

## Estudo sobre tecnologias para carregamento de baterias sem o uso de fios

## Study on technologies for batteries charging without using wires

### RESUMO

O presente trabalho compreende uma revisão na literatura sobre as tecnologias de transmissão de energia sem fio (WPT). A crescente demanda por dispositivos que não necessitem cabos para recargas e comunicação tem fomentado pesquisas com foco em eficiência e capacidade de transferência de energia. Foi realizada uma pesquisa em periódicos, artigos, livros e revistas sobre as mais recentes tecnologias sem fio e suas aplicações. Atualmente, a transmissão de energia sem fio ocorre de duas formas: de campo próximo (*near field*) e de campo distante (*far field*). É possível implementar uma vasta gama de dispositivos baseados nessas técnicas como sensores, baterias de *smartphones*, implantes biomédicos e sistemas MIMO. Além disso, os principais padrões de carregamento sem fio da atualidade foram analisados e apresentados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Transmissão de energia sem fio. Campo próximo. Campo distante. Carregamento de bateria.

### ABSTRACT

The present work comprises a review of literature about wireless power transmission (WPT) technologies. The growing demand for devices which do not need wires for charging and communication has encouraged researches focusing on efficiency and energy transfer capability. A research was carried out in periodicals, articles, books and magazines about the most recent wireless technologies and their applications. Currently, wireless power transmission occurs in two ways: near field and far field. It is possible to deploy a wide range of devices based on these techniques, such as sensors, smartphones batteries, biomedical implants and MIMO systems. In addition, the currently main wireless charging standards are reviewed and presented.

**KEYWORDS:** Wireless power transmission. Near field. Far field. Battery charging.

**Aline Andolfatto**

[alineandolfatto@alunos.utfpr.edu.br](mailto:alineandolfatto@alunos.utfpr.edu.br)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

**Fábio Luiz Bertotti**

[bertotti@alunos.utfpr.edu.br](mailto:bertotti@alunos.utfpr.edu.br)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

**Recebido:** 19 ago. 2020.

**Aprovado:** 01 out. 2020.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

O termo em inglês *Wireless Power Transmission* (WPT) significa “transmissão de energia sem fio” e representa as diferentes tecnologias que permitem transmitir energia de uma fonte a um receptor através de algum meio ou campo físico como o campo eletromagnético. Atualmente, as tecnologias de WPT são divididas em dois tipos: de campo próximo (*near-field*) e de campo distante (*far-field*). Micro-ondas, *laser* e radiofrequência (RF) são exemplos de meios de transmissão que utilizam campo distante e operam em frequências de ordem de MHz a GHz. Já o WPT de campo próximo baseia-se em acoplamento magnético e opera na faixa de kHz a poucos MHz. O WPT de campo próximo é comumente empregado em sistemas de transferência de energia para recarga de baterias de *smartphones*, *tablets*, computadores portáteis, implantes biomédicos e até mesmo baterias de carros elétricos. (JAWAD *et al.*, 2017). Já o sistema de campo distante tem sido aplicado em sistemas RFID (identificação por rádio frequência), como *tags* RFID. Além disso, podem ser aplicados em sensores de IoT (*Internet of Things*) bem como em aplicações espaciais com o uso de feixes diretivos (POPOVIC, 2017).

## WPT DE CAMPO DISTANTE

A configuração mais comum de um WPT de campo distante é formada por um dispositivo transmissor (amplificador RF e antena transmissora “TX”) e um receptor (antena receptora “RX” e conversor que converte o sinal de radiofrequência em corrente contínua, RF-CC), cujas antenas formam um enlace de RF. A conversão da corrente contínua para radiofrequência (CC-RF) é normalmente alcançada usando-se um oscilador acompanhado por um amplificador de potência ou sintetizando uma determinada forma de onda em banda base por meio de um sintetizador digital de sinais DDS (*Direct Digital Synthesizer*), que pode ser formado por um sistema com uma FPGA (*Field-programmable gate array*), que é um dispositivo semicondutor que pode ser reprogramado, e um conversor D/A (Digital/Analógico). No dispositivo receptor o sinal de RF é convertido em nível CC por meio de um conversor RF-CC. A fim de melhorar a eficiência desse conversor otimiza-se cada saída CC/retificador de saída para uma específica frequência, e dessa forma se alcança uma largura de banda maior. Outra forma de capturar mais energia é projetar um circuito que coincida com as bandas de frequência desejadas de forma simultânea e que possua um formato compacto para que a transferência de energia antena-retificador seja máxima. No entanto, à medida que a frequência de banda aumenta perde-se energia e como resultado a eficiência total diminui (BELO; CARVALHO, 2017).

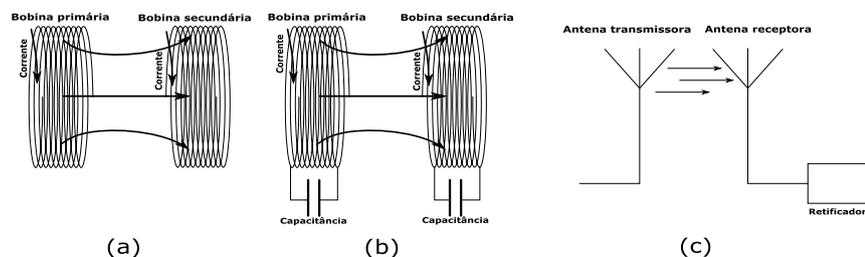
## WPT DE CAMPO PRÓXIMO

A transferência de energia no sistema WPT de campo próximo se dá em uma distância dentro do comprimento de onda ( $\lambda$ ) correspondente para uma antena transmissora. As configurações mais apropriadas dessa tecnologia são os acoplamentos indutivo e magnético ressonante para distâncias pequenas e médias. (JAWAD *et al.*, 2017).

O acoplamento indutivo é baseado nos princípios de indução magnética que ocorre entre duas bobinas. A transferência de energia indutiva (TEI) funciona da seguinte forma: uma corrente passa pela bobina primária do transmissor de energia (Tx) e gera um campo magnético variável na bobina secundária do receptor de energia (Rx). Uma tensão/corrente é então induzida na bobina secundária pela energia magnética de campo próximo. Como a frequência de operação do acoplamento indutivo é na ordem de kHz, a bobina secundária deve ser ajustada a essa frequência de operação para otimizar a eficiência de transmissão (LU *et al.*, 2016). As vantagens do acoplamento indutivo são: Não radiativo (seguro para o corpo humano), topologia simples, alta eficiência de transferência para pequenas distâncias, fácil implementação. Já as desvantagens são: requer alinhamento preciso entre as bobinas, inapropriada para uso móvel, produz correntes parasitas (JAWAD *et al.*, 2017).

O princípio de transferência de energia do acoplamento magnético ressonante baseia-se na oscilação de campos magnéticos a partir de bobinas ressonantes. Dessa forma, quando duas bobinas estão operando na mesma frequência de ressonância e fortemente acopladas é possível transferir energia com alta eficiência. Como vantagens, essa técnica não requer alinhamento preciso e possui alta eficiência. No entanto, a complexidade de implementação e a perda de eficiência proporcional à distância são alguns dos fatores limitantes desse método (JAWAD *et al.*, 2017). A Figura 1 apresenta modelos de WPT de campo próximo e campo distante.

Figura 1 – Modelos de WPT. (a) Acoplamento indutivo. (b) Acoplamento magnético ressonante. (c) Radiação RF.



Fonte: Adaptado de (LU *et al.*, 2016).

## PADRÕES INTERNACIONAIS DE CARREGAMENTO SEM FIO DE BATERIAS

Os padrões de carregamento sem fio são responsáveis pelo controle de transferência de energia e usam WPT de campo próximo na transmissão. Entre os padrões existentes, estão o Qi e o A4WP.

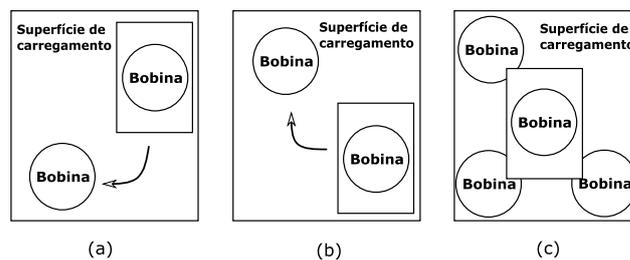
### Qi

O padrão de carregamento *wireless* Qi (do chinês *Chee*, que significa fluxo de energia) foi desenvolvido pela *Wireless Power Consortium* (WPC) e permite autonomia do dispositivo no controle de carregamento. Ou seja, o carregador com padrão Qi ajusta a densidade de potência de transmissão requerida pelo

dispositivo por meio de sinalização (comunicação de dados entre dispositivos transmissor e receptor). Esse padrão tem como base o acoplamento indutivo e as bobinas dos dispositivos são planares (LU *et al.*, 2016).

Existem três especificações para o correto alinhamento: posicionamento orientado, posicionamento livre com bobina primária móvel e posicionamento livre com conjunto de bobinas. No posicionamento orientado, o alinhamento adequado é alcançado usando um ímã permanente que guia o dispositivo ao local correto para o carregamento. Apesar da simples configuração, necessita de um material no dispositivo de carga que seja atraído por um ímã. Devido ao uso do ímã, surgem correntes parasitas que geram perdas de potência e aquecimento. No posicionamento livre com bobina primária móvel, esta ajusta a posição para se alinhar ao dispositivo de carga. Essa configuração é viável para um dispositivo sobre uma superfície de carregamento (*charging pad*). Já para múltiplos carregamentos simultâneos a configuração ideal é a de posicionamento livre com conjunto de bobinas. Os três tipos de posicionamento são apresentados na Figura 2. (LU *et al.*, 2016).

Figura 2 – Especificações para o correto alinhamento. (a) Posicionamento orientado. (b) Posicionamento livre com bobina primária móvel. (c) Posicionamento livre com conjunto de bobinas



Fonte: Adaptado de (LU *et al.*, 2016).

Os *charging pads*, suportes e bancos de baterias são exemplos de carregadores sem fio Qi. Para obter energia suficiente para o carregamento, esses dispositivos geralmente requerem um adaptador CA de 5V/2A para ser inserido em uma tomada elétrica. A faixa de potência transferida para a carga varia de 5 a 30 W a partir de um sistema de transferência classe 0. A demanda de potência transferida depende da quantidade de energia requerida pela carga (WIRELESS POWER CONSORTIUM, 2017).

O carregador Qi ajusta a potência de saída de acordo com a demanda do dispositivo e interrompe a transferência quando a carga estiver completa por meio da comunicação Qi e seu protocolo de controle. O protocolo funciona da seguinte forma: início (o carregador detecta o dispositivo a ser carregado), *ping* (o carregador é informado pelo dispositivo de carga a intensidade do sinal), identificação e configuração (o dispositivo de carga especifica a potência requerida e o carregador configura a transferência de energia) e transferência de energia (o dispositivo de carregamento é responsável pela realimentação dos dados de controle) (LU *et al.*, 2016).

#### A4WP

A *Alliance for Wireless Power* (A4WP) é um padrão de carregamento wireless que permite a geração de um campo magnético maior com o uso do acoplamento magnético ressonante. Além disso, não requer alinhamento preciso, pode carregar vários dispositivos simultaneamente e seu alcance chega a metros (LU et al., 2016). O padrão A4WP tem como propósito criar um ambiente que fornece liberdade espacial para a WPT, e sua arquitetura básica consiste em uma rede de dispositivos com topologia em estrela. A interação é feita entre uma unidade transmissora de energia (UTE) com uma ou mais unidades receptoras de energia (UREs) (TSENG, 2013).

São três etapas que o protocolo de comunicação do A4WP possui: detecção de dispositivo, troca de informação e controle de carregamento. Detecção de dispositivo: a URE a ser carregada comunica a UTE que responde com uma solicitação de conexão e assim as unidades se conectam. Troca de informação: há uma troca de informação entre as unidades a respeito de seus parâmetros estáticos e dinâmicos. Os Parâmetros Estáticos da URE são lidos pela UTE que especifica suas funcionalidades nos seus parâmetros estáticos e as envia para a URE. Os Parâmetros Dinâmicos da URE (tensão, corrente, temperatura e *status* funcional) são lidos pela UTE. Controle de carregamento: ao especificar-se o controle da URE e a UTE tendo energia suficiente, inicia-se o controle de carregamento. O Parâmetro Dinâmico da URE se atualiza de maneira periódica para que a UTE ajuste o controle da URE. A URE envia notificações a UTE ao detectar-se carregamento completo da carga ou algum erro (LU et al., 2016).

#### SISTEMAS MIMO

A demanda por taxas de dados mais altas, qualidade de serviço melhor e maior capacidade de rede tem crescido atualmente, e os sistemas múltiplas entradas e múltiplas saídas (MIMO) tem se apresentado uma tecnologia promissora frente a isso (OESTGES; CLERCKXU, 2007). Um sistema MIMO pode ser definido como um sistema *wireless* baseado em um *link* de comunicação com múltiplas antenas em ambos terminais (BENSKY, 2016).

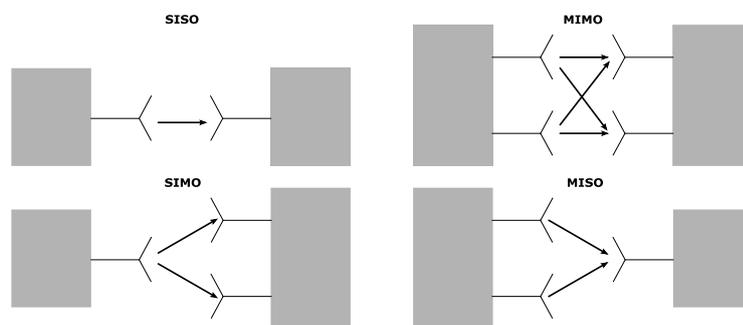
O MIMO é uma tecnologia ideal para produtos *wireless* produzidos em larga escala (ex.: redes 5G). O diferencial dessa tecnologia é o uso de uma nova dimensão, o espaço, que complementa o tempo (dimensão natural dos dados de comunicação digital) (OESTGES; CLERCKXU, 2007).

Ocorrem flutuações randômicas do sinal através do tempo, espaço e frequência. Esse comportamento chama-se desvanecimento (*fading*) e pode influenciar no desempenho de um sistema *wireless*. Técnicas de diversidade são utilizadas para combater o impacto do *fading* no sistema. O princípio da diversidade tem por finalidade fornecer versões múltiplas do mesmo sinal transmitido ao receptor, sendo que cada uma das versões se define como ramo de diversidade. Se condições de *fading* independentes afetam as versões, há uma redução significativa na probabilidade de todos os ramos estarem em desvanecimento simultaneamente (OESTGES; CLERCKXU, 2007).

Implementa-se a diversidade espacial tanto no transmissor quanto no receptor, e assim é possível obter sistemas múltiplas entradas e única saída (MISO)

e única saída e múltiplas entradas (SIMO), conforme Figura 3. A diversidade pode melhorar a qualidade do sinal recebido e até aumentar a taxa de transmissão sem mudar a largura de banda do sistema, no entanto a implementação se torna mais onerosa (SARKAR; SALAZAR-PALMA; MOKOLE, 2008).

Figura 3– Configuração básica de sistemas MIMO



Fonte: Adaptado de (BENSKY, 2016).

O processamento de sinais e a codificação são fundamentais no desenvolvimento de um sistema MIMO, mas também deve se levar em consideração o projeto de antenas e a propagação como fatores que impactam no desempenho do sistema. De uma perspectiva eletromagnética, é importante salientar que vários efeitos eletromagnéticos podem impactar no desempenho do sistema MIMO. Sem considerar os efeitos eletromagnéticos, é difícil que o desempenho seja máximo. Portanto, isso deve ser levado em consideração na implementação do sistema ou *array*. (SARKAR; SALAZAR-PALMA; MOKOLE, 2008).

## CONCLUSÃO

A pesquisa teve por objetivo fazer uma revisão na literatura a respeito das tecnologias de energia sem fio (WPT). A revisão foi realizada com base em artigos, periódicos, livros e revistas que abordam as tecnologias de transmissão sem fio. O WPT de campo próximo (*near field*) e o de campo distante (*far field*) são dois tipos de transmissão de energia sem fio existentes atualmente. A configuração mais usual do WPT de campo distante é formada por um dispositivo transmissor e um receptor que criam um enlace de RF. Já o WPT de campo próximo possui duas configurações principais: o acoplamento indutivo e o acoplamento magnético ressonante. A partir dessas técnicas é possível implementar vários tipos de dispositivos. Também foram analisados os padrões internacionais de carregamento sem fio de baterias, que tem como base o WPT de campo próximo. O padrão Qi é baseado no acoplamento indutivo e o A4WP usa o acoplamento magnético ressonante. Ademais, foram apresentados alguns conceitos a respeito dos sistemas MIMO.

## REFERÊNCIAS

BELO, D. **Far field WPT – Main challenges**. In: EUROPEAN CONFERENCE ON ANTENNAS AND PROPAGATION (EUCAP), 11., 2017, Paris. **Anais...** Aveiro: IEEE,

2017.p. 331-335. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>. Acesso em: 15 jun. 2020.

BENSKY, A. Complementary and Developing Technologies. In: \_\_\_\_\_. **Wireless positioning technologies and applications**. Boston, Mass: Artech House, 2016. cap. 12, p. 367-374. Disponível em: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=1485201&lang=pt-br&site=ehost-live>. Acesso em: 14 ago. 2020.

JAWAD, A. M.; NORDIN, R.; GHARGHAN, S. K.; JAWAD, H. M.; ISMAIL, M. Opportunities and challenges for near-field wireless power transfer: a review. **Energies**, [S.L.], v. 10, n. 7, p. 1022, 18 jul. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/en10071022>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/energies>. Acesso em: 23 ago. 2019

LU, X.; WANG, P.; NIYATO, D.; KIM, D. I.; HAN, Z. Wireless charging technologies: fundamentals, standards, and network applications. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 1413-1452, 2016. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/comst.2015.2499783>. Disponível em <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>. Acesso em: 23 ago. 2019.

OESTGES, C.; CLERCKX, B. Introduction to multi-antenna communications. In: \_\_\_\_\_. **MIMO Wireless Communications: From real-world propagation to space-time code design**. Amsterdam: Academic Press, 2007. cap. 1, p.1-27. Disponível em: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=203128&lang=pt-br&site=ehost-live>. Acesso em: 14 ago. 2020

POPOVIC, Z. **Near- and far-field wireless power transfer**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED TECHNOLOGIES, SYSTEMS AND SERVICES IN TELECOMMUNICATIONS (TELSIKS), 13., 2017, Nis. **Anais...** Nis: IEEE, 2017. p. 3-6. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>. Acesso em: 03 ago. 2020.

SARKAR, T. K.; SALAZAR-PALMA, M.; MOKOLE, E. L. Multiple-Input-Multiple-Output (MIMO) Antenna Systems. In: \_\_\_\_\_. **Physics of multiantenna systems and broadband processing**. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 2008. cap. 5, p. 167-208. Disponível em: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=234690&lang=pt-br&site=ehost-live>. Acesso em: 14 ago. 2020.

TSENG, R.; VON NOVAK, B.; SHEVDE, S.; GRAJSKI, K. A. **Introduction to the alliance for wireless power loosely-coupled wireless power transfer system**

**specification version 1.0.** In: WIRELESS POWER TRANSFER CONFERENCE (WPTC), 1., 2013, San Diego. **Anais...** Perugia: IEEE, 2013. p. 79-83. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>. Acesso em: 15 jun. 2020.

WIRELESS POWER CONSORTIUM. **Introduction to the power class 0 specification.** Piscataway: Wpc, 2017. Disponível em: <https://www.wirelesspowerconsortium.com/knowledge-base/specifications/download-the-qi-specifications.html>. Acesso em: 11 maio 2020.