



## Aplicações para a tecnologia de transmissão de energia *wireless* através da indução magnética e sistemas ressonantes.

Kléber Zuza Nóbrega<sup>1</sup>, Carlos Henrique Lima Veloso<sup>2</sup>, Cleyton Lima Costa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Professor Doutor do Departamento de Eletro-Eletrônica- IFMA. e-mail: bzuz@ifma.edu.br

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Elétrica Industrial - IFMA. e-mail: henri\_5\_veloso@hotmail.com

<sup>3</sup> Técnico em Eletrotécnica-IFMA, Graduando em Engenharia Elétrica Industrial- IFMA. e-mail: clccosta10@hotmail.com

**Resumo:** Apesar de parecer um tema futurista, a transmissão de energia sem fio já é pesquisada há muito tempo. No final do século XIX, o cientista Nikola Tesla já conseguia acender lâmpadas de baixa potência com a utilização de indução eletromagnética. Aproximadamente cem anos depois, com a intensificação dos estudos na área da transferência de energia sem fio, pesquisadores do M.I.T conseguiram transmitir energia com grande taxa de eficiência através desta tecnologia, acrescida dos conceitos de ressonância eletromagnética. A tecnologia funciona de forma bem simples, pois somente necessita ter um aparelho que contenha pequenas espiras ou bobinas emissoras de campo magnético e outro aparelho que tenha espiras ou bobinas receptoras deste campo. O emissor deve estar conectado a uma fonte de tensão alternada para poder gerar um campo magnético variante. O receptor, ao sofrer influência deste campo, começa a produzir corrente através da indução magnética. Para desenvolver e divulgar esta tecnologia, várias empresas do ramo se aliaram em dois grupos principais: WPC e A4WP. É esperada a partir do segundo semestre deste ano a popularização da tecnologia, pois é nessa época que está previsto o lançamento de vários produtos no mercado, como carregadores de celulares, *notebooks* e *tablets* e acessórios para carros. Com o objetivo de divulgar esta tecnologia, especialmente em disciplinas introdutórias como Eletromagnetismo, neste trabalho será abordado um panorama global de como e onde a transmissão de energia sem fio através da indução magnética está sendo utilizada, bem como também será mostrada como se dá a implementação da mesma com a utilização de sistemas ressonantes, visto que o assunto ainda é pouco explorado e pouco divulgado no meio acadêmico, mas já dispõe de efetivos resultados e aplicações.

**Palavras-chave:** eletromagnetismo, energia, indução, ressonância, transmissão sem fio

### 1. INTRODUÇÃO

Devido à necessidade da disponibilidade da energia elétrica para ser utilizada em diversas situações, teve-se uma intensificação nos estudos da Engenharia Elétrica, principalmente no ramo do eletromagnetismo e propagação de ondas eletromagnéticas. A partir da intensificação dos modernos estudos sobre as propriedades eletromagnéticas dos materiais, e suas aplicações em escala macroscópica, a sociedade tem passado por um processo de popularização da transferência sem fio de dados, através da telefonia móvel, *bluetooth* e internet *wireless*. Com o avanço da tecnologia de dispositivos móveis e crescente utilização dos mesmos pela população mundial, veio a reflexão de que a transmissão de dados sem fio não seria suficiente para dar total portabilidade a eles, pois ainda eram alimentados eletricamente somente utilizando fiação conectada a tomadas. Por conta disso, pensou-se em soluções para fazer a realimentação desses dispositivos, e transmitir energia de forma geral, sem necessitar desta fiação.

Apesar de parecer um tema futurista, a transmissão de energia sem fio já é pesquisada há muito tempo. No final do século XIX, o cientista Nikola Tesla já conseguia acender lâmpadas de baixa potência com a utilização de indução eletromagnética [ACIEEEE][WTT]. Com a intensificação dos estudos na área da transferência de energia sem fio, aproximadamente cem anos depois, pesquisadores do M.I.T conseguiram transmitir energia com grande taxa de eficiência através desta tecnologia, acrescida dos conceitos de ressonância eletromagnética [WIT]. Já em 2008, grandes empresas juntaram-se para formar um grande consórcio a fim de desenvolver, padronizar e tornar acessíveis novos dispositivos realimentados eletricamente sem a necessidade de se conectarem a tomadas [WPCWS]. Nos últimos anos esta tecnologia tem-se expandido sendo cada vez mais utilizada para desenvolvimento de dispositivos portáteis, tais como celulares, *notebooks*, *smartphones*, *gadgets* em

geral [ENERPW], e já é destaque junto ao grande público, pois já é utilizada em várias indústrias [CWIPT] e também em veículos elétricos, como os ônibus que circulam nas cidades de Gênova e Turim, na Itália [CWSIT].

Com o objetivo didático e explanatório de divulgação desta tecnologia, especialmente em cursos introdutórios de Engenharia Elétrica, neste artigo será descrita a transmissão de energia sem fio através da indução magnética e a implementação desta com a utilização de sistemas ressonantes, visto que o assunto, ainda pouco explorado, já dispõe de efetivos resultados e aplicações, mas ainda é pouco divulgado em meio acadêmico. Para tanto, o artigo encontra-se dividido em seis partes: histórico, fundamentação teórica, vantagens e desvantagens, aplicações, associações importantes e conclusões finais.

## 2. HISTÓRICO

A história da tecnologia da transmissão de energia sem fios começa no ano de 1893 quando Nikola Tesla, cientista sérvio-americano cujos trabalhos com a eletricidade são notórios, inicia os estudos sobre transmissão de energia sem fio [ACIEEE]. Ele descobriu que, através da indução eletromagnética, pode-se transferir energia sem a necessidade de um condutor elétrico, tanto que conseguia acender lâmpadas de baixa potência com este método. Mais tarde, em 1901, Tesla construiu um laboratório e uma torre de 60m de altura numa fazenda de batatas em *Long Island, NY, EUA* (Figura 1). Através desta torre, ele pretendia transmitir energia para carros, aviões e até mesmo cidades sem utilizar nenhuma fiação elétrica. Infelizmente, seus estudos nessa área foram interrompidos, pois o principal financiador do projeto resolveu cortar gastos.



Figura 1 - Laboratório e torre de Tesla em *Long Island, NY, EUA* (1901). Disponível em <http://spectrum.ieee.org/green-tech/mass-transit/a-critical-look-at-wireless-power/0>

Somente décadas mais tarde que este estudo da indução magnética fora retomado para transmissão de energia. Na década de 90, criou-se carregadores de escovas de dente elétricas e carregadores dos carros elétricos EV-1, da *General Motors*, utilizando este sistema [A4WP]. No começo dos anos 2000, começam a rodar na Europa ônibus elétricos que são carregados via indução [BBCWC]. Anos mais tarde (em 2004), foi fundada a empresa *WiPower*, que continuou com a implementação desta tecnologia e deu um grande passo para projetos mais ambiciosos (atualmente essa empresa pertence a *Qualcomm*). Entretanto, a grande mudança nesta tecnologia ocorreu em 2006, quando Marin Soljačić (Figura 2), um professor-assistente do M.I.T, e seus colegas criaram um sistema de transmissão de energia sem fio com maior eficiência, graças à aplicação dos estudos de ressonância eletromagnética dos materiais envolvidos [WIT]. Logo no ano seguinte, em 2007, houve a fundação e estabelecimento da *E-Coupled* e das empresas *PowerMat* e *Witricity* (esta fundada por Marin Soljačić).



Figura 2 - Marin Soljačić demonstrando a transferência de energia sem fios em 2006. [WIENR]

Em 2008, foi fundada a WPC (*Wireless Power Consortium*) [WPCWS], cujo objetivo era desenvolver, padronizar e tornar acessível ao grande público novos *gadgets* que se utilizam desta tecnologia ao qual eles atribuíram o nome e símbolo ‘Qi’ (Figura 3). Mais de cem grandes empresas de tecnologia são associadas a este consórcio. Em 2011 foram anunciados os primeiros celulares com receptores Qi integrados das marcas *LG*, *Verison* e *NTT Docomo*.



Figura 3 - Símbolo do consórcio WPC e da padronização da tecnologia “Qi”.

Em 2012 foi estabelecida a *Alliance for Wireless Power* (A4WP) (Figura 4), liderada pela *Samsung* e pela *Qualcomm*, cujo objetivo é divulgar e estabelecer a tecnologia no mercado [A4WPWS]. É esperada a partir do segundo semestre deste ano a popularização da tecnologia, pois é nessa época que está previsto o lançamento de vários produtos no mercado, como carregadores de celulares, *notebooks* e *tablets* e acessórios para carros [ENERPW], além de outros fabricantes, como a *Nokia* e *Samsung*, já terem anunciados modelos de celulares compatíveis com esta tecnologia (modelos *Lumia 920* e *Galaxy S3*, respectivamente).



Figura 4 - Logo da *Alliance Wireless for Power* (A4WP).

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nos itens abaixo será dada uma breve explicação de como a tecnologia de transmissão de energia sem fio funciona através da indução eletromagnética e ressonância de seus materiais.

#### 3.1. INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Na década de 1830, Michael Faraday, físico e químico inglês, descobriu em seus experimentos que um campo magnético poderia gerar uma corrente elétrica. Ele enunciou que uma força eletromotriz é produzida por condutores elétricos em movimento num campo magnético uniforme, ou então **por um campo magnético variante no tempo** [ELEHAYT]. Ou seja, a Lei de Faraday-Lenz é escrita

$$f_{em} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

sendo **fem** a força eletromotriz (dada em Volts), **Φ** o fluxo magnético e **t** o tempo.

Anos mais tarde, James Clerk Maxwell estudou o experimento de Faraday, e escreveu a sua lei na forma diferencial:

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

sendo **∇** o operador nabla, **E** o campo elétrico e **B** o campo magnético. Ou seja, o rotacional do campo elétrico é igual ao oposto da variação do campo magnético no tempo.

Este princípio da indução eletromagnética é utilizado em transformadores elétricos, geradores, motores e máquinas de indução em geral, conforme a ilustração da Figura 5.

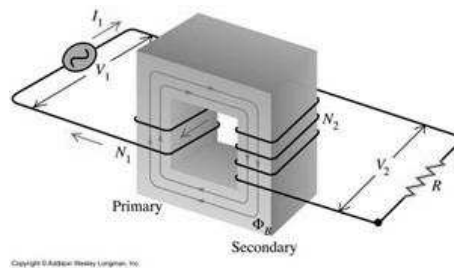


Figura 5 - Esquema de transformador.

### 3.2. RESSONÂNCIA

A ressonância é, por definição, a frequência natural que um corpo ou sistema recebe e/ou transfere energia de forma mais eficiente. Essa frequência é uma característica intrínseca de cada material. Se pensarmos em sistemas mais complexos, como por exemplo, um carro, uma ponte ou uma corda de violão, observa-se a apresentação de muitas frequências naturais de vibração. Caso seja dada energia a um desses sistemas em uma de suas frequências naturais de vibração, eles irão oscilar intensamente [WITBAS].

Existem vários tipos de ressonância: mecânica, elétrica, magnética, etc. A ressonância magnética é gerada se a frequência de certo campo magnético for igual à frequência de ressonância magnética do corpo, então este corpo começará a vibrar.

### 3.3. FUNCIONAMENTO

A tecnologia de transmissão de energia *wireless* através da indução magnética e sistemas ressonantes (Figura 6) funciona de forma bem simples, pois somente necessita ter um aparelho que contenha pequenas espiras ou bobinas emissoras de campo magnético (por exemplo um carregador) e outro aparelho que tenha espiras ou bobinas receptoras deste campo (por exemplo um *smartphone*). O aparelho emissor deve estar conectado a uma fonte de tensão alternada para poder gerar um **campo magnético variante**. O aparelho receptor, ao sofrer influência deste campo, começa a produzir corrente elétrica através do fenômeno da indução magnética [WITBAS].

Sabe-se que a intensidade da corrente elétrica gerada pelo efeito da indução magnética depende do valor do campo magnético, então para transferir uma quantidade maior de energia entre duas bobinas, deve-se aumentar a intensidade do campo magnético. Mas, como o campo magnético se dispersa facilmente em todas as direções pelo ar, seria um desperdício fazer a transferência desta forma. Porém, em novembro de 2006, um grupo de pesquisadores do M.I.T, liderado por Marin Soljačić, demonstrou que a ressonância eletromagnética seria a solução para este problema. Isso se deve ao fato da indução poder acontecer de maneira diferente se os campos eletromagnéticos em volta das bobinas ressoarem na mesma frequência, atuando como um sistema único e acoplado, portanto, aumentando a eficiência da transferência de energia. Ou seja, **se a frequência do campo magnético variante for igual à frequência de ressonância do material, então eles atuarão como um sistema só**, minimizando as perdas.

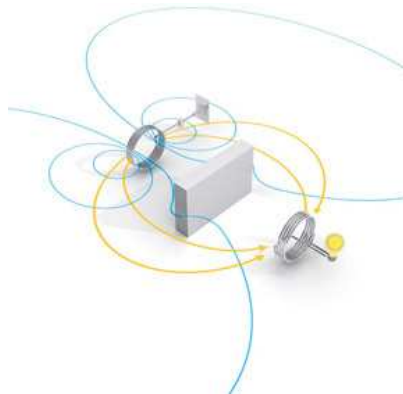


Figura 6 - Exemplificação do funcionamento da tecnologia. As linhas azuis representam o campo magnético e as linhas amarelas representam o fluxo de energia. Uma espira, conectada a uma fonte de corrente alternada, emite o campo magnético, e uma espira receptora “captura” o fluxo e consegue acender uma lâmpada.

#### 4. VANTAGENS E DESVANTAGENS

Além de não possuir mais as limitações causadas pelos fios condutores, a transmissão de energia *wireless* possui como vantagens eliminar riscos de choques elétricos (entre os dispositivos transmissor e receptor), aumentar a vida útil das baterias (e, conseqüentemente, dos aparelhos), ser de uso fácil para o consumidor final, poder conectar vários dispositivos em um só dispositivo emissor, viabilizar o uso de carros elétricos (não possui o contratepo dos painéis solares, por exemplo), e significativa economia de energia, pois dispositivos emissores só funcionam se detectarem dispositivos que precisam ser carregados. Caso não haja dispositivos ou haja dispositivos, mas já carregados, ele fica em *stand-by*. Enfim tem-se mostrado ser eficiente principalmente em rede domésticas pessoais (PAN) e seus dispositivos.

Infelizmente esta tecnologia ainda possui consideráveis desvantagens, como alto custo, eficiência ainda baixa para distâncias maiores que 20 cm, causa pequenas interferências na área automotiva (pelo fato de operar em frequências de rádio) e, em certas frequências, pode trazer efeitos colaterais para pessoas e animais, motivo da criação do padrão IEEE C95.1-2005.

Com o objetivo de regulamentar limites de valores para determinadas frequências de campo magnético, o *IEEE* criou o padrão C95.1-2005 afim de evitar os efeitos colaterais destes campos magnéticos em seres humanos e animais [IEEEC95]. O padrão é aplicado para frequências de 3kHz a 300GHz em ambientes abertos à população comum e para áreas controladas. Ele só não se aplica a pessoas sobre algum tratamento médico que utilize alguma propriedade eletromagnética.

#### 5. APLICAÇÕES

Esta tecnologia já está sendo largamente utilizada para desenvolvimento de carregadores de *notebooks*, *tablets*, *smartphones* e *gadgets* similares (Figura 7). A previsão é para ingressarem no mercado no segundo semestre deste ano.



Figura 7 – Celulares colocados num *Pad* carregador [ENERPW].

Muitas empresas automobilísticas estão fazendo parcerias com empresas que lidam com a tecnologia de transferência de energia sem fio para, além de colocarem carregadores dentro de seus carros, implementarem seus projetos de carros elétricos (Figura 8). Esta tecnologia já está sendo utilizada nos ônibus nas cidades de Gênova e Turim, na Itália (Figura 9).



Figura 8 - Carro elétrico da marca Citroën sendo carregado por um dispositivo emissor de campo magnético (no chão) [BBCWC] .



Figura 9 – Modelo de ônibus usado nas cidades italianas de Gênova e Turim. Fazem seu percurso em uma hora e se recarregam em dez minutos (na marca branca no chão) [CWIPT][CWSIT].

### 5.1. PERSPECTIVAS E DESAFIOS

Primeiramente, o maior desafio das empresas que lidam com esta tecnologia é aumentar o alcance e a eficiência da transferência de energia, para tornarem-na mais cômoda e potencializar a portabilidade desses dispositivos. Também é um desafio massificar esta tecnologia, diminuir o seu ainda elevado custo, padronizar e torná-la comum em grandes cidades, hotéis, aeroportos, *shoppings* e lojas em geral (assim como o *wi-fi*).

As perspectivas são de que em alguns anos ela se popularize e se torne comum, dada a comodidade proporcionada pela ausência de fios para alimentação dos dispositivos, e que haja um



maior incentivo aos usos de carros elétricos, dada a facilidade de apenas estacionar um veículo e ele começar a carregar.

## 6. ASSOCIAÇÕES IMPORTANTES

Para superar os desafios e cumprir as perspectivas supracitadas, várias empresas se aliaram em dois grupos principais: O *Wireless Power Consortium* (WPC) e o *Alliance For Wireless Power* (A4WP).

O primeiro grupo é um Consórcio formado por mais de cem empresas tecnológicas (principalmente da área de telefonia e eletrônicos), cujo objetivo é desenvolver, padronizar e tornar acessível ao grande público novos *gadgets* que se utilizam desta tecnologia (ao qual eles atribuíram o nome e símbolo 'Qi'). Estão sempre encomendando pesquisas, estudos, comparações, melhoramentos. Exemplo de empresas que compõe a WPC: *Samsung, Motorola, LG, Nokia, Panasonic, Verison, Philips, Sony, Toshiba*.

Já o segundo grupo, liderado pela *Samsung* e pela *Qualcomm*, possui como associados várias empresas do ramo de transmissão de energia sem fio. Tem como objetivo desenvolver e divulgar esta tecnologia e mantém diversos projetos para massificação da mesma (como investir em vários *cybercafés* no Japão).

## 7. CONCLUSÕES

A partir do estudo realizado, a transferência de energia sem fio, a qual está fundamentada no princípio da indução eletromagnética, aliada a ressonância eletromagnética, se tornará cada vez mais presente em nosso cotidiano, através dos carregadores de automóveis, celulares e *gadgets* em geral, além de ser aplicada em linhas de montagem industriais. Mas essa tecnologia possui ainda algumas desvantagens, como por exemplo, não ser tão eficiente para longas distâncias, tornando-a aplicável em situações bem restritas. E para superar essas desvantagens e popularizar esta tecnologia, várias empresas se aliaram em dois grandes grupos, a *Wireless Power Consortium* (WPC) e *Alliance For Wireless Power* (A4WP). Dessa forma, a energia transferência de energia wireless está sendo otimizada, buscando ser a forma de transferência de energia do futuro.

## REFERÊNCIAS

[ACIEEE]: SCHNEIDER, David. **A critical look at wireless power**. IEEE Spectrum Maio 2010

[A4WP]: **Alliance For Wireless Power (A4WP) Website** [www.a4wp.org/](http://www.a4wp.org/) ; Acesso em 12 jul 2012.

TESLA, Nikola. **Apparatus for transmitting electrical energy**. U.S. patente number 1,119,732, Dezembro de 1914.

[BBCWC]: MOSKVITCH, Katia. **BBC News- Wireless Charging- the future for electric cars?** Disponível em <http://www.bbc.com/news/technology-14183409> . Acesso em 06 jul 2012.

[CWIPT]: **Conductix Wampfler- Product overview: Inductive Power Transfer- IPT®**. Disponível em [http://conductix.com/sites/default/files/downloads/KAT9000-0001-E\\_Product\\_Overview\\_IPT.pdf](http://conductix.com/sites/default/files/downloads/KAT9000-0001-E_Product_Overview_IPT.pdf) ; Acesso em 09 ago 2012.

[CWSIT]: **Conductix Wampfler- The success story of invisible technology**. Disponível em <http://conductix.com/en/news/2007-08-20/success-story-invisible-technology> ; Acesso em 09 ago 2012.

Karalis, A.; Joannopoulos, J.D. e Soljačić, M. **Efficient wireless nonradiative mid-range energy transfer**, ANNALS OF PHYSICS, Vol. 323, (2006).



[ELEHAYT]: HAYT, Willian H. BUCK, John A. **Eletromagnetismo**; tradução Amilton Soares Júnior; revisão técnica Antonio pertence Júnior -7ª ed. – Porto Alegre: AMGH, 2010.

[ENERPW] **Energizer’s first inductive charging power mat charges iPhone 3Gs and Blackberry Curve through their skins** Disponível em: <http://www.geek.com/articles/mobile/energizers-first-inductive-charging-power-mat-charges-iphone-3gs-and-blackberry-curve-through-their-skins-2010093/> Acesso em 07 ago 2012.

**FORBES: How Wireless Charging Will Make Life Simpler (And Greener)**, Disponível em [http://www.a4wp.org/news/forbes\\_7.24.12.pdf](http://www.a4wp.org/news/forbes_7.24.12.pdf)

[IEEEC95]: **IEEE C95.1-2005: IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz.**

Ribeiro, J.A.J. **Propagação das Ondas Eletromagnéticas - Princípios e Aplicações**, Ed. Érica, 2008.

[TECSAM]: **Samsung apresenta acessórios do Galaxy S3.** Disponível em <http://www.tecmundo.com.br/galaxy-s3/23052-samsung-apresenta-acessorios-do-galaxy-s3.htm>

[WIENR] ADEE, Sally. **Wireless power.** IEEE Spectrum Agosto 2008

[WPC]: **Wireless Power Consortium Website** <http://www.wirelesspowerconsortium.com/> ; Acesso em 07 ago 2012.

[WTT]: MASSIE, Walter W. UNDERHILL, Charles R. **Wireless telegraphy & telephony.** 1908, págs 67-71. Disponível em <http://www.tfcbooks.com/tesla/1908-00-00.htm>. Acesso em 08 ago 2012.

[WITBAS]: **Witricity technologies: The Basics.** Disponível em <http://witricity.com/pages/technology.html> ; Acesso em 06 jul 2012.

[WIT]: **Witricity website** [www.witricity.com](http://www.witricity.com) ; Acesso em 06 jul 2012.