

Etiqueta Passiva de RFID para Identificação do Consumo de Energia Elétrica

Manoel V. Barbin, Conrado L. De Vitor, Giuliano L. De Vitor e Michel D. Yacoub

Resumo—Neste artigo, é apresentada uma etiqueta passiva de RFID em UHF com um sensor de corrente para identificação do consumo de energia elétrica por equipamentos eletroeletrônicos. Através da detecção da corrente que flui no cabo de alimentação de um equipamento eletroeletrônico é possível modificar a condição de identificação da etiqueta dentro da área de cobertura de um leitor. A identificação da etiqueta pelo sistema possibilita a monitoração individualizada da energia consumida por um equipamento em ambientes diversos, domésticos e/ou industriais, o que insere a solução apresentada dentro do contexto da Internet das Coisas.

Palavras-Chave — RFID, Etiqueta Sensor, Energia Elétrica, Internet das Coisas.

Abstract—In this paper, we present a passive UHF RFID tag with an electric current sensor for identification purposes of the electric power consumed by an electrical-electronic equipment. By detecting the current flowing in the power cable of an equipment, it is possible to modify the identification conditions (the detection properties) of the tag within the coverage area of a reader. The identification of the tag by the system allows for the customized monitoring of the power consumed by an equipment in different environments, domestic and/or industrial. This way, the solution presented falls directly within the context of the Internet of Things.

Keywords — RFID, SensorTag, Electric Power, Internet of Things.

I. INTRODUÇÃO

Em termos gerais, RFID é uma tecnologia utilizada na identificação de objetos ou pessoas através de conhecidas técnicas de radiofrequência. Suas bases encontram-se nos sistemas de radar, uma antiga e conhecida tecnologia de identificação de objetos por meio da reflexão difusa ou espalhamento de ondas de rádio [1].

Sistemas RFID utilizam elementos emissores/receptores de campos magnéticos (indutores) ou eletromagnéticos (antenas) para a identificação de objetos próximos ou distantes de uma fonte emissora/receptora de sinais denominada leitor. Os objetos são identificados por etiquetas que se comunicam com um ou mais leitores do sistema.

Em geral, os leitores são conectados a computadores de uma rede onde podem ser armazenadas informações e características dos objetos como, por exemplo, tipo, datas de fabricação e de aquisição, fotografias, tensão de operação e potência (no caso de equipamentos eletroeletrônicos), e outras.

Em um sistema RFID as etiquetas podem ser classificadas em ativas, semiativas e passivas [1]. As ativas ou semiativas possuem uma fonte de energia (bateria) para operar enquanto que as passivas, compostas basicamente de um circuito

integrado e uma antena (ou um indutor), convertem a energia eletromagnética recebida em tensão contínua para alimentar a parte eletrônica da etiqueta. Do ponto de vista de custo, etiquetas passivas são muito atrativas e, portanto, representam a alternativa preferencial na implementação de sistemas comerciais de RFID.

Em anos recentes, as etiquetas têm incorporado outras funções além da identificação de objetos. A principal destas funções é a monitoração de parâmetros ambientais como, por exemplo, a temperatura, a umidade relativa ou o nível de iluminação, e têm sido denominadas de RFID *SensorTags* [2]. A integração de sensores em etiquetas contribui para a colocação de sistemas RFID entre as tecnologias disponíveis para a Internet das Coisas.

Para etiquetas passivas, o principal desafio de operação como *SensorTags* está no consumo de corrente pelos sensores incorporados, o que pode reduzir significativamente a distância de identificação (ou leitura) pelo sistema.

Neste artigo, apresenta-se uma Etiqueta Passiva com Sensor de Corrente Elétrica (EPSCE) que opera na faixa de UHF, de 902 MHz a 928 MHz, aproximadamente, e possibilita a identificação da existência do consumo de energia por um equipamento eletroeletrônico sem reduzir a distância de leitura dentro da área de cobertura de um leitor de RFID.

Do conhecimento dos autores, a proposta apresentada neste artigo é original, não sendo disponível ou reportada na literatura nacional ou mundial.

Entre as potenciais aplicações das EPSCEs está a monitoração individualizada de energia de um equipamento, bem como, a rastreabilidade, característica inerente a um sistema RFID, de equipamentos presentes em ambientes domésticos e/ou industriais [3].

A solução proposta neste trabalho enquadra-se dentro do cenário de Internet das Coisas, rede de objetos físicos capaz de reunir e transmitir dados pela Internet para uma central administrada a distância. Constitui, assim, uma opção para automação residencial ou corporativa, colocando nas mãos do proprietário do ambiente o controle dos gastos de energia dos eletroeletrônicos locais. Complementa-se e integra-se facilmente a outros subsistemas de RFID direcionados para a automação, o que reduz os gastos com leitores de RFID e desenvolvimento de software.

Na sequência deste artigo, são descritas as características e os princípios de funcionamento da etiqueta. Na Seção II, um sistema RFID operando com EPSCEs é apresentado de forma sucinta, em um contexto de aplicação. Na Seção III, trabalhos relacionados com a etiqueta proposta são discutidos. Na Seção IV, são descritos os conceitos de RF para o desenvolvimento

de uma etiqueta passiva comum de RFID em UHF. Com base no conceito descritos na Secção IV, os principais aspectos de RF para o funcionamento de UM EPSCE são apresentados na Secção V. Uma ESPEC, desenvolvida para testes de avaliação em um sistema de RFID em UHF simples, e resultados são mostrados na Secção VI. Conclusões são apresentadas na Secção VII.

II. SISTEMA RFID COM EPSCEs

Um sistema RFID UHF com EPSCEs é apresentado na Figura 1. As etiquetas são dispostas entre o plugue do cabo de alimentação dos equipamentos eletroeletrônicos e a tomada de energia elétrica em um ambiente doméstico. O sistema opera pela identificação das EPSCEs que são detectadas quando um dado equipamento passa a consumir energia elétrica.

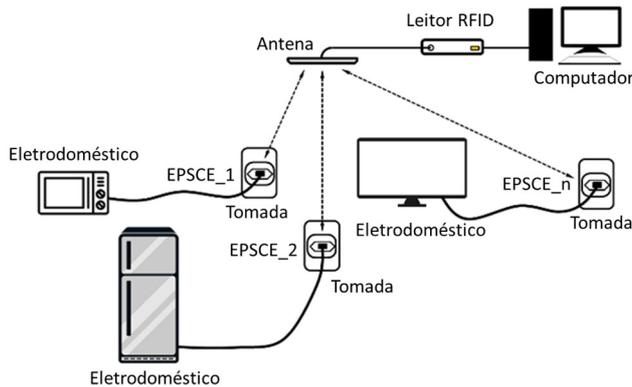


Fig. 1. Sistema RFID em UHF com EPSCEs dos eletrodomésticos.

A partir da identificação de uma EPSCE, associada a um equipamento, o sistema pode acessar um banco de dados que contém as informações relevantes do mesmo e monitorar, por exemplo, o tempo em que o eletrodoméstico consome energia.

Após o desligamento do equipamento ou da interrupção do sistema pelo operador, e consequente não identificação da EPSCE correspondente, uma possível saída é um relatório indicando o consumo do mesmo e/ou o gasto total de energia, isto é, de todos os eletrodomésticos, durante um dado período de monitoração.

III. TRABALHOS RELACIONADOS

Em virtude da originalidade da etiqueta passiva de RFID apresentada neste artigo, referências de soluções similares não têm sido encontradas na literatura. Apenas em patentes [7], [8], [9], são descritas alternativas onde, via de regra, resultados de desempenho não são apresentados.

Em [7], o cabo de alimentação de um equipamento é modificado através da introdução de uma etiqueta passiva de RFID de campo próximo, de capacitores e de uma chave liga-desliga que muda de estado com a passagem de corrente elétrica. A etiqueta é acoplada magneticamente ao cabo. A ação da chave e dos capacitores alteram comprimentos bem definidos do cabo e mudam o comportamento da etiqueta, que passa a operar em campo distante. Isto possibilita a detecção da etiqueta e, em consequência, do consumo por um sistema de RFID associado.

A despeito da viabilidade técnica da solução apresentada em [7], do ponto de vista mercadológico, a necessária modificação do cabo de alimentação resulta em alterações que somente podem ser implementadas durante a fabricação do

mesmo ou do equipamento. Além disso, a solução é tecnicamente distinta da apresentada neste trabalho.

As patentes [8] e [9] também apresentam soluções de detecção do consumo de energia elétrica muito diferentes da apresentada neste artigo. Em ambas as patentes, circuitos eletrônicos de detecção, leitores de RFID, etc. são colocados no interior da tomada elétrica para monitoração.

Em [8], são descritas diversas opções de monitoração de grandezas físicas para diferentes aplicações. Entre elas, encontra-se a detecção do consumo de energia elétrica que é realizada por meio de um sensor de corrente. Um leitor de RFID pode ser utilizado para identificar o equipamento conectado através de uma etiqueta convencional disposta no plugue do cabo de alimentação.

Em [9], é apresentada uma solução restrita à detecção de consumo de energia elétrica. Da mesma forma que em [8], um leitor de RFID é colocado no interior da tomada para identificar o equipamento conectado. A monitoração do consumo requer o uso de outros circuitos eletrônicos.

A requerida colocação de um leitor de RFID e outros dispositivos no interior de uma tomada nas patentes [8] e [9] pode aumentar de forma considerável a complexidade das soluções de monitoração do consumo de energia elétrica. Além das evidentes diferenças técnicas, as soluções [8] e [9] podem resultar em custos mais elevados, em comparação com a apresentada neste artigo.

IV. RF EM ETIQUETAS PASSIVAS DE RFID EM UHF

Sistemas RFID possuem uma importante limitação que é a distância entre a antena do leitor e uma dada etiqueta, a partir da qual, não ocorre a leitura das informações armazenadas, ou seja, a identificação do objeto.

Em várias aplicações, maximizar a distância entre a antena do leitor e as etiquetas implica em minimizar os custos com a infraestrutura na implantação de um sistema RFID.

Em geral, sistemas RFID em UHF que operam com etiquetas passivas são limitados em distância no enlace direto, ou seja, na comunicação entre o leitor e a etiqueta.

Considerando o espaço livre como ambiente de propagação, a distância máxima de leitura é dada por [10],

$$d_{\text{máx}} = \frac{\lambda_0}{4\pi} \sqrt{\frac{P_T G_T G_A p \tau}{P_{\text{th}}}} \quad (1)$$

Em (1), λ_0 é o comprimento de onda no espaço livre, P_T é a potência de transmissão nos terminais da antena do leitor, G_T é o ganho da antena do leitor, G_A é o ganho da antena da etiqueta, p é o fator de polarização entre as antenas do leitor e da etiqueta, τ é o coeficiente de transmissão de potência entre a antena e o circuito integrado da etiqueta e P_{th} é a sensibilidade do circuito integrado da etiqueta.

Etiquetas passivas típicas de RFID em UHF são constituídas apenas por uma antena e um circuito integrado, como pode ser visto na Figura 2.

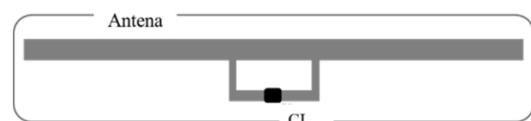


Fig. 2. Etiqueta passiva típica de RFID em UHF.

A energia de RF captada pela antena gera uma tensão que, convertida em contínua no retificador do circuito integrado, alimenta os seus componentes internos (memória, modulador, etc.) e viabiliza a comunicação entre a etiqueta e o leitor.

Com o aumento da distância entre a etiqueta e o leitor, a energia de RF captada pela antena diminui. Quando a distância máxima, dada em (1), é atingida, a etiqueta perde a comunicação com o leitor.

Existem, ainda, dois outros fatores, não considerados em (1), que alteram a distância máxima de leitura de uma etiqueta passiva, que são os efeitos do canal de propagação [11], [12] e a eficiência de conversão de RF/DC no retificador de entrada do circuito integrado [13], [14]. O primeiro fator é desconsiderado dado que (1) é determinada a partir da propagação no espaço livre. O segundo fator depende, por exemplo, da tecnologia utilizada no circuito integrado e é, em geral, considerado igual a 1 para uma análise simples.

Em virtude da diminuição na quantidade de energia captada pela antena da etiqueta quando esta se afasta do leitor, o uso de componentes adicionais como, por exemplo, sensores que necessitam de alimentação de uma fonte de tensão contínua para operar, resulta em soluções pouco viáveis no desenvolvimento de *Sensor Tags*.

Em (1), observa-se que, no projeto de uma etiqueta passiva, o coeficiente de transmissão τ deve ser maximizado visando a máxima transferência de potência da antena para o circuito integrado.

Em termos de RF, o circuito equivalente de uma etiqueta passiva é mostrado na Figura 3 [10].

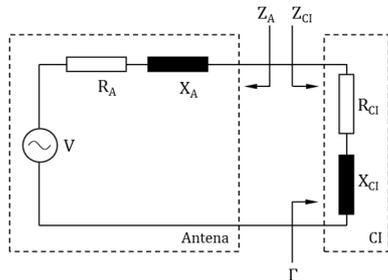


Fig. 3. Circuito equivalente de uma etiqueta de RFID em UHF.

Na Figura 3, Z_A e Z_{CI} representam as impedâncias da antena e do circuito integrado, respectivamente, V é a tensão gerada nos terminais da antena pela energia de RF da onda incidente na etiqueta e Γ é o coeficiente de reflexão, dado por [15],

$$\Gamma = \frac{Z_{CI} - Z_A^*}{Z_{CI} + Z_A} \quad (2)$$

Em (2), Z_A^* é o complexo conjugado de Z_A e deve ser igual a Z_{CI} para que ocorra a máxima transferência de potência da antena para o circuito integrado (casamento de impedâncias). Nessa condição,

$$Z_A^* = Z_{CI} \quad (3)$$

Com (3) aplicada em (2), resulta em $\Gamma = 0$. O coeficiente τ , que, em outras palavras, representa a eficiência do casamento de impedâncias entre a antena e o circuito integrado da etiqueta é dado por,

$$\tau = 1 - |\Gamma|^2 \quad (4)$$

Para $\Gamma = 0$ em (4), resulta em $\tau = 1$, ou seja em 100% de eficiência na transferência de potência. Entretanto, na prática, $\tau = 1$ é uma condição não atingível.

Na Figura 4, é mostrado o coeficiente de transmissão típico em uma etiqueta passiva de RFID em UHF para uma faixa de frequências que abrange as bandas no mundo, disponíveis para a operação do sistema em torno de 900 MHz [16].

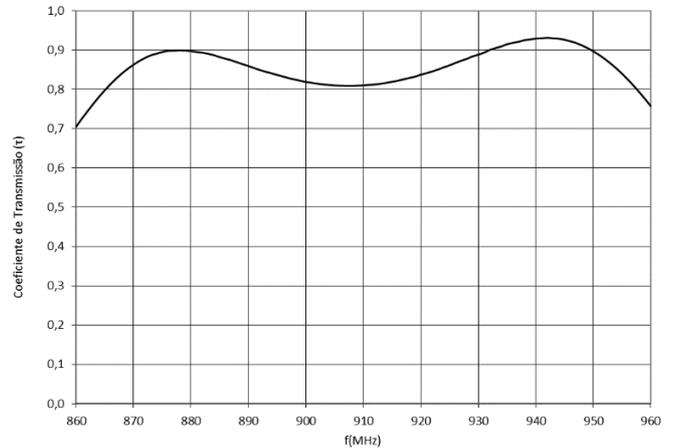


Fig.4. Coeficiente de transmissão em uma etiqueta de RFID em UHF.

V. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA EPSCE

O princípio fundamental de funcionamento da etiqueta sensor deste trabalho está baseado na alteração da transferência de potência, ou seja, do valor de τ (ou Γ) quando a EPSCE está dentro da área de cobertura de um leitor de RFID, ou seja, em distâncias menores que $d_{máx}$.

Na Figura 5, é apresentado o diagrama de blocos de uma EPSCE. A corrente alternada que flui pelo cabo de alimentação de um equipamento, como, por exemplo, um eletrodoméstico indicado na Figura 1, é detectada pelo sensor da EPSCE correspondente e gera uma tensão proporcional, que é retificada e filtrada. A tensão contínua altera a transferência de potência, modificando a impedância Z de um elemento reativo colocado entre a antena e o circuito integrado (Figura 6).

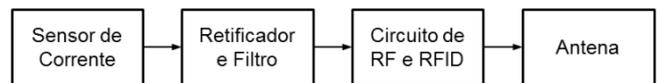


Fig. 5. Diagrama de blocos de uma EPSCE.

No projeto da etiqueta, Z e τ são escolhidos de forma a permitir que a EPSCE somente seja identificada quando flui uma corrente pelo sensor.

O controle da transferência de potência na EPSCE, através da alteração do valor de τ , atua como uma chave liga-desliga que resulta na identificação, ou não, da etiqueta.

O efeito da corrente detectada pelo sensor é convertida em tensão contínua, sobre o valor de τ é apresentado na Figura 7 [3]. Observa-se, na Figura 7, que a variação da tensão contínua altera de forma significativa a transferência de potência de RF entre a antena e o circuito integrado da EPSCE.

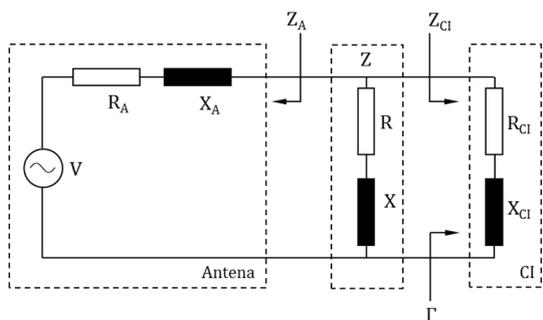


Fig.6. Efeito da corrente detectada sobre o valor de τ .

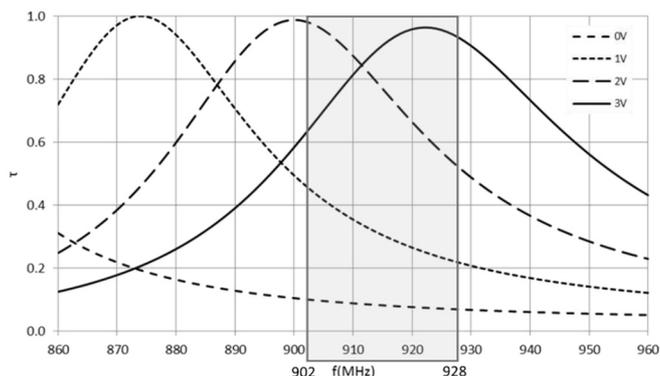


Fig. 7. Efeito da corrente detectada sobre o valor de τ .

VI. RESULTADOS DE TESTES

Com o objetivo de avaliar o funcionamento da EPSCE, uma etiqueta foi desenvolvida e é apresentada na Figura 8. Sua forma é a de um adaptador, que é colocado entre o plugue do cabo de alimentação de um equipamento elétrico e a tomada de energia, conforme pode ser visto na Figura 1.

Na Figura 8, são vistos detalhes constitutivos da etiqueta. Observam-se o sensor de corrente, que é atravessado por um dos pinos de fase da tensão elétrica, e a placa de circuito impresso onde estão dispostos os circuitos de retificação e filtragem, e de RF e RFID, indicados no diagrama de blocos da Figura 5. A antena é colocada na face interna da parte inferior do adaptador.

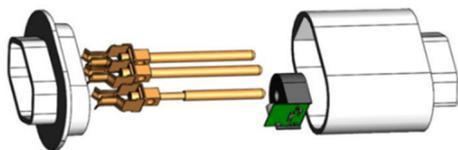


Fig.8. Detalhes da etiqueta EPSCE.

Testes operacionais da EPSCE foram realizados em um sistema simples de RFID em UHF, composto de um leitor e uma antena distante da etiqueta de um valor para o qual a EPSCE, sem a existência do elemento reativo com impedância Z, pudesse ser identificada.

Como pode ser visto na Figura 9, a distância escolhida para os testes foi de 2 m, que é menor que $d_{m\acute{a}x}$ para a EPSCE sem o elemento reativo. Com a introdução de Z na etiqueta, e a conseqüente mudança no valor τ , $d_{m\acute{a}x}$ torna-se menor que 2 m e a EPSCE deixa de ser detectada. A identificação da

ESPCE ocorre quando flui uma corrente pelo cabo do equipamento, indicando o consumo de energia elétrica.

Na configuração de teste, mostrada da Figura 9, foram utilizados um leitor Speedway™ R420 da Impinj [17] e uma antena, modelo MT-262024/TRH/A/K da MTI Wireless Edge [18]. A ferramenta de software Multireader for Speedway Gen2 RFID, disponibilizada pelo fabricante do leitor, foi utilizada para a identificação da EPSCE.

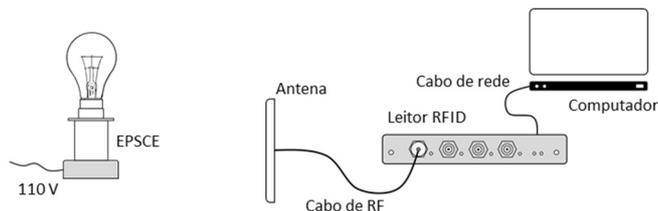


Fig. 9. Configuração de teste da EPSCE.

Na EPSCE, o EPC (*Electronic Product Number*) [19], arbitrariamente escolhido e registrado na memória do circuito integrado de RFID, foi 0F42-0075-3849-3542-4A59-0004.

Os testes foram realizados com lâmpadas incandescentes com potências de 25 W, 40 W, 60 W, 100 W e 150 W, para simular os equipamentos. Cada lâmpada foi colocada em um bocal e este conectado, ou não, a EPSCE ligada na tomada de energia elétrica de 110 V.

Para todas as lâmpadas utilizadas nos testes, quando não inseridas no bocal, a EPSCE não foi identificada pelo sistema. Para cada uma das lâmpadas, quando inseridas no bocal, a EPSCE foi identificada pelo sistema.

Na Figura 10, é apresentada parte da tela do computador, conectado ao leitor, onde roda o software Multireader, para a identificação da EPSCE da lâmpada de 100 W.

#	EPC VALUE	TotCnt	RD1Cnt	RD2Cnt	RDRate	RS1mx	RS2mx	TimeT0	TimeTx	Ttx-t0	NoChg	Antenna
1	0F42-0075-3849-3542-4A59-0004	7108	7108	0	50.4	-37	---	0.000	141.041	141.041	1	n/a

EPC VALUE: 0F42-0075-3849-3542-4A59-0004 → Etiqueta identificada pelo leitor

Fig. 10. Identificação da EPSCE pelo leitor.

VII. CONCLUSÕES

A etiqueta passiva de RFID em UHF com sensor de corrente elétrica, apresentada neste trabalho, tem seu funcionamento baseado na alteração da transferência de potência de RF entre a antena e o circuito integrado da etiqueta.

Uma etiqueta foi desenvolvida para avaliar o desempenho em um sistema RFID simples, composto de um leitor e um software de monitoração. Os resultados obtidos comprovaram a utilização da etiqueta com sensor na identificação do consumo de equipamentos com diferentes potências.

A solução apresentada está inserida no contexto da Internet das Coisas e pode ser usada para a monitoração individualizada de energia de equipamentos eletroeletrônicos em diferentes ambientes. Com isso, contribui para a minimização de custos e possíveis desperdícios de energia elétrica.

Além disso, a solução baseada em EPSCEs pode ser facilmente integrada a outras possíveis implementações de

Internet das Coisas voltadas para a automação residencial ou corporativa, baseadas em RFID.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro fornecido ao projeto, sem o qual este trabalho não teria sido realizado.

REFERÊNCIAS

- [1] D. M. Dobkin, *The RF in RFID: UHF RFID in Practice*, Elsevier Inc., 2013.
- [2] A. Rennane, N. Fonseca, A. Abdelnour, F. Benmahmoud, D. Kaddour, R. Touhami, S. Tedjni. "Passive UHF RFID Sensor Tag for Pressure and Temperature Conditions Monitoring", p. 1 – 3, 2nd URSI Atlantic Radio Science Meeting (AT-RASC) – 2018.
- [3] M. V. Barbin, *Relatório Científico nº 2013/50923-8 – Projeto PowerID – Etiqueta de RFID com sensor de energia elétrica para aplicação na Internet das Coisas*. FAPESP, 2015.
- [4] S. Coetzee, T. Mouton, M. J. Booyesen. "Home energy management systems: A qualitative analysis and overview", p. 1260 – 1265, IEEE AFRICON – 2017.
- [5] P. Dongbaare, S.O. Osuri, S.P.D. Chowdhury. "A Smart Energy Management System for Residential Use", p. 612 – 616, IEEE PES-IAS PowerAfrica – 2017.
- [6] A. R. Al-Ali, I. A. Zualkernan, M. R., R. Gupta, M. A. Karar. "A Smart Home Energy Management System Using IoT and Big Data Analytics Approach", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, v. 63, p. 426 – 434, Nov. 2017
- [7] A. Louzir, J-Y. Le Naour, J-L. Robert. "Electrical activity sensor device for detecting electrical activity and electrical activity monitoring apparatus", EP 2 916 464 A1, 2015.
- [8] H. Kemmann, R. Seifert. "Steckeraufnahme einer Steckdosenabdeckung", EP 2 369 693 B1, 2011.
- [9] J. S. Han, C. S. Choi, W. K. Park, I. W. Lee. "Electrical Outlet for Automatically Sensing Electrical Device, System for Managing Energy Using the Electrical Outlet, and Method Thereof", US 2013/0154808 A1, 2013.
- [10] M. V. Barbin, *Etiqueta de RFID em UHF para Objetos Metálicos*. Dissertação de Mestrado – FEEC – Unicamp, 2015.
- [11] A. A. Goes, P. Cardieri, M. D. Yacoub. "The RFID Propagation Scenario", *Wireless Personal Communications*, v. 92, p. 437-454, Jan. 2017.
- [12] E. Hatem, E. Colin, S. Abou-Chakra, B. El-Hassan, J-M. Lahuert. "New Empirical Indoor Path Loss Model using Active UHF-RFID Tags for Localization Purposes", p. 1 – 6, IEEE International Conference on RFID Technology and Applications (RFID-TA) – 2018.
- [13] Z. Wang, X. Sun, C. Zhang, Y. Li. "Issues in integrated circuit design for UHF RFID", p. 322 – 328, IEEE International Workshop on RadioFrequency Integration Technology – RFIT 2007.
- [14] M. H. Ouda, W. Khalil, K. N. Salama. "Wide-Range Adaptive RF-to-DC Power Converter for UHF RFIDs", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, v. 26, p. 634 – 636, Aug. 2016.
- [15] Kurokawa, K. *An Introduction to the Theory of Microwave Circuits*. Academic Press, 1969.
- [16] https://www.gs1.org/docs/epc/uhf_regulations.pdf
- [17] <https://www.impinj.com/platform/connectivity/speedway-r420/>
- [18] https://www.mtiwe.com/Uploads/dbsAttachedFiles/RFID_catalog.pdf
- [19] <https://www.gs1br.org/codigos-e-padroes/epc-rfid>