

AQUECIMENTO ÔHMICO: NOVOS DESAFIOS NO TRATAMENTO TÉRMICO DE MATERIAIS



**Marcos Camargo Knirsch, Carolina Alves dos Santos,
Angela Faustino Jozala, Thereza Christina Vessoni Penna**
*Universidade de São Paulo, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Departamento
de Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica. Av. Professor Lineu Prestes, 580, Bloco
16. 05508-900, São Paulo, São Paulo, Brasil.*

Antonio A. Vicente
*IBB - Institute for Biotechnology and Bioengineering, Centre of Biological
Engineering, Universidade do Minho, Braga, Portugal*

INTRODUÇÃO

O tratamento térmico de materiais encontra-se dentre os processos mais utilizados industrialmente. Na indústria de alimentos, por exemplo, o tratamento térmico (por possuir ação letal sobre microorganismos) é o principal procedimento físico de que a tecnologia de alimentos dispõe para aumentar a vida útil dos alimentos (Ordóñez et al., 2005). Desta forma, novos métodos de aquecimento que acarretem em baixo gasto energético ou em maior eficiência energética continuam a atrair interesse (Palaniappan e Sastry, 1992). Dentre as tecnologias de aquecimento emergentes, o aquecimento ôhmico apresenta-se bastante promissor.

O aquecimento ôhmico (também conhecido como aquecimento joule, aquecimento por resistência elétrica,

aquecimento direto por resistência elétrica, aquecimento elétrico ou aquecimento eletro-condutivo) é definido como o processo no qual uma corrente elétrica transpassa um determinado material com o objetivo principal de aquecê-lo (Vicente et al., 2006). Este aquecimento ocorre através da transformação interna de energia (de energia elétrica para energia térmica) dentro do material processado (Sastry e Barach, 2000). Desta forma, o aquecimento ôhmico pode ser visto como uma tecnologia de geração interna de energia, e não somente como um processo de transferência térmica. Conseqüentemente o processo não depende da transferência de calor em interface sólido-líquido ou dentro de um sólido em um sistema de duas fases.

Na indústria de alimentos o principal segmento para aplicação da tecnologia

ôhmica é o processamento asséptico, este é utilizado especialmente para alimentos líquidos, os quais são processados predominantemente por meio de trocadores de calor. A maioria das tecnologias atualmente aplicadas depende de fenômenos de condução, convecção e/ou irradiação para a transferência de calor. A aplicação destas tecnologias para alimentos particulados, por exemplo, é limitada pelo tempo requerido para assegurar o tratamento adequado do centro de grandes partículas, geralmente causando o processamento excessivo do volume circundante (Vicente et al., 2006).

O processamento ôhmico permite o aquecimento de materiais de modo extremamente rápido (em geral variando de alguns segundos a poucos minutos) (Sastry, 2005). Permite também, sob

determinadas circunstâncias, o aquecimento de grandes partículas e do fluido circundante sob velocidades de aquecimento similares, desta forma torna possível a aplicação de técnicas de *High Temperature Short Time* (HTST) e *Ultrahigh Temperature* (UHT) em materiais sólidos ou suspensões (Imai *et al.*, 1995), melhorando assim a qualidade do produto final e adicionando a estes maior valor (Castro *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 1996; Parrott, 1992; Vicente *et al.*, 2006; Tucker, 2004). Este desejável cenário dificilmente é alcançado por meio de técnicas de processamentos térmicos convencionais (como por exemplo, o aquecimento por meio de trocadores de calor, banho de água termo regulado, etc.) (Lima *et al.*, 1999). Sendo assim, o processamento “asséptico” de fluidos contendo partículas e fluidos de alta viscosidade são considerados as aplicações mais promissoras para o processamento ôhmico na indústria de alimentos (Palaniappan and Sastry, 2002; Rice, 1995; Wang *et al.*, 2001).

Uma ampla gama de potenciais aplicações futuras existe para o aquecimento ôhmico, incluindo o branqueamento, evaporação, desidratação, fermentação, extração (USA-FDA, 2000), esterilização, pasteurização, aquecimento de alimentos pré-ingestão no campo militar ou aeroespacial em missões de longa duração (Sastry *et al.*, 2009). Entretanto a maioria destas aplicações ainda espera por exploração comercial (Sastry, 2005).

O AQUECIMENTO OHMICO FRENTE A OUTRAS TECNOLOGIAS DE AQUECIMENTO POR RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

“A indústria alimentícia recorre ao emprego de radiações eletromagnéticas com finalidades muito diversas. (...) Dependendo da energia associada, do comprimento de onda e da frequência da emissão, o efeito decorrente de sua interação com determinado material é muito diferente” (Ordóñez *et al.*, 2005). Dentre as metodologias de tratamento térmico destacam-se: o aquecimento por infravermelho, por microondas, dielétrico e ôhmico.

(I) O **aquecimento por infravermelho** é uma transmissão de calor por radiação, a qual produz determinada vibração nas ligações intra e intermoleculares dos componentes dos alimentos que se traduz no incremento da temperatura. A capacidade de penetração dessa radiação é pequena; por isso, seu efeito limita-se à superfície, enquanto o restante do alimento é aquecido por condução ou convecção.

(II) A energia das **microondas** converte-se em calor ao ser absorvida pela matéria. No espectro eletromagnético, as microondas situam-se entre as ondas de rádio e a radiação infravermelha. A interação dessa radiação em determinado material cria uma distorção resultante do efeito do campo magnético associado ao elétrico. Na geração de calor por microondas nos alimentos, distinguem-se fundamentalmente dois mecanismos: a condução iônica e a rotação de dipolos (Ordóñez *et al.*, 2005).

O processo de aquecimento por microondas é influenciado por uma série de parâmetros, tanto do equipamento como do produto a ser aquecido. Alguns fatores críticos ao processo são: frequência e distribuição das ondas no interior da cavidade de processamento, conteúdo hídrico, temperatura, parâmetros do produto (incluindo massa, densidade, geometria, espessura), e calor específico. A distribuição espacial da absorção das microondas é afetada por estes parâmetros, o que significa que velocidades de aquecimento diferentes serão observadas.

Desta forma, o processamento por microondas apresenta como principal obstáculo a não-uniformidade de aquecimento e a imprevisibilidade da localização dos pontos frios, os quais podem prejudicar a segurança dos alimentos (Vicente e Castro, 2007; Ordóñez *et al.*, 2005).

“Ainda que as microondas sejam uma forma limpa de energia, (...) o aquecimento por microondas implica em gasto energético elevado. O custo decorrente do gasto de energia elétrica pode ser três vezes superior ao consumo energético dos métodos tradicionais. Conseqüentemente, o emprego de microondas deve limitar-se às aplicações que representem uma vantagem substancial

ou quando seus efeitos não possam ser obtidos por outros meios” (Ordóñez *et al.*, 2005).

(III) “O **aquecimento dielétrico** é definido como a calefação de um material isolante elétrico pelas perdas que se produzem nele quando é submetido a um campo elétrico alternado. O processo consiste em colocar o produto que será aquecido (dielétrico) entre duas placas ou eletrodos paralelos, denominadas *placas capacitantes*, unidas a um gerador alternado de alta frequência e capacidade. Do mesmo modo que nos fornos microondas, o calor é gerado por fricção das moléculas dipolares como resposta à aplicação de um campo elétrico alternado” (Ordóñez *et al.*, 2005). No aquecimento dielétrico são empregadas altas frequências, em geral 13,56; 27,12 ou 40,68 MHz (Vicente e Castro, 2007). Desta forma, o aquecimento dielétrico difere do aquecimento ôhmico devido à frequência empregada e a condutividade elétrica do material ao qual é aplicável.

Quando comparado com metodologia tradicional (aquecimento por banho de água ou trocadores de calor), o aquecimento dielétrico apresenta vantagens similares ao aquecimento ôhmico e às microondas, as quais são essencialmente devidas à geração de calor por todo o volume do material processado. Suas principais desvantagens são: alto custo operacional e dos equipamentos utilizados; obtenção de menores velocidades de aquecimento quando comparado às microondas e o limitado conhecimento atual quanto às propriedades dielétricas dos alimentos.

(IV) O **aquecimento ôhmico**, em seu campo de aplicação, apresenta, portanto, diversas vantagens quando comparado com outras metodologias de aquecimento por radiação eletromagnética. Diferentemente do aquecimento por infravermelhos, o aquecimento ôhmico possibilita o aquecimento do material processado por toda a extensão de seu volume.

Quando comparado ao aquecimento por microondas e ao aquecimento dielétrico, o aquecimento ôhmico apresenta menores custos iniciais e operacionais, maior homogeneidade de aquecimento e maior previsibilidade da distribuição térmica quando comparado às microondas,

maior aplicabilidade a materiais com alto teor hídrico e maiores velocidades de aquecimento quando comparado ao aquecimento dielétrico. O aquecimento ôhmico apresenta ainda maior faixa de frequências aplicáveis uma vez que as microondas e o aquecimento dielétrico apresentam limitações de frequência para que não haja interferência com outras tecnologias como radares e comunicações.

MICROBIOLOGIA DURANTE AQUECIMENTO ÔHMICO

A inativação microbiana observada durante o aquecimento ôhmico deve-se principalmente ao efeito da temperatura sobre os microrganismos. A literatura científica atual não indica a existência de quaisquer microrganismos ou cepas patogênicas especificamente resistentes a esta tecnologia, sendo os microrganismos observados como mais resistentes os mesmos apresentados a tratamentos térmicos convencionais (USA-FDA, 2000). Porém, alguns estudos recentes indicam que o aquecimento ôhmico apresenta efeito não-térmico adicional capaz de gerar danos celulares devido à incidência de campos elétricos (Cho *et al.*, 1999; Sun *et al.*, 2008; Vicente *et al.*, 2007). A principal razão atribuída a este dano adicional observado no tratamento ôhmico é a frequência aplica (geralmente entre 50 e 60 Hz), a qual possivelmente provoca desestabilização das paredes celulares com posterior formação de poros (USA-FDA, 2000).

Estudos comparativos de inativação microbiana indicam que o aquecimento ôhmico é capaz de provocar maiores velocidades de morte microbiana que as metodologias tradicionais. Esta maior velocidade foi observada para microrganismos como: *Escherichia coli* e *Bacillus licheniformis* (Perreira, 2007), *Bacillus subtilis* e *Bacillus atrophaeus* (Cho, 1999), *Streptococcus thermophilus* (Sun, 2008), *Saccharomyces cerevisiae* (Yoon *et al.*, 2002) e *Byssoschlamys fulva*. (Castro, 2007)

Para a *E. coli* a redução observada, por Perreira e colaboradores (Perreira *et al.*, 2007), no valor *D* a 65°C foi de 2,64 minutos, sendo o valor *D* para o aquecimento convencional de 3,5 mi-

nutos e para o aquecimento ôhmico de 0,86 minutos. Neste mesmo estudo, variações similares foram observadas para *B. licheniformis*. “Estes resultados indicam que a corrente elétrica (aplicada no aquecimento ôhmico) afeta a taxa de mortalidade. (...) Desta forma, considerando ambas as cepas dos microrganismos estudados, para um mesmo grau de inativação, o tempo requerido de tratamento térmico foi reduzido quando foi utilizado o aquecimento ôhmico, indicando que adicionalmente ao efeito térmico a presença de um campo elétrico provoca um efeito letal não-térmico sobre células vegetativas de *E. coli* e esporos de *B. licheniformis* em leite de cabras e geléia de *cloudberry*, respectivamente.” (Perreira *et al.*, 2007).

Em estudo realizado por Cho e colaboradores (1999) com *B. subtilis* e *B. atrophaeus* observou-se novamente a incidência de efeito não-térmico sobre a morte microbiana durante o tratamento ôhmico. Para temperaturas de 92,3°C verificou-se redução de até um minuto nos valores *D* apresentados para o aquecimento ôhmico quando comparados a aquecimento convencional por banho d’água. De modo similar, Sun e colaboradores (2008) reportam valores de tempo de inativação significativamente menores para *S. thermophilus* sob processo ôhmico. Os resultados “demonstram claramente que o aquecimento ôhmico causa maior taxa de morte microbiana que o aquecimento convencional. (...) Estes resultados indicam que o aquecimento ôhmico apresentou um efeito térmico letal e um efeito não-térmico letal adicional para aeróbios viáveis (provenientes do leite) e *S. thermophilus*”.

Quando aplicado em temperaturas sub-letais, os efeitos não-térmicos do aquecimento ôhmico apresentam potencial para beneficiar processos fermentativos. Estudos realizados em fermentações por *Lactobacillus acidophilus* indicam que o efeito de desestabilização das membranas celulares provocados pelo aquecimento ôhmico pode facilitar o transporte de nutrientes do meio de fermentação para o interior celular, tornando-o mais rápido e eficiente (Cho *et al.*, 1996). Observou-se que quando aplicado o aquecimento ôhmico em fermentações por *L. acidophilus* a fase lag

do processo fermentativo é reduzida. Não foram observadas variações de pH, de consumo de glicose ou de liberação de ácido láctico significativas durante as fases iniciais de fermentação. Observou-se, porém que em estágios avançados a produtividade da fermentação decaiu. Este decréscimo possivelmente relaciona-se também ao fenômeno de eletroporação provocado. Durante os estágios finais de fermentação, a eletroporação pode possibilitar a entrada de metabólitos para o interior celular e conseqüentemente inibir o processo fermentativo.

Casos confirmados e devidamente entendidos, os efeitos não-térmicos, como o efeito de eletroporação, e seus efeitos decorrentes provocado pelo aquecimento ôhmico apresentam potencial para causar significativo impacto econômico.

Além da capacidade de causar lesão celular e conseqüente redução do tempo de tratamento térmico de produtos, o efeito de eletroporação apresenta potencial para aplicação sinérgica da técnica de aquecimento ôhmico com outras metodologias de controle microbiano, como por exemplo, a utilização de bacteriocinas antimicrobianas termo-resistentes como a nisina. Entretanto, segundo nosso atual conhecimento, não existem relatos científicos que suportem a teoria de sinergismo. Porém, caso confirmado, pode influenciar sobremaneira a qualidade de diversos produtos.

UTILIZAÇÃO DE PEPTÍDEO ANTIMICROBIANO NO AQUECIMENTO ÔHMICO

Os benefícios potenciais do aquecimento ôhmico para a indústria de produtos lácteos transcendem sua aplicação na pasteurização. Estudou-se a aplicação do aquecimento em processo fermentativo com *Lactobacillus acidophilus*. Neste estudo, controle de temperatura do processo foi realizado de modo convencional (por circulação contínua de água) e por aquecimento ôhmico (a voltagem constante de 15V para baixa voltagem e 40V para alta voltagem). O processo foi realizado a diferentes temperaturas (30, 35 e 40°C). Observou-se que aplicação de campo elétrico pode induzir a formação de poros de membrana

(similarmente ao processo de eletroporação, técnica bastante explorada para transformação celular em estudos de biologia molecular) os quais permitem o transporte de nutriente de maneira mais eficiente e veloz, desta forma reduzindo a fase lag. Verificou-se a existência de uma diferença mínima entre o pH dos meios, entretanto, o consumo de glicose e a liberação de ácido láctico não foram influenciados pelo aquecimento ôhmico. Pode-se, portanto, inferir que o aquecimento ôhmico apresenta grande potencialidade de aplicação em processos fermentativos, reduzindo o tempo total de processo na produção de bacteriocinas (nisina, lacidina), assim também de produtos lácteos, dentre outras aplicações (Cho et al. 1996; Vicente, 2007).

Dentre os agentes antimicrobianos potenciais para aplicação conjunta ao aquecimento ôhmico apresenta-se a bacteriocina nisina. A nisina é um peptídeo bioativo, composto de 34 resíduos de aminoácido (3500Da), sintetizado por *Lactococcus lactis* ATCC 11454, pertencente à família dos lantibióticos, grupo de antimicrobianos caracterizados pela presença de aminoácidos raros em sua estrutura (De Vuyst & Vandamme, 1992). Possui amplo espectro inibitório contra bactérias Gram-positivas e esporos, porém apresenta efeito inibitório contra Gram-negativas, fungos e leveduras quando na presença de agentes quelantes (Vessoni Penna et al., 2006; Arauz et al., 2009; Ukuku e Fett, 2004; Millette et al., 2004).

O tratamento térmico de materiais encontra-se dentre os processos mais utilizados industrialmente. Dentre as tecnologias de aquecimento emergentes, o aquecimento ôhmico apresenta-se bastante promissor. O aquecimento ôhmico é definido como o processo no qual uma corrente elétrica transpassa um determinado material com o objetivo principal de aquecê-lo. Uma ampla gama de potenciais aplicações futuras existe para o aquecimento ôhmico, incluindo o branqueamento, evaporação, desidratação, fermentação, extração, esterilização, pasteurização, aquecimento de alimentos pré-ingestão no campo militar ou aeroespacial em missões de longa duração.

Estudos comparativos de inativação microbiana indicam que o aquecimen-

to ôhmico é capaz de provocar maiores velocidades de morte microbiana que as metodologias tradicionais. Esta maior velocidade foi observada para microrganismos como: *Escherichia coli* e *Bacillus licheniformis* (Perreira, 2007), *Bacillus subtilis* e *Bacillus atrophaeus* (Cho, 1999), *Streptococcus thermophilus* (Sun, 2008), *Saccharomyces cerevisiae* (Yoon et al., 2002) e *Byssoschlamys fulva*. (Castro, 2007). A inativação microbiana observada durante o aquecimento ôhmico deve-se principalmente ao efeito da temperatura sobre os microrganismos. Porém, alguns estudos recentes indicam que o aquecimento ôhmico apresenta efeito não-térmico adicional capaz de gerar danos celulares devido à incidência de campos elétricos. A principal razão atribuída a este dano adicional observado no tratamento ôhmico é a frequência aplicada (geralmente entre 50 e 60 Hz), a qual possivelmente provoca desestabilização das paredes celulares com posterior formação de poros (USA-FDA, 2000).

Além da capacidade de causar lesão celular e conseqüente redução do tempo de tratamento térmico de produtos, o efeito de eletroporação apresenta potencial para aplicação sinérgica da técnica de aquecimento ôhmico com outras metodologias de controle microbiano, como por exemplo, a utilização de bacteriocinas antimicrobianas termoestáveis como a nisina. Entretanto, segundo nosso atual conhecimento, não existem relatos científicos que suportem a teoria de sinergismo. Porém, caso confirmada, pode influenciar sobremaneira a qualidade de diversos produtos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUZ, L. J.; JOZALA, A. F.; MAZZOLA, P. G.; PENNA, T. C. V. Nisin Biotechnological Production and Application: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 20, p. 146-154, 2009.
- CASTRO, I. **Ohmic heating as an alternative to conventional thermal treatment**. 2007. Tese (Doutorado), Universidade do Minho, Braga, Portugal.
- CASTRO, I.; TEIXEIRA, J.A.; VICENTE, A.A. The influence of field strength, sugar and solid content on electrical conductivity of strawberry products. **Journal of Food Process Engineering**, v. 26, p. 17-29, 2003.
- CHO, H.Y.; YOUSEF, A.E.; SASTRY, S.K. Growth kinetics of *Lactobacillus acidophilus* under ohmic heating. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 49, n. 3, p. 334-340, 1996.
- CHO, H.Y.; YOUSEF, A.E.; SASTRY, S.K. Kinetics of inactivation of *Bacillus subtilis* spores by continuous or intermittent ohmic and conventional heating. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 62, n. 3, p. 368-372, 1999.
- DE VUYST, L. AND VANDAMME, E. J. Influence of the carbon source on nisin production in *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* batch fermentations. **J. Gen. Microbiol.** 138, 571-578, 1992.
- IMAI, T.; UEMURA, K.; ISHIDA, N.; YOSHIZAKI, S.; NOGUCHI, A. Ohmic heating of Japanese White Radish *Raphanus sativus* L. **International Journal of food science and technology**, v. 30, p. 461-472, 1995.
- KIM, H.J.; CHOI, Y.M.; YANG, T.C.S.; TAUB, I.A.; TEMPEST, P.; SKUDDER, P.; TUCKER, G.; PARROTT, D.L. Validation of OH for quality enhancement of food products. **Food Technology**, v. 50, p. 253-261, 1996.
- LIMA, M.; HESKITT, B.F.; BURIANEK, L.L.; NOKES, S.E.; SASTRY, S.K. Ascorbic acid degradation kinetics during conventional and ohmic heating. **Journal of Food Preservation**, v. 23, p. 421-434, 1999.
- MILLETTE, M., SMORAGIEWICZ, W. AND LACROIX, M. Antimicrobial potential of immobilized *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* ATCC 11454 against selected bacteria. **J Food Prot.**67(6):1184-9, 2004.
- ORDÓÑEZ, J.A. (ed.) **Tecnología de alimentos**: Componentes dos alimentos e processos, vol. 1. Porto Alegre: Artmed, 2005.
- PALANIAPPAN, S.; & SASTRY, S.K. Effects of electroconductive heat treatment and electrical pretreatment on thermal death kinetics of selected microorganisms. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 39, p. 225-232, 1992.
- PALANIAPPAN, S.; SASTRY, S. Ohmic heating. In: JUNEJA, V.K.; SOFOS, J.N. (org.). **Control of foodborne microorganisms**. New York: Marcel Dekker, 2002.
- PARROTT, D.L. Use of OH for aseptic processing of food particulates. **Food Technology**, v. 45, p. 68-72, 1992.

PENNA TCV, JOZALA AF, GENTILE TR, PESSOA JR A AND CHOLEWA O. Detection of nisin expression by *Lactococcus lactis* using two susceptible bacteria to associate the effects of nisin with EDTA. **Appl Biochem Biotechnol**. 121–124:334–346, 2006.

PEREIRA, R.; MARTINS, J.; MATEUS, C.; TEIXEIRA, J.A.; VICENTE, A.A. Death kinetics of *Escherichia coli* in goat milk and *Bacillus licheniformis* in cloudberry jam treated by ohmic heating. **Chemical Papers**, v. 61, n. 2, p. 121-126, 2007.

RICE, J. Ohmic Adventures. **Food Processing**, p. 56, n. 3, p. 87-91, 1995.

SASTRY, S.K. Advances in ohmic heating and moderate electric field (MEF) processing. In: BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; TAPIA, M.S.; CANO, M.P. (ed.). **Novel food processing technologies**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2005.

SASTRY, S.K.; BARACH, J.T. Ohmic and Inductive Heating. **Journal of Food Science Supplement**, v. 65, n. 4, p. 42-46, 2000.

SASTRY, S.K.; JUN, S.; SOMAVAT, R.; SAMARANAYAKE, C.; YOUSEF, A.; PANDIT, R.B.. Heating and sterilization technology for long-duration space missions. In: INTERDISCIPLINARY TRANSPORT PHENOMENA: ANNALS OF N.Y. ACADEMY OF SCIENCES, v. 1161, p. 562–569. doi: 10.1111/j.1749-6632.2009.04088.x. 2009.

SUN, H.X.; KAWAMURA, S.; HIMOTO, J.I.; ITOH, K.; WADA, T.; KIMURA, T. Effects of ohmic heating on microbial counts and denaturation of proteins in milk. **Food Science and Technology Research**, v. 14, p. 117–123, 2008.

TUCKER, G.S. Food waste management and value-added products: using the process to add value to heat-treated products. **Journal of Food Science**, v. 69, n. 3, p. CRH102-CRH104, 2004.

UNITED STATES OF AMERICA, Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition. Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies: Ohmic and inductive heating. Disponível em: <http://www.cfsan.fda.gov/~comm/ift-ohm.html>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2009.

VICENTE, A.A.; CASTRO, I. Novel thermal processing technologies. In: TEWARI, G.; JUNEJA, V.K. (eds). **Advances in thermal and non-thermal food preservation**. Oxford, UK, Blackwell publishing, 2007.

VICENTE, A.A.; CASTRO, I.; TEIXEIRA, J.A. Ohmic heating for food processing. In: DAWEN SUN (editor). **Thermal Food Processing: New Technologies and Quality Issues**. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, Taylor & Francis Group. p 424- 468, 2006.

WANG, C.S.; KUO, S.Z.; KUO-HUANG, L.L.; WU, J.S.B. Effect of Tissue Infrastructure on Electric Conductance of Vegetable Stems. **Journal of Food Science: Food Engineering and Physical Properties**, v. 66, n. 2, p. 284-288, 2001.

YOON, S. W., LEE, C. Y. J., KIM, K. M., & LEE, C. H. Leakage of cellular material from *Saccharomyces cerevisiae* by ohmic heating. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, 12, 183-188, 2002.