



# TRANSMISSÃO DE ENERGIA SEM FIO: ESTUDO POR INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA E ACOPLAMENTO MAGNÉTICO RESSONANTE

Guilherme Hideki Shibukawa<sup>1</sup>, Eric Eduardo Gouveia<sup>2</sup>, Ricardo Andreola<sup>3</sup>, Emerson Charles Martins da Silva<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Acadêmico do Curso de Engenharia de Controle e Automação, Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR, Maringá-PR. Bolsista PIBITI/CNPq-UniCesumar. guilhermehdk@gmail.com

<sup>2</sup>Acadêmico do Curso de Engenharia de Controle e Automação, UNICESUMAR

<sup>3</sup>Orientador, Doutor, Docente da UNICESUMAR

<sup>4</sup>Coorientador, Mestre, Docente da UNICESUMAR

## RESUMO

A ideia de se eliminar as linhas físicas também na transmissão de energia, assim como é feito na transmissão de dados, era um sonho da tecnologia que já está sendo realizado. Estudos sobre a transmissão de energia sem fio já foram feitos há muitos anos. Um mundo sem cabos já foi pensado por Nikola Tesla, um cientista croata do século XIX que tentou sem sucesso a construção de uma torre emissora de energia elétrica para toda a cidade em que vivia na época (TESLA, 2015). Tesla não concretizou seu propósito, porém, estava no caminho certo. Por meio do fundamento em artigos, teses, dissertações e livros, este projeto apresenta o desenvolvimento e a aplicação dos princípios de funcionamento da transmissão de energia sem fio com base nos conceitos de indução eletromagnética e acoplamento magnético ressonante. Para isso, foram elaborados dois protótipos de transmissão de energia sem fio, dos quais, um representa a indução eletromagnética e, o outro, ressonância acoplada magneticamente. Cada protótipo contém o seu respectivo circuito transmissor e receptor composto por uma bobina. Nos testes de eficiência dos protótipos foi comprovado que a transmissão de energia do circuito ressonante é muito mais eficaz, constatando uma distância máxima de detecção de campo magnético de até 50 cm entre uma bobina e outra. No entanto, estes foram testes em pequena escala. Deste modo, é possível cogitar uma casa em que os aparelhos eletrodomésticos não dependa da utilização de fios na alimentação elétrica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eletromagnetismo; Indução; Ressonância; Transmissão sem Fio.

## 1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, o número de eletrodomésticos vem crescendo exponencialmente. Como um efeito disso, evidentemente, a demanda por cabos também se tornou elevada. Seria possível reduzir a quantidade de cabos utilizados na alimentação elétrica dos aparelhos? Com o conceito de transmissão de energia sem fio, a resposta é sim. Este é o propósito do presente trabalho. Foi realizado um estudo a respeito da transmissão de energia elétrica sem fio, utilizando os conceitos de indução eletromagnética (indução mútua) e acoplamento indutivo ressonante.

Ao ter partículas carregadas em movimento em um fio, produz-se um campo magnético em torno do mesmo. Este foi o primeiro conceito utilizado para se transmitir energia sem a utilização de um fio. Deste modo, aplicando-se uma corrente alternada em uma bobina primária, é possível transferir a energia para uma bobina próxima (secundária) através do campo magnético criado (HALLIDAY, 2013).

De acordo com Witricity (2015), a ressonância acontece quando uma energia é transferida a um corpo físico, atingindo a frequência natural de vibração do material ao



qual a ressonância acontece. Com isto, este objeto passará a vibrar intensamente e a amplitude tende a aumentar. Como citado por Faraday, o acoplamento magnético pode ser entendido quando dois objetos trocam energia por meio do campo magnético variante, emitido pela bobina primária (BLUNDELL, 2012). Já o acoplamento ressonante, ocorre quando as frequências naturais de dois corpos são muito próximas.

Segundo Jorge (2012), estima-se que ocorre uma perda de 25% de energia no sistema atual de transporte e distribuição de energia por efeito Joule. A empresa Witricity garante que é possível obter uma eficiência de até 95% na transmissão de energia elétrica sem fio. Isto é possível, pois a transferência por ressonância é altamente seletiva em termos de frequência (SADIKU, 2013).

A eficiência da transmissão de energia depende da distância entre o transmissor e o receptor e do tamanho de suas respectivas bobinas. É importante ressaltar que a transmissão não é afetada por paredes e obstáculos (WITRICITY, 2015). Desse modo, a eficiência na transmissão de energia pode se dar de maneira a se conseguir níveis de eficiência de transferência muito maiores com a transmissão sem fio, do que com a própria transmissão convencional, com fio.

A utilização de aparelhos sem fio seria um ponto positivo para o meio ambiente, visto que a demanda de cabos seria reduzida. Além da independência da tomada, isso eliminaria os riscos de choques elétricos e seria possível o acoplamento indutivo a fim de transmitir energia elétrica a mais de um dispositivo simultaneamente (WITRICITY, 2009). Seguindo este raciocínio, existem inúmeras possibilidades que seriam tangíveis: desde carregadores de celular até o funcionamento de equipamentos domésticos, sem a necessidade de estarem conectados à tomada.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi projetado um circuito para a aplicação do conceito de indução eletromagnética conforme demonstrado na figura 1. Para isso, foram utilizados os seguintes componentes, listados na tabela 1:

Tabela 1 - Lista de Materias Protótipo Indução

Material	Unidade	Especificação
Bateria	1 unidade	9 V
Bobina (primária)	1 unidade	Ø=0,51mm, 24 voltas
Bobina (secundária)	1 unidade	Ø=0,51mm, 24 voltas
Capacitor	1 unidade	100 nF
Led	1 unidade	Vermelho
Protoboard	1 unidade	-
Resistor	1 unidade	1 KΩ
Transistor	1 unidade	2N3904

Fonte: Autores

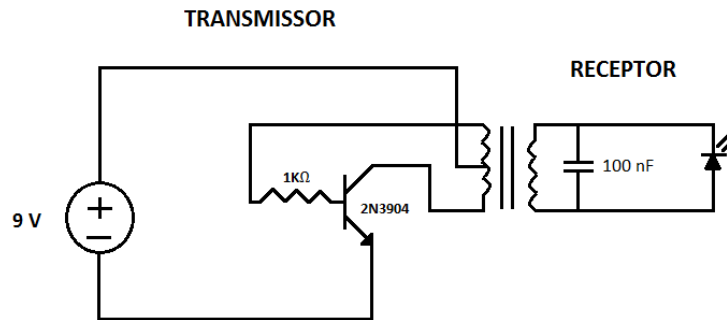


Figura 1 – Circuito indutivo  
Fonte: Autores

No circuito transmissor, no primeiro instante, a bobina primária está polarizada positivamente com uma tensão de 8,3 volts; em seguida, a base do transistor é alimentada, polarizando negativamente a bobina primária. Como os elétrons ora percorrem um sentido, ora em outro, a corrente é alternada.

A bobina do circuito receptor é excitada pelo campo magnético produzido pela bobina primária, acendendo um *led* no semiciclo positivo. A função do capacitor é filtrar as variações de tensão, possibilitando que a iluminação do *led* seja mais estável.

Para a projeção do circuito ressonante, foi imprescindível o uso de deduções matemáticas para definir o valor dos componentes a serem usados. Inicialmente, para determinar a capacitância, foram definidos a frequência da fonte de alimentação de 200 KHz e uma bobina com vinte e cinco espiras, com 4,5 cm de diâmetro.

Foi projetado um circuito para a aplicação do conceito de ressonância acoplada conforme demonstrado na figura 2. Para isso, foram utilizados os seguintes componentes, listados na tabela 2:

Tabela 2 – Lista de Materiais Protótipo Ressonância

	Material	Quantidade	Especificação
Circuito Transmissor	Bobina	1	Ø=0,51mm, 25 volts
	Capacitor	2	Cerâmico, 3,3nF
	Capacitor	2	Cerâmico, 10nF
	Capacitor	1	Cerâmico, 100nF
	CI 7404	1	-
	LM 7805	1	-
	Módulo L298N	1	-
	Protoboard	1	-
Circuito Receptor	Bobina	1	Ø=0,51mm, 25 volts
	Cabo de carregador	1	Padrão Nokia
	Capacitor	5	Cerâmico, 3,3nF
	Celular	1	Nokia 201 RM
	Diodo	1	1N4007
	Diodo Zener	1	1N4734

Fonte: Autores

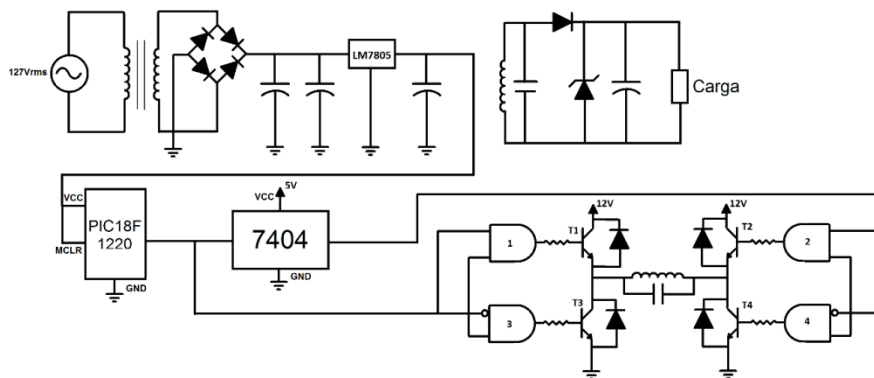


Figura 2 – Circuito ressonante  
Fonte: Autores

Foi configurado para o PIC18F1220 ter saída de onda quadrada com um *duty cycle* de 50%. Para selecionar o grupo de transistores a serem acionados, foi utilizado o circuito integrado 7404, uma porta lógica *not*. A fim de se obter uma corrente alternada nos terminais da bobina, com tensão de 16,4 V no semiciclo positivo e negativo, foi utilizado o módulo ponte H L298N.

No circuito receptor, tem-se a bobina em paralelo com cinco capacitores de 3,3 nF. Em seguida, com intuito de transformar a corrente alternada em corrente contínua, há um retificador de meia onda utilizando um diodo 1N4007. Para a estabilização da tensão após a retificação, foi colocado um capacitor de 100 nF. Devido à necessidade de alimentar a carga com aproximadamente 5 V, foi utilizado o diodo zener, que regula a tensão para 5,6 V, finalizando o circuito receptor.

Para aumentar a distância na transmissão de energia, é possível a construção de repetidores, apenas utilizando uma bobina de 25 espiras em paralelo com 5 capacitores de 3,3 nF.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Finalizados os protótipos de transmissão de energia por indução e ressonância, foram analisadas as formas de ondas nas bobinas transmissoras, bem como, a distância máxima de detecção de campo magnético entre as bobinas. Subsequentemente, foram coletadas as tensões detectadas pelas bobinas receptoras, em função da distância das bobinas transmissoras, representas pelo gráfico 1:

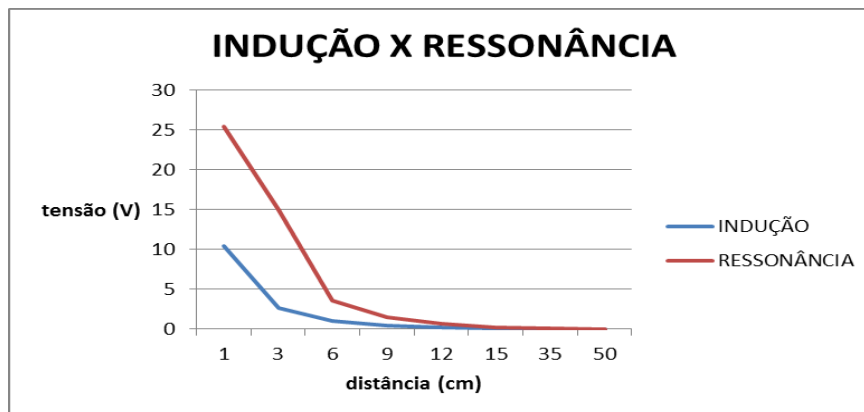


Gráfico 1 – Indução x Ressonância  
Fonte: Autores

Ao colocar um led no circuito receptor de ambos os protótipos, para acender o led, na indução, a distância máxima foi de 4 cm entre as bobinas, enquanto na ressonância, 9 cm. Todavia, utilizando um repetidor na ressonância, essa distância aumentou para 12 cm. O último passo dos testes foi carregar um celular através da ressonância acoplada magneticamente, representado na figura 3.

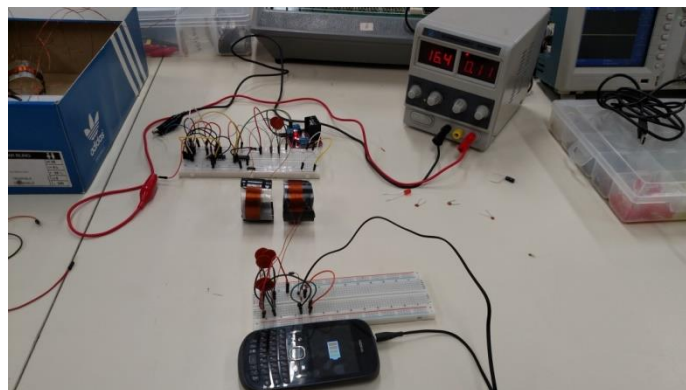


Figura 3 – Carregamento do celular  
Fonte: Autores

No gráfico 3.1, na indução eletromagnética, nota-se que há uma perda de tensão entre o gerador e a bobina transmissora. A uma distância de 1 cm, de 16,5 V da fonte de alimentação, apenas 10,4 V é apresentada na bobina. Isto ocorre pelo fato da presença da potência reativa, ou seja, a corrente não estava em fase com a tensão. O gerador não oscilava na mesma frequência natural de oscilação do circuito LC em paralelo, com isso, ocorre uma perda considerável de campo magnético que “volta” para a fonte, devido este não ser um circuito puramente resistivo. Na ressonância, acontece o processo inverso da indução. Como citado anteriormente, quando a frequência de oscilação da fonte coincide com a frequência natural de oscilação do circuito LC, a amplitude tende a aumentar. Com a montagem do protótipo isto pode ser comprovado na prática, visto que, a uma distância de 1 cm, a tensão da fonte era de 16,5 V e a tensão na bobina primária de 25,4 V.

Outro ponto positivo da ressonância é a questão da distância de detecção do campo magnético. Enquanto na indução foi medido 16 mV a uma distância de apenas 35 cm, na ressonância atingiu-se 11,8 mV a uma distância de 50 cm.



## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A transmissão de energia sem fio, pode ser considerada uma tecnologia relativamente nova. A indução é facilmente encontrada no mercado, no entanto, ainda possui suas deficiências em termos de distância e desempenho.

Com esta tecnologia é possível presumir uma residência onde se tenha um transmissor de energia sem fio e, repetidores distribuídos pela casa, permitindo uma maior comodidade e segurança no uso dos aparelhos eletrodomésticos.

Feitos os testes da máxima tensão de pico, máxima detecção de campo magnético e carregamento sem fio de uma carga, a partir dos dados obtidos conclui-se que, a ressonância é mais eficiente e melhor se encaixou no objetivo do projeto. Com isso, pode-se concluir que a ressonância é um novo passo para o melhoramento desta tecnologia.

## REFERÊNCIAS

ALEXANDER, Charles; SADIKU, Matthew. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. 5. ed. Porto Alegre: Grupo A, 2013.

BLUNDELL, Stephen. **Magnetism: a very short introduction**. 1. ed. Oxford: Oxford University Press, 2012.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos de Física: eletromagnetismo**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

JORGE, Luis Filipe Romba. **Sistema de Transmissão de Energia Elétrica: sem utilização de cabos nem meios ferromagnéticos**. 2012. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Electrotécnica, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012. Cap. 2.

TESLA, Nikola Tesla's Electricity Inventions. Disponível em: <<http://www.teslasociety.org/>>. Acesso em: 03 de maio de 2015.

WITRICITY, Witricity Technology: The Basics. Disponível em: <<http://witricity.com/pages/technology.html/>> Acesso em: 2 de maio de 2015.