

EFEITO DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS E DA TENSÃO APLICADA SOBRE A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E O TEMPO DE DESCONGELAMENTO DO SUCO DE MANGA

José A. G. Vieira*
Giani A. S. Cartapatti-Stuchi**

RESUMO — *O congelamento é um método eficiente na preservação dos alimentos, mantendo suas qualidades físicas, químicas, organolépticas e nutricionais. Isso se deve ao desenvolvimento tecnológico alcançado nos processos industriais. O mesmo não ocorre com descongelamento, em relação ao qual a indústria ainda busca métodos seguros e eficientes. Assim, o objetivo deste trabalho consiste em tornar disponível dados de condutividade elétrica em função da temperatura, tamanho de partículas e da tensão aplicada. A condutividade elétrica e o tempo de descongelamento do suco de manga foram determinados usando-se um aquecedor ôhmico estático, variando o tamanho de partícula e a tensão. Os valores de tamanho de partícula foram de 1,6 mm; 1,0 mm; 0,5 mm; 0,25 mm e 0,149 mm e suco centrifugado, e a tensão aplicada, 165 V; 130 V; 100 V. A condutividade elétrica foi maior nos sucos com partículas de 1,6 mm e centrifugado, e o tempo de aquecimento foi maior nos sucos com partículas menores. Em relação à tensão aplicada, no suco de partículas 1,6 mm, não houve diferença significativa no nível de 1 % pelo teste de Tukey. Durante a mudança de fase, o tempo de aquecimento foi maior, embora o suco tenha mantido a mesma condutividade elétrica.*

PALAVRAS-CHAVE: *Condutividade elétrica; Descongelamento; Suco de manga.*

* Dep. de Engenharia e Tecnologia de Alimentos/UNESP-
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
E-mail: jantonio@eta.ibilce.unesp.br

** Dep. de Engenharia de Alimentos/UNESP.
E-mail: gicartapatti@ig.com.br

Universidade Estadual de Feira de Santana – Dep. de
Tecnologia. Tel./Fax (75) 3224-8056 - BR 116 – KM 03, Campus -
Feira de Santana/BA – CEP 44031-460. E-mail: tec@uefs.br

1 INTRODUÇÃO

A manga (*Mangifera indica*), segundo a FAO (2005), é a quarta fruta tropical a alcançar o mercado internacional, e o Brasil é o seu oitavo produtor mundial. A tendência à industrialização de frutas em suco vem se desenvolvendo de forma significativa em todo o mundo nos últimos anos. Isso se deve, principalmente, à redução nas despesas com transporte, armazenamento e à exigência de produtos de consumo final mais elaborado. O congelamento é um dos métodos mais usados na preservação dos sucos, pois reduz as atividades microbiológicas, as reações químicas e enzimáticas, além de ser eficiente na retenção de aroma, cor e valor nutritivo. Apesar do desenvolvimento tecnológico alcançado no congelamento, a indústria de alimentos ainda busca métodos de descongelamento mais seguros e eficientes e que preservem as qualidades do produto.

O aquecimento ôhmico pode contribuir de forma significativa para o desenvolvimento tecnológico do processo de descongelamento. O processo consiste em passar uma corrente elétrica alternada através do suco, onde a resistência criada pelo suco a essa passagem converte a energia elétrica em calor. O aquecimento ôhmico tem sido estudado como método de aquecimento de sucos e em processamentos assépticos. Roberts e outros (1998) usaram um protótipo de um aquecedor ôhmico para descongelar blocos de camarão, comparando-o com o descongelamento convencional. Concluíram que o descongelamento ôhmico (3 hs) foi mais rápido que o convencional (5 h). Moura, Vitali e Hubinge (1989) determinaram a condutividade térmica dos sucos concentrados de limão, tangerina e abacaxi, com teores de sólidos que variavam de 10 a 55°Brix, utilizando um condutivímetro comercial. Concluíram que a condutividade aumenta com o teor de sólidos até 30°Brix, quando então começa a diminuir, o que poderia ser devido ao aumento da viscosidade com a concentração, o que diminuiria a mobilidade iônica. A condutividade elétrica é o fator mais importante no aquecimento ôhmico, é determinante para a viabilidade do aquecimento elétrico de um alimento.

Nas soluções eletrolíticas, o transporte de cargas é realizado por íons, sendo então importantes os seguintes fatores:

concentração global das espécies ionizadas, tipos de íons e temperatura. Em termos de economia de energia, apesar de não existir nenhum trabalho relacionado especificamente com o assunto, deve-se considerar que a energia utilizada no aquecimento ôhmico tem um rendimento acima de 90% para a conversão de eletricidade em calor (SWIENTEK Apud ROBERTS et al. 1998), enquanto que a energia gasta no aquecimento convencional através de vapor tem um rendimento bem inferior.

O objetivo deste estudo foi determinar a condutividade elétrica e o tempo de descongelamento do suco de manga, em função da tensão aplicada e do tamanho de partículas sob a hipótese que tais variáveis são significativas para o processo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A célula condutivimétrica utilizada nesta pesquisa foi montada no Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos da UNESP. Construída em aço inox e teflon, sendo o corpo da célula construído em teflon medindo 28,5 cm de comprimento, com diâmetro interno de 3,0 cm e diâmetro externo de 4,5 cm. Os tampões laterais são de teflon e possuem eletrodos de titânio platinizado, ajustados ao tubo. A medida da temperatura é feita por termopar tipo T, calibrado previamente, localizado no centro da célula. Um circuito semelhante ao de Mitchell e De Alwis (1989), foi montado, para variação da voltagem de 0 a 200V, conforme mostra a Figura 1. Um amperímetro marca Minipa foi utilizado para medir a corrente elétrica, um variador de tensão da marca Arije modelo M1410 foi utilizado para medir a tensão aplicada, o termopar tipo T, foi ligado a um registrador de temperatura marca Coel e a estabilidade da tensão foi controlada por um multímetro marca Minipa.

A célula foi calibrada com soluções de NaCl nas concentrações de 0,02, 0,05 e 0,17 Molar. Os valores da condutividade elétrica foram comparados com os obtidos por um condutivímetro comercial marca Analion modelo C702 calibrado com soluções padrões fornecidas pelo fabricante. A diferença máxima encontrada foi de 6,1%, considerados satisfatórios, segundo Reznick (1996).



Figura 1 – Esquema para a medida da condutividade elétrica na célula condutivimétrica, durante o aquecimento ôhmico.

As mangas da variedade Haden com grau de maturação uniforme foram selecionadas, descascadas e passadas em despulpadeira com malha 1,6 mm. A manga em estudo apresentou um pH de 3,98, sólidos solúveis 15,5 °Brix, açúcares totais 12,95% e açúcares redutores 4,3%, usando os métodos correspondente do Instituto Adolfo Lutz (1985) . Para obter diferentes tamanhos de partículas, a polpa integral foi passada em peneiras vibratórias de aço inoxidável com diâmetro de 0,149 mm, 0,25 mm, 0,5 mm e 1 mm, com agitador mecânico durante 10 min. Uma outra amostra foi centrifugada a 10 G por 10 min, para se obter o suco sem fibras. Amostra de 255 mL foi colocada na célula e congelada a -20°C , em seguida, procedeu-se o aquecimento ôhmico. A condutividade elétrica e a temperatura foram medidas a cada minuto até a amostra atingir 5°C . A condutividade elétrica das amostras foi calculada de acordo com os dados obtidos de voltagem e de corrente, aplicando as seguintes equações:

$$Q = I^2 R, \quad (1)$$

Onde

$$R = L/(A\sigma) \quad (2)$$

$$\sigma = (1/R) \cdot K_c, \text{ onde } K_c = (L/A) \text{ ou } (3)$$

$$\sigma = (I/V) \cdot (L/A) \quad (4)$$

onde: Q = calor liberado, (W); I = corrente, (A); $R = V/I$ = resistência da amostra, (Volt/Ampére);

L = comprimento do tubo (m); V = voltagem aplicada (V); A = área do tubo, (m^2), σ = condutividade elétrica, (S/m) que é igual (AV^{-1}).

Usando a análise dimensional, a condutividade elétrica será expressa em Siemens/metro.

A taxa de aquecimento pode ser calculada assumindo geração uniforme de calor ao longo da amostra e, neste caso, a perda de calor para os arredores pode ser desprezível.

Para analisar a influência dos fatores tamanho das partículas e tensão aplicada, foi feita uma análise de variância, com desdobramento dos graus de liberdade dos tratamentos utilizados nas amostras, de acordo com o esquema fatorial. As médias dos fatores foram comparadas pelo teste de Tukey no nível de 1% de probabilidade, usando-se programa de análise estatística.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 INFLUÊNCIA DA TENSÃO APLICADA NA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E NO TEMPO DE DESCONGELAMENTO DO SUCO DE MANGA

A Figura 2 mostra a variação da condutividade elétrica durante o descongelamento do suco de manga contendo partículas de 1,6 mm, em função da tensão aplicada. Podemos observar que não houve diferença significativa no nível de 1% pelo teste de Tukey. Isso se deve à baixa mobilidade iônica nos produtos congelados. Para produtos não congelados, a mobilidade iônica aumenta com o aumento da tensão aplicada.

Palaniappan e Sastry (1991) mostraram que a condutividade elétrica aumentou com a tensão aplicada em uma análise com cenoura e a provável razão desse aumento seria o efeito eletro-osmótico. Observa-se que, naquele trabalho, o gradiente de tensão utilizado foi menor (0 a 40 V/cm) que o utilizado no presente trabalho e a temperatura foi de 20 a 100°C. Pelacani (2002) trabalhou com suco de laranja 11,5°Brix, nas tensões de 100, 130 e 140V, a temperaturas de 20 a 100°C, e a condutividade elétrica também aumentou com a tensão aplicada. Em relação ao tempo de aquecimento, esse foi menor nas tensões maiores.

Embora a condutividade elétrica do suco congelado não tenha uma variação significativa com o aumento da tensão, a quantidade de energia fornecida é proporcional ao aumento da tensão. Isso faz com que o tempo de descongelamento diminuísse significativamente a 1% , pelo teste de Tukey., com o aumento da tensão aplicada, conforme mostrado na Tabela 1.

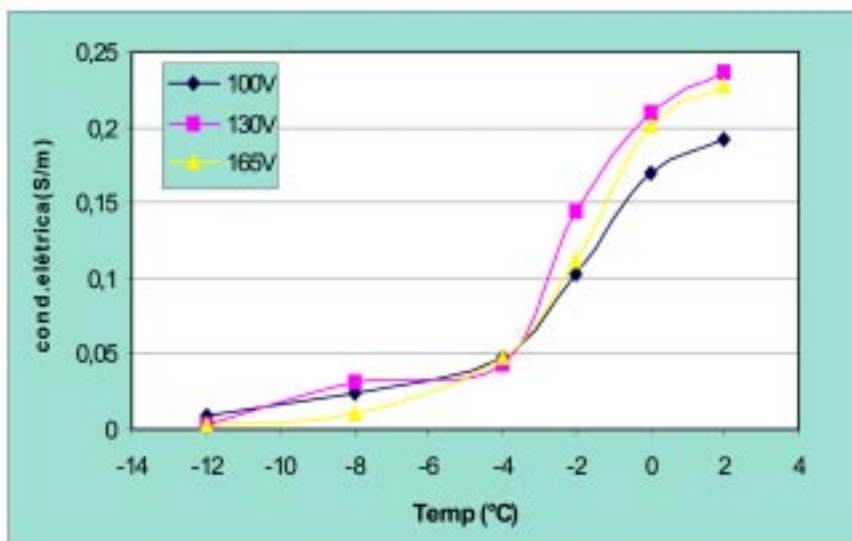


Figura 2 – Médias da condutividade elétrica durante o descongelamento do suco de manga com partículas de 1,6 mm, a diferentes tensões aplicadas.

Tabela 1 – Tempo de descongelamento do suco de manga com partículas de 1,6 mm nas tensões aplicadas.

Tensão aplicada	Tempo de descongelamento (min)
100 V	103,00 A
130 V	100,36 B
165V	86,15C

ABC, letras diferentes indicam diferença significativa, entre si, a nível de 1 % pelo teste de Tukey.

3.2 INFLUÊNCIA DO TAMANHO DA PARTÍCULA NA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E NO TEMPO DE DESCONGELAMENTO DO SUCO DE MANGA

A Figura 3 apresenta os resultados da variação da condutividade elétrica obtidos através da variação dos tamanhos de partículas do suco de manga (1,6 mm, 1,0 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,149 mm e sem partículas). Observa-se que a condutividade elétrica foi maior nas amostras sem partículas e nas amostras contendo partículas 1,6 mm. Isso é explicado pelo fato de as partículas intermediárias provavelmente dificultarem o movimento iônico. O efeito do tamanho das partículas sobre a condutividade elétrica foi estudado por Pelacani (2002), para o suco de manga e Palaniappan e Sastry (1991), para o suco de cenoura. Verificaram que, a condutividade elétrica é maior em amostras com menor tamanho de partícula, quando medida a temperaturas acima de 20°C.

A condutividade elétrica de líquidos é afetada pela natureza dos íons (composição química), pelos movimentos iônicos e pela viscosidade. Todos esses fatores são dependentes da temperatura e tem sido reportado que a condutividade elétrica

de líquidos aumenta com o aumento da temperatura, Palaniappan e Sastry (1991). O movimento iônico também pode ser dependente do tamanho, forma e orientação das partículas do suco. Palaniappan e Sastry (1991) observaram que, desde que o conteúdo de sólidos seja o mesmo para todas as amostras, o aumento da condutividade com a redução do tamanho da partícula é devido ao aumento do arraste dos íons em movimento. Outra reação a ser considerada seria o possível lançamento de fluídos intracelulares, os quais podem aumentar a condutividade global/efetiva dos sucos, como puderam observar nos tecidos de cenoura em solução. Esta dependência do tamanho da partícula, segundo os autores, é provavelmente devido a sua estrutura e aos efeitos químicos. No suco sem partículas, a quantidade de íons e sua movimentação são maiores, o que pode explicar sua maior condutividade elétrica. O tempo de aquecimento foi maior nas amostras com partículas menores, conforme mostrado na Figura 4. Quanto maior a condutividade elétrica menor o tempo de descongelamento.

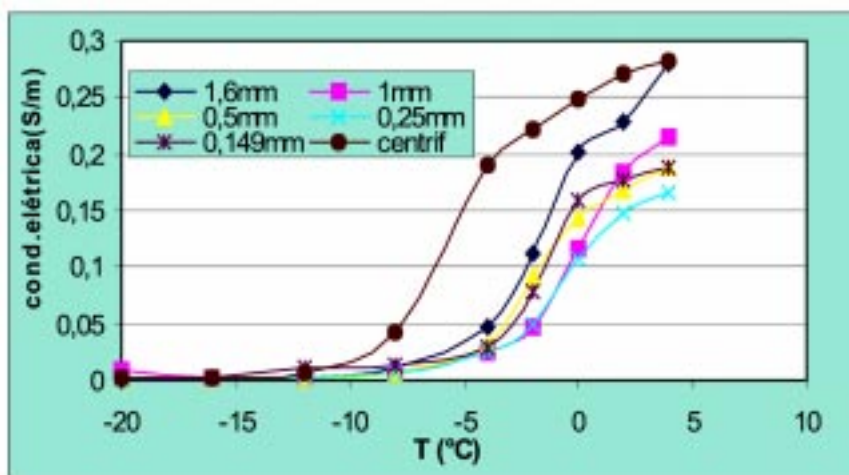


Figura 3 – Médias da condutividade elétrica em função da temperatura para amostras contendo diferentes tamanhos de partículas, para uma tensão aplicada de 165V.

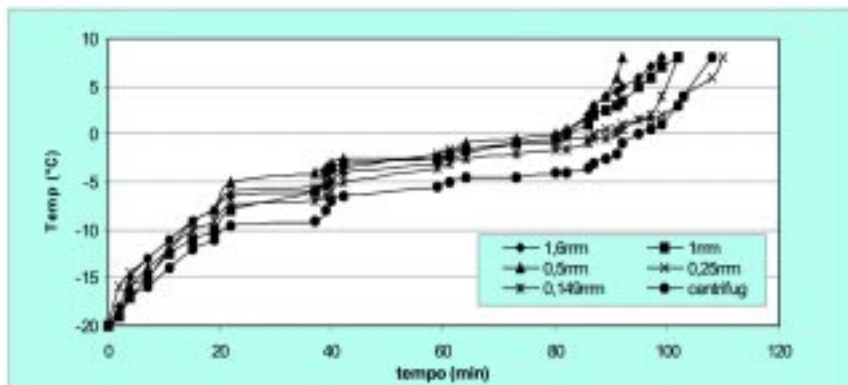


Figura 4 – Médias do tempo de aquecimento do suco de manga com diferentes tamanhos de partículas, sob tensão aplicada de 165V.

4 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados mostraram que é possível utilizar o aquecimento ôhmico para o descongelamento do suco. Os parâmetros estudados poderão ser utilizados juntamente com modelos matemáticos de transferência de calor para predição do tempo de descongelamento. A condutividade elétrica a baixas temperaturas não variou com a tensão aplicada. Em relação ao tamanho das partículas, a condutividade elétrica foi maior para o suco sem partículas e com partículas de 1,6 mm. O tempo de descongelamento diminuiu com o aumento da tensão aplicada e aumentou com a redução do tamanho de partículas.

EFFECT OF THE PARTICLE SIZE AND APPLIED TENSION ON THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND THE TIME OF THAWING OF MANGO JUICE

ABSTRACT — *Freezing is an efficient method for the final product maintaining the physical, chemical, organoleptics and nutritional qualities. The process is efficient and secure. The thawing procedures are not suitable. Accordingly, the objectives of this study were to measure electrical conductivities of mango juice over the process temperature range, and to determine the effect of the temperature, applied voltage, and particle size. The electrical conductivity and thawing time of the mango juice were determined by using an ohmic static heater, with different particle sizes and the tension. The particle size values were 1,6 mm; 1,0 mm; 0,5 mm; 0,25 mm and 0,149 mm and centrifugated juice, The applied tension values were 165 V; 130 V; 100 V. The electrical conductivity was highest in the juices with particle size 1,6 mm and centrifuged, and reducing the particle size of juice the thawing time was increased. The electrical conductivity was not affected by applied tension. During the phase change, the heating time is greater, although the juice kept the same electrical conductivity.*

KEY WORDS: *Electrical conductivity; Thawing; Mango juice.*

REFERÊNCIAS

FAO 2005. Food and agriculture Organization of the United Nations Disponível em: <<http://www.fao.gov>>. Acesso em: mar. 2005.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3. ed. São Paulo. 1985.

MITCHELL, F.R.G.; DE ALWIS, A A P. Eletrical condutivity meter for food samples. **J. Phisy**, n. 22, p. 554-556, 1989.

MOURA, S.C.S.R; VITALI, A. A.; HUBINGE. A study of water activity and electrical condutivity in fruit juices: influence of temperature and concentration. **Bras. J. Food Technol.** v. 21, n.1,2, p. 31-38. 1989.

PALANIAPPAN, S.; SASTRY, S.K. Electrical conductivity of selected juices: influences of temperature, solids content, applied voltage and particle size. **J. Food proc. Eng.**, n. 14, p. 247-260. 1991.

PELACANI, V.P. **Aquecimento ôhmico de sucos de laranja e manga**. Dissertação (Mestrado) – IBILCE, Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2002.

REZNICK, D. Ohmic heating of fluid foods. **Food Technology**. v. 5, p. 250-251, 1996.

ROBERTS, J.S., et al. Design and testing of a prototype ohmic thawing unit. **Comp. Eletron. Agric.**, n. 19, p. 211-222, 1998.