



ESTUDO EXPLORATÓRIO DO TRATAMENTO DO TRATAMENTO TÉRMICO POR MICRO-ONDAS DE ALIMENTOS SÓLIDOS.

Glauciane R.S. **Doutor da Silva**¹; Antonio **Marsaioli, Jr.**³; Maria Isabel **Berto**³; Michele N. **Berteli**²

Nº 14236

RESUMO

O tratamento térmico por micro-ondas pode ser uma alternativa aos métodos convencionais, pois a energia de micro-ondas geralmente oferece aquecimento rápido e eficiente aos materiais dielétricos. O objetivo do presente trabalho foi o levantamento de parâmetros que delineiam essa tecnologia como fonte de dados para um posterior estudo da viabilidade de seu uso em tratamento térmico de alimentos sólidos por micro-ondas em uma cavidade multi-modo na frequência de 5,8GHz. A matéria-prima utilizada no estudo foi batata, cujas propriedades dielétricas (constante dielétrica – ϵ' e fator de perdas – ϵ'') foram determinadas por um Analisador de Propriedade Dielétrica de sensor de extremidade aberta. Uma vez obtidos os valores de propriedades dielétricas, ϵ' e ϵ'' , foi possível estimar a penetração de onda na batata na frequência 5,8GHz, que corresponde a 0,27 cm. A estimativa da penetração de onda servirá de parâmetro para a continuação do estudo, quando será feito o tratamento térmico por micro-ondas na cavidade multi-modo (5,8GHz) de fatias de batata, cuja espessura não deverá ser superior a 0,54 cm (2 x 0,27 cm) para assegurar que as ondas penetrarão o alimento em toda sua extensão.

Palavras-chaves: micro-ondas, tratamento térmico, cavidade multi-modos.

1 .Bolsista CNPq: Graduação em Eng. de Alimentos, UNICAMP, Campinas-SP, glaucianedoutor@hotmail.com

2 .Orientadora: Pesquisadora, GEPC/ITAL, Campinas-SP.

3 .Colaborador: Pesquisador, GEPC/ITAL, Campinas-SP.



8º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2014 12 a 14 de agosto de 2014 – Campinas, São Paulo

ABSTRACT

Heat treatment by microwave can be an alternative to conventional methods, since the energy of microwave usually offers fast and efficient at heating dielectric materials. The objective of this study was the identification of parameters that delineate this technology as a source of data for further study of the viability of its use in heat treatment of solids foods by microwave in a multi-mode cavity frequency of 5.8 GHz. The raw material used in the study was potato, whose dielectric properties (dielectric constant - ϵ' and loss factor - ϵ'') were determined by an analyzer Dielectric Property of open end of sensor. Once obtained the values of dielectric properties, ϵ' and ϵ'' , it was possible to estimate the penetration of the potato wave frequency 5.8 GHz, which corresponds to 0.27 cm. The estimate of the wave will penetrate as a parameter for further study, when the heat treatment is done by microwave in multi-mode cavity (5.8 GHz) of potato slices, the thickness should not exceed 0.54 cm (2 x 0.27 cm) to ensure that the waves penetrate food to its full extent.

Key-words: microwave, thermal treatment, multimodal cavity.

INTRODUÇÃO

A tecnologia de micro-ondas pode desempenhar um papel relevante na indústria de alimentos, gerando um rápido aquecimento dos materiais submetidos a esse tipo de energia. Como consequência, os processos que usam o aquecimento dielétrico frequentemente apresentam vantagens na qualidade dos produtos finais, sem grandes comprometimentos das características nutricionais, funcionais e sensoriais dos alimentos, que constituem demandas cada vez maiores do mercado consumidor. Outras vantagens desta tecnologia inovadora e de grande potencial estão relacionadas a uma melhoria considerável no rendimento econômico, com tempos de processamento mais curtos, menores espaços físicos requeridos e redução do uso de insumos, favorecendo ainda mais a relação benefício/custo. Além destas vantagens, outros fatores de destaque são que as micro-ondas são uma fonte de energia limpa, não poluente, com respeito ao meio ambiente, e já altamente eficiente desde o momento de sua geração.

As micro-ondas são uma modalidade de radiação eletromagnética, situada no intervalo de frequências compreendido entre 300 MHz e 300 GHz. A fim de serem evitadas interferências nas



**8º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2014
12 a 14 de agosto de 2014 – Campinas, São Paulo**

bandas de frequência utilizadas em telecomunicações, as frequências alocadas para a eletrotermia são de 915+25 MHz, 2450+50 MHz e 5800+50 MHz, esta última mais aplicada em estudos de escala laboratorial.

Nos mecanismos de aquecimento de materiais biológicos por micro-ondas, a migração iônica e a rotação dipolar são os de maior importância (Shiffmann, 1987). Na migração iônica, os componentes ionizados colidem aleatoriamente com moléculas não ionizadas quando submetidos a um campo elétrico alternativo, transformando essa energia em calor. Já no mecanismo de aquecimento pela rotação dipolar, moléculas polares, como a água e outras moléculas que podem se tornar “dipolos induzidos” devido às tensões causadas pelo campo, são influenciadas pela rápida mudança de polaridade deste campo. Os mecanismos de deslocamento de cargas ou polarização são diferentes devido ao tipo de dielétrico, à temperatura do dielétrico e à frequência do campo elétrico.

Os parâmetros que caracterizam os materiais dielétricos são:

- Permissividade (ou constante dielétrica) relativa ϵ' : avalia a capacidade de um material armazenar energia elétrica, de maneira reversível;
- Fator (ou constante) de perda relativa ϵ'' : parâmetro dado pelas propriedades elétricas de dissipação de energia elétrica sob a forma de calor do material, neste caso, de maneira irreversível;
- Tangente de perdas: o coeficiente dos dois valores, que determina a extensão da reflexão e transmissão de energia dentro do mesmo.

$$\tan \alpha = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad [1]$$

As propriedades dielétricas do material medem a interação entre o material e o campo elétrico aplicado, em temperatura e frequência específicas. Sua determinação é importante para a previsão da taxa de aquecimento do material quando submetido à radiação micro-ondas (NELSON, 1991). Também a partir dos valores de ϵ' e ϵ'' é possível estimar a penetração das micro-ondas (D_p), [Eq. 2], nos materiais dielétricos, na frequência estudada, e, desta forma, definir a quantidade e distribuição espacial do material presente na cavidade durante os testes de tratamento térmico por micro-ondas.

$$D_p = \frac{\lambda_0 \sqrt{\epsilon'}}{2\pi \epsilon''} \quad [2]$$



8º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2014 12 a 14 de agosto de 2014 – Campinas, São Paulo

Sendo: λ_0 = comprimento de onda no espaço livre

Durante o aquecimento dielétrico, a distribuição do campo elétrico dentro de uma cavidade ocorre a partir de uma propagação multimodal, ocasionada por inúmeras reflexões causadas pelas paredes metálicas da cavidade. Esta característica é um fator indesejado associado ao aquecimento por micro-ondas, pois as reflexões múltiplas geram regiões de maiores e menores intensidades de campos elétricos no espaço, devido ao fenômeno de onda estacionária, resultante da superposição de uma onda refletida e de uma onda incidente.

A relação entre as intensidades de campo elétrico, máxima e mínima, é denominada razão de onda estacionária (ROE). A onda refletida, nos pontos em que chega em fase com a onda incidente, soma-se à mesma e aumenta o valor do campo elétrico; chegando defasada, é subtraída e diminui o campo elétrico. Isso resulta em uma distribuição não uniforme do campo elétrico dentro de um aplicador e, conseqüentemente, em um aquecimento não uniforme.

O tratamento térmico por micro-ondas em aplicadores monomodais em sistemas contínuos oferece aquecimentos rápidos e eficientes e vem sendo bastante pesquisado pela comunidade científica. Entretanto, no tratamento térmico de materiais sólidos, em cavidade multi-modo, uma grande dificuldade é justamente a falta de perfis homogêneos de temperatura no produto durante o aquecimento por micro-ondas, uma vez que o padrão de aquecimento pode ser bastante irregular e mudar durante o aquecimento.

Koskiniemi et. al realizaram um estudo, publicado em 2011, sobre a pasteurização por micro-ondas à frequência de 915 MHz de vegetais acidificados visando a melhoria da uniformidade do aquecimento no produto embalado através da rotação das embalagens a um ângulo de 180 graus durante o aquecimento. Para tal, um aparelho de rotação foi acoplado ao aplicador de micro-ondas do sistema. Outro fator abordado na pesquisa foi a influência do sal no aquecimento; foram estudados três tratamentos diferentes para a salga dos vegetais. Os resultados do estudo mostraram que tanto a posição da embalagem durante o processo quanto à quantidade e distribuição de sal no produto desempenha um papel bastante significativo no aquecimento por micro-ondas.



MATERIAIS E MÉTODO

A escolha da batata como alvo de estudo foi devida à sua disponibilidade durante todo o ano e seu fácil acesso. Além disso, a partir de dados iniciais coletados da literatura, verificou-se que o tubérculo apresenta uma adequada absorção da energia da energia de micro-ondas baseado nos valores de propriedades dielétricas.

As batatas utilizadas foram adquiridas em supermercados de Campinas e selecionadas por tamanho, devendo ter cerca de 9 cm de comprimento e 6 cm de largura.

As amostras cruas foram raladas garantindo uma homogeneidade de tamanho. O purê de batatas foi obtido com o cozimento de 180g de batatas inteiras em 90 ml de água por um período de 25 minutos, a contar da ebulição da água, posteriormente descascadas e trituradas em liquidificador (Walita-LiqFaz).

Umidade

A umidade do tubérculo foi determinada com a amostra crua e cozida, utilizando um analisador de umidade por micro-ondas (*Smart System 5* – CEM) e validado de acordo com uma adaptação da metodologia oficial em estufa da AOAC (1997) para batata frita congelada.

Determinação parâmetros dielétricos

As propriedades dielétricas foram determinadas para a batata cozida utilizando um Analisador de Propriedade Dielétrica (HP 85070B), no intervalo de frequência de 300 kHz a 6 GHz. A metodologia de sensor de extremidade aberta é indicada para produtos líquidos e semi-sólidos, podendo ser adaptada para a medição de materiais sólidos, desde que o produto apresente uma superfície plana e lisa para que o contato entre o sólido e a superfície do sensor seja adequado. Devido as limitações do equipamento utilizado, optou-se pela determinação das propriedades dielétricas apenas da batata cozida, que servirão como referência para a amostra crua. As determinações foram realizadas na temperatura de 38°C e em triplicatas.



Cálculo da penetração de onda

Com os valores de ϵ' e ϵ'' obtidos nas frequências de 0,915, 2,45 e 5,8 GHz pode-se calcular, de acordo com a Equação 2, a penetração da onda na batata cozida, nas respectivas frequências, sendo λ_0 em 0,915 GHz = 32,79 cm; λ_0 em 2,45 GHz = 12,24 cm e λ_0 em 5,8 GHz = 5,17 cm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Umidade

A umidade determinada pelo analisador por micro-ondas para a amostra crua e cozida foi de 84,08 e 82,49, respectivamente. Através da metodologia oficial encontraram-se valores similares para as duas amostras validando o método aplicado. (AOAC, 1997)

Determinação parâmetros dielétricos

As curvas obtidas, referentes à constante dielétrica (ϵ_r') e ao fator de perdas (ϵ_r'') em função das frequências aplicadas, estão apresentadas nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

Através dos dados obtidos, é possível observar que ϵ_r' decresce continuamente conforme o aumento da frequência, enquanto ϵ_r'' decresce com a frequência, até aproximadamente 2,4 GHz e, a partir deste ponto, começa a aumentar seu valor ligeiramente.

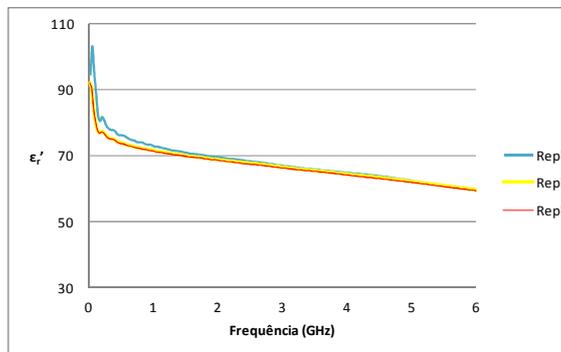


Figura 1 - Constante dielétrica da batata cozida (85,18% umidade; 38°C) em função da frequência de micro-ondas aplicada.

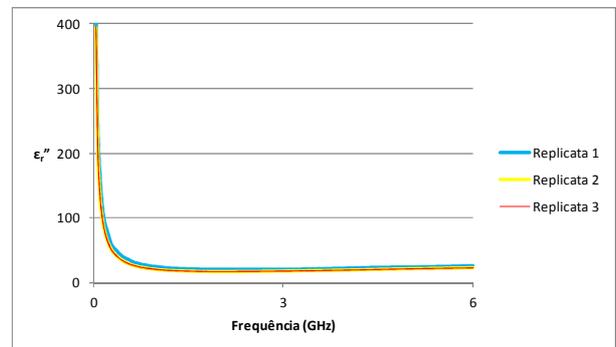


Figura 2 - Fator de perdas dielétricas da batata cozida (85,18% umidade; 38°C) em função da frequência de micro-ondas aplicada.

Os valores de ϵ_r' e ϵ_r'' determinados experimentalmente para a batata cozida, referentes às frequências mais utilizadas em eletrotermia estão apresentados na Tabela 2 em comparação com os valores obtidos na literatura.

Komarov (2012) desenvolveu modelos matemáticas para os cálculos das propriedades dielétricas da batata cozida em função da temperatura, tomando como referência uma amostra com 77,8% de umidade. Os valores calculados utilizando seu modelo para a temperatura de 38°C também são apresentados na tabela 1.

No estudo das propriedades dielétricas em purê de batata instantâneo, utilizando também o método de sonda em cavidade aberta nas frequências de 27 MHz a 1800 MHz, Guan et.al (2004) encontrou valores coerentes com os obtidos nesse trabalho, descritos também na tabela 4.

Os resultados de Oholsson e Bengtsson(1975), para purê de batatas pelo método de perturbação em cavidade ressonante, inseridos na tabela 1, se encontram na mesma ordem de grandeza dos encontrados podendo atribuir a diferença de valores principalmente a variação de método aplicado e a umidade das amostras estudadas.

Pesquisas utilizando o vegetal in natura apontam parâmetros dielétricos semelhantes aos encontrados para a batata cozida evidenciando que os usos desses valores como base para o futuro estudo do tratamento térmico do vegetal é coerente. Alguns dados são apresentados também na tabela 1.

- 1 .Bolsista CNPq: Graduação em Eng. de Alimentos, UNICAMP, Campinas-SP, glaucianedoutor@hotmail.com
- 2 .Orientadora: Pesquisadora, GEPC/ITAL, Campinas-SP.
- 3 .Colaborador: Pesquisador, GEPC/ITAL, Campinas-SP.



Tabela 1 - Comparação entre os resultados obtidos e dados da literatura para purê de batatas e amostra crua.

Freqüência	Presente estudo Purê U = 85,18% T = 38°C	Komarov (2012) Purê U = 77,80% T = 38°C	Guan et.al (2004) Purê U = 84,7% T = 40°C	Oholsson e Bengtsson (1975) Purê U = 81,3% T = 40°C	Sipahioglu e Barringer (2003) Crua U = 75,19% T = 40°C	Pace et.al (1968) Crua U = 83,8% T = 25°C
0,915 GHz	$\epsilon' = 72,42$ $\epsilon'' = 22,38$	$\epsilon' = 62,60$ $\epsilon'' = 29,55$	$\epsilon' = 63,4$ $\epsilon'' = 18,9$	$\epsilon' = 53,2$ $\epsilon'' = 20,8$	-	$\epsilon' = 74,7$ $\epsilon'' = 26,1$
2,45 GHz	$\epsilon' = 67,97$ $\epsilon'' = 18,21$	$\epsilon' = 60,54$ $\epsilon'' = 19,03$	-	$\epsilon' = 60,6$ $\epsilon'' = 17,4$	$\epsilon' = 50,9$ $\epsilon'' = 18,3$	$\epsilon' = 69,1$ $\epsilon'' = 17,0$

Cálculo da penetração de onda

A partir dos valores de ϵ'_r e ϵ''_r determinados foi possível estimar a penetração das micro-ondas (D_p) na batata cozida para as frequências mais comumente utilizadas, de 5,8 GHz, 2,45 GHz e 0,915GHz, obtendo 0,27 cm, 0,88 cm e 1,98 cm respectivamente. Com esses valores é possível definir a quantidade e distribuição espacial do material na cavidade para futuros testes de tratamento térmico por micro-ondas.

De acordo com o estudo realizado por GUAN et al. (2004), à 0,915 GHz a penetração da energia de micro-ondas em uma batata cozida contendo 84,7% de umidade e a 40°C equivale a 2,04 cm. Verifica-se, portanto, que o valor obtido para esta frequência está coerente com a literatura.



8º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2014 12 a 14 de agosto de 2014 – Campinas, São Paulo

Observa-se de acordo com os resultados obtidos, que a penetração da onda na batata cozida é pequena, o que é justificado pelo fato de a batata ser um vegetal de alta umidade e, portanto, possuir grande capacidade de absorção de micro-ondas já em sua superfície.

CONCLUSÃO

As metodologias utilizadas para determinar a umidade e as propriedades dielétricas da batata se mostraram eficientes. A batata é um vegetal de alta umidade (acima de 80%) e, portanto, apresenta altos valores de ϵ_r' e ϵ_r'' . Assim sendo, conclui-se que a batata possui alta capacidade de absorção de micro-ondas logo na sua superfície e, portanto, a penetração da onda na frequência do gerador que compõe o sistema de aquecimento por micro-ondas a ser utilizado (5,8 GHz) foi estimada em 0,27 cm.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ – PIBIC, pela bolsa concedida. Ao GEPC – ITAL, pela oportunidade de estágio.

REFERÊNCIAS

- AOAC. Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists. 16. ed. Maryland: AOAC International, 1997. Vol. 2. Cap. 42, Vegetable Products, Processed; p. 14.
- GUAN, D.; CHENG, M.; WANG, Y., AND TANG, J. (2004). Dielectric Properties of Mashed Potatoes Relevant to Microwave and Radio-frequency Pasteurization and Sterilization Processes. *Journal of Food Science*, v. 69 issue 1, p.31-37.
- KOMAROV, V. V. Handbook of Dielectric and Thermal Properties of Materials at Microwave Frequencies, Artech House. 2012. 150 p.
- KOSKINIEMI, C. B.; TRUONG, V.; SIMUNOVIC, J.; MCFEETERS, R.F. Improvement of heating uniformity in packaged acidified vegetables pasteurized with a 915 MHz continuous microwave system. *Journal of food engineering*, v. 105, p 149 - 160, 2011.
- NELSON, S. O. (1991). Dielectric properties of agricultural products - Measurements and applications. *Digest of Literature on Dielectrics*, ed. A. de Reggie, IEEE Trans, Electrical Insulation, p.845 - 869.
- OHLSSON, T. and N. BENGTSSON (1975). "Dielectric food data for microwave sterilization processing." *Journal of microwave power* 10(1): 93-108.
- PACE, W. E., et al. (1968). "Dielectric Properties of Potatoes and Potato Chips." *Journal of Food Science* 33(1): 37-42.
- SIPAHIOGLU, O. and S. A. BARRINGER (2003). "Dielectric Properties of Vegetables and Fruits as a Function of Temperature, Ash, and Moisture Content." *Journal of Food Science* 68(1): 234-239.



8º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2014
12 a 14 de agosto de 2014 – Campinas, São Paulo