
VISUALIZANDO ONDAS ELETROMAGNÉTICAS ESTACIONÁRIAS (UM EXPERIMENTO NA COZINHA DE CASA)^{*1}

Carlos Eduardo Laburú
Maria Inês Nobre Ota
*Rodrigo Leonardo de Oliveira Basso*²
*Chrystie Jacob Almeida*³
Departamento de Física – UEL
Londrina - PR

Resumo

Inserido numa proposta para o ensino médio de Física, aplicado à tecnologia contemporânea, este trabalho propõe um experimento caseiro para visualizar ondas eletromagnéticas estacionárias que se formam no interior da cavidade de um forno microondas. A idéia central é partir da motivação inicial dada por este experimento, quando se está estudando, por exemplo, o tópico “ondas”, na disciplina de Física, a fim de compreender o funcionamento deste eletrodoméstico que faz parte do cotidiano dos alunos.

Palavras-chave: *Experimento caseiro, ensino de Física, ondas estacionárias, micro-ondas.*

I. Introdução

Nos últimos anos, um crescente movimento entre educadores de Educação Científica em Física vem indicando a necessidade de atualizar o currículo do ensino médio com conteúdos de Física Moderna e Contemporânea (FMC). Nos eventos da área de educação científica, da década atual, é possível constatar um volume significa-

* Publicado no Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 17, n. 3, dez. 2000.

¹ Advertência: os autores não se responsabilizam por qualquer incidente que possa ocorrer se o forno de microondas for utilizado inadequadamente. Todos os riscos ou danos, incidentes ou qualquer outro problema devido ao uso ou mau uso das informações aqui contidas são de inteira responsabilidade dos usuários. Embora tenham sido tomadas precauções na preparação deste material, não assumimos nenhuma responsabilidade por omissões ou erros.

² Bacharelado, bolsista PET/CAPES.

³ Licenciando.

tivo de trabalhos em FMC. Nos penúltimos “Encontro de Pesquisa de Ensino de Física” (V EPEF) e “Simpósio Nacional de Ensino de Física” (XII SNEF) contam-se, respectivamente, por volta de 11 e 30 referências, que abordam direta ou indiretamente tópicos relacionados àqueles temas, o que representa uma expressiva quantidade de trabalhos. No último Encontro de Pesquisa de Ensino de Física (VI EPEF), por exemplo, encontramos em Ostermann e Moreira (1998) um levantamento entre pesquisadores em Física e em ensino de Física e professores do nível médio, sugerindo tópicos específicos de FMC para serem tratados nesse nível escolar. Entre as publicações, por outro lado, é possível obter sugestões pedagógicas e/ou de conteúdos para serem tratados em FMC, tanto para o nível universitário (por exemplo, COSTA; SANTOS, 1998; VILLANI; ARRUDA, 1996; FISHER; LICHETFELDT, 1992), quanto para o nível médio (por exemplo, LABURÚ et al., 1998; OSTERMANN et al., 1998; COSTA; SANTOS, 1995; TERRAZZAN, 1992; ARRUDA; TOGINHO FILHO, 1991).

A maioria destes trabalhos refere-se a conteúdos da Física desenvolvidos neste século, isto é, está relacionada com as teorias da relatividade e mecânica quântica, constituintes da Física Moderna, ou então, às decorrências mais atuais da Física Quântica, enquadradas na categoria de Física Contemporânea. Algumas das sugestões pedagógicas apontam para a interpretação de dispositivos desenvolvidos pela moderna tecnologia, utilizando-se para isto conceitos da FMC; outras interpretam o princípio de funcionamento de equipamentos desenvolvidos pela tecnologia moderna, baseando-se em conceitos da Física Clássica, desenvolvida no século passado que é o procedimento do presente trabalho.

O assunto que vamos enfocar limitar-se-á a um tratamento de Física Clássica para o ensino médio, podendo ser introduzido no estudo de conteúdos relacionados ao eletromagnetismo ou em ondas, por exemplo. Nele houve a intenção de envolver, intimamente, o cotidiano tecnológico e a investigação experimental, portanto, levando em conta a atual Lei de Diretrizes e Bases da Educação. Dentro deste espírito, gostaríamos de enfatizar a possibilidade da abordagem empírica, ainda que somente demonstrativa. Tal atenção já vem se caracterizando como uma de nossas preocupações centrais (LABURÚ et al., 1998), pois, comumente, as sugestões em FMC ficam restritas a exclusivos tratamentos teóricos.

Basicamente, o nosso objetivo é descrever um experimento que permita visualizar e caracterizar o comportamento ondulatório das ondas eletromagnéticas, em particular, das microondas. Para isso, como veremos em seção mais à frente, serão necessários um forno microondas doméstico e papel de fax. Originalmente, a idéia de usar este aparelho foi sugerida em Stauffer (1997). No entanto, a nossa proposta sugere algumas modificações neste trabalho, aperfeiçoando e facilitando a forma de registro das ondas eletromagnéticas. A idéia central de Stauffer (1997) é a de empregar o forno microondas para determinar a velocidade da luz. Para isso, segundo este autor, será necessário que se insira dentro do forno microondas, de onde previamente se reti-

rou o prato giratório, uma apropriada travessa refratária contendo “marshmallow” caseiro. Em seguida, aciona-se o microondas até começar a aparecer regiões queimadas sobre a superfície do “marshmallow”. Stauffer sugere utilizar essas regiões queimadas para determinar a velocidade da luz⁴.

Ao tentarmos reproduzir este experimento em dois aparelhos microondas⁵, não conseguimos, porém, obter resultados convincentes, ou seja, não foi possível observar um padrão ondulatório, onde se pudesse definir e medir um comprimento de onda; tão somente, obtivemos manchas escuras dispersas, sem características de uma seqüência ondulatória. Em razão dessa dificuldade, tivemos a idéia de mapear outras regiões da cavidade do microondas. Para isso, modificamos o registro das ondas eletromagnéticas sugerido por Stauffer (1997), trocando o “marshmallow” por papel de fax, que é termicamente sensível. Com esse novo procedimento, conseguimos obter padrões convincentes de formas ondulatórias, como pode ser visto na seção experimental, mais abaixo. Contudo, mesmo tendo identificado esses padrões, as medidas dos comprimentos de onda, além de não corresponderem às do trabalho de Stauffer, variavam em valores, quando as medidas eram tomadas em regiões distintas da cavidade interna do forno.

Em razão disso e dos resultados satisfatórios por nós obtidos no sentido de observar um padrão bem definido de ondas com o papel de fax, propomos, então, neste artigo, restringir as idéias de Stauffer (1997), deixando somente como sugestão uma maneira interessante de constatar as ondas eletromagnéticas formadas no interior do forno microondas, assim desconsiderando o procedimento de medida dos comprimentos de onda. Também é importante salientar que as modificações realizadas acabam resolvendo alguns inconvenientes daquele trabalho, quando se procura envolver os alunos. Um deles é o incômodo em fazer o “marshmallow” e a dificuldade de sua manipulação em várias regiões (no caso, alturas) dentro do forno. Outros inconvenientes referem-se a guardar e transportar o “marshmallow”. Sendo este um alimento perecível, o seu registro não pode ser conservado por muito tempo, como também, o seu transporte – da casa para a sala de aula – é muito impróprio⁶.

Na oportunidade, vale lembrar que é possível aproveitar este experimento para entender os princípios físicos envolvidos com o funcionamento do forno microondas, tecnologia presente no cotidiano dos alunos.

Cuidados importantes

⁴ A velocidade da luz é determinada da seguinte forma: com uma régua, mede-se sobre o “marshmallow” o comprimento de onda da microonda (da ordem de 12 cm, segundo Stauffer (1997)). Usa-se esse valor na relação $v = \lambda \cdot f$, onde a frequência (f) pode ser encontrada atrás do forno, na chapinha das informações técnicas do aparelho.

⁵ Panasonic: mod. NN7809; mod. NN6556BAH, tipo Family.

⁶ Imagina-se, aqui, que o professor sugira a demonstração caseira para os alunos em seus fornos de microondas e que eles tragam os resultados obtidos para a sala de aula, a fim de serem discutidos.

É preciso advertir quais os cuidados fundamentais que devem ser tomados para não danificar o microondas. O mais importante de todos é não introduzir objetos metálicos dentro do forno, pois isto representa risco de descargas elétricas entre estes objetos e as suas paredes internas, o que pode vir a ocasionar sérios danos a estas últimas. Quando objetos metálicos são colocados na cavidade com microondas, estes ficam eletrizados. Esta eletrização gera um campo elétrico intenso na região próxima ao objeto, suficiente para quebrar a rigidez dielétrica do ar, produzindo descargas elétricas, na forma de pequenos raios. Enquanto o aparelho de microondas estiver ligado, o objeto metálico causará raios de maior ou menor intensidade, que podem causar alguns danos, como buracos nas paredes.

II. Parte teórica

O princípio físico fundamental para entender o forno microondas baseia-se no conceito de ressonância. Da mesma forma que uma corda presa em uma extremidade, quando posta a oscilar por uma fonte vibradora, cria ondas estacionárias de máxima amplitude para frequências específicas da fonte, as denominadas frequências de ressonância, o mesmo acontece na cavidade do microondas. Na parte superior da parede lateral do forno observa-se a existência de uma região onde se encontra, por detrás, uma fonte de ondas denominada “tubo magnetron” (GALLAWA, 1997). Esse tubo é responsável pela geração das ondas eletromagnéticas na faixa de microondas que, em razão dessa frequência, são refletidas pelas paredes metálicas internas do forno, como a luz numa caixa de espelhos⁷. Explicando melhor, a cavidade é projetada de forma a “aprisionar” as microondas que saem do tubo magnetron. As ondas permanecem ali, até serem absorvidas pelo alimento ou serem dissipadas no ar. As paredes metálicas da cavidade são projetadas de forma a proporcionar uma afinação com a frequência das ondas ressonantes (propriedades ressonantes, semelhantes à da caixa de violão). Assim, a frequência do magnetron e as dimensões da cavidade interna do forno são calculadas apropriadamente para que se formem tais ondas estacionárias. Como se pode ver pela Fig. 2, vários padrões de ondas desse tipo aparecem, obviamente, muito mais complexos do que os formados numa corda unidimensional, pois o sistema, diferentemente desta, é tridimensional como, por exemplo, as ondas estacionárias em um sino vibrando, conforme ilustradas na Fig. 1 (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996, p. 128) onde as regiões nodais estão claras. Em razão da presença dessas regi-

⁷ A frequência e o comprimento de onda eletromagnética na faixa do visível são, respectivamente, de $4,3 \cdot 10^{14}$ Hz a $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz e $7 \cdot 10^{-5}$ cm a $4 \cdot 10^{-5}$ cm. Por outro lado, as microondas são ondas do espectro eletromagnético que pertencem à mesma faixa de frequências dos sinais de rádio, radar, televisão e telefones celulares que corresponde a $(10^9 - 10^{11})$ Hz. Como é possível verificar através da chapinha de informações técnicas atrás dos aparelhos, a frequência de operação das microondas dos fornos é de 2450 MHz e, como já dissemos, o seu comprimento é da ordem de centímetros, no caso, de 12 cm.

ões mais intensas de campo eletromagnético é que se faz necessário o prato giratório para que o cozimento no forno seja uniforme o máximo possível. As diferentes intensidades do campo eletromagnético na direção perpendicular podem ser verificadas quando se coloca um copo de leite no centro do prato giratório. Nota-se que o leite esquenta primeiro na parte superior, onde há um dos máximos de intensidade das ondas estacionárias na cavidade.

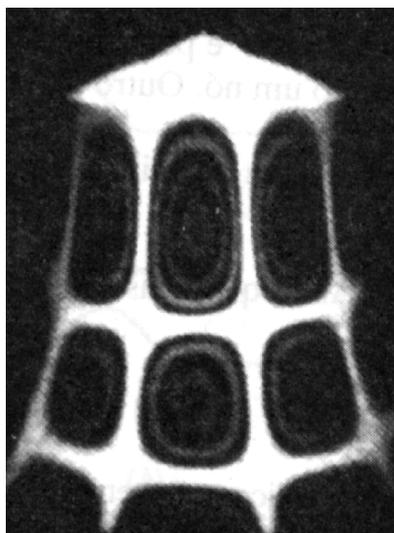


Fig. 1 - Ondas estacionárias de três dimensões num sino vibrando.

Cozimento dos alimentos

Os alimentos são cozidos porque algumas moléculas contidas neles vibram em modos próprios, denominados modos normais, sendo a molécula de água a principal delas. A frequência de microondas corresponde a uma frequência de oscilação natural da molécula de água. Por isso, esta molécula é posta a oscilar por ressonância, gerando calor, logo aquecendo, e cozinhando o alimento.

III. Parte experimental

Para a obtenção das figuras de ondas estacionárias na cavidade ressonante do forno microondas, é necessário papel de fax e uma armação para suportá-lo. Em razão do nosso papel de fax ser menor que a área da cavidade, unimos mais um pedaço à folha original, prendendo-as com pedaços de fita mágica adesiva. Após isto, construímos uma armação retangular simples com tubos de solda para PVC de 3mm de diâmetro, aproximadamente, de modo que se ajustasse perfeitamente no interior da cavidade. Na armação, prendemos o papel de fax com a mesma fita adesiva, fixando todo este conjunto nas paredes do forno com a mesma fita. Os experimentos foram realizados com tempos de exposição variando de 10 a 60 segundos, aproximadamente, em

potência cem por cento. O tempo necessário vai depender da altura que se posicionar o detector (*a armação com o papel de fax*), pois há regiões de “nodos” onde não se notam amplitudes, portanto, deixando de imprimir o papel. Todavia, há regiões onde temos “antinodos” (máxima amplitude), queimando muito fortemente o papel. É preciso, então, regular visualmente o forno e desligá-lo quando se observar que há uma figura nítida, já formada.

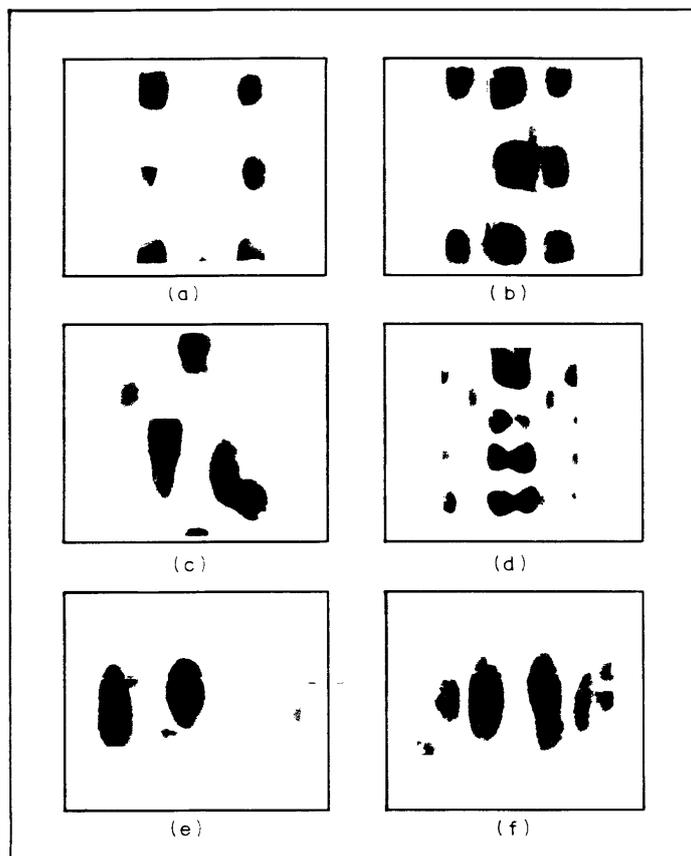


Fig. 2 - As figuras representam padrões de ondas estacionárias dentro do forno de microondas. As figuras de (a) a (b) e de (c) a (f) referem-se a aparelhos de microondas diferentes. As portas dos microondas estão abaixo das figuras e o emissor encontra-se do lado direito. Todas as figuras foram obtidas em planos paralelos à base da cavidade. As alturas de registro das figuras (a) e (b) são de 2 cm e 3 cm, respectivamente, e as de (c), (d), (e) e (f) são de 3cm, 12cm, 14cm e 16cm, respectivamente. As regiões escuras, onde o papel de fax foi queimado, são os antinós.

A Fig. 2 mostra uma seqüência de registros em planos paralelos à base do microondas. Em todas as figuras, a porta do microondas localiza-se nas partes inferiores. É preciso mencionar também, que pesquisamos outros planos, como as diagonais e os planos perpendiculares ao chão. No caso dos últimos, encontramos igualmente figuras com características ondulatórias, onde aparecem nodos e antinodos. Na Fig. 2 aparecem registros de dois fornos. As Fig. 2 (a, b) são de um aparelho, e as restantes,

de outro. É particularmente interessante notar as Fig. 2 (b, c). Nelas, apesar dos registros terem sido obtidos em alturas semelhantes (3cm), os padrões ondulatórios não são os mesmos, como se vê. Isto mostra o porquê de não conseguirmos obter um padrão ondulatório convincente (Fig. 2c), advertido no início do trabalho, como, pelo contrário, faz sugerir o trabalho de Stauffer (1997). É ainda possível observar pelas Fig. 2 (d, e, f) que o padrão ondulatório muda com a altura. Na Fig. 2d, o padrão obedece a uma direção ondulatória porta-fundos (de cima para baixo, na figura) e, conforme se vai aumentando a altura, este padrão muda de direção, virando para as paredes laterais, sendo que, em uma delas, encontra-se o emissor (lados esquerdo-direito na figura).

IV. Conclusão

Este artigo procurou levar ao conhecimento do professor do Ensino Médio uma possível proposta de experimento simples para ser realizado pelos seus alunos, numa atividade que pode ser considerada inserida numa programação curricular extraclasse. A principal idéia por detrás deste experimento é procurar entender o funcionamento do forno microondas caseiro. Com isto, é possível envolver e aproximar o conteúdo de Física ao cotidiano dos alunos e, dessa forma, fazer com que esta disciplina sirva não só para a compreensão da natureza, como também seja útil para entender os princípios que se encontram por detrás dos artefatos tecnológicos com os quais o aluno convive ou interage no seu dia-a-dia.

Referências bibliográficas

ALMEIDA, C.; PAUKA, T, A.; LABURÚ, C. E.; NOBRE OTA, M. I. Visualizando ondas eletromagnéticas e medindo a velocidade da luz: um experimento na cozinha da sua casa. In: SNEF, XIII, 1999, Brasília. **Resumos...** p. 51-52.

ARRUDA, S. M.; TOGINHO FILHO, D. O. Laboratório caseiro de Física Moderna. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 8, n. 3, p. 232-236, 1991.

COSTA, I.; SANTOS, M. S. **How to introduce modern topics in high school curriculum? A proposal. Thinking Physics for teaching.** New York: Plenum Press, 1995.

COSTA, I.; SANTOS, M. S. A FMC na escola média: uma estratégia de mudança na prática docente. In: Encontro de Pesquisa de Ensino de Física, VI, 1998, Florianópolis. **Resumos...** p.137-139.

FISCHER, H.; LICHTFELDT, M. Learning quantum mechanics. In: DUIT et al. **INTERNATIONAL WORKSHOP**, 1992, Bremen. **Proceedings...** p. 240-251.

GALLAWA, J. C. **How microwaves cook?** The complete microwave oven service handbook. Troubleshooting and repair. Prentice Hall, Division of Simon and Schuster, 1997.

LABURÚ, C. E.; SIMÕES, M.; URBANO, A. Mexendo com polaróides e mostradores de cristais líquidos (o ensino da Física Contemporânea, tendo como pano de fundo a Física do cotidiano). **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 15, n. 2, p. 192-205, 1998.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Tópicos de Física Moderna e Contemporânea na escola média brasileira: um estudo com a técnica delphi. In: ENCONTRO DE PESQUISA DE ENSINO DE FÍSICA, VI, 1998, Florianópolis. **Resumos...** p. 111-113.

OSTERMANN, F.; FERREIRA, L. M.; CAVALCANTI, C. J. H. Tópicos de Física Contemporânea no ensino médio: um texto para professores sobre supercondutividade. **Revista Brasileira de Física**, v. 20, n. 3, p. 270-288, 1998.

RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; WALKER, J. **Física 2**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1996.

STAUFFER, R., H., Jr. Finding the speed of light with marshmallows - a take home lab. **Physics Teacher**, v. 35, p. 231, Apr. 1997.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino de Física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 9, n. 3, p. 209-214, 1992.

VILLANI, A.; ARRUDA, S. M. Special theory of relativity, conceptual change and history of science. **Science & Education**, v. 7, n. 1, p. 85-100, 1996.