

# DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE BANANAS<sup>1</sup>

MASAZI MAEDA<sup>2</sup>  
RICARDO LUIZ LORETO<sup>3</sup>

MAEDA, M., LORETO, R.L. Desidratação osmótica de bananas. *Semina: Ci. Agr.*, Londrina, v.19, n.1, p.60-67, mar. 1998.

**RESUMO:** Os processos tradicionais de secagem de bananas geralmente levam ao escurecimento enzimático das frutas, gerando produtos escuros e pouco atrativos. A desidratação osmótica de bananas em soluções de sacarose foi realizada para verificar a possibilidade de produzir bananas passas sem escurecimento enzimático. Os efeitos do tempo de processamento (1 a 33 horas), temperatura (60, 65, 70, 75°C) e concentração da solução de sacarose (60, 70 graus Brix - °B) sobre a perda de água e ganho de açúcar das frutas foram estudados utilizando a metodologia da superfície de resposta.

**PALAVRAS-CHAVE:** Desidratação osmótica, método da superfície de resposta, banana.

## 1. INTRODUÇÃO

A desidratação osmótica consiste na remoção parcial do conteúdo de água de um alimento imerso numa solução concentrada. Além do fluxo de água do alimento para a solução, existe um fluxo de soluto da solução para o interior do alimento; entretanto, o interesse no processo reside no fato de que o fluxo de água é muito maior que o fluxo de soluto.

As principais vantagens da desidratação osmótica sobre os processos tradicionais de secagem são: inibição do escurecimento enzimático, com retenção da cor natural sem a utilização de sulfitos, e maior retenção de componentes voláteis, responsáveis pelo sabor do alimento.

As variáveis mais importantes que têm influência no processo de desidratação osmótica são: natureza do alimento, contato de fases (agitação, tamanho e forma do alimento), temperatura, tempo de imersão, concentração do soluto na solução, peso molecular do soluto, relação entre a massa de solução osmótica e de alimento, pressão, pH da solução.

Vários estudos sobre processos de desidratação osmótica foram realizados utilizando maçãs (Pointing et al., 1966; Farkas & Lazar, 1969; Karel, 1976; Saurel et al., 1994), abacaxis (Berstein et al., 1990; Suazo, 1985) e outras frutas (Hope & Vitale, 1971; Brekke & Pointing, 1971; Leriche et al., 1988). Entretanto, existem poucas pesquisas com frutas tropicais, como por exemplo as bananas.

O Brasil é um dos três maiores produtores e consumidores mundiais de bananas, com uma produção anual de cerca de seis milhões de toneladas (1997); também é o país com maior índice de desperdício desta fruta, cerca de 60 % da produção.

Entre os diversos produtos industrializados que podem ser obtidos a partir da banana, encontra-se a

banana passa, produzida por secagem. Atualmente grande parte desta secagem é realizada sem maiores cuidados ao sol ou em estufas, gerando um produto escuro, de aspecto pouco agradável e com pequena retenção do sabor original da banana. Trata-se de um produto industrializado e comercializado em pequena escala no Brasil.

Neste trabalho estudou-se a influência de três fatores (tempo de processamento, temperatura e concentração de sacarose) sobre a desidratação osmótica de bananas, usando o método de ensaios fatoriais. Desta maneira, pretendeu-se verificar a possibilidade de produzir bananas passas sem escurecimento enzimático bem como estabelecer as melhores condições operacionais do processo quanto à perda de água. Pretendeu-se verificar também se a quantidade de sacarose que penetra nas frutas é apreciável, mudando suas propriedades organolépticas, e se é dependente das condições operacionais.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### Matérias Primas e Equipamentos

Foram utilizadas bananas nanicas (*Musa cavendish* Lamb), compradas no mercado local. No momento da compra, que era feita no dia anterior ao experimento, as frutas eram selecionadas considerando seu aspecto, procurando-se obter bananas no grau de amadurecimento adequado (bananas maduras com casca totalmente amarela e com poucas e pequenas pintas escuras). Além disso, para cada experimento foi selecionado um único cacho de bananas, cujo número de frutas fosse suficiente para realizar todos os teste necessários. Desta maneira procurou-se eliminar

<sup>1</sup> Trabalho realizado no Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

<sup>2</sup> Professor Doutor da Escola Politécnica da USP - Depto. de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Av. Lineu Prestes, 580 - Bloco 2, Cidade Universitária - São Paulo / SP - CEP 05508-900 - FAX (11) 211-3020 - e-mail: rloreto@usp.br.

<sup>3</sup> Mestre em Engenharia Química - aluno de doutorado da Escola Politécnica da USP.

diferenças entre frutas provenientes de diferentes cachos.

Uma avaliação mais objetiva do grau de maturação das bananas era feita no dia do experimento, antes da desidratação osmótica, utilizando um penetrômetro.

O soluto escolhido para preparar a solução osmótica foi a sacarose comercial, devido ao baixo custo.

Os ensaios de desidratação osmótica foram realizados num sistema tipo batelada com agitação e com controle de temperatura. As frutas foram imersas na solução no interior de suportes individuais, feitos de tela de aço e identificados por números. Utilizou-se um volume de 20 litros de solução osmótica em cada experimento, de tal forma que a relação entre a massa de fruta e a massa de solução não variasse significativamente nos diferentes experimentos.

### Métodos Analíticos

O conteúdo de água das bananas foi medido antes e depois dos tratamentos osmóticos por método gravimétrico utilizando uma estufa a 105 °C por 4 horas. Foi sempre realizado em duplicata para cada amostra. Os resultados foram calculados em gramas de água em 100 gramas de banana (base úmida). Para comparar os resultados de diferentes experimentos, realizados com diferentes frutas (e conseqüentemente diferentes conteúdos de umidade inicial), os resultados foram expressos em porcentagem de perda de água (gramas de água perdida durante a desidratação osmótica para cada 100 gramas de água originalmente presente na fruta).

O conteúdo de açúcar das frutas foi medido antes e após os tratamentos osmóticos utilizando o método titulométrico de "Eynon Lane" (Falcone, 1965). Também foi realizado em duplicata para cada amostra. Os resultados forma expressos em gramas de açúcar por 100 gramas de banana.

A concentração das soluções de sacarose foi medida com um refratômetro. Os resultados foram expressos em graus Brix (°B).

### Medida do Grau de Amadurecimento das Bananas

Para medir o grau de amadurecimento das bananas utilizou-se o penetrômetro, que mede a distância de penetração de um corpo de prova no interior de um material devido à aplicação de um força durante certo tempo.

O objetivo destas medidas foi obter um valor numérico sobre o grau de amadurecimento das bananas a serem utilizadas nos processos de desidratação osmótica. Deste modo, foi possível assegurar que as frutas utilizadas em todos os experimentos tiveram o mesmo grau de amadurecimento.

Foram realizados testes prévios que permitiram estabelecer um método de medida que correlacionou significativamente o grau de amadurecimento das bananas com a medida fornecida pelo penetrômetro. Não são apresentados neste trabalho os dados referentes a este método, cujas medidas permitiram

assegurar que apenas as bananas que apresentaram grau adequado de amadurecimento foram utilizadas nos ensaios de desidratação osmótica.

### Procedimento Experimental Durante os Ensaios de Desidratação Osmótica

Antes do início de cada experimento, 3 bananas eram escolhidas ao acaso para as determinações do grau de amadurecimento e dos conteúdos iniciais de água e açúcares.

Em primeiro lugar as bananas eram descascadas e selecionadas por sua aparência, descartando-se aquelas que tivessem "machucados". As bananas eram então pesadas e colocadas no interior dos suportes individuais numerados. No início da contagem do tempo de processo todas as frutas eram imersas ao mesmo tempo na solução osmótica.

Para levantamento do perfil de perda de água das bananas em função do tempo, 2 frutas eram removidas da solução em diversos tempos de processo. Estas amostras eram submetidas à seqüência de operações descrita a seguir:

1. lavagem para remoção do excesso de solução aderido à superfície, imergindo as amostras em água à temperatura ambiente por 10 segundos;
2. secagem da superfície imediatamente após a lavagem, usando papel absorvente;
3. pesagem;
4. determinação do conteúdo de água e açúcares.

A retirada das 2 últimas amostras correspondia ao fim do tempo de processamento desejado.

A temperatura da solução era controlada e verificada com um termômetro com precisão de 0,5°C. A concentração da solução não era controlada durante o experimento, mas no final do processo ela era medida para verificar sua variação.

### Planejamento Experimental

Os ensaios fatoriais e a análise estatística dos resultados foram baseados nos métodos apresentados por Box et al. (1978).

Para verificar a influência das 3 variáveis estudadas (tempo de processamento, temperatura e concentração da solução de sacarose), foi estabelecido, a princípio, um projeto fatorial em 2 níveis com 3 variáveis. Os valores das variáveis foram inicialmente baseados em informações de literatura, conforme análise que está apresentada na seção referente à Discussão:

- temperatura (T): 60°C e 70°C ;
- concentração da solução de sacarose (C): 60°B e 70°B;
- tempo de processo (t): 6 horas e 24 horas.

Segundo o método usual de projetos fatoriais, estas variáveis foram codificadas de modo a apresentarem mesma ordem de grandeza e mesmo intervalo de variação, o que facilita a análise estatística.

- temperatura codificada ( $X_1$ ):  $X_1 = (T - 65)/5$  ( $X_1$ , T - °C)
- níveis analisados no primeiro projeto fatorial:  $X_1 = -1$  e  $X_1 = +1$
- concentração codificada ( $X_2$ ):  $X_2 = (C - 65)/5$  ( $X_2$ , C - °B)
- níveis analisados no primeiro projeto fatorial:  $X_2 = -1$  e  $X_2 = +1$
- tempo codificado ( $X_3$ ):  $X_3 = (t - 15)/9$  ( $X_3$ , t - horas)
- níveis analisados no primeiro projeto fatorial:  $X_3 = -1$  e  $X_3 = +1$

Este primeiro projeto fatorial correspondeu, portanto, a um total de 8 pontos experimentais. Sendo o tempo uma das variáveis, num mesmo ensaio foram levantados dois pontos experimentais – referentes a dois tempos de processo – perfazendo um total de 4 experimentos realizados com diferentes condições de temperatura e concentração da solução. Estes experimentos foram realizados de forma aleatória. Com base na análise estatística destes resultados, apresentada na próxima seção deste trabalho, foram propostas novas condições experimentais visando maximizar a perda de água. Estas novas condições propostas configuraram um novo projeto fatorial, em 2 níveis e com 2 variáveis (tempo e temperatura), com os seguintes valores:

- concentração da solução de sacarose: 70 °B (fixa) ( $X_1 = +1$ )
- temperaturas: 65 °C e 75 °C ( $X_2 = 0$  e  $X_2 = +2$ )
- tempos de processamento para análise: 15 e 33 horas ( $X_3 = 0$  e  $X_3 = +2$ )

Este projeto fatorial correspondeu a um total de 4 pontos experimentais, levantados em 2 ensaios (em cada ensaio são levantados 2 pontos experimentais referentes aos 2 tempos de processamento desejados para análise).

Ressalte-se ainda que em cada um destes ensaios de desidratação osmótica foram retiradas amostras em 10 instantes, apesar da análise estatística basear-se apenas em 2 valores de tempo. Estes valores em outros instantes não são apresentados neste trabalho, mas este procedimento permitiu acompanhar os perfis de perda de água com o tempo e através destes perfis verificar possíveis erros experimentais em medidas individuais.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Escolha dos Valores Iniciais das Variáveis de Processo

Uma boa escolha inicial das condições de processo a serem analisadas permite que seja reduzido o número de ensaios necessários para otimizar uma dada resposta desejada. Os valores iniciais das variáveis de processo foram escolhidos a partir de informações de literatura:

- A baixas temperaturas o tempo de processamento para atingir o nível desejado de conteúdo de água

da fruta é muito alto; por outro lado, temperaturas superiores a 80 °C podem causar escurecimento da solução, o que pode modificar suas propriedades. Portanto, decidiu-se analisar em princípio os valores de 60 °C e 70 °C.

- O aumento da concentração da solução de sacarose reduz o tempo de processamento requerido para se atingir um dado nível de conteúdo de umidade; além disso, a quantidade de água que pode ser removida do alimento também aumenta. Por outro lado, soluções de sacarose com concentrações maiores que 75 °B são difíceis de serem preparadas devido à solubilidade da sacarose, além de apresentarem altas viscosidades, o que dificulta sua manipulação e o processo de agitação. Portanto, os valores de 60 °B e 70 °B foram inicialmente selecionados para as concentrações da solução de sacarose.
- Quanto maior o tempo de processamento, maior a perda de água do alimento. Entretanto, existe um limite para o conteúdo final de água no alimento para dadas condições operacionais, que é seu valor de equilíbrio com a solução osmótica. Além disso, as referências mostram que em todas as desidratações osmóticas ocorrem dois estágios: a velocidade de desidratação é praticamente constante durante as primeiras horas, reduzindo-se continuamente a partir de um dado instante. Durante cada ensaio de desidratação osmótica, amostras foram retiradas da solução em vários tempos de processamento, num total de 10 instantes. A análise dos perfis de conteúdo de água como função do tempo de processo mostrou que a velocidade de desidratação começa a diminuir após cerca de 6 horas de processamento. Selecionou-se, então, os valores de 6 e 24 horas para uma primeira análise.

#### Ensaio Realizados

A Tabela 1 mostra as condições experimentais de todos os ensaios de desidratação osmótica realizados. A numeração dos experimentos corresponde à ordem em que foram feitos.

Os ensaios de números 1 a 4 correspondem ao primeiro projeto fatorial (2 níveis com 3 variáveis). Os ensaios 5 e 6 correspondem ao segundo projeto fatorial (2 níveis com 2 variáveis). O ensaio 7 foi uma repetição do ensaio 6, cujo motivo de realização está apresentado a seguir.

#### Análise Estatística para a Perda de Água das Bananas

A Tabela 2 mostra os resultados do primeiro projeto fatorial. Os números entre parênteses correspondem à codificação das variáveis. Toda a análise estatística apresentada está baseada nestas variáveis codificadas.

**Tabela 1.** Condições Experimentais dos Ensaios de Desidratação Osmótica.

| Ensaio de Desidratação Osmótica | Concentração Inicial da Solução de Sacarose (°B) | Concentração Final Da Solução de Sacarose (°B) | Temperatura da Solução (°C) |
|---------------------------------|--|--|-----------------------------|
| 01                              | 60,5 (-1)  | 62,0   | 70 (+1)                     |
| 02                              | 72,0 (+1)  | 73,5   | 70 (+1)                     |
| 03                              | 63,0 (-1)  | 61,5   | 60 (-1)                     |
| 04                              | 71,0 (+1)  | 72,0   | 60 (-1)                     |
| 05                              | 71,0 (+1)  | 72,0   | 65 (0)                      |
| 06                              | 71,0 (+1)  | 75,0   | 75 (+2)                     |
| 07                              | 72,0 (+1)  | 73,5   | 75 (+2)                     |

**Tabela 2.** Resultados do Primeiro Projeto Fatorial (2 Níveis com 3 Variáveis) de Ensaios de Desidratação Osmótica de Bananas.

| Ensaio | Temperatura (°C) | Concentração da Solução de Sacarose (°B) | Tempo (h) | Porcentagem de Perda de Água (%) |
|--------|------------------|--|-----------|----------------------------------|
| 3      | 60 (-1)          | 60 (-1)                                  | 6 (-1)    | 41                               |
| 1      | 70 (+1)          | 60 (-1)                                  | 6 (-1)    | 58                               |
| 4      | 60 (-1)          | 70 (+1)                                  | 6 (-1)    | 55                               |
| 2      | 70 (+1)          | 70 (+1)                                  | 6 (-1)    | 66                               |
| 3      | 60 (-1)          | 60 (-1)                                  | 24 (+1)   | 72                               |
| 1      | 70 (+1)          | 60 (-1)                                  | 24 (+1)   | Erro experimental                |
| 4      | 60 (-1)          | 70 (+1)                                  | 24 (+1)   | 78                               |
| 2      | 70 (+1)          | 70 (+1)                                  | 24 (+1)   | 87                               |

A análise estatística dos resultados da Tabela 2 permitiu uma avaliação dos efeitos individuais da temperatura, concentração e tempo sobre a perda de água das bananas. Esta avaliação foi feita com o auxílio do programa STATGRAPHICS.

- Efeito Principal da Temperatura = 11,5 ( 2,7 (% de perda de água / °C)
- Efeito Principal da Concentração = 8,5 ( 2,7 (% perda de água / °B)
- Efeito Principal do Tempo = 24,5 ( 2,7 (% de perda de água / hora)

Todas as variáveis foram significantes nos níveis estudados; as mais significantes foram o tempo e a temperatura. A flexibilidade de operação com estas duas variáveis também é maior do que com a concentração. De fato, é difícil trabalhar com concentrações maiores que 70 °B devido à solubilidade da sacarose e altas viscosidade e densidade.

Desta forma; foi planejado um novo projeto fatorial, agora com 2 variáveis - tempo e temperatura - mantendo-se a concentração de sacarose constante a 70 °B. Uma vez que o objetivo era aumentar a perda de água,

o novo ponto central correspondeu ao ponto (+1, +1) do anterior, e portanto os níveis das variáveis foram:

- temperatura: 65 °C e 75 °C (ponto central = 70 °C)
- tempo: 15 e 33 horas (ponto central = 24 horas)

Este projeto correspondeu aos experimentos 5 e 6, com temperaturas de 65 °C e 75 °C respectivamente, que prosseguiram até 33 horas de processo. O experimento 7 foi uma repetição do experimento 6; ele foi realizado porque a perda de água no experimento 6 (75 °C) havia sido inferior ao experimento 2 (70 °C), em oposição ao que vinha sendo observado anteriormente (quanto maior a temperatura, maior a perda de água).

A análise dos resultados foi feita usando o programa STATGRAPHICS. Como o segundo projeto fatorial é uma extensão do primeiro, pôde-se analisar todos os resultados disponíveis conjuntamente. A Tabela 3 apresenta todos os pontos experimentais utilizados, inclusive pontos referentes a outros tempos de processamento (6 e 24 horas) não contemplados originalmente no segundo projeto fatorial, levantados nos ensaios 5, 6 e 7.

**Tabela 3.** Pontos Experimentais dos Ensaio de Desidratação Osmótica de Bananas Usados Para Análise Estatística.

| Experimento | Temperatura (°C) | Concentração da Solução de Sacarose (°B) | Tempo (h) | Porcentagem de Perda de Água (%) |
|-------------|------------------|--|-----------|----------------------------------|
| 3           | 60 (-1)          | 60 (-1)                                  | 6 (-1)    | 41                               |
| 1           | 70 (+1)          | 60 (-1)                                  | 6 (-1)    | 58                               |
| 4           | 60 (-1)          | 70 (+1)                                  | 6 (-1)    | 55                               |
| 2           | 70 (+1)          | 70 (+1)                                  | 6 (-1)    | 66                               |
| 3           | 60 (-1)          | 60 (-1)                                  | 24 (+1)   | 72                               |
| 1           | 70 (+1)          | 60 (-1)                                  | 24 (+1)   | erro experimental                |
| 4           | 60 (-1)          | 70 (+1)                                  | 24 (+1)   | 78                               |
| 2           | 70 (+1)          | 70 (+1)                                  | 24 (+1)   | 87                               |
| 5           | 65 (0)           | 70 (+1)                                  | 6 (-1)    | 56                               |
| 5           | 65 (0)           | 70 (+1)                                  | 24 (+1)   | 79                               |
| 6           | 75 (+2)          | 70 (+1)                                  | 6 (-1)    | 63                               |
| 6           | 75 (+2)          | 70 (+1)                                  | 24 (+1)   | 83                               |
| 5           | 65 (0)           | 70 (+1)                                  | 15 (0)    | 74                               |
| 5           | 65 (0)           | 70 (+1)                                  | 33 (+2)   | 83                               |
| 6           | 75 (+2)          | 70 (+1)                                  | 15 (0)    | 80                               |
| 6           | 75 (+2)          | 70 (+1)                                  | 33 (+2)   | 86                               |
| 7           | 75 (+2)          | 70 (+1)                                  | 6 (-1)    | 57                               |
| 7           | 75 (+2)          | 70 (+1)                                  | 24 (+1)   | 83                               |
| 7           | 75 (+2)          | 70 (+1)                                  | 15 (0)    | 74                               |
| 7           | 75 (+2)          | 70 (+1)                                  | 33 (+2)   | 84                               |

Análises de Regressão foram efetuadas para verificar a significância dos efeitos principais e das interações de segunda ordem (modelo aditivo). As variáveis e/ou interações não significantes foram sendo excluídas em tentativas sucessivas – não apresentadas – até que fosse conseguido um modelo que melhor ajustasse os resultados. A Tabela 4 apresenta esta análise de regressão.

**Tabela 4.** Análise de Regressão – Melhor Modelo para a Desidratação Osmótica de Bananas.

| Variável Independente | Coefficiente | Erro Padrão | Valor - t | Nível de Significância |
|-----------------------|--------------|-------------|-----------|------------------------|
| Constante             | 72,171       | 1,807       | 39,940    | 0,0000                 |
| Temperatura (T)       | 6,204        | 1,332       | 4,657     | 0,0009                 |
| Tempo (t)             | 13,451       | 1,170       | 11,493    | 0,0000                 |
| Concentração (C)      | 2,123        | 1,224       | 1,734     | 0,1135                 |
| T <sup>2</sup>        | -1,484       | 0,9006      | -1,648    | 0,1304                 |
| T <sup>2</sup>        | -3,541       | 0,7991      | -4,431    | 0,0013                 |
| T * C                 | -2,319       | 1,320       | -1,758    | 0,1093                 |
| C * t                 | -2,072       | 1,309       | -1,583    | 0,1445                 |
| T * t                 | 0,0231       | 0,6477      | 0,0357    | 0,9722                 |

R -SQ. (AJUSTE) = 0,9469

19 observações ajustadas, prognósticos computados sem exclusão de nenhum valor da variável independente.

A Tabela 5 apresenta a Análise de Variância para a regressão.

**Tabela 5.** Análise de Variância para a Melhor Regressão:

| Fonte         | Soma de Quadrados | Graus de Liberdade | Média Quadrática | Razão F | Nível de Significância |
|---------------|-------------------|--------------------|------------------|---------|------------------------|
| Modelo        | 3032,54           | 7                  | 433,220          | 51,6892 | 0,0000                 |
| Erro          | 92,1938           | 11                 | 8,38125          |         |                        |
| Total (corr.) | 3124,74           | 18                 |                  |         |                        |

R-squared = 0,970496

Desvio Padrão das Estimativas = 2,895

R-squared (ajustado para os graus de liberdade) = 0,95172

A Tabela 5 mostrou que o modelo era significativo. O passo seguinte foi a Análise de Resíduos, para verificar se o modelo era adequado. A Tabela 6 e a Figura 1 apresentam a Análise de Resíduos.

**Tabela 6.** Análise dos Resíduos

| Ponto | % Perda de Água Experimental | % Perda de Água Ajustada | Resíduo     |
|-------|------------------------------|--------------------------|-------------|
| 1     | 41                           | 41,0000                  | -5,684 E-14 |
| 2     | 58                           | 58,0000                  | 2,061E-13   |
| 3     | 55                           | 53,9858                  | 1,014       |
| 4     | 66                           | 61,7518                  | 4,248       |
| 5     | 72                           | 72,0000                  | 2,984E-13   |
| 6     | 78                           | 76,7802                  | 1,220       |
| 7     | 87                           | 84,5496                  | 2,454       |
| 8     | 56                           | 59,3469                  | -3,347      |
| 9     | 79                           | 82,1412                  | -3,141      |
| 10    | 63                           | 61,2006                  | 1,799       |
| 11    | 83                           | 83,9950                  | -9,950E-01  |
| 12    | 74                           | 74,2783                  | -2,783E-01  |
| 13    | 83                           | 82,9356                  | 6,444E-02   |
| 14    | 80                           | 76,1321                  | 3,868       |
| 15    | 86                           | 84,7893                  | 1,221       |
| 16    | 57                           | 61,2006                  | -4,201      |
| 17    | 83                           | 83,9950                  | -9,950E-01  |
| 18    | 74                           | 76,1321                  | -2,132      |
| 19    | 84                           | 84,7893                  | -7,893E-01  |

Análise de Resíduos

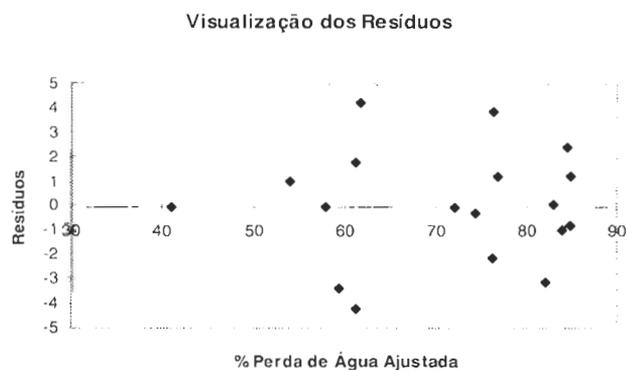


Figura 1.

Pode ser observado que os resíduos estão bem distribuídos ao longo de todo o intervalo dos valores previstos, indicando que o modelo aditivo proposto estava correto.

A equação completa para o modelo proposto foi:

$$Y = 72,15 + 6,19X_1 + 2,13X_2 + 13,455X_3 - 2,31X_1X_2 - 2,05X_2X_3 - 1,48X_1^2 - 3,53X_3^2$$

onde Y - porcentagem de perda de água calculada

X1 - temperatura codificada(°C)

X2 - concentração codificada (°B)

X3 - tempo codificado (h)

Determinou-se o ponto de máximo desta equação, ou seja, os valores de temperatura, concentração de sacarose e tempo que levam à máxima perda de água (teórica) das bananas submetidas à desidratação osmótica. No ponto extremo as derivadas parciais devem ser iguais a zero:

$$\frac{dY}{dX_1} = 6,19 - 2,31X_2 - 2,96X_1 = 0$$

$$\frac{dY}{dX_2} = 2,13 - 2,31X_1 - 2,05X_3 = 0$$

$$\frac{dY}{dX_3} = 13,45 - 2,05X_2 - 7,06X_3 = 0$$

$$X_1 = -0,0587$$

$$X_2 = 2,7549$$

Resolvendo o sistema temos:  $X_3 = 1,1052$

Para atingir-se um extremo com as 3 variáveis independentes, o valor da concentração deveria ser quase 80 °B. Na prática, este ponto não tem significado físico, porque representa uma concentração com a qual é difícil trabalhar.

Desta forma, o modelo foi modificado para trabalhar com uma concentração máxima fixa de 70 °B (+1) e foram analisadas as melhores condições de temperatura e tempo de processamento. O novo modelo proposto foi:

$$Y = 74,28 + 3,88X_1 + 11,4X_3 - 1,48X_1^2 - 3,53X_3^2$$

Calculando novamente o ponto de máximo obtemos:

$$\frac{dY}{dX_1} = 3,88 - 2,96X_1 = 0 \Rightarrow X_1 = 1,3108$$

$$\frac{dY}{dX_3} = 11,4 - 7,06X_3 = 0 \Rightarrow X_3 = 1,6147$$

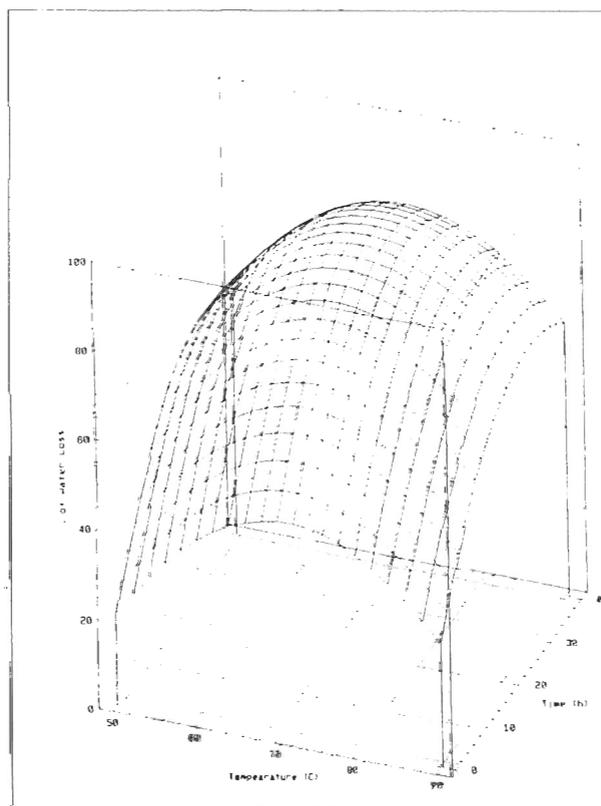
Voltando aos valores originais, as melhores condições calculadas foram:

- Temperatura = 71,6 °C;
- Tempo de Processamento = 29,5 horas.

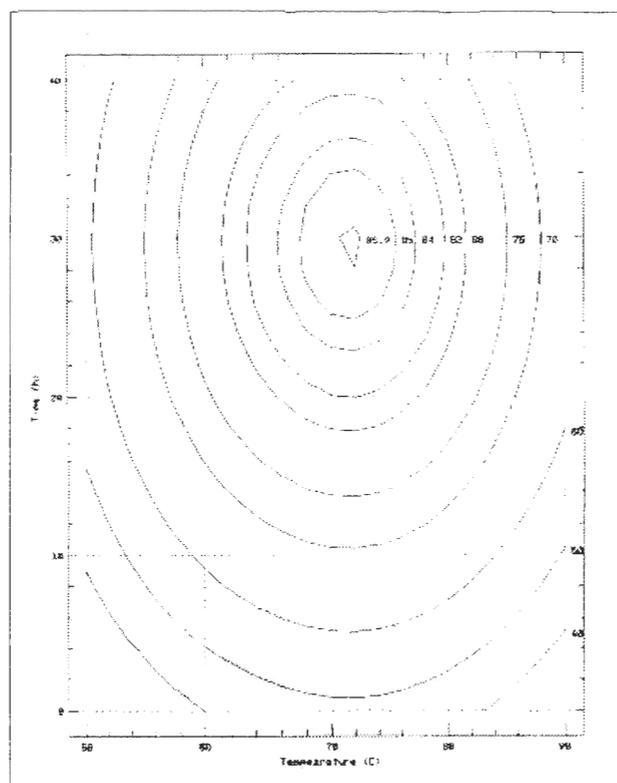
A máxima perda de água predita pelo modelo é 86%.

As Figuras 2 e 3 apresentam, respectivamente, a superfície de resposta do último modelo e suas curvas de nível, obtidas através do programa STATGRAPHICS.

**Figura 2.** Superfície de resposta para o modelo de desidratação osmótica de bananas.



**Figura 3.** Curvas de nível para o modelo de desidratação osmótica de bananas.



#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados mostram que a desidratação osmótica de bananas, utilizando soluções concentradas de sacarose, é capaz de remover cerca de 84% do conteúdo de água inicial das frutas. Não foram apresentados neste trabalho os dados referentes à variação da concentração de açúcar nas frutas durante a desidratação osmótica, mas constatou-se que não houve entrada de quantidades apreciáveis de sacarose nas bananas (na média, cerca de 10% da massa de açúcar inicial das frutas), bem como a variação na quantidade de sacarose das frutas não foi dependente das condições experimentais.

Uma das vantagens deste método de desidratação é o aspecto final das bananas, que sob condições adequadas não sofrem escurecimento enzimático, mesmo sem terem sido previamente submetidas a tratamentos anti-oxidantes. A textura e o sabor da banana passa também são superiores aos produtos encontrados normalmente no comércio, feitos a partir de métodos tradicionais de secagem.

As variáveis estudadas foram todas significantes para o processo de desidratação osmótica dentro dos intervalos analisados.

O uso do Programa STATGRAPHICS permitiu a elaboração de um modelo matemático mostrando a porcentagem de perda de água como função da temperatura, tempo de processamento e concentração da solução de sacarose. Foi possível calcular as condições que levariam à máxima perda de água com este modelo:

- 
- temperatura: 72 °C;
  - concentração da solução de sacarose: 70 °B (fixada porque é difícil trabalhar com concentrações mais elevadas);
  - tempo de processamento: 30 horas.

O valor predito de perda de água nestas condições é 86%. Dois experimentos realizados nestas condições levaram a uma perda média de água pelas bananas de 84 %. Este resultado mostra que o modelo é adequado.

---

MAEDA, M., LORETO, R.L. Osmotic dehydration of bananas. *Semina: Ci. Agr.*, Londrina, v.19, n.1, p.60-67, mar. 1998.

**ABSTRACT:** *The traditional processes for drying bananas usually lead to the enzymatic browning of the fruits, producing non-attractive dark products. The osmotic dehydration of bananas in sucrose solutions was performed to verify the possibility of producing banana figs with no enzymatic browning. The effects of processing time (1 to 33 hours), temperature (60, 65, 70, 75 °C) and sucrose solution concentration (60, 70 Brix degrees - °B) upon the loss of water and gain of sugar of the fruits were studied using the response-surface methodology.*

**KEY WORDS:** *Osmotic dehydration, response surface methodology, banana.*

---

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERISTEIN, C.I. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. *Int. J. Food Sci. Technol.*, v.25, n.5, p.576-582, 1990.
- BOX, G.E.P., HUNTER, W.G., HUNTER, J.S. *Statistics for experimenters - An introduction to design, data analysis, and model building*. New York : John Wiley & Sons, 1978.
- BREKKE, J.E., POINTING, J.D. Advances in Technology: dries by osmosis and vacuum. *Food Engineering*, v.43, p.105, 1971.
- FALCONE, M. Determinação de açúcar pelo método de Eynon Lane. *Tecnol. Aliment. Bebidas*, v.1, n.65, p.17-24, 1965.
- FARKAS, D.L., LAZAR, M.E., Osmotic dehydration of apple pieces: effect of temperature and syrup concentration on rates. *Food Technol.*, v.23, n.5, p.90-92, 1969.
- HOPE, G.W., VITALE, D.G., Osmotic Dehydration: a cheap and simple method for preserving mangoes, bananas and plantains. Ottawa : Food Research Institute – Canada Department of Agriculture, 1971. 12p. (Annual Report).
- KAREL, M. Osmotic Drying. CRC – Crit. Rev. in *Food Technol.*, v.3, n.3, 1973.
- LERICE, C.R. et al. *Osmotic concentration in food processing apud Pre-concentration and Drying of Food Materials*. Amsterdam : Elsevier, 1988.
- POINTING, J.D. et al. Osmotic dehydration of fruits. *Food Technol.*, v.20, n.10, p.125-128, 1966.
- SAUREL, R. et al. Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple I - Fresh plant tissue. *Int. J. Food Sci. Technol.*, v.29, n.5, p.531-542, 1994.
- SUAZO, C.A.T. *Contribuição ao estudo da desidratação osmótica do abacaxi (Ananas comosus (L.) Merrill)*. São Paulo, 1985. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.