

RECRIAÇÃO DO EXPERIMENTO DE HERTZ

Camila Alice Silva Santos⁽¹⁾

Cláudia Timóteo de Oliveira Rufino⁽²⁾

Denikson Figueiredo de Vasconcelos⁽³⁾

Ericveiber de Lima Dias Clemente⁽⁴⁾

Gustavo Henrique Matias de Lima⁽⁵⁾

Estudantes de Engenharia Elétrica – 7º Período

UNIFAVIP

O presente artigo trata da recriação de um experimento realizado no século XIX, o qual foi o precursor de uma revolução tecnológica, permitindo que hoje tenhamos acesso a uma comunicação avançada e praticamente instantânea, facilitada pelo sinal de rádio e pela internet. A recriação desse experimento conta com ferramentas e dispositivos atuais e facilmente encontrados à disposição, com os quais chegamos ao mesmo resultado do experimento original: a comprovação da existência das ondas eletromagnéticas e sua propagação no meio, teorizadas pelo físico e matemático escocês James Clark Maxwell e comprovadas no experimento realizado inicialmente pelo físico alemão Heinrich Rudolf Hertz.

Palavras-chaves: Eletromagnetismo, Experimento de Hertz, Ondas Eletromagnéticas

1.camilaalice108@gmail.com; 2.clautimoteo@hotmail.com; 3.denikson10@hotmail.com;
4.ericveiber@hotmail.com; 5.ghml2009@hotmail.com

INTRODUÇÃO

Em 1863, um físico escocês chamado James Clark Maxwell (1831-1879) demonstrou, matematicamente, os efeitos produzidos pelos campos elétricos e magnéticos que viajam pelo espaço em ondas transversais, semelhantes às da luz e com a mesma velocidade. Concluiu então que a luz e eletricidade são idênticas em última instância, por serem ondas eletromagnéticas.

Na realidade, Maxwell reuniu os conhecimentos existentes e descobriu as correlações entre os fenômenos como as Leis de Gauss, para a eletricidade e para o magnetismo, a Lei de Ampère generalizada e a Lei de Faraday para a Indução eletromagnética. Porém durante duas décadas os cientistas da época tentaram a todo custo colocar em prática essas equações, que hoje são conhecidas como as Equações de Maxwell.

Conforme Griffiths (2011), as equações de Maxwell são:

- **Lei de Faraday**

"A força eletromotriz (fem) total induzida num circuito fechado é igual a taxa de decréscimo, em relação ao tempo, do fluxo magnético total que enlaça o circuito."

A sua forma matemática integral é:

$$\oint_c \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_s \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

E aplicando o Teorema de Stokes nesta equação, obtemos a equação da Lei de Faraday na forma diferencial:

$$\oint_c \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_s (\nabla \times \vec{E}) \cdot d\vec{S} = -\frac{d}{dt} \int_s \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

$$\int_s (\nabla \times \vec{E}) \cdot d\vec{S} = -\int_s \frac{\partial}{\partial t} \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.$$

- **Lei de Ampère**

"A integral de linha de H, ao longo de um único caminho fechado, força

magneto-motriz, é igual a corrente envolvida pelo caminho."

A sua forma matemática, na forma integral, é:

$$\oint_c \vec{H} \cdot d\vec{l} = \frac{d}{dt} \int_s \vec{D} \cdot d\vec{S} + \int_s \vec{J} \cdot d\vec{S}$$

O segundo termo, do lado direito da equação da Lei de Ampère, é a corrente de deslocamento, termo proposto por Maxwell para satisfazer a equação da conservação de carga, este termo implica na existência de uma onda eletromagnética.

Aplicando Stokes novamente na Lei de Ampère na forma de integral, conseguimos obter a forma diferencial:

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

- **Lei de Gauss para campos elétricos**

O enunciado da lei de Gauss para campos elétricos é "A integral de superfície da componente normal da densidade de fluxo elétrico D, sobre qualquer superfície fechada, é igual à carga englobada por esta superfície."

A forma matemática desta Lei, proposta pelo matemático Gauss, na forma de integral é:

$$\oint_s \vec{D} \cdot d\vec{S} = \int_v \rho dv$$

E na forma diferencial:

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$$

- **Lei de Gauss para campos magnéticos**

Estabelece que o fluxo magnético líquido (positivo ou negativo) que emana de qualquer superfície fechada S, no espaço, é sempre zero, isto é, o fluxo magnético não tem fonte, as linhas do campo B não podem ter início ou fim.

Na forma de integral, a equação é:

$$\oint_s \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

E na diferencial:

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

As equações de Maxwell além de descreverem o comportamento do campo elétrico e do campo magnético possibilitaram a previsão da existência das ondas

eletromagnéticas. Foi baseado nas teorias de Maxwell que Hertz descobriu as ondas de rádio.

Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) foi um físico alemão que desenvolveu diversos estudos e trabalhos na área da eletrodinâmica e em 1883, começou a estudar as ondas eletromagnéticas, cuja existência ainda não havia recebido confirmação experimental. Hertz dedicou-se a pesquisar aquelas ondas e percebeu que elas possuíam a mesma velocidade de propagação da luz, mas com comprimento de onda muito maior. Além disso, o cientista detectou a refração, reflexão e polarização, todos fenômenos característicos das ondas.

Uma das suas descobertas fundamentais foi realizada diante dos estudantes durante a aula, onde utilizava para demonstração de duas bobinas ligadas a faiscadores e notou que enquanto numa das bobinas deflagrava uma faísca, na segunda era deflagrada outra, porém era muito pequena, pouco luminosa e o seu ruído era coberto pelo da primeira, muito mais forte. Foi desse modo que Hertz descobriu o importante fenômeno das centelhas secundárias e compreendeu que aquelas faíscas elétricas eram consequência de fenômenos eletrodinâmicos que se processavam nas proximidades de circuitos oscilantes com capacitância e auto-indução mínimas. Logo percebeu que tinha diante de si um campo novo: o da criação das ondas eletromagnéticas e a sua propagação à distância.

Hertz continuou as suas experiências, durante cinco anos, utilizando instrumentos sempre mais complexos. O aparelho típico, demonstrado na figura 1, que usava era um oscilador linear (ou dipolo), formado por duas grandes esferas metálicas ligadas por um condutor retilíneo interrompido por um faiscador - constituído por duas esferas metálicas menores. Os dois braços deste oscilador eram ligados aos polos de uma bobina de Ruhmkorff. Quando a bobina gerava uma tensão alta, ocorria uma descarga entre os dois braços do oscilador. Tal descarga era oscilante e Hertz verificou que as oscilações possuíam uma frequência que dependia, unicamente, das características geométricas do oscilador. Era por isso que as faíscas irradiavam no espaço ondas eletromagnéticas de frequência bem determinada. Com isso, Hertz demonstrou na prática a existência das ondas eletromagnéticas previstas por Maxwell.

Foi então que em 1888, Hertz desenvolveu um aparelho emissor de ondas e outro receptor e após uma série de experimentos conseguiu provar a existência das ondas de rádio. Tal descoberta foi o primeiro passo para uma evolução sem precedentes

na área da comunicação, pois foi baseado no experimento de Hertz que o físico e inventor italiano Guglielmo Marconi fez a primeira transmissão de informações por rádio e após alguns experimentos em 1901 foi realizada a primeira transmissão de rádio que atravessou o atlântico.

As descobertas de Hertz abriram caminho para o desenvolvimento das tecnologias de radares, rádio, televisão, para os modernos Sistemas de Comunicações e para as aplicações de micro-ondas. Como homenagem ao físico, a unidade de medida adotada pelo Sistema Internacional de Unidades (SI) para a frequência das ondas é a unidade hertz (Hz), que significa oscilações por segundo.

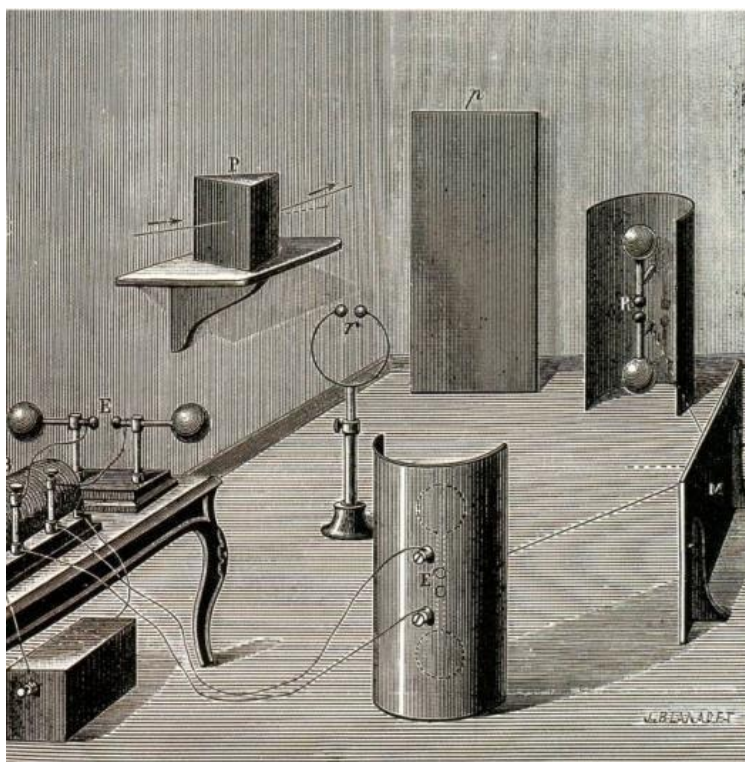


Figura 1: Representação do experimento realizado por Hertz

Concluiu-se então que as ondas eletromagnéticas são perturbações do meio que não precisam de um material específico para se propagar, podendo ser transmitidas também no vácuo, sendo definida como uma energia que se move à velocidade da luz (300.000 km/s). São formadas pela combinação de campo elétrico e campo magnético que se propagam perpendicularmente pelo espaço, um em relação ao outro e na direção da propagação da energia. As principais características das ondas eletromagnéticas são amplitude, frequência, velocidade de propagação e comprimento de onda. Essas ondas estão presentes na vida de todos os seres através da luz solar e de inúmeros outros tipos

de radiação. A energia eletromagnética é emitida por qualquer corpo que possua temperatura acima de zero absoluto (0 Kelvin). Assim, todo corpo com temperatura absoluta acima de zero pode ser considerado como uma fonte de energia eletromagnética.

O experimento em que se baseia esse artigo foi realizado com o intuito de reproduzir o evento realizado por Hertz, porém utilizando dispositivos mais desenvolvidos, menos robustos e didaticamente mais simples para compreensão.

OBJETIVO GERAL

Esse experimento tem como objetivo principal recriar o trabalho do físico Heinrich Hertz.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Colocar em prática os conhecimentos adquiridos na disciplina Eletromagnetismo e também comprovar a existência das ondas eletromagnéticas por meio do mesmo princípio que Hertz provou.

METODOLOGIA

Originalmente, no projeto desenvolvido por Hertz, foi utilizada uma fonte de alta tensão oscilante, a qual produzia um arco elétrico que perturbava o meio (ar) e desta maneira propagava ondas eletromagnéticas que foram percebidas numa segunda haste que não estava fisicamente ligada à primeira.

No experimento apresentado neste trabalho, utilizou-se alguns materiais disponíveis atualmente no mercado com menor dimensão física, porém capazes de gerar tensão suficiente para romper a barreira dielétrica do ar.

Para se conseguir o efeito oscilante, foram construídos capacitores utilizando folhas de alumínio alternadas com folhas de acetato, que após medição no capacitímetro obtiveram capacitância de 3,1 nF e 2,9 nF, os quais tem a função de variar a tensão de saída do flyback, estimada em 25kV. Os capacitores foram postos em paralelo para aumentar a capacitância resultante.

Foi utilizado um reator de lâmpada fluorescente (40W), o qual tem a função

de reduzir a tensão senoidal de entrada (220V RMS) para 12V e acionar um flyback, o qual funcionará como um transformador e elevará a tensão de saída de 10k a 30kV. Esta tensão de saída é contínua e para ser utilizada no experimento deverá acumulada nos capacitores, que por sua vez jogarão nas hastes do emissor, produzindo uma alta tensão oscilante.

Nas hastes do transmissor e do receptor foram utilizados fios rígidos de cobre com bitola de 4 mm² e em cada base as hastes ficaram afastadas entre si por uma distância aproximada de 1 cm.

Foram utilizadas palhas de aço nas extremidades das hastes, com a finalidade de aumentar a emissão e a recepção dos sinais.

A figura 2, demonstra o aparato de maneira geral, até a saída dos capacitores.

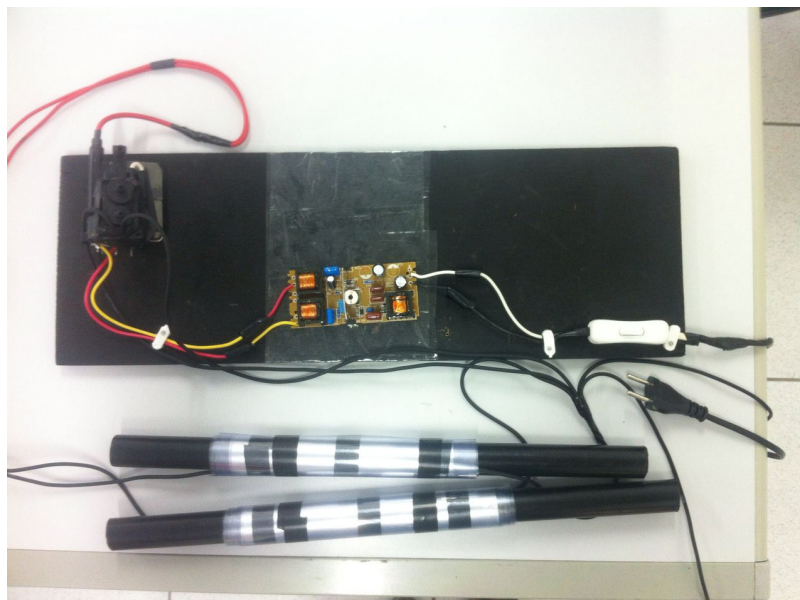


Figura 2: Experimento de Hertz

RESULTADOS PRELIMINARES

Durante os testes foi comprovada a perturbação do meio através de ondas eletromagnéticas de duas formas. Visualmente, pela formação de arco elétrico nas hastes transmissoras, o que também serviu para estimar o nível de tensão de entrada, e também pela medição de diferença de potencial nas hastes receptoras, realizada através de um voltímetro. Devido à tensão de entrada ser muito alta não dispúnhamos de aparelho para medir com precisão a tensão aplicada nas hastes transmissoras, de modo que trabalhamos com aproximações.

Tomando como base que o ar seco possui uma rigidez dielétrica na ordem de 3×10^6 V/m e funciona como um isolante até que seja ultrapassada sua rigidez dielétrica quando então torna-se um condutor, desse modo colocamos entre as hastes transmissoras uma abertura de aproximadamente 1 cm, estimando então que a tensão necessária vencer essa barreira dielétrica e produzir um arco elétrico entre as hastes deve ser uma tensão em torno de 30kV.

Ao produzir o arco elétrico nas hastes transmissoras, obtivemos nas hastes da base receptora uma tensão contínua, porém muito variável, com medição máxima em torno de 6V, medida com um voltímetro. Um modelo das hastes usadas nos primeiros experimentos encontra-se na figura 3.

Outro resultado interessante observou-se com o uso de palha de aço como amplificador e condutor da recepção de sinal. Através de testes com outros materiais, como alumínio, visando aumentar a eficiência do experimento, foi notado que a palha de aço ofereceu os melhores resultados em termos de níveis de tensão na segunda haste.

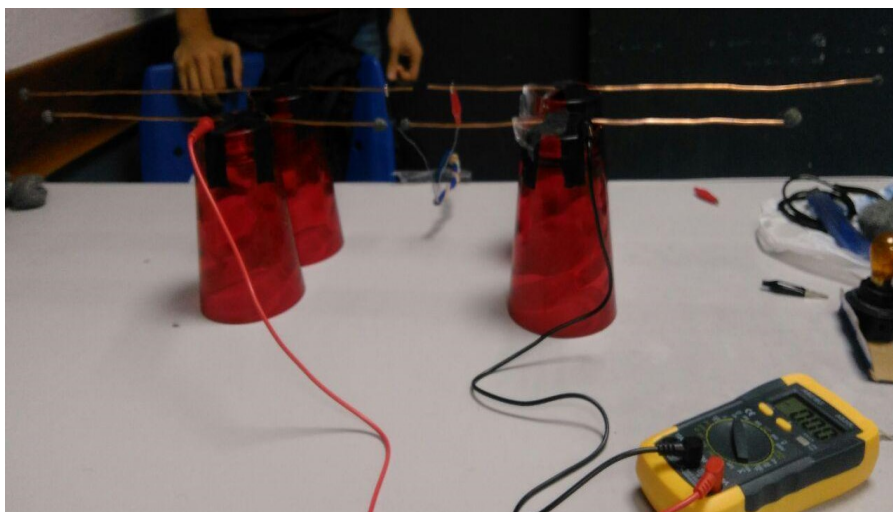


Figura 3: Estrutura inicial das hastes

CONCLUSÃO

Após vários testes conseguimos recriar o experimento de Hertz e demonstrar na prática a existência das ondas eletromagnéticas que eram ditas na teoria de Maxwell, utilizando aparelhos simples e algum conhecimento em física. As melhorias no experimento foram realizadas através de tentativas para deixá-lo mais seguro e eficiente. De todo, o objetivo principal foi alcançado ao comprovar a propagação das ondas eletromagnéticas no ar e recriar o experimento realizado por Hertz, porém modificando os materiais.



Figura 4: Preparação para demonstração do Experimento de Hertz

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GRIFFITHS, David J., **Eletrodinâmica**, São Paulo: Pearson Education, 3 ed, 2011

HAYT Jr, William H. e BUCK, John A. **Eletromagnetismo**. 8ª Ed. – Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2013.

NOTAROS, Branislav M. **Eletromagnetismo**. – São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.

<https://sites.google.com/site/medea2010esdmibeja/hertzianos/hertz-e-a-descoberta-das-ondas-electromagneticas>

<http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/rem.html>