior a frequência de rotação e a temperatura para que se possa avaliar a influência desses parâmetros no tempo de secagem.*

Introdução

A banana é o nome geral dado ao fruto pertencente a espécie do gênero *Musa* e é produzida principalmente em países tropicais e subtropicais em desenvolvimento. O Brasil é o quinto maior produtor mundial e a variedade Nanicao (*Musa cavendishii*) é a mais cultivada no país. (FAO, 2013; Mota *et al.*, 2000). Apesar de um quinto de toda a colheita da banana é descartado, além disso, bananas rejeitadas são dispostas de forma inadequada.

Zhang *et al.* (2005) consideram que a secagem da banana verde a fim de se obter como produto final a farinha de banana verde, seria uma forma de reduzir o desperdício através de um processo de fabricação com baixo custo para a indústria alimentícia.

De acordo com a literatura, a farinha de banana verde é rica em amido e pode conter de 61,3 a 76,5 g/100g de amido e um teor de fibras de 6,3 a 15,5 g/100g, no entanto grande parte do amido encontrado na farinha de banana verde é amido resistente do tipo 2 (RS2), cerca de 52,7 a 54,2 g/100g, que tem atraído interesse dos pesquisadores devido aos seus efeitos positivos no cólon humano e outros benefícios para a saúde (Juarez-Garcia *et al.*, 2006).

Segundo Ormenese (2010), na escolha do processo ou do equipamento de secagem devem ser considerados alguns fatores como a forma física (fruta inteira, purê, pedaços, suco, polpa), as propriedades químicas da matéria-prima bem como as propriedades físicas e nutricionais do produto desejado, as condições de operações e o custo referente ao processo.

Para um processo de secagem de alimentos normalmente utiliza-se o ar quente, por ser abundante e economicamente viável. Para garantir um produto com alta qualidade a custo adequado deve-se otimizar o tempo de secagem. Alguns fatores que afetam o tempo e a taxa de secagem são as características do equipamento e do ar como umidade relativa, temperatura e velocidade, o tamanho e a geometria do material a ser seco. Abaixo são citados alguns métodos usados no processo de secagem:

Liofilização

A secagem do produto ocorre através do processo de sublimação, passagem do estado sólido para o estado gasoso. Esse equipamento gera um sistema de auto vácuo, levando a uma diminuição da pressão superficial, permitindo assim que ocorra a evaporação da água. A liofilização permite que muitas características do produto original se mantenham, no entanto apresenta uma desvantagem: é um processo longo e de alto custo, comparado à outros métodos de secagem.

Atomização (spray-dryer)

Por definição a secagem por pulverização envolve a atomização de uma matéria líquida contendo sólidos em solução, suspensão ou emulsão. A secagem por pulverização é um processo convectivo de suspensão de partículas. A atomização permite a criação de uma grande área molhada na forma de milhões de gotas que ao entrarem em contato com o ar aquecido geram uma grande transferência de calor e massa. O tempo de secagem torna-se curto permitindo que o aquecimento do produto ocorra sem que a temperatura de degradação do material seja atingida.

Tambor rotativo

O tambor consiste num sistema em que dois cilindros que podem girar em diferentes velocidades, o vapor aquecido circula na parte interna do cilindro sem entrar em contato com o material a ser seco. À medida que ocorre a rotação do cilindro, o material seca. Ao fim do processo de secagem o produto é retirado pelo processo de raspagem, que consiste em raspar o material seco da superfície do cilindro com a ajuda de uma faca. O uso desse processo de secagem é limitado para secagem de purês e líquidos.

Bandeja

É um secador em que consiste de uma câmara de ar com isolamento, o ar é aquecido pela presença de resistências. De acordo com a necessidade as resistências são ligadas uma a uma até se obter o aquecimento desejado. Conforme a necessidade do material deve-se pré-determinar a altura, comprimento e largura da bandeja.

Leitos fluidizados

Os leitos fluidizados são bastante utilizados para realizar a secagem em materiais particulados. Conforme Nitz (2006), o leito fluidizado é constituído por uma camada de material atravessada por uma corrente fluida no sentido ascendente. Pode-se citar como exemplo de leitos fluidizados, os leitos vibradores, vibro-fluidizados e o leito pulso fluidizado.

Os leitos vibradores e vibro-fluidizados promovem uma agitação mecânica do leito fluidizado, essa agitação permite uma melhor movimentação das partículas promovendo assim a melhoria da transferência de calor e massa. Conforme Nitz (2006) a utilização desses leitos é recomendada quando se trabalha com materiais irregulares e coesivos.

O leito pulso fluidizado apresenta como técnica a pulso fluidização para promover a movimentação das partículas. O leito pulso fluidizado é empregado para melhorar segundo Nitz (2006) a qualidade da fluidização levando assim a uma melhor troca térmica para matérias que apresentam uma maior resistência para fluidização bem como a diminuição da formação canais preferenciais.

O presente trabalho tem como objetivo estudar a secagem de banana verde em leito pulso fluidizado para a obtenção de um produto com alto teor de amido resistente que possa ser incorporado em formulações alimentícias, sendo então alvo de interesse para a indústria de alimentos e para os consumidores.

Material e Métodos

A matéria-prima utilizada para realização desse trabalho foi a banana verde (*Musa acuminata*), subgrupo *Cavendish*, uma variedade conhecida no Brasil como Nanico produzida no vale de Ribeira localizado ao sul do Estado de São Paulo. As bananas foram adquiridas na Companhia Regional de Abastecimento Integrado de Santo André (CRAISA) e caracterizadas como banana verde (primeiro estágio de maturação).

Caracterização da matéria-prima.

Para a realização do teste de caracterização foram analisados os parâmetros descritos abaixo:

pH: medido em triplicata, utilizando o pH-metra (MICRONAL, modelo B-747, Brasil).

Acidez titulável: expressa em porcentagem de ácido málico. Foi utilizada uma solução de NaOH 0,01 M. Os testes foram realizados em triplicata conforme método da AOAC (1995).

Teor de sólidos solúveis: medido em triplicata, utilizando o refratômetro da marca BioBrix.

Umidade: determinada gravimetricamente por secagem em estufa até a obtenção de peso constante, conforme método descrito na AOAC (1998).

Textura: a firmeza das frutas foi determinada em triplicata, em temperatura ambiente, por meio do equipamento Texture Analyser, modelo TA-XT2i (Stable Microsystems Ltd., UK), os dados foram coletados com o uso do software (Texture Expert V1.22 Stable Microsystems). Utilizou-se a compressão por um cilindro de aço com 5 mm de diâmetro e a carga do aparelho de 25 kg.

Etapas de processamento.

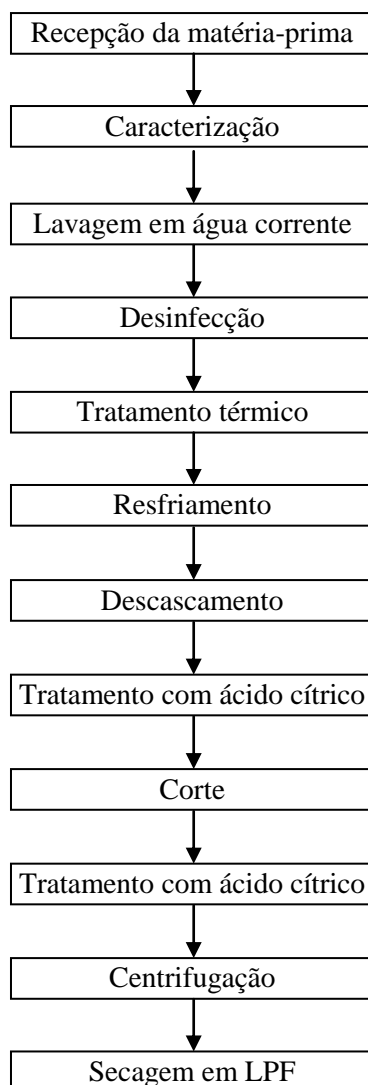


Figura 1 – Diagrama de blocos para o processo de secagem de banana verde

No diagrama de blocos (Figura 1) estão representadas as etapas do processo de obtenção da farinha de banana verde.

Iniciou-se o processo com a recepção e caracterização da banana com a intenção de promover o controle de qualidade da mesma. Antes da utilização da matéria-prima, ocorreu o processo de lavagem com água corrente para retiradas de possíveis detritos e desinfecção foi promovida utilizando-se uma solução de $150 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de hipoclorito de sódio por 10 minutos.

Após esse processo as bananas foram lavadas em água corrente e sofreram um tratamento térmico com vapor de água saturado em túnel de exaustão com uma esteira a uma velocidade de $0,03 \text{ m/s}$. O tempo total do tratamento térmico foi de 160 s. Essa etapa ocorreu para facilitar o descascamento da matéria-prima.

Após o tratamento térmico, as bananas foram resfriadas em água corrente à temperatura ambiente e em seguida descascadas e imersas por um período de cinco minutos em uma solução de ácido cítrico 0,1%, essa concentração segundo os estudos de Tribess (2009) foi a que apresentou o melhor resultado contra o escurecimento enzimático.

As bananas foram raladas formando filetes com dimensões médias de $30 \times 5 \times 4 \text{ mm}$ e imediatamente mergulhadas em ácido cítrico 0,1% por um período de 5 minutos.

Os filetes foram centrifugados em centrífuga marca Consul, modelo C2A05BBANA, por um período de dez minutos. Em seguida, os filetes foram retirados, pesados e encaminhados ao leito pulso-fluidizado para proceder com o processo de secagem.

Leito pulso fluidizado

O leito pulso-fluidizado (LPF) utilizado neste trabalho apresenta a pulso fluidização com direcionamento alternado da corrente gasosa. Este equipamento está localizado na Escola de Engenharia Mauá na Instalação Piloto do Laboratório de Engenharia.

O gás responsável pela fluidização, no caso o ar, das partículas em um LPF apresenta uma vazão volumétrica constante no secador. A distribuição desse gás é feita por um disco rotatório, o qual permite a distribuição do gás nas diferentes seções do secador permitindo que ocorra a fluidização. O LPF utilizado possui 4 seções com uma abertura de 90° .

O leito é constituído de um soprador de ar com motor de 5 cv, uma válvula borboleta a qual permite a regulação da vazão do gás através do equipamento, resistências elétricas que permitem o aquecimento do gás apresentando potência total instalada de 10 kW, a medida de vazão de ar é feita utilizando-se método deprimógeno o qual é constituído por uma placa de orifício localizada entre as flanges com um diâmetro de orifício a 20°C igual a 63,5 mm.

O método deprimógeno permite medir a pressão estática do ar onde os valores serão lidos em um manômetro de tubo no formato de U utilizando como fluido manométrico a água.

O acionamento do leito acontece através de um quadro de força onde é possível controlar a temperatura do gás e do soprador, o secador apresenta seção retangular com paredes de aço inoxidável e vidros temperados, os quais permitem a visualização da matéria e sua fluidização no interior do secador. Uma tela de aço inoxidável é utilizada para permitir a distribuição do ar e como suporte do material a ser seco. A tela utilizada neste trabalho apresenta diâmetro do fio de 0,36 mm, abertura de 1,05 mm e fração de área aberta igual a 56%. Ressalta-se que as condições máximas de operação desse leito são: temperatura de 120°C , vazão de ar igual a $435,2 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ e uma rotação de 850 rpm.

Secagem em leito pulso fluidizado (LPF)

A secagem no leito iniciou-se com a colocação de 5 kg de filetes de banana verde de forma homogênea entre as quatro seções do leito, o qual se encontrava desligado e pré aquecido. Durante todo o período de secagem, a rotação e a temperatura foram mantidas constantes.

No instante zero, ou seja, antes do acionamento do leito foram retiradas três amostras, após o acionamento novas amostras são recolhidas a cada cinco minutos até completar o

tempo de 20 minutos após esse período as amostras foram recolhidas a cada 10 minutos até completar o tempo total de 80 minutos de secagem. As amostras recolhidas permaneceram em um frasco vedado até fim do processo de secagem para então serem colocadas na estufa para que fosse possível obter a curva de secagem por método gravimétrico.

Durante o tempo de secagem foram anotados a cada 10 minutos os valores de bulbo seco e úmido, temperatura do ar de entrada e de saída da câmara e a pressão antes e depois da placa de orifício. A Tabela 1 ilustra as variáveis exploradas durante a secagem em leito pulso-fluidizado.

Tabela 1 – Condições estudadas no leito pulso-fluidizado

	Mínima	Máxima
Temperatura (°C)	55	65
Frequência de Rotação (rpm)	200	400

Determinação do teor de amido resistente

O conteúdo de amido resistente (AR) da banana após o processo de secagem foi determinado, em triplicata, conforme o método 2002.02 da AOAC, em tubos plásticos graduados de 50 mL, com modificações. Os ensaios foram realizados no Departamento de Ciência e Nutrição Experimental da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo (USP).

Resultados e Discussão

Caracterização da matéria-prima

A Tabela 1 ilustra os resultados do teste de caracterização da matéria-prima durante o período de sete dias. Para a realização das análises físico químicas as bananas utilizadas pertenciam sempre ao mesmo cacho e foram mantidas a temperatura ambiente.

Tabela 2 – Caracterização físico – química da matéria prima

Tempo após colheita (dias)	1	2	3	5	7
Acidez total ¹	0,134 ± 0,003 ^c	0,11 ± 0,01 ^d	0,132 ± 0,007 ^c	0,161 ± 0,004 ^b	0,226 ± 0,002 ^a
Sólidos solúveis (°Brix)	5,7 ± 0,7 ^a	5,3 ± 0,2 ^b	5,8 ± 0,6 ^a	4,9 ± 0,1 ^b	5,4 ± 0,4 ^b
pH	6,17 ^a	6,12 ^b	5,94 ^c	5,94 ^c	5,83 ^d
Firmeza (N)	25,2 ± 2,5 ^c	25,9 ± 3,8 ^b	26,76 ± 0,06 ^a	25,1 ± 3,1 ^c	26,8 ± 1,0 ^a

¹Acidez expressa em porcentagem de ácido málico.

Médias com letras iguais na mesma linha não apresentam diferença significativa (p>0,05).

Os valores de acidez titulável e pH não foram condizentes com os valores encontrados por Tribess (2009), contudo essas diferenças são devidas as diferenças inerentes à própria matéria-prima, entretanto pode-se notar que os valores de pH diminuíram e os de acidez titulável aumentaram conforme previsto, pois com o decorrer do amadurecimento do fruto este torna-se mais ácido.

Os valores para o teor de sólidos solúveis encontrados foram próximos do limite estabelecido para caracterizar a banana em seu primeiro estágio de maturação. Segundo

Ditchfield (2004), pode-se caracterizar a banana em seu primeiro estágio de maturação quando se obtém um teor de sólidos solúveis de até 5° Brix.

Porém ao avaliarmos os testes firmeza, o qual segundo Ditchfield e Tadini (2002) é considerado o mais preciso para determinação do estágio de maturação da banana sendo em valores numéricos de firmeza superiores a 24 N, a banana pode ser caracterizada como verde. Conforme evidenciado pelos resultados todos os valores de firmeza foram superiores a 24 N, portanto pode-se afirmar que as matérias primas analisadas encontravam-se em seu primeiro estágio de maturação. Ressalta-se que na medida em que ocorre o amadurecimento do fruto os valores de firmeza diminuem até atingir 2 N.

Com exceção do pH e acidez titulável os outros parâmetros analisados variaram ao decorrer do tempo, sem apresentar uma tendência aparente de aumento ou diminuição. Comportamento semelhante ao documentado por Tribess (2009).

Na tabela 2 as letras iguais na mesma linha indicam que não houve diferença significativa ($p > 0,05$). Foi aplicado o teste de Tukey.

Secagem da banana em leito pulso-fluidizado

A Figura 2 ilustra a curva de secagem em diferentes temperaturas sendo estas 55°C e 65°C mantendo-se a frequência de rotação constante e igual a 400 rpm e a vazão igual $435,2 \text{ N}\cdot\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. Torna-se importante ressaltar que as condições de temperatura estudadas foram empregadas por serem temperaturas inferiores à temperatura de gelatinização do amido da banana verde. Para ambas as condições estudadas o tempo de secagem da banana verde foi de aproximadamente 70 minutos. Dessa forma, pode-se concluir que nas condições estudadas uma variação de 10 °C na temperatura não apresentou influência significativa no tempo de secagem da banana verde em leito pulso-fluidizado.

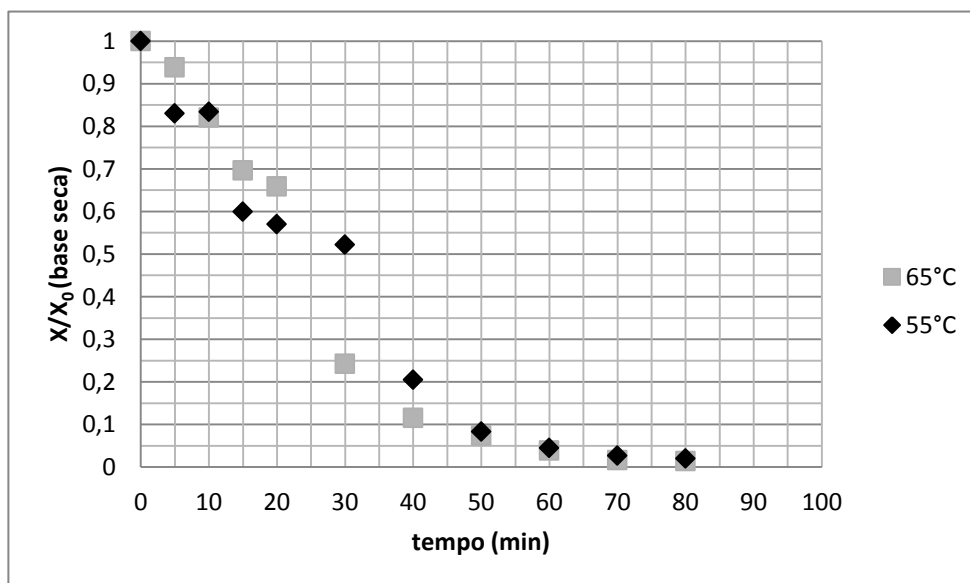


Figura 2 – Curva de secagem em LPF em duas diferentes temperaturas mantendo-se a frequência de rotação a 400 rpm e vazão a $435,2 \text{ N}\cdot\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. $X_0 = 2,9$ (b.s.).

A Figura 3 ilustra a curva de secagem em diferentes frequências de rotação sendo estas 200 e 400 rpm a temperatura foi mantida constante e igual a 55 °C e a vazão mantida a $435,2 \text{ N}\cdot\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. Para ambas as condições o tempo de secagem ocorreu por volta do 70 minutos, desta forma, pode-se concluir que nas condições estudadas a frequência de pulsação não apresentou influência significativa no tempo de secagem da banana verde em leito pulso-fluidizado.

Tribess (2009) obteve um tempo de secagem de 3,0 horas em secador tipo Bandeja (55°C , velocidade do ar de $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) utilizando bandejas perfuradas.

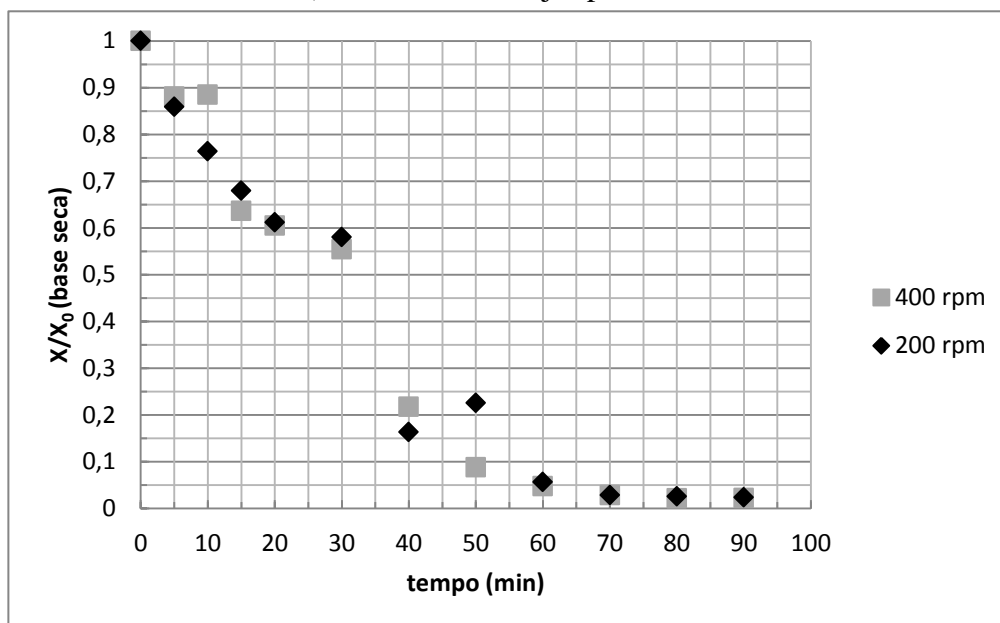


Figura 3 - Curva de secagem em LPF em duas diferentes frequências de pulsação mantendo-se a temperatura em 55°C e vazão a $435,2 \text{ N}\cdot\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. $X_0 = 2,8$ (b.s.).

Teor de amido resistente

Após o processo de secagem ($T = 65^{\circ}$, 400 rpm), a banana verde apresentou um teor de amido resistente de $59 \pm 3\%$ b.s., o que significa que o produto obtido nessas condições de secagem manteve ainda alto o teor de amido resistente. Estudos realizados por Ormenese (2010) descrevem o teor de AR (base seca) de FBV obtida pelos seguintes métodos: Bandejas: 50,4 % com uma perda de 28,3%, Tambor Rotativo: 4,7 % com uma perda de 94,0%, Atomização: 54,3% com uma perda de 24,5% , Liofilização: 47,2% com uma perda de 9,0%. Tribess (2009) obteve um teor de 58,5% na farinha de banana verde obtida por secagem em bandejas (não menciona % de perda).

Conclusões

A utilização do leito pulso-fluidizado como equipamento para secagem bem como a condições estudadas permitiram a secagem da banana verde num período de aproximadamente 70 minutos estabelecendo-se assim um processo viável de secagem e que proporcione um produto com alto teor de amido resistente.

Agradecimentos

Ao Instituto Mauá de Tecnologia, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ao Núcleo de Apoio à Pesquisa em Alimentos e Nutrição (NAPAN).

Referências Bibliográficas

Asp, N-G.; Amerlsoort, J. M.M; Hautvast, J. G. A. A. J. Nutritional Implication of Resistant Starch. *Nutrition Research Reviews*, v. 9; p. 1 -31, 1996.

- Association Of Official Analytical Chemists; Cunniff, Patricia. *Official methods of analysis of AOAC international*. 16. ed. Arlington: AOAC, 1995.
- Ciacco, C. F.; Tavares, D. Q.; Teixeira, M. A. Amido resistente. In: Lajolo, F. M.; Saura-Calixto, F.; Wittig De Penna, E.; Menezes, E. W. *Fibra Dietética en Iberoamérica*. Tecnología Y Salud. São Paulo: Editora Varela, p. 129 - 141, 2001.
- Ditchfield, C. *Estudo do processamento contínuo do purê de banana*. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- Ditchfield, C.; Tadini, C.C. Acompanhamento do processo de amadurecimento da banana nanica (Musa cavendishii Lamb.). In : *XVIII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia, 2002. Porto Alegre. Anais*. CD- ROM.
- Englyst H. N.; Kingman S. M.; Cummings J. H.; Classification and Measurement of nutritionally important starch fractions, *European Journal of Clinical Nutrition*, v.46, supl. 2, p. 33 - 50, 1992.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *FAOSTAT statistic database*. Disponível em <<http://www.fao.org/>>. Acesso em 26 de agosto de 2013.
- Masters K. Spay Dryers. In: Baker.C (Org). *Industrial Drying Of Food*. Blackie Academic & Professional. 1997. P. 90-114.
- Nitz, M. Fluidodinâmica secagem e recobrimento em leito pulso fluidizado. 2006. *Tese (Doutorado em Engenharia)* – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2006.
- Ormenese, R. Obtenção de farinha verde por diferentes processos de secagem e aplicação em produtos alimentícios. 2010. *Tese (Doutorado em Engenharia)*-Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2010.
- Tribess, T .Processo de obtenção de farinha de banana verde com alto conteúdo de amido resistente. 2009. *Tese (Doutorado em Engenharia)*- Departamento de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.
- Zhang, P.; Whistler, R.; Bemiller, J.; Hamaker, B. Banana starch: production physicochemical properties and digestibility – a review. *Carbohydrate polymers*, v. 59, p. 443 – 58, 2004.