

## PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA SEM FIO E SUAS APLICABILIDADES

### MAIN WIRELESS ELECTRIC POWER TRANSMISSION TECHNOLOGIES AND THEIR APPLICABILITIES

Ana Cláudia Alves da Costa Mattza<sup>1</sup>  
Adauri Silveira Rodrigues Júnior<sup>2</sup>

**RESUMO:** A transmissão de energia elétrica sem fio virou realidade nos dias de hoje, o que é relevante devido a aplicabilidade e autonomia que esta tecnologia contempla. A pergunta norteadora é: Quais são as principais tecnologias de transmissão de energia elétrica sem fio e onde se aplicam? Assim sendo, o presente estudo visou apresentar de forma geral as principais tecnologias de comunicação sem fio, incluindo o padrão Qi de carregamento. Sendo este, o padrão mais utilizado na atualidade devido a produção e consumo em massa de aparelhos móveis, especialmente, *smarthphones*. Quanto à metodologia, foi realizada uma revisão de literatura publicada nas principais bases de dados, de periódicos nacionais e internacionais sobre a temática. As principais aplicações desenvolvidas em trabalhos científicos foram observadas, bem como suas características de operação, níveis de potência típicos, distanciamentos característicos. O objetivo geral buscou compilar até a presente data, documentações e artigos científicos relacionados à sapiência da teoria de WPT, bem como suas principais tecnologias, tal qual dos fatores que se fazem necessários para a aplicabilidade das mesmas. Também foram pesquisados os principais efeitos biológicos da radiação eletromagnética. Inicialmente, a introdução ao tema transmissão de energia elétrica sem fio abordou marcos históricos no desenvolver da área, bem como uma breve descrição dos principais tipos de transferência sem fios encontradas nas bibliografias. Em seguida, os princípios do eletromagnetismo foram descritos, já que o mesmo rege o tema. Posteriormente, foram apontados os demais padrões presentes nessa tecnologia. Conclui-se que, as tecnologias de transmissão de energia elétrica atuais possibilitam a transmissão de energia sem fio, contudo, de forma limitada devido ao curto alcance e ao valor dispendioso. Ainda, as tecnologias implementadas atualmente utilizam frequências menores que 150 MHz, de forma que, não ocasionam danos à saúde humana.

**Palavras-chave:** Transmissão de energia sem fio. Padrão Qi. Carregamento.

<sup>1</sup> Graduanda no Curso de Engenharia Elétrica. Universidade de Vassouras. Orcid: 0000-0001-6765-3936. E-mail: anamattza@hotmail.com.

<sup>2</sup> Professor na Universidade de Vassouras. E-mail: adauri.junior@yahoo.com.br

**ABSTRACT:** Wireless electric power transmission has become a reality nowadays, which is relevant due to the applicability and autonomy that this technology contemplates. The guiding question is: What are the main wireless electric power transmission technologies and where do they apply? Therefore, the present study aimed to present in a general way the main wireless communication technologies, including the Qi charging standard. This being the most used standard nowadays due to the mass production and consumption of mobile devices, especially smartphones. As for the methodology, a review of the literature published in the main databases of national and international journals on the subject was carried out. The main applications developed in scientific works were observed, as well as their operating characteristics, typical power levels, characteristic distances. The general objective sought to compile, to date, documentation and scientific articles related to the wisdom of the WPT theory, as well as its main technologies, as well as the factors that are necessary for their applicability. The main biological effects of electromagnetic radiation were also researched. Initially, the introduction to the topic of wireless electric power transmission approached historical milestones in the development of the area, as well as a brief description of the main types of wireless transfer found in the bibliographies. Then, the principles of electromagnetism were described, since it governs the theme. Subsequently, the other patterns present in this technology were pointed out. It is concluded that current electric energy transmission technologies allow wireless energy transmission, however, in a limited way due to the short range and expensive value. Still, the technologies currently implemented use frequencies lower than 150 MHz, so that they do not cause harm to human health.

**Keywords:** Wireless power transmission. Qi pattern. Loading.

## INTRODUÇÃO

A tecnologia da transmissão de energia elétrica sem fio (*Wireless Power Transfer - WPT*) abrange diversos benefícios à população mundial. Além de garantir de fato a mobilidade e praticidade, há inúmeras vantagens na utilização da mesma, tais como: inutilização de baterias; fim da poluição visual causadas por cabos e evita ainda: choques elétricos; supressão do efeito Joule sobre cabos conectores; incomplexidade da transmissão de energia para localidades longínquas dos centros geradores; aniquilamento de curto circuitos provocados por anomalias em cabos. Contudo, os cientistas ainda não determinaram meios de distribuição em larga escala, de forma que alcance longas distâncias (BHATT, GANAPURAM; PANDEY, 2021).

O grupo de empresas WPT, estabelecido para o desenvolvimento de padrões aberto e colaborativo, tem se dedicado a se expandir e progredir dentro da área de WPT.

Além de dispositivos portáteis, uma infinidade novas aplicações, como laptops, tablets, drones, robôs, carros conectados e cozinha inteligente. A WPT mantém e desenvolve padrões para múltiplas aplicações de energia sem fio, o que inclui o padrão Qi, para *smartphones* e outros equipamentos (CHHAWCHHARIA et al., 2018).

A problemática da WPT se dá através de seu estado atual, pois é limitado a distâncias muito pequenas. Ademais há a problemática do custo-benefício, que no momento se comparado aos sistemas que utilizam cabos, é algo dispendioso, todavia, seu consumo em massa a tornaria acessível (CUI et al., 2022).

Mas quais são as principais tecnologias de transmissão de energia elétrica sem fio e onde se aplicam? A presente revisão tem como objetivo geral compilar até a presente data, documentações e artigos científicos relacionados à sapiência da teoria de WPT, bem como suas principais tecnologias, tal qual dos fatores que se fazem necessários para a aplicabilidade das mesmas. Dentre os objetivos específicos, o conhecimento sobre os efeitos biológicos da radiação eletromagnética. Ainda, que o trabalho sirva como referência em estudos associados à expansão desta tecnologia, visto que o assunto ainda é pouco explorado e pouco difundido no meio acadêmico.

O estudo da revisão bibliográfica foi realizado por meio de pesquisa de artigos científicos publicados, livros e informações, em portais de busca como Science Direct, Elsevier, Google Acadêmico e ResearchGate. Realizou-se a análise e compilação dos dados científicos disponíveis, no tocante a experimentos de WPT efetuados anteriormente por renomados cientistas, priorizando os mais atuais acessíveis na área de estudo.

## 1.CONTEXTO HISTÓRICO

No século XIX, no qual ocorreram inovações de significativo desenvolvimento em diversas áreas, especialmente para área de elétrica, pesquisas de transmissão elétrica sem fio deram início. Dentre os experimentalistas que contribuíram estão Hertz, Ampere, Faraday e Maxwell, este forneceu equações matemáticas para campos eletromagnéticos e ondas. Ainda, Nikola Tesla, que com seus experimentos investigou a WPT através de longas distâncias e apresentou um sistema empírico, conhecido como a bobina de Tesla,

na exposição mundial de Chicago (*World Exposition of Chicago*) no ano de 1893. Posteriormente, Tesla obteve a patente (U.S. Patent 649 621) pela transmissão de energia sem contatos utilizando indutores desacoplados a longas distâncias (JOANNOPOULOS; KARALIS; SOLJACIC, 2011). As altas voltagens geradas pela bobina de Tesla têm aplicações industriais e científicas largamente utilizadas, como em alguns fornos industriais de indução, geradores de descargas elétricas em gases, detecção de vazamentos em sistemas de vácuo e ainda, em medicina. Um de seus projetos foi a torre de *Wardenclyffe*, pelo qual pretendia distribuir energia sem fio e de graça para cidade inteira (CHIQUITO; LANCIOTTI, 2000).

Já no século XX, em 1964, o cientista William Brown também contribuiu para a pesquisa de WPT com o desenvolvimento de uma antena retificadora que recebia micro-ondas e as transformava em corrente contínua. Este preceito, conhecido como MPT, cuja capacidade e possibilidades de melhoria atingiram um estágio de avanço e progresso capaz de aprovisionar energia a um helicóptero não tripulado a 18 m de distância do solo. Embora Brown tenha contribuído no avanço da transmissão de energia sem fio, sua pesquisa nunca saiu dos laboratórios, pois não eram comercialmente viáveis devido a robustez e dispendiosidade de seus protótipos (DENNY, 2020). Na década de 60, por meio do método indutivo (IPT), a General Electric-GE desenvolve a primeira escova de dentes elétrica sem fio. Entretanto a invenção também fracassou, pois além de ser muito volumosa, sua bateria era de níquel-cádmio e por ter que ficar mantida no carregador, o prazo de vida útil da bateria era curto, perdeu o intuito de mobilidade. Ainda, o aparelho era selado e não era possível trocar a bateria (KWEON, 2000).

No século XXI, um grupo de pesquisadores do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) desenvolveu um experimento visando acender uma lâmpada de 60 watts sem a necessidade de condutores utilizando como base uma longa pesquisa na área de circuitos ressonantes, campo magnético, eletromagnetismo, indução magnética, entre outros. Neste experimento, as bobinas foram colocadas com a mesma frequência de ressonância, para que houvesse a criação de um campo magnético contínuo trocando energia sem grandes perdas, mesmo que elas estivessem separadas por uma distância de dois metros.

Diante o resultado da experiência e visando a expansão e comercialização da nova tecnologia, a empresa *WiTricity Corp* foi fundada pelos pesquisadores do MIT (PAWADE; NIMJE; DIWASE, 2012).

Durante muito tempo não houve progresso no desenvolvimento desta tecnologia, pois não havia aplicabilidade. Porém, a partir das novas exigências impostas pelo mercado, pesquisadores voltaram a desenvolver pesquisas na área buscando outros meios práticos e novas concepções, por meio dos estudos de Tesla. Em uma busca contínua pela modernização, o mercado começou a investir em novas tecnologias. As pesquisas sobre a energia elétrica sem fio e suas aplicações são difundidas e ampliadas a diversos campos, como sistemas aeroespaciais, equipamentos (carregadores de celular, *smartwatches*, entre outros aparelhos portáteis e/ ou móveis), dispositivos médicos implantáveis (ZHU et al., 2015).

O mercado tem investido em pesquisas voltadas a WPT. Em razão disto, a *Wireless Power Consortium* (WPC), fundada em 2008, desenvolveu a tecnologia chamada padrão Qi (A palavra Qi vem do conceito do intangível fluxo de energia, significando energia vital), que transfere carga para o dispositivo por meio de indução, em distâncias de até 4 cm (SHIDUJAMAN; SAMANI; ARIF, 2014; RAO; GEETHA, 2016). Apesar de desenvolvida em 2008, a tecnologia Qi só foi divulgada em 2010. Funciona no princípio da indução magnética para carregar dispositivos como *smartphones*; relógios inteligentes e ferramentas elétricas. É necessário colocar o dispositivo compatível em cima de um bloco de carregamento para absorver a eletricidade sem fio, mas não precisa conectar nada ao aparelho, o sistema utiliza acoplamento indutivo ressonante (MOU; SUN, 2015).

Este padrão pressupõe a transmissão indutiva de energia à curta distância (10 mm a 50 mm). O campo magnético fica concentrado em uma pequena região entre o transmissor e o receptor. Um transmissor é capaz de fornecer energia para um único receptor por vez. Os produtos são categorizados pelas escalas de potência, tendo os de 5, 15 e 20 W, que operam frequências de 100 a 205 kHz (PAEZ, 2020).

## 2.FUNDAMENTOS TEÓRICOS

O sistema de transferência de elétrica energia sem fio funciona com base nos princípios do eletromagnetismo e alguns conceitos físicos e matemáticos fundamentais abrangem esta tecnologia.

### 2.1 CAMPO MAGNÉTICO

De acordo com Halliday, Resnick e Walker (2009), existem dois modos de se produzir um campo magnético: por meio de imã permanente e uma corrente elétrica. O primeiro produz um campo magnético ao seu redor, assim como a corrente elétrica ao passar por um condutor. A corrente elétrica é constituída por partículas eletricamente carregadas em constante movimento e por isso causam este fenômeno. O campo magnético produzido por um imã permanente ocorre devido às características encontradas em partículas elementares que compõem matérias, por exemplo os elétrons que por natureza possuem um magnetismo ao seu redor. Estes, quando associados em um material propício (materiais magnéticos) formam um único campo magnético permanente. Em materiais que inibem esta ação ocorre o oposto, os elétrons associados cancelam o campo magnético.

699

As linhas do campo magnético de um imã permanente são orientadas pelos polos norte e sul. As linhas atravessam o interior do imã de maneira uniforme e seguem do polo norte para o polo sul, formando curvas proporcionais. Em suas extremidades a concentração das linhas do campo magnético é maior do que na parte superior e inferior, conseqüentemente a intensidade do campo é proporcional (COEY, 2002).

As linhas do campo magnético inseridas em um condutor causadas pela presença de uma corrente elétrica têm a sua direção e sentido determinados pela regra da mão direita. O polegar simboliza o sentido convencional da corrente e os demais dedos indicam as linhas do campo magnético produzido. Com o sentido da corrente elétrica apontando para baixo o campo magnético tem a sua direção indicada para dentro da folha. Já o sentido da corrente elétrica para cima, o campo magnético é orientado para

fora da folha. Ambas as ocasiões o campo magnético é perpendicular à reta tracejada (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

## 2.2 LEI DE BIO-SAVART

Segundo Tipler e Mosca (2009), a lei de Bio-Savart determina o campo magnético gerado por uma corrente elétrica em um determinado ponto próximo ao condutor. Considerando o fio condutor como elemento infinitesimal, um elemento de indução magnética é dirigido em direção perpendicular ao  $d\vec{l}$  e ao vetor posição de segmento do condutor ao ponto P. Este elemento é diretamente proporcional ao comprimento  $d\vec{l}$  e a corrente elétrica no condutor é inversamente proporcional ao vetor.

Deste modo, a lei de Bio-Savart é dada pela Equação 1 vetorial, onde encontra-se o valor do campo magnético ( $d\vec{B}$ ) associado a cada elemento de corrente. Desta maneira quando houver mais distribuições de corrente no circuito elas deverão ser somadas (TIPLER; MOSCA, 2009).

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2} \quad (1)$$

Onde:

$d\vec{B}$  = vetor campo magnético (T)

$\mu_0$  = permeabilidade magnética no vácuo ( $4\pi 10^{-7}$ )H/m

I = corrente elétrica (A)

$d\vec{l}$  = vetor de comprimento do fio condutor (m)

r = raio do fio condutor (m)

$\hat{r}$  = vetor posição, distância entre o condutor e o ponto P (m)

## 2.3 LEI DE AMPÈRE

Quando houver vários elementos de corrente em um circuito, o cálculo do campo magnético total produzido dependerá da forma em que as correntes estarão distribuídas. A lei de Ampère estabelece que em qualquer curva fechada, o integral de linha do campo magnético é proporcional à corrente elétrica que passa através da curva. A lei de Ampère

é uma das leis mais importantes do eletromagnetismo e muito difundida como a lei da “regra da mão direita”, definida em função do campo magnético em torno de um deslocamento fechado (Equação 2) (VILLATE, 2011).

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \cdot i \quad (2)$$

Onde:

$\oint d\vec{l}$  = integral de linha

$\vec{B}$  = vetor densidade do fluxo magnético (T)

$\mu_0$  = permeabilidade magnética no vácuo ( $4\pi \cdot 10^{-7}$ )H/m)

$i$  = corrente (A)

#### 2.4 LEI DE FARADAY OU LEI DE INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

A lei define que o módulo da força eletromotriz (fem) induzida em uma espira condutora é igual à taxa de variação do fluxo magnético que atravessa a espira em função do tempo. Faraday constatou esta lei através de uma experiência na qual dois blocos de madeira com características semelhantes foram utilizados. Cada bloco foi enrolado com fios de cobre, e suas extremidades conectadas em um galvanômetro e uma bateria. Ao ocorrer uma variação do fluxo magnético na bobina indutora em um determinado período, uma tensão (fem induzida) aparece na bobina induzida proporcional à variação do fluxo magnético (GIACOMELLI; SILVA; ROSA, 2020).

---

701

#### 2.5 LEI DE LENZ

A lei de Lenz complementa a lei de Faraday. Lenz explica que a força eletromotriz e o campo induzido são sempre no sentido que produz um campo magnético induzido, que contraria a variação do fluxo magnético externo (VILLATE, 2011).

$$fem = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (3)$$

Onde:

Fem = Força eletromotriz



$d\Phi$  = variação do fluxo magnético ( $T.m^2$ )

$dt$  = variação do tempo (s)

fem = tensão induzida (V)

## 2.6 CAMPO MAGNÉTICO DE UM SOLENOIDE

Um solenoide é um tipo de bobina composto por fios condutores enrolados muito próximos uns aos outros, e quando uma corrente elétrica é colocada em seus terminais, um campo magnético intenso e uniforme é formado por suas espiras (TIPLER; MOSCA, 2009).

Cada campo magnético produzido por uma espira do solenoide contribui, por meio de uma soma vetorial, para a formação do campo magnético total. No fim, a intensidade do campo magnético será maior devido às contribuições ocorrentes. A distribuição das linhas do campo magnético produzido por um solenoide é semelhante em um ímã permanente, elas tendem a sair por um lado e entrar por outro. No interior do solenoide o campo magnético é intenso e uniforme, enquanto em seu exterior a intensidade é extremamente reduzida, uma característica que também é vista nos ímãs permanentes (MUSSOI, 2005).

702

## 2.7 INDUTÂNCIA MÚTUA

Conforme Hussain e Woo (2022) para dimensionar uma bobina e calcular o desempenho relacionado à potência é necessário determinar a indutância mútua. Ao energizar uma bobina cria-se um fluxo magnético ao seu redor, devido à corrente elétrica. Este fluxo próximo a uma segunda bobina induz uma tensão sobre ela, ocasionando a indutância mútua. Inicialmente, no circuito da bobina 1 percorre uma corrente em função do tempo, esta é responsável pela criação de um campo magnético que por conseguinte cria um fluxo magnético variável  $\Phi_{21}$  ao seu redor. As linhas deste campo atravessam o circuito, que inicialmente está desenergizado criando outro fluxo magnético variável na bobina 2, responsável pela 'fem' induzida, essa por sua vez promove uma corrente induzida  $I_1$  (TIPLER; MOSCA, 2009).

A variação do campo magnético na bobina 2 está diretamente relacionado com a variação da corrente na bobina 1 (Equação 4).

$$\frac{d\Phi}{dt} \propto \frac{dI_1}{dt} \quad (4)$$

Onde:

$d\Phi$  = variação do fluxo magnético (T.m<sup>2</sup>)

$dt$  = variação do tempo (s)

$dI_1$  = variação da corrente no primeiro circuito (A)

$\alpha$  = constante de proporcionalidade

A Equação 4 pode ser substituída por uma igualdade obtendo-se a definição da constante de indutância mútua (Equações 5 e 6).

$$\frac{d\Phi_{21}}{dt} = M_{21} \frac{dI_1}{dt} \quad (5)$$

$$M_{21} = \frac{d\Phi_{21}}{dI_1} \quad (6)$$

Onde:

$d\Phi_{21}$  = variação do fluxo magnético ente os dois circuitos (T.m<sup>2</sup>)

$dt$  = variação do tempo (s)

$dI_1$  = variação da corrente no primeiro circuito (A)

$M_{21}$  = constante de indutância mútua entre os dois circuitos (H)

## 2.8 COEFICIENTE DE ACOPLAMENTO

O coeficiente de acoplamento juntamente com a indutância mútua indica o quanto dois sistemas estão conectados um ao outro. Estes sistemas são dispostos próximos, porém apenas um é conectado a fonte de tensão (primário), o outro será induzido e receberá parte do fluxo produzido (secundário). Se todas as linhas de força do campo atravessam o enrolamento secundário o fator de acoplamento é 1, no entanto, se nenhuma linha de força atravessar o secundário, então o  $k$  é igual a zero, deste modo o coeficiente de acoplamento varia entre 0 e 1. A razão entre o fluxo magnético do

secundário em relação ao primário é o coeficiente de acoplamento (Equações 7 e 8) (JORGE, 2012).

$$k = \frac{\phi_2}{\phi_1} \quad (7)$$

$$k = \frac{M_{12}}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (8)$$

Onde:

$k$  = coeficiente de acoplamento

$\phi_1$  = fluxo magnético do primário (T.m<sup>2</sup>)

$\phi_2$  = fluxo magnético do secundário (T.m<sup>2</sup>)

$M_{12}$  = Indutância mútua entre primário e o secundário (H)

$L_1$  = Indutância do primário (H)

$L_2$  = Indutância do secundário (H)

## 2.9 CIRCUITOS RESSONANTES

Este tipo de circuito possui uma curva característica que relaciona faixas de frequências com valores de tensão e corrente que podem ser obtidos em um sistema. As frequências dos extremos não causam alterações significativas na saída do circuito. Os circuitos ressonantes possuem elementos indutivos, capacitivos e resistivos, quando submetidos a uma determinada frequência armazenam energia que oscila entre os elementos reativos (indutores e capacitores) do sistema garantindo um estado de ressonância. Esses elementos, sendo ideais ao atingirem o estado de ressonância, passam a ser autossustentáveis. A impedância total do circuito será conforme a Equação 9 (BOYLESTAD, 2004).

$$Z_t = R_S + R_D + R_L + j(X_L - X_C) \quad (9)$$

Onde:

$Z_t$  = impedância total ( $\Omega$ )

$R_S$  = resistência da fonte  $E_s$  ( $\Omega$ )

$R_D$  = resistência para fins de projetos ( $\Omega$ )

$R_L$  = resistência atribuída pelo indutor ( $\Omega$ )

$X_L$  = reatância indutiva ( $\Omega$ )

$X_C$  = reatância capacitiva ( $\Omega$ )

Sendo que:

$$X_L = j \omega L \quad (10)$$

$$X_C = \frac{1}{j \omega C} \quad (11)$$

$$\omega = 2 \pi f \quad (12)$$

Onde:

$X_L$  = reatância indutiva ( $\Omega$ )

$\omega$  = frequência angular (rad/s)

$L$  = indutância (H)

$X_C$  = reatância capacitiva ( $\Omega$ )

$C$  = capacitância (F)

$f$  = frequência normal (Hz)

$X_L$  e  $X_C$  são elementos reativos dependentes da frequência do sistema, e por isso a condição de ressonância é concedida quando  $X_L = X_C$ . Esta condição extrai os componentes reativos ( $jX_L - jX_C$ ) da equação (9), transformando-a nas Equações 13 e 14. A impedância total será a soma dos elementos resistivos do circuito para condições de ressonância, como na Equação 13 (BOYLESTAD, 2004).

$$Z_t = R_S + R_D + R_L \quad (13)$$

$$Z_t = R \quad (14)$$

Onde:

$Z_t$  = impedância total ( $\Omega$ )

$R_S$  = resistência da fonte  $E_s$  ( $\Omega$ )

$R_D$  = resistência para fins de projetos ( $\Omega$ )

$R_L$  = resistência atribuída pelo indutor ( $\Omega$ )

R = resistência total do circuito ( $\Omega$ )

A Equação 14 é uma representação da Equação 13, indicando apenas uma resistência no novo circuito reduzido, que terá uma nova característica. Ao igualar os valores dos elementos reativos presentes no sistema será obtida a frequência ideal para que esses entrem em estado de ressonância (Equações 15 e 16) (BOYLESTAD, 2004).

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad (15)$$

$$\omega s = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (16)$$

Onde:

$\omega$  = frequência angular (rad/s)

L = indutância (H)

C = capacitância (F)

$\omega s$  = frequência angular do circuito ressonante série (rad/s)

O índice s simboliza condições de circuito ressonante série. Substituindo  $\omega$  será apurado o valor da frequência (Equação 17) (BOYLESTAD, 2004).

---

706

$$f s = \frac{1}{2 \pi \sqrt{LC}} \quad (17)$$

Onde:

f = frequência do circuito ressonante série (Hz)

C = capacitância (F)

L = indutância (H)

## 2.10 FATOR DE QUALIDADE

Representa a razão entre a quantidade de energia que foi armazenada pelo sistema ressonante e a energia dissipada (Equações 18 e 19).

$$Q_s = \frac{\text{Potência Reativa (VAR)}}{\text{Potência Média (W)}} \quad (18)$$

$$Q = \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \frac{1}{R} = \frac{\omega}{R} \quad (19)$$

Onde:

$\omega$  = frequência angular (rad/s)

L = indutância (H)

C = capacitância (F)

R = resistência ( $\Omega$ )

Q = fator de qualidade

O fator de qualidade é um importante indicador de intensidade e concentração da ressonância em que o circuito se encontra. Um melhor índice é obtido quando o valor da potência dissipada for extremamente inferior à potência absorvida, pois o sistema absorverá mais energia, e conseqüentemente melhores resultados de corrente e tensão elétrica em sua saída (ZHONG; HUI, 2015).

## 2.II SELETIVIDADE

Segundo Chiquito e Lanciotti (2000), os circuitos ressonantes em condições ideais deveriam responder apenas a uma determinada frequência apenas. Os circuitos ressonantes possuem uma faixa de frequências que possibilitam valores máximos de tensão e corrente elétrica na saída dos circuitos e valores mínimos de impedâncias. Essa faixa de frequências pode ser relacionada em uma curva de seletividade dimensionada conforme os valores de resistência, indutância e capacitância (Equações 20 e 21).

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \left[ -\frac{R}{2L} + \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{R}{L}\right)^2 + \frac{4}{LC}} \right] \quad (20)$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{R}{2L} + \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{R}{L}\right)^2 + \frac{4}{LC}} \right] \quad (21)$$

Onde:

$f_{1}$  = frequência mínima de corte (Hz)

$f_{2}$  = frequência máxima de corte (Hz)

R = resistência ( $\Omega$ )

L = indutância (H)

C = capacitância (F)

Relacionando as frequências de corte com a frequência de ressonância, existe uma alternativa de obter o valor de  $f_s$ , conforme a Equação 22 (CHIQUITO; LANCIOTTI, 2000).

$$f_s = \sqrt{f_1 f_2} \quad (22)$$

Onde:

$f_s$  = frequência do circuito ressonante em série (Hz)

$f_{2}$  = frequência máxima de corte (Hz)

$f_{1}$  = frequência mínima de corte (Hz)

A diferença entre as frequências de corte ( $f_2-f_1$ ) dimensionam a largura de banda. Um fator de qualidade pequeno tem como consequência uma grande largura de banda, que é a medida da variação de frequência, um item importante para o dimensionamento de sistemas ressoantes. Quanto menor a largura de banda maior a seletividade, ou seja, um circuito seletivo possui mais eficácia em seus resultados de modo que a seleção da frequência ideal seja realizada entre uma faixa de valores menor, diminuindo a probabilidade de erro e ineficiência (WEI et al., 2021).

## TIPOS DE PADRÕES DA WPC

Padrão Qi (pronúncia ‘Chee’): feito para smartphones e outros equipamentos móveis portáteis, este usa pequenos indutores para transmissão de energia em frequências mais altas e também suporta apenas alguns centímetros de distância máxima de carregamento (SHIDUJAMAN; SAMANI; ARIF, 2014);

Padrão Ki *Cordless Kitchen*: fornece até 2.200W para dispositivos sem fio e permite a integração perfeita de fogões em bancadas e outras superfícies (KASHYAP et al., 2021);

Padrão do Veículo Elétrico Leve (LEV): para uma forma mais veloz, segura, inteligente e conveniente de carregar bicicletas elétricas e *escooters*, tanto em casa quanto em trânsito. No setor de transportes é bastante relevante o uso desta tecnologia para uma economia de baixa emissão de carbono. A *Paris Declaration on Electro-Mobility e Climate Change and Call to Action* estabeleceram uma meta global de implantação de 100 milhões de carros elétricos e 400 milhões motos e triciclos elétricos até 2030 (DELGADO et al., 2017);

Padrão da indústria para WPT: segura e conveniente para carregar robôs, AGVs (*Automated Guided Vehicles*) e outras máquinas de automação industrial permitiu desenvolver e automatizar estes processos dos diferentes usos (industrial, doméstico, área médica, forças armadas e zonas de risco). O uso da tecnologia permite aumentar a sua eficiência, maximizar a produção com o menor consumo de energia e/ ou matérias primas, menor emissão de resíduos de qualquer espécie, melhora condições de segurança, seja material, humana ou das informações referentes a esse processo, ou ainda, de reduz o esforço ou a interferência humana sobre esse processo ou máquina (NOLLI et al., 2012).

### 1. SISTEMAS DE CARREGAMENTO SEM FIO

Carregamento por Acoplamento de Ímãs (PMPT): é utilizada na transferência de energia por meio de acoplamento de ímãs permanentes, sendo também um tipo de carregamento sem fios, que tem lugar através da rotação de um rotor de ímãs



permanentes (fonte) que por sua vez cria um campo magnético variável. O acoplamento magnético entre o rotor da fonte e o rotor do motor (carga), permite que os rotores girem à velocidade síncrona (ABAD et al., 2011; JIANG et al., 2013);

Carregamento Capacitivo (CPT): esta tecnologia tem sido utilizada na transferência de energia a pequenas distâncias. Na transferência CPT, a transferência entre a fonte e a carga é feita através de um campo elétrico variável. Este tipo de carregamento tem popularidade em aplicações de baixas potências, principalmente no carregamento de dispositivos eletrônicos portáteis de carregamento, roteamento de energia em circuitos integrados de grande escala, cartões inteligentes, implantes biomédicos (ERFANI et al., 2017);

Carregamento Indutivo (IPT): este utiliza a aplicação de uma corrente alternada em uma das bobinas para a ocorrência do campo magnético que varia no tempo. A tensão utilizada para energizar a carga é transferida por indução. Este é o princípio básico das máquinas elétricas, em que há transmissão da energia sem o contato físico, escova de dentes elétrica, bateria de barbeador carregando, fogões de mesa de indução e aquecedores industriais, carregamento de *e-bikes*, tendo-se diminuído os riscos de eletrocussão pela substituição das tomadas que ligam o veículo à rede elétrica (SUN; XIE; ZHIHUA, 2013; SAZONOV; NEUMAN, 2014);

Carregamento Indutivo Ressonante (RAPT): a eficiência é maior quando comparado ao método de indução. Com duas bobinas, afastadas entre si, à mesma frequência cria-se um sistema com um elevado acoplamento magnético, o que permite a transferência de uma elevada quantidade de energia. Esta tem sido cada vez mais utilizada na indústria, em dispositivos portáteis como smartphones, tablets, notebooks, fones de ouvido, implantes biomédicos, veículos elétricos, ônibus, trens (KURS et al., 2007).

## 2. FUNCIONAMENTO DO PADRÃO QI DE CARREGAMENTO

No tocante ao funcionamento de dispositivos que utilizam cabo, ao conectá-lo em um dispositivo, a corrente elétrica é passada pelo cabo conectado à tomada até este, no qual há um transformador. Quanto às fontes, Ferreira, Paiva e Dourado (2019)

ênfatazaram que a matriz elétrica no Brasil consiste no uso de fontes renováveis e não renováveis (maiores responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa) para geração de energia elétrica, como o carvão, petróleo e gás natural. Desta forma é importante esclarecer como essas fontes são empregadas nas usinas hidrelétricas, termelétricas, nucleares e eólicas, para a geração de energia.

A tecnologia do padrão Qi de carregamento sem fio foi desenvolvida a fim de permitir às indústrias um amplo uso de aplicações. Este padrão da WPC de transferência sem fio é amplamente adotado na indústria desde seu primeiro lançamento (2010). É considerado bastante conveniente para usuários e fabricantes de dispositivos, já que garante maior liberdade espacial entre o transmissor de energia e receptor (LIU, 2015). O primeiro padrão de energia sem fio lançado pelo consórcio foi para dispositivos móveis e de até 5 W de consumo.

Atualmente a força das águas é utilizada nas hidrelétricas para a geração de energia elétrica. Estas por sua vez são formadas basicamente por: reservatório, barragem, vertedouro e casa de força. Já a tecnologia Qi carrega os dispositivos por indução magnética, não sendo necessário conectar nenhum fio ao aparelho ao qual se deseja carregar, bastando apenas a aproximação com a base. Do mesmo modo, no carregador sem fio, também há esse “transformador” que compacta a voltagem. Até o momento a tecnologia Qi entrega até 15 W e promete uma ampliação futura que fornecerá até 60 W, o que permite o carregamento de laptop, além de carregar smartphones e outros dispositivos móveis portáteis com ampla autonomia de posicionamento (CHHAWCHHARIA et al., 2018).

O grupo WPC explica o funcionamento desta tecnologia Qi de transmissão de eletricidade sem fio. Segundo os desenvolvedores, uma corrente alternada na bobina transmissora gera um campo magnético que induz uma tensão na bobina receptora. Essa voltagem pode ser usada para alimentar um dispositivo móvel ou carregar uma bateria. E ainda, há muita tecnologia envolvida nos produtos além do que bobinas e correntes alternadas (WPC, 2017).

De acordo com LIU (2015) existem duas configurações básicas do padrão Qi. A formada por apenas uma bobina transmissora é o tipo mais simples, barato e com boa

eficiência. Porém, a desvantagem é a necessidade de posicionar o dispositivo a ser carregado exatamente na posição especificada. Os dispositivos eletroeletrônicos podem apresentar diferentes posicionamentos das bobinas, o que pode gerar um certo problema para posicioná-los. Existem algumas técnicas para tentar solucionar esse problema, como a utilização de ímãs próximo ao circuito receptor. Contudo, foi desenvolvida uma configuração mais complexa para contornar essa dificuldade utilizando múltiplos transmissores. Com isso, a topologia oferece uma certa liberdade de posicionamento espacial.

Atualmente, essa tecnologia evoluiu bastante e mostra elevado potencial para carregamento de alta potência de dispositivos: existem carregadores maiores que são capazes de carregar mais de um dispositivo e quanto mais perto da base, mais rápido a recarga. Há carregadores moldados para carregar smartphones, fones de ouvidos e smartwatches simultaneamente (RAYES et al., 2016).

### 3. EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Quando novas tecnologias são inseridas no mercado passam por diversas análises para garantir a confiabilidade e segurança para o consumidor, porém quando estas envolvem ações de ondas eletromagnéticas a preocupação é maior devido aos efeitos de sua interação com o corpo humano. Dependendo da frequência e da potência existe a possibilidade de ocorrer algum tipo de efeito biológico, o que não significa necessariamente a existência de um perigo para população. A transmissão sem fio por ser uma tecnologia que tem como princípio de funcionamento a interação de campos magnéticos a uma determinada frequência tornou-se uma dúvida de qual seria o dano provocado ao ser humano. Entretanto, de acordo com os estudos já iniciados sobre as radiações eletromagnéticas existem classificações e tabelas que indicam em quais são as frequências de risco (ABREU, 2012).

Segundo Cruz (2005) a radiação eletromagnética é classificada em duas categorias: radiação ionizante e radiação não ionizante. A radiação ionizante ocorre em frequências maiores que as da emissão da luz, como por exemplo, os raios X e os raios gama, onde os comprimentos de ondas são micrométricos, e por este motivo, é uma

radiação perigosa, pois possui energia suficiente para quebrar ligações químicas por ionização, o que faz com que o material genético do corpo humano possa ser danificado, levando a doenças como câncer, para tanto, ao trabalhar com esses raios é preciso utilizar roupas especiais de proteção.

Em frequências mais baixas que a da luz os campos eletromagnéticos não possuem energia suficiente para a quebra de ligações químicas por ionização, e são chamadas de radiação não ionizante, sendo assim não, atingem o material genético do ser humano, mas dependendo da frequência ainda traz certo risco físico a população (CRUZ, 2005).

Os efeitos biológicos estão associados aos efeitos térmicos e efeitos não térmicos em interação com as ondas eletromagnéticas, como mostrado na Tabela 1 (CRUZ, 2005).

**Tabela 1:** Frequência e os principais efeitos biológicos

Frequência Mhz	Comprimento de Onda (cm)	Local de maior efeito	Principal efeito biológico
>10.000	< 3	Pele	A superfície da pele age como refletor ou absorvente, com efeito, de aquecimento
10.000	3	Pele	Aquecimento da pele com sensação de calor
10.000 a 3.000	3 a 10	Camadas superficiais a pele	Lentes de olhos e testículos são particularmente sensíveis
10.000 a 1.000	3 a 30	Lentes dos olhos	Formação de cataratas e danos aos testículos
1.200 a 150	25 a 200	Órgãos internos	Prejuízos aos órgãos internos por sobre aquecimento
< 150	> 200	-	O corpo é transparente

**Fonte:** CRUZ, 2005 adaptado pela autora.

Pode-se observar, na Tabela 1, que para frequências menores que 150 MHz, o corpo humano é dado como transparente, ou seja, não há nenhuma influência desta radiação à saúde. Outro tipo de efeito biológico são os não térmicos, que podem ser caracterizados como fisiológicos e comportamentais. De acordo com pesquisas podem afetar o equilíbrio, a sensação de dor e o funcionamento do cérebro em geral. Porém

ainda não há evidências científicas relacionando estes tipos de efeitos com frequências baixas, menores de 150 MHz (CRUZ, 2005).

No que tange o uso da WPT até o presente momento, todas as tecnologias implementadas em pesquisa utilizam frequências bem menores que 150 MHz. Deste modo, este tipo de transmissão não prejudicará a saúde humana (ABREU, 2012).

## 5. TRABALHOS FUTUROS

A WPT atualmente é utilizada para recarregar alguns dispositivos a pequenas distâncias como, os carregadores de celular, escovas de dentes, relógios inteligentes. Entretanto, pesquisas ainda estão em processo de desenvolvimento para que esta tecnologia seja utilizada em transmissões à longa distância ou em substituição das redes de distribuição. DAS et al. (2022) enfatizam a importância de um suporte contínuo de inteligência computacional para o sistema de transmissão de WPT com qualidade, tanto em relação à segurança dos equipamentos quanto da humanidade. Os autores citam ainda que a WPT de longo alcance para aplicações no espaço está em fase experimental, sob operações de pesquisa da Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA) e da Agência Espacial do Japão. Já as operações comerciais estão atualmente em desenvolvimento pela *startup* Emrod, sediada em Nova Zelândia.

Estudiosos que investem constantemente na expansão desta tecnologia garantem que em um futuro bem próximo haverá a possibilidade de energizar diversos equipamentos à longa distância ao mesmo tempo sem a utilização de condutores. Um dos principais objetivos atuais é a integração de todos os equipamentos eletrodomésticos e eletroeletrônicos dentro de uma residência, onde estariam conectados eletromagneticamente por uma grande placa de ressonância magnética instalada em algum local da casa. Assim, através do campo magnético os demais equipamentos seriam acionados (JUNIOR, 2012).

Estudos e pesquisas estão em expansão para ampliar a utilização desta tecnologia e torná-la cada vez mais acessível, pois a eletricidade sem fio está se tornando uma necessidade atual e passará a ser uma grande concorrente das conexões tradicionais (JUNIOR, 2012).

A *Witricity* vem ganhando inúmeros adeptos que buscam estudar diferentes conceitos que possibilitem uma expansão desta tecnologia, para que o quanto antes todos possam usufruir de seus benefícios. Artigos científicos e trabalhos acadêmicos sobre o assunto ganham mais espaço em revistas científicas, sites acadêmicos, programas sobre tecnologias etc. Todos com o propósito de verificar a possibilidade de transmissão de energia elétrica sem fio por meio de sistemas ressoantes, garantindo uma maior eficiência a maiores distâncias (ABREU, 2012).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fora possível ao longo deste trabalho expor sobre as principais tecnologias de energia elétrica sem fio, suas aplicabilidades, bem como suas beneficiências, mas atualmente, as tecnologias de transmissão sem fio disponíveis são onerosas, ineficientes a longas distâncias, com funcionamento e equipamentos limitados, consequência de toda tecnologia em fase experimental. Contudo, a tendência é que essas desvantagens sejam supridas e se torne popular, tanto em questão de economia de energia quanto em reconhecimento do consumidor mediante sua adesão. O padrão Qi de carregamento tem elevado potencial e tem progredido no sentido de oferecer maior liberdade espacial, esta requerida por usuários e desenvolvedores de tecnologia sem fio. Outrossim, as tecnologias sem fio implementadas atualmente, não oferecem danos à saúde humana.

Consonante ao que foi observado nesta revisão, nota-se que a transmissão sem fio envolve muitos conceitos físicos e matemáticos que quando aplicados possibilitam a viabilidade deste tipo de transmissão.

Destarte, com a concretização da transmissão sem fio à longa distância haverá a substituição dos cabos conectores. Pesquisadores e acadêmicos têm buscado através de constantes estudos e pesquisas, métodos que proporcionem uma maior eficiência.

A WPT já é uma realidade disponível para a utilização através de diversos aparelhos eletroeletrônicos, proporcionando uma maior comodidade e praticidade a seus usuários. Sistemas de transferência de energia elétrica sem fio representam a tendência de pesquisa e desenvolvimento de aparelhos com maior liberdade, independência e

interoperatividade entre si. Assim como aconteceu com as redes de comunicação, os sistemas da WPT ainda precisam se consolidar e desenvolver, para conquistar mais mercado e se difundir nas aplicações residenciais e comerciais. Contudo, ainda é preciso superar os problemas de eficiência e desalinhamento sem renunciar aos protocolos de segurança, principalmente em relação a aquecimento de metais e a radiação eletromagnética.

Atualmente, diante a escassez sobre o assunto, principalmente sobre o padrão Qi de carregamento, pesquisas que visem futuras melhorias e bibliografias sobre o tema são de grande valia para o futuro da WPT. Sendo este aspecto considerado relevante para a realização desta revisão, que contribuirá para o acervo bibliográfico da tecnologia WPT, por ser a temática ainda em fase de implantação.

Em síntese, muitas pesquisas deverão ser desenvolvidas para uma melhor difusão do sistema, mas é indiscutivelmente uma energia futurista e que tende a dar comodidade, mobilidade e praticidade para seus consumidores.

## REFERÊNCIAS

ABAD, Gonzalo; LOPEZ, Jesus; RODRIGUEZ, Miguel; MARROYO, Luis; IWANSKI, Grzegorz. **Doubly fed induction machine: modeling and control for wind energy generation**. 1 st. Hoboken, NJ: Wiley-IEEE Press, 2011.

ABREU, Reinaldo Lima de. **Projeto e desenvolvimento de dispositivo para transmissão de energia elétrica sem fios por modos ressonantes**. 2012. Monografia (Especialização em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.

BHATT, K.; GANAPURAM, S.; PANDEY, S.V. A Review on unremitting growth of wireless electricity and its escalating demand in future. *In*: KUMAR, N.; TIBOR, S.; SINDHWANI, R.; LEE, J.; SRIVASTAVA, P. (eds) **Advances in interdisciplinary engineering**. Lecture notes in mechanical engineering. Singapore: Springer, 2021. Doi:10.1007/978-981-15-9956-9\_31.

BOYLESTAD, Robert L. **Introdução à análise de circuitos**. 10. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

CHHAWCHHARIA, Saransh; SAHOO, Sarat Kumar; BALAMURUGAN, M.; SUKCHAI, Sukruedee; YANINE, Fernando. Investigation of wireless power transfer applications with a focus on renewable energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 91, p. 888-902, aug. 2018. Doi:10.1016/j.rser.2018.04.101.

CHIQUITO, Adenilson J.; LANCIOTTI Jr., Francesco. Bobina de Tesla: dos circuitos ressonantes LC aos princípios das telecomunicações. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, mar. 2000.

COEY, John Michael David. Permanent magnet applications. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, v. 248, n. 3, p. 441-456, aug. 2002. Doi:10.1016/S0304-8853(02)00335-9.

CRUZ, Sidney Carlos da. **Verificação dos níveis de radiação emitidos pelas antenas das ERBs e a percepção das comunidades próximas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico, Pontifícia Universidade Católica Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

CUI, Yibo; LIN, Zaixun; DAI, Zhongyu; CAI, Wanli; ZHENG, Jingwen. The design of a long-distance high-efficiency WPT for online monitoring equipment based on a new relay structure. **Electrical Engineering**, mar. 2022. Doi:10.1007/s00202-022-01524-5.

DAS, Sanjoy; RAO, Ram Shringar; DAS, Indrani; JAIN, Vishal. **Cloud computing enabled big-data analytics in wireless ad-hoc networks**. 1 st. Boca Raton: CRC Press, 2022.

DELGADO, Fernanda; COSTA, José Evaldo Geraldo; FEBRARO, Júlia; SILVA, Tatiana Bruce da. Carros elétricos. **Cadernos FGV Energia**, Rio de Janeiro, mai. , 2017.

ERFANI, Reza; MAREFAT, Fatemeh; SODAGAR, Amir M .; MOHSENI, Pedram. Transferência de potência sem fio capacitiva transcutânea (C-WPT) para implantes biomédicos. In: **2017 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)**, 2017. p. 1-4. Doi:10.1109 / ISCAS.2017.8050940.

FERREIRA, Ritiele Cássia de Almeida; PAIVA, Edinei Canuto; DOURADO, Lara Fernanda Nunes. Eletricidade: da geração à distribuição; aspectos históricos e proposta didática para o ensino. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 4, n. 03, p. 51-102, mar. 2019. Doi:10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/fisica/eletricidade.

GIACOMELLI, Alisson Cristian; SILVA, Carlos Juarez Souza da; ROSA, Cleci Teresinha Werner da. Construção de um pêndulo com ímã e bobina destinado ao ensino do eletromagnetismo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, 2020. Doi:10.5007/2175-7941.2020v37n2p909.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física: eletromagnetismo**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.



HUSSAIN, Iftikhar; WOO, Dong-Kyun. Simplified mutual inductance calculation of planar spiral coil for wireless power applications. **Sensors**, v. 22, n. 4, 2022. Doi:10.3390/s22041537.

JIANG, Hao; ZHANG, Junmin; LAN, Di; CHAO, Kevin K .; LIOU, Shysheng; SHAHNASSER, Hamid; FECHTER, Richard; HIROSE, Shinjiro; HARRISON, Michael; ROY, Shuvo. Uma tecnologia de transferência de energia sem fio versátil de baixa frequência para implantes biomédicos. In: **IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems**, v. 7, n. 4, p. 526-535, 2013. Doi:10.1109/TBCAS.2012.2220763.

JOANNOPOULOS, John. D.; KARALIS, Aristeidis.; SOLJACIC, Marin. **Wireless non-radiative energy transfer**. Google Patents, 2011. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/US7741734B2/en>>. Acesso em: 25 mar. 2022.

JORGE, Luis Filipe Romba. **Sistema de Transmissão de Energia Eléctrica sem utilização de cabos nem meios ferromagnéticos**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de ciências e tecnologia, Universidade Nova Lisboa, Lisboa, 2012.

JUNIOR, Milton Correia. Eletricidade sem fio: Já estamos na era da portabilidade total. **Revista Planeta**, n. 473, 2012.

KASHYAP, S.; RAO, V., VENKATESHA PRASAD, R.R.; STARING, T. Ki-the cordless kitchen. **Cook Over IP**. SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology. Springer, Cham, 2021. Doi:10.1007/978-3-030-85836-0\_2.

KURS, A.; KARALIS, A.; MOFFATT, R.; JOANNOPOULOS, J.D.; FISHER, P.; SOLJACIC, M. Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances. **Science**, v. 6, n. 317, p. 83-86, july 2007. Doi:10.1126/science.1143254.

KWEON, Y.J. **Tapered toothbrush bristle and toothbrush with said bristles, and methods for producing the same**. US. Patent US6090488A. 18 july 2000.

LIU, Xun. Qi standard wireless power transfer technology development toward spatial freedom. **IEEE Circuits and Systems Magazine**, v. 15, n. 2, p. 32-39, 2015. Doi:10.1109/MCAS.2015.2419011.

MOU, X.; SUN, H. Wireless power transfer: survey and roadmap. In: **IEEE 81st International Conference on Vehicular Technology (VTC Spring)**, Glasgow, 2015. p. 1-5.

MUSSOI, Fernando Luiz Rosa. **Fundamentos de Eletromagnetismo**. Florianópolis: CEFET/ SC, 2005.

NOLLI, C.R.; PRUDENTE, B.B.; FAVARO, L.; CUNHA, M.J.; VINCENZI, F.R.S., MORAIS, J.S.; MORAIS, A.S. Automação industrial aplicada no system302-SMAR®.

In: **Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica**, 10, 2012, Uberlândia. Uberlândia: UFU, 2012, p. 1-6.

PAEZ, Dennys Ramos. **Estudo e desenvolvimento de um sistema de transferência de energia sem fio pelo método indutivo**. 2020. Monografia (Curso de Microeletrônica) - Departamento de Sistemas Eletrônicos Curso de Microeletrônica, Faculdade de Tecnologia de São Paulo, São Paulo, 2020.

PAWADE, Sourabh; NIMJE, Tushar; DIWASE, Dipti. Goodbye wires: approach to Wireless power transmission. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Website**, v. 2, n. 4, p. 1-6, apr. 2012.

RAO, T.S. Chandrasekar; GEETHA, K. Categories. Standards and recent trends in wireless power transfer: a survey. **Indian Journal of Science and Technology**, v. 9, n. 20, may 2016. Doi:10.17485/ijst/2016/v9i20/91041.

RAYES, Mohamed M. El; NAGIB, Gihan; ABDELAAL, Wahied G. Ali. A review on wireless power transfer. **International Journal of Engineering Trends and Technology**, v. 40, n. 5, p. 272-280, oct. 2016. Doi:10.14445/22315381/IJETT-V40P244.

SAZONOV, Edward; NEUMAN, Michael R. **Sensores vestíveis: fundamentos, implementação e aplicações**. [S.l.]: Elsevier, 2014.

SHIDUJAMAN, M.; SAMANI, H.; ARIF, M. Wireless power transmission trends. In: **International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV)**, may 2014. Doi:10.1109/ICIEV.2014.6850770.

SUN, Tianjia; XIE, Xiang; ZHIHUA, Wang. Transferência de energia sem fio para microssistemas médicos. **Springer Science & Business Media**, p. 5-6, 2013.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros: eletricidade, magnetismo e óptica**, v. 2. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

VILLATE, Jaime E. Física 2. **Eletricidade e Magnetismo**. Porto: Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2011.

WEI, Feng; ZHANG, Chi Yuan; ZENG, Cao; SHI, Xiao Wei. A reconfigurable balanced dual-band bandpass filter with constant absolute bandwidth and high selectivity. In: **IEEE transactions on microwave theory and techniques**, v. 69, n. 9, p. 4029-4040, sept. 2021. Doi:10.1109/TMTT.2021.3093907.

WPC - Wireless Power Consortium. **How Qi works**. Wireless Power Consortium, 2017. Disponível em: <<https://www.wirelesspowerconsortium.com/knowledge-base/magnetic-induction-technology/how-it-works/>>. Acesso em: 27 mar. 2022.

ZHONG, W.; HUI, S.Y. Auxiliary circuits for power flow control. **IEEE Transactions On Power Electronics**, v. 30, n. 10, p. 5902-5910, 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10722/225068>>. Acesso em: 25 mar. 2022.

ZHU, B.; LI, J.; HU, W.; GAO, X. Review of magnetic coupling resonance wireless energy transmission. **International Journal of u- and e- Service, Science and Technology**, v. 8, n. 3, p. 257-272, 2015. Doi:10.14257/ijunesst.2015.8.3.25.