

Estudo de viabilidade da secagem da biomassa da banana verde em *spray dryer* rotativo

Feasibility study of biomass drying of green banana in spray dryer rotary

Ricardo Kenji Oi

Doutorando em Engenharia Química – UNICAMP
Engenheiro do Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE
Coordenador e professor de cursos de Pós-Graduação LS de Engenharia de Produção e de Engenharia de Estruturas Navais para Petróleo e Gás – Unisanta
Santos – SP [Brasil]
ricardo.oi@unisanta.br

Elias Basile Tambourgi

Doutor em Engenharia Química – UNICAMP
Professor adjunto no Departamento de Engenharia de Sistemas Químicos (DESQ) e da Faculdade de Engenharia Química – UNICAMP
Campinas – SP [Brasil]
eliastam@feq.unicamp.br

Deovaldo de Moraes Jr

Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos – USP
Professor doutor e coordenador do Laboratório de Operações Unitárias – Unisanta
Santos – SP [Brasil]
deovaldo@unisanta.br

O presente trabalho apresenta um estudo de viabilidade técnica de secagem da biomassa da banana verde em uma unidade piloto de *spray dryer* com atomizador rotativo. A biomassa da banana verde é um componente que pode ser utilizado industrialmente em uma grande variedade de alimentos, apresentando propriedades funcionais, sobretudo pela presença do amido resistente. As variáveis selecionadas no procedimento experimental foram concentração da biomassa da banana verde, vazão de alimentação e rotação do atomizador. Como respostas foram obtidas a massa e a umidade relativa do produto seco. Três níveis foram utilizados nas variáveis selecionadas, o que correspondeu à realização de 27 ensaios. Nos ensaios no qual foram obtidos os menores valores de umidade relativa, as quantidades de massa também foram as mais baixas, enquanto nos ensaios em que se encontraram as maiores quantidades de massa os teores de umidade relativa situaram-se entre os mais elevados. Tendo em vista a aplicação industrial, cujo objetivo é o baixo nível de umidade e a maior produção do produto, o ensaio 22 foi o mais adequado, sendo encontrados 11 % de umidade e 4,33 g de massa.

Palavras-chave: Alimento funcional. Biomassa da banana verde. Secagem. *Spray dryer*.

This paper presents a technical feasibility study for drying the biomass of green bananas at a pilot plant *spray dryer* with rotary atomizer. The biomass of the green banana is a component that can be used industrially in a wide variety of foods, with functional properties, especially the presence of resistant starch. The variables selected in the experimental procedure were the biomass concentration of green banana, feed flow rate and rotation of the atomizer. Responses were obtained as the mass and relative humidity of the dried product. Three levels were used in selected variables, which corresponded to the completion of 27 experiments. In experiments in which they obtained the lowest values of relative humidity, the amounts of mass were also the lowest, while in experiments where they met the higher amounts of the levels of relative humidity ranged from the highest. Considering the industrial application, whose purpose is the low humidity and increased production of the product, test 22 was the most appropriate, and found 11% moisture and 4.33 g in mass.

Key words: Biomass of green banana. Drying. Functional food. *Spray dryer*.

1 Introdução

Os alimentos funcionais são aqueles que além da função original de nutrição, também se destinam à manutenção geral da saúde e/ou redução do risco de doenças. O mercado mundial deste segmento movimentou cerca de US\$ 80 bilhões, em 2007, enquanto que no Brasil estes produtos respondem a aproximadamente US\$ 647 milhões. De acordo com a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), o alimento ou ingrediente que contenha propriedades funcionais, além de atuar em funções nutricionais básicas, deverá desencadear efeitos benéficos à saúde, além de ser seguro para o consumo sem supervisão médica.

Dentro dessa categoria de alimentos, a biomassa da banana verde surge com uma opção para ser utilizada em substituição aos espessantes tradicionais como trigo, soja, fécula de mandioca e amido de milho, em doces ou salgados, melhorando o valor nutricional e assumindo o sabor da preparação. Esta biomassa é obtida através do processo de cocção e extrusão da banana verde, em até três dias após a coleta, tendo em vista manter suas propriedades funcionais.

De acordo com Zandonadi (2009), o amido resistente é um dos principais componentes da banana verde, que pode conter de 55 a 93% dos sólidos totais, e de aproximadamente 14,5% das fibras. Quando há amadurecimento da banana, esse amido resistente é convertido em açúcares, em sua maioria glicose, frutose e sacarose, dos quais 99,5 % são fisiologicamente disponíveis, conforme explica Fasolin et al. apud Zandonadi (2009).

O amido resistente pertence ao grupo de carboidratos complexos, no qual estão incluídos o amido e os polissacarídeos não-amido (como as fibras), os quais possuem diferenças em suas estruturas químicas e em alguns de seus efeitos fisiológicos, segundo Zandonadi (2009). As fibras alimentares são polissacarídeos hidrossolúveis

diferentes do amido, que se caracterizam pela resistência à hidrólise por meio de enzimas digestivas, porém, sua fermentação no trato intestinal favorece o desenvolvimento de ácidos graxos de cadeia curta, como explica Ordonez et al. apud Zandonadi (2009).

Diversas pesquisas foram publicadas sobre as propriedades da banana verde, revelando efeitos benéficos significativos sobre alguns males como câncer colorretal, diarreia, índice glicêmico, resposta insulínica, dislipidemias, doenças cardiovasculares e doença celíaca, essa última abordada por Zandonadi (2009).

A biomassa da banana verde é obtida na forma pastosa, tendo umidade de 70% ao final do processo. Uma alternativa é a secagem deste produto, que permite reduzir o peso e aumentar o *self-life*, características que agregam valor e favorecem o seu transporte, condições fundamentais para a exportação.

Na operação de secagem são empregados secadores industriais conforme as características da substância a ser seca e a qualidade do produto final. Os equipamentos industriais são desenvolvidos a partir de algumas condições de secagem como estática, dinâmica, fluidizada e diluída. Existem diversos tipos de secadores disponíveis, de acordo com Perry e Green (1997), a escolha de um determinado tipo também é ditada pela natureza do produto que vai ser desidratado, pela forma que se deseja dar ao produto processado e pelo fator econômico.

Masters (1985) afirma que a secagem na condição diluída pode ser através da atomização, sendo definida como um processo de divisão do líquido em milhões de micro gotas formando um spray, sendo que 1 m³ de líquido forma aproximadamente 2 x 10¹² gotas com diâmetro aproximado de 100 µm.

No conceito de atomização, surge o secador *spray dryer*, que é, em muitos casos, a melhor op-

ção em operações industriais de secagem devido à sua flexibilidade. Esta técnica permite receber fluidos bombeáveis na entrada da alimentação do material até o final do processo produzindo, com temperaturas que não degradem o produto, grânulos secos com pouca variação de dimensões e umidade (MASTERS, 1985).

Os secadores pulverizadores do tipo *spray dryer* são amplamente utilizados na secagem industrial de diversos produtos, incluindo os alimentícios. Para Foust et al. (1982), as propriedades físico-químicas dos produtos obtidos através desses equipamentos são preservadas.

De acordo com Figura 1 a qual se refere a uma instalação do tipo *spray dryer* é apresentado um sistema de secagem por *spray dryer* onde o ar penetra pelo topo da câmara de secagem, sendo injetado através de um filtro e de um aquecedor, e flui em corrente paralela com as gotículas a serem secas, que se formam num bocal pulverizador ou num atomizador de disco rotatório. À medida que as gotículas caem, a água se evapora no gás quente, e deixa o material sólido constitutivo da partícula. Os grânulos maiores caem até o fundo da câmara e os grânulos menores são arrastados pelo gás até os ciclones separadores. Os grânulos muito finos passam pelo soprador e entram num sistema de lavagem a úmido. A suspensão, ou a solução que se obtém neste depurador de gás, pode retornar à carga inicial e ser recirculada. Segundo Foust et al. (1982), são possíveis variações neste sistema, usualmente definidas pelas propriedades da carga e pelas características desejadas do produto.

A câmara de secagem pode operar em contracorrente com o fluxo de ar e o fluxo do produto, ou então ter uma configuração paralela de fluxos. O ar secundário pode entrar na câmara de secagem pelo topo, ou pode ser injetado em diversos pontos.

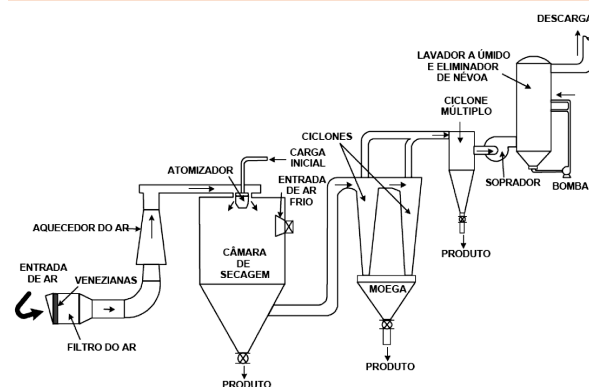


Figura 1: Desenho esquemático de uma instalação de secagem do tipo *spray dryer*

Fonte: Foust et al., 1982.

O elemento central do processo de secagem por *spray drying* é a câmara de secagem, nela a solução inicial é atomizada e entra em contato com fluxo de ar quente, resultando em uma evaporação de aproximadamente 95% de água constituinte da gotícula do produto. Bete (2009) explica que a função da câmara de secagem é fornecer o tempo de residência do contato entre o ar e os grânulos para a obtenção do produto seco desejado.

Perry e Chilton (1980) afirmam que as propriedades dos materiais secos nos pulverizadores estão sujeitas as consideráveis variações, dependendo da direção do escoamento do gás e da sua temperatura, da uniformidade da atomização, do teor de sólidos da alimentação, da temperatura da alimentação e do grau de aeração da alimentação. As características do produto que têm, em geral, os maiores interesses são: tamanho da partícula; densidade do material a granel (densidade aparente); presença de poeira; e umidade, conforme Perry e Chilton (1980).

Os atomizadores cumprem um papel importante no processo de secagem. Existem três tipos de atomizadores utilizados comercialmente em secadores *spray dryer*: bocais atomizadores a dois fluidos (Figura 2); bocais a pressão (Figura 3); e disco rotativo (Figura 4). A utilização desses de-

pende das características operacionais do material a ser seco.

Em geral, o bocal a dois fluidos produz gotas menores que o bocal a pressão, apesar desse último propiciar maior taxa de produção. O disco rotativo é recomendado para líquidos de difícil passagem pelo bocal. Para a pasta de banana, Masters (1985) recomenda o emprego de atomizador rotativo.

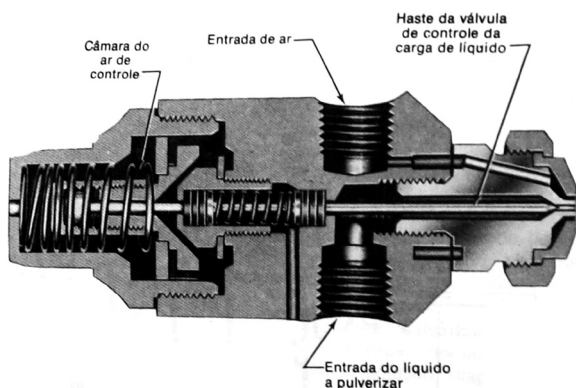


Figura 2: Vista em corte da secção longitudinal de bocal a dois fluidos

Fonte: Foust et al., 1982.

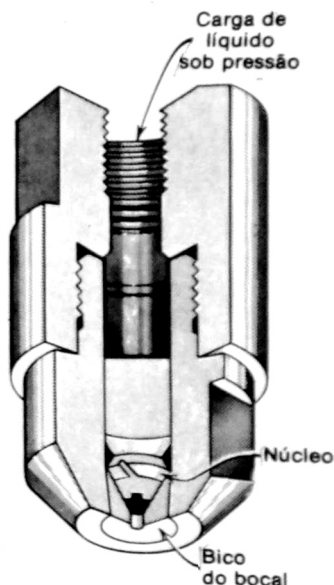


Figura 3: Vista em corte da secção longitudinal de bocal a pressão

Fonte: Foust et al., 1982.



Figura 4: Fotografia mostrando um atomizador rotativo

Fonte: Niro, 2008.

Neste contexto este trabalho tem como objetivo demonstrar a viabilidade da secagem da biomassa da banana verde em *spray dryer* com atomizador rotativo através de ensaios em uma unidade piloto. As variáveis utilizadas foram a rotação do atomizador, a concentração da alimentação e a vazão do produto. As respostas foram a umidade relativa e a massa do produto seco.

2 Materiais e métodos

A unidade piloto do secador tipo *Spray Dryer* utilizada no ensaio (Figura 5) foi construída no Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília (UNISANTA). Consiste de uma câmara de secagem com capacidade para 0,2 m³ e um disco atomizador rotativo de 0,03 m de diâmetro para a pulverização do produto.

O esquema da unidade experimental ilustrado na Figura 5 está descrito a seguir:

1) Câmara de secagem; 2) Turbina com o disco rotativo na base do eixo vertical; 3) Bomba peristáltica; 4) Indicador de temperatura de bulbo seco e bulbo úmido; 5) Mangueiras de silico-

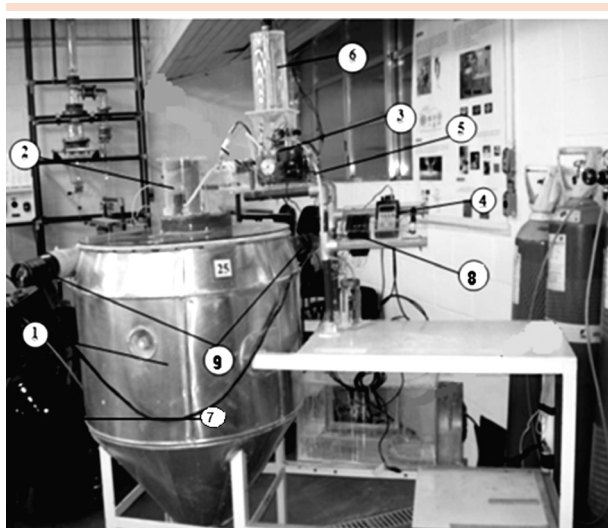


Figura 5: Fotografia mostrando a unidade piloto de *spray dryer* do Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília

Fonte: Os autores.

ne para o transporte da solução; 6) Tanque de alimentação da solução com impulsor axial; 7) Compressor; 8) Sistema de controle da vazão e da temperatura do ar; 9) Aquecedor de ar.

As três variáveis utilizadas no experimento (rotação do atomizador, concentração da alimentação e vazão de alimentação) foram testadas em três níveis cada uma, totalizando 27 ensaios ($n = 3^3$). A rotação do atomizador foi ensaiada em 18000, 20000 e 23000 rpm. A concentração da alimentação (massa de biomassa / massa de água) foi testada em 15, 20 e 25%. A vazão de alimentação foi variada em 0,05, 0,10 e 0,15 mL/s. Esses valores estão ilustrados na Tabela 1.

A seguir estão descritos os procedimentos experimentais:

Pesou-se 100g da biomassa da banana verde, em uma balança digital de precisão centesimal;

Triturou-se a biomassa da banana verde em um triturador de uso doméstico para reduzir o tamanho das fibras;

Filtrou-se a biomassa batida em uma peneira de uso laboratorial com abertura de 0,074 mm

para retirar as fibras não passantes, visando evitar a obstrução dos dutos e bocais do secador;

Adicionou-se água à pasta de banana verde para se obter as concentrações desejadas de 15%, 20% e 25% (% de massa de pasta de banana) conforme o ensaio. A adição de água teve por objetivo evitar a obstrução dos dutos;

Após acionamento dos dois aquecedores de ar, a temperatura da câmara foi ajustada para 140 °C e mantida, por 15 minutos antes de iniciar o experimento;

Fixou-se a vazão de alimentação em 0,05 mL/s (menor permitida pela bomba peristáltica), 0,10 mL/s e 0,15 mL/s (máxima para não obstruir o duto);

Controlou-se a abertura da válvula de entrada de ar da turbina para obter uma das rotações do atomizador desejadas: 18.000 rpm, 20.000 rpm e 23.000 rpm (máxima fornecida pela turbina). Durante os ensaios foi verificada a rotação do atomizador através de um tacômetro digital, para garantir o controle das rotações;

Coletou-se o produto seco por 15 minutos e mediu-se a vazão do ar na entrada dos secadores.

Tabela 1: Variáveis de processo estudadas na secagem da biomassa da banana verde

	Variáveis	Valores
Variáveis controladas	Concentração da solução	15 %
		20 %
		25 %
	Rotação da turbina	18000 rpm
		20000 rpm
		23000 rpm
Vazão de alimentação do produto	0,05 mL/s	
	0,10 mL/s	
	0,15 mL/s	
Variáveis fixadas	Vazão de entrada de ar	0,013 kg/s
	Temperatura da câmara	140 °C

Fonte: Os autores.

3 Resultados e discussão

A Tabela 2 mostra os 27 ensaios realizados, sendo C a concentração de entrada, r a rotação do disco rotativo, Q a vazão da solução, m a massa obtida e U a umidade do produto.

De acordo com os resultados, a amostra com menor umidade relativa (8,0 %) foi obtida no ensaio 17, sendo: concentração 20 %; rotação 23.000 rpm; e vazão de alimentação 0,10 mL/min. Já em relação à massa, o ensaio 27 registrou o maior valor (14,31 g), sendo: concentração 25 %; rotação 23.000 rpm; vazão de alimentação 0,15 mL/min.

Embora a umidade relativa encontrada no ensaio 17 foi a de menor valor, a massa do produto apresentou apenas 1,25 g. Por sua vez, no ensaio em a massa correspondeu o maior valor, a umidade relativa registrada foi uma das maiores dos ensaios (32,90 %).

A Tabela 2 foi dividida em três partes iguais, a umidade relativa foi classificada em ordem crescente e a massa em ordem decrescente, dando origem à Tabela 3.

Conforme a Tabela 3, a terça parte com os menores valores de umidade relativa apresentou em relação às variáveis controladas os seguintes valores:

- Concentração (%): 15 (66,66 %); 20 (33,33 %); 25 (0 %);
- Rotação (rpm): 18.000 (22,22 %); 20.000 (44,44 %); 23.000 (33,33 %); e
- Vazão (mL/min): 0,05 (66,66 %); 0,10 (33,33 %); 0,15 (0 %)

Através dessa análise, conclui-se que as variáveis com maiores influências na umidade relativa foram a concentração e a vazão, respectivamente, 15 % e 0,05 mL/min.

De acordo com a Tabela 3, o terço com os maiores valores de massa registrou os seguintes valores em relação às variáveis controladas:

Tabela 2: Resultados dos ensaios realizados na unidade piloto

Ensaio número	C (%)	r (rpm)	Q (mL/s)	m (g)	U (%)
01	15	18000	0,05	2,05	13,20
02	20	18000	0,10	3,91	48,50
03	25	18000	0,10	3,87	63,40
04	15	20000	0,05	0,57	09,40
05	20	20000	0,10	1,86	30,50
06	25	20000	0,15	2,47	28,50
07	15	23000	0,05	1,43	26,50
08	20	23000	0,10	2,60	24,72
09	25	23000	0,15	3,20	31,40
10	15	18000	0,05	2,12	24,50
11	20	18000	0,10	2,75	34,00
12	25	18000	0,10	4,01	35,5
13	15	20000	0,05	0,92	10,40
14	20	20000	0,10	1,55	18,20
15	25	20000	0,15	2,28	27,50
16	15	23000	0,05	1,41	36,80
17	20	23000	0,10	1,25	08,00
18	25	23000	0,15	1,85	25,50
19	15	18000	0,05	3,03	28,12
20	20	18000	0,10	3,83	35,60
21	25	18000	0,10	4,73	40,00
22	15	20000	0,05	4,33	11,00
23	20	20000	0,10	8,11	35,50
24	25	20000	0,15	10,44	41,90
25	15	23000	0,05	3,03	11,10
26	20	23000	0,10	6,98	30,70
27	25	23000	0,15	14,31	32,90

Fonte: Os autores.

- Concentração (%): 15 (11,11 %); 20 (44,44 %); 25 (44,44 %)
- Rotação (rpm): 18.000 (44,44 %); 20.000 (33,33 %); 23.000 (22,23 %)
- Vazão (mL/min): 0,05 (11,11 %); 0,10 (66,66 %); 0,15 (22,22 %)

A partir dessa análise, conclui-se que as variáveis com maiores influências na umidade relativa foram, novamente, a concentração e a vazão, respectivamente, 20 % e 25 % e 0,10 mL/min. Em ambas as análises, a variação da rotação não representou em diferenças significativas nos valores de umidade relativa e massa.

Tabela 3: Menores umidades relativas e maiores massas

Ensaio	C (%)	r (rpm)	Q (ml/s)	U (%)
17	20	23000	0,1	8,0
4	15	20000	0,05	9,4
13	15	20000	0,05	10,4
22	15	20000	0,05	11,0
25	15	23000	0,05	11,1
1	15	18000	0,05	13,2
14	20	20000	0,1	18,2
10	15	18000	0,05	24,5
8	20	23000	0,1	24,7

Ensaio	C (%)	r (rpm)	Q (ml/s)	m (g)
27	25	23000	0,15	14,31
24	25	20000	0,15	10,44
23	20	20000	0,1	8,11
26	20	23000	0,1	6,98
21	25	18000	0,1	4,73
22	15	20000	0,05	4,33
12	25	18000	0,1	4,01
2	20	18000	0,1	3,91
20	20	18000	0,1	3,83

Fonte: Os autores.

4 Conclusão

Os ensaios em que se obtiveram os menores valores de umidade relativa apresentaram as menores massas. Por sua vez, os ensaios em que se encontram os maiores valores de massa, a umidade relativa registrou-se nos maiores patamares. Cabe ressaltar que na aplicação industrial o objetivo é a obtenção de um produto com baixa umidade relativa, entretanto, não se pode desconsiderar a questão da produção.

Na Tabela 3, dentre a terça parte com as menores umidades relativas, o ensaio 22 foi aquele que apresentou a maior quantidade de massa (4,33 g), sendo que a umidade relativa registrou apenas 11,0 %. A partir desse ensaio, foi realizada uma análise microscópica, sendo que o tamanho dos grânulos não excedeu 500 μm , como pode ser observado na Figura 6.

A partir dos 27 ensaios realizados na unidade piloto de *spray dryer* rotativo, concluiu-se que a secagem da biomassa da banana verde é viável tecnicamente, sendo que o ensaio 22 foi o mais adequado em termos de umidade relativa e de massa.

Referências

- BETE Fog Nozzle, Inc. *Spray dry manual*. Disponível em: <http://www.bete.com>. Acesso em: 08/09/2009.
- FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. *Princípios das Operações Unitárias*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1982.
- MASTERS, K. *Spray Drying Handbook*. 4th. ed. London: George Godwin, 1985.

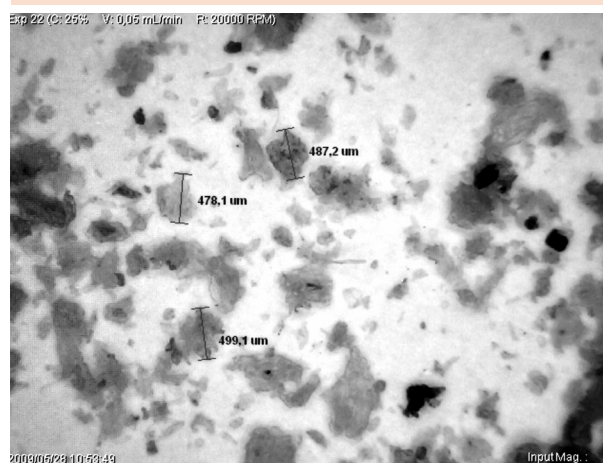


Figura 6: Micrografia de grânulos da biomassa da banana verde seca em *spray dryer* (ampliado em 50 vezes)

Fonte: Os autores.

NIRO, Inc. *Spray Drying*. Disponível em: <http://www.niroinc.com>. Acesso em: 08/08/2008.

PERRY, R. H.; CHILTON, C. H. *Manual de Engenharia Química*. 5ª ed. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1980.

PERRY, R. H.; GREEN, D. W. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 7th. ed. New York: McGraw-Hill, 1997.

ZANDONADI, Renata R. *Massa de banana verde: uma alternativa para exclusão do glúten*. 2009. 74f. Tese (Doutorado em Ciências da Saúde), Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília – UnB, Brasília.

Recebido em 17 dez. 2009 / aprovado em 27 jul. 2010

Para referenciar este texto

OI, R. K.; TAMBOURGI, E. B.; MORAES JR, D. de. Estudo de viabilidade da secagem da biomassa da banana verde em *spray dryer* rotativo. *Exacta*, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 185-191, 2010.

