

## Utilização do sistema SpuR na identificação de *tags chipless* de RFID independentes de orientação

**Lucas Maciel Machado**  
IFSP, Boituva, SP, Brasil

**Kauan Henrique Souza do Santos**  
IFSP, Boituva, SP, Brasil

**Prof. Dr. Marcelo Frate**  
IFSP, Boituva, SP, Brasil

**Resumo:** Este artigo, utilizando o sistema SpuR, apresenta uma solução potencial e compara os resultados dos testes realizados para resolver alguns dos principais problemas relacionados à identificação das etiquetas sem *chip* de RFID. Este problema se traduz na incapacidade de identificar etiquetas RFID independente de orientação. A solução proposta, através de um sistema único, permite a identificação de diferentes tipos de etiquetas sem *chip* que incorporam o conceito de independência de orientação. Essa tecnologia possibilita a leitura e a correta identificação das etiquetas sem *chip* de RFID em qualquer orientação, reduzindo os custos operacionais e viabilizando seu uso em larga escala, substituindo as tradicionais etiquetas de identificação.

**Palavras-chave:** Etiqueta sem *chip*. RFID. SpuR. SDR. Etiqueta.

**Abstract:** This paper presents a potential solution using the SpuR system and compares the results of tests aimed at addressing key challenges in identifying RFID chipless tags. The proposed solution allows for the identification of various types of chipless tags through a single system, incorporating the concept of orientation independence. This technology facilitates the reading and accurate identification of RFID chipless tags in any orientation, thereby reducing operational costs and enabling large-scale implementation, potentially replacing traditional identification tags.

**Keywords:** *Chipless. RFID. SpuR. Tags. SDR.*

## 1. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Uma tecnologia que vem ganhando espaço nos últimos anos e é utilizada em vários setores, chamando a atenção de pesquisadores, é o sistema de identificação por radiofrequência ou *Radio Frequency Identification* (RFID). Normalmente, esse sistema utiliza etiquetas de identificação onde seus dados são armazenados em *chips*, elevando seu valor econômico, podendo inviabilizar a sua utilização (Landt, 2005; Seufitelli *et al.* 2009).

Uma possível alternativa para esse problema é a utilização das etiquetas sem *chip* ou *tags chipless* de RFID, elas guardam as informações através de ressonadores. O segredo está na geometria dos ressonadores, componentes projetados para que respondam a frequências específicas, definindo a assinatura espectral exclusiva, o que confere uma identificação única e exclusiva para cada *tag chipless* de RFID (Souza 2019; Serres *et al.*, 2015; Islam *et al.*, 2012; Vena *et al.*, 2012)

O artigo apresentado por Frate *et al.* (2023) demonstrou o funcionamento do sistema SpuR utilizando ressonadores, onde a leitura da assinatura espectral na faixa de frequência de 70 MHz a 6 GHz é realizada diretamente através de cabos, garantindo, assim, uma leitura sem quaisquer interferências do meio externo. Apesar de todo o avanço, esta prática não leva em consideração a real utilização de um sistema leitor de RFID, pois torna necessário que o sistema leitor esteja sempre conectado via cabo com as *tags chipless*.

Uma alternativa viável para superar essa limitação é a utilização de antenas de banda ultra larga para a leitura dos sinais, como as antenas *patch* UWB (*Ultra Wideband*). Com essa abordagem, elimina-se a necessidade do contato físico entre o equipamento leitor e as *tags chipless* através dos cabos, tornando as antenas responsáveis pela transmissão e pela captação dos sinais utilizados na identificação das *tags chipless* (Islam *et al.*, 2012).

No entanto, há mais um problema que precisa ser superado: refere-se à posição das *tags chipless* em relação às antenas de transmissão e recepção. Conforme a orientação da *tag* lida, os sinais capturados são alterados, interferindo na capacidade do *software* leitor de comparar, associar a *tag* lida ao seu correspondente

armazenado no banco de dados e a correta identificação (Vena *et al.*, 2012; Sharma *et al.*, 2019).

O uso de antenas *patch* UWB pelo sistema leitor, por serem direcionais, exige o alinhamento entre as antenas das *tags chipless* com as antenas do sistema leitor para que a leitura seja realizada corretamente. Para isso, torna-se necessário posicionar as *tags chipless* conforme a polarização apresentada pelas antenas de transmissão e recepção (Schantz, 2003).

Assim, este trabalho tem por objetivo tratar os problemas relatados aqui e apresentar uma possível solução. Utilizando o sistema SpuR, o Adalm-Pluto como equipamento leitor, duas antenas *patch* UWB para a transmissão e a recepção dos sinais e *tags chipless* de baixo custo. Espera-se aumentar a capacidade de ler e identificar *tags chipless* projetadas especificamente para esse fim, independentemente da sua orientação em relação às antenas do sistema.

## 2. METODOLOGIAS

Neste estudo, o sistema SpuR foi utilizado devido à sua capacidade de ler e identificar *tags chipless* de RFID através das assinaturas espectrais únicas, proporcionando uma alternativa mais segura em comparação às técnicas tradicionais de decodificação binária (Frate *et al.*, 2023).

Como apresentado em Frate *et al.* (2023), o sistema SpuR realiza a leitura da assinatura espectral da *tag chipless* de RFID alvo e a comparação dos valores obtidos com o banco de dados previamente armazenado, possibilitando a identificação de forma exclusiva para cada *tag chipless* de RFID utilizando o método da distância Euclidiana, conforme Equação (1).

$$d(A, B) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_k - y_k)^2} \quad (1)$$

Sendo que, em (1), o  $A$  representa o *array* com os valores referentes a assinatura espectral da etiqueta sem chip alvo e o  $B$  representa o *array* da etiqueta armazenada no banco de dados, o  $x_k$  representa os valores da frequência (eixo

horizontal), já o  $y_k$  representa os valores da magnitude (eixo vertical) e  $n$  o total de amostras coletadas.

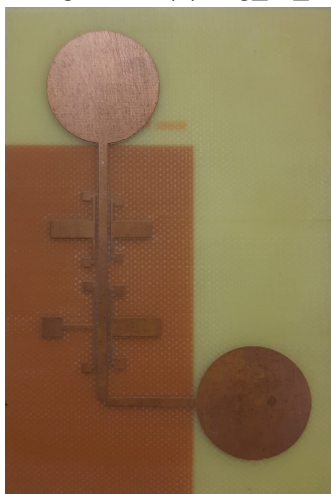
Desta forma, a fim de se realizar a correta identificação das *tags chipless*, apresentadas na Seção 2.1, de forma independente do posicionamento das antenas de transmissão e recepção do sistema, foi construída uma mesa leitora, descrita na Seção 2.2, tendo os resultados apresentados na Seção 3.

### 2.1. *Tags chipless* de RFID

Foram selecionadas e apresentadas, na Fig. 1, dois tipos de *tags chipless*: A *tag chipless* tradicional com duas antenas polarizadas de forma vertical e horizontal (Figura 1(a)), aqui denominada de Tag\_ID\_1, e a *tag chipless* independente de orientação, formada apenas por ressonadores circulares em sua construção (Figura 1(b)), aqui denominada de Tag\_ID\_2.

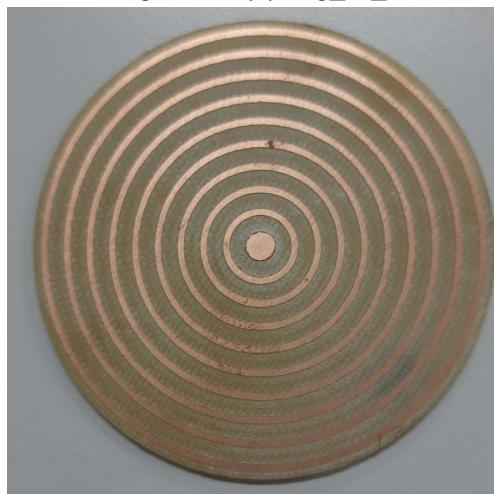
Baseada na *tag* apresentada em Souza (2019), a Tag\_ID\_1 apresenta o conjunto de ressonadores e um plano terra, além de duas antenas polarizadas vertical e horizontalmente. Já a Tag\_ID\_2, baseada em (Brinker, 2019), devido à sua geometria, ausência do plano terra e de antenas, não depende de orientação específica, pode ser lida de ambos os lados, proporcionando leitura consistente em qualquer direção, mantendo as vantagens oferecidas pelas *tags chipless* tradicionais (Islam *et al.*, 2012; Sharma *et al.*, 2019; Vena *et al.*, 2012].

Figura 1 – (a) Tag\_ID\_1



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 1 – (b) Tag\_ID\_2



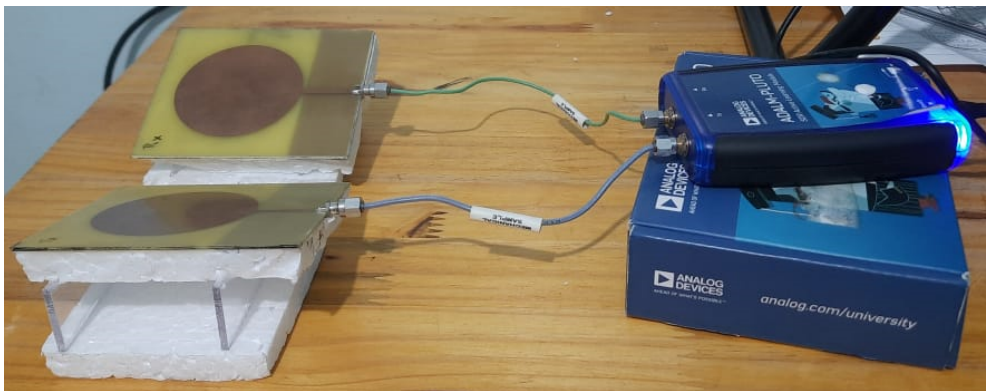
Fonte: Autoria própria (2024).

## 2.2. Mesa Leitora de RFID

Para a montagem da mesa leitora, Fig. 2, foram escolhidas duas antenas *patch* UWB adaptadas de Souza (2019) e projetadas especificamente para funcionarem na faixa de frequência de 1 GHz a 6 GHz. Vale destacar, que esse trabalho não tem o intuito de apresentar o desenvolvimento das antenas ou das *tags chipless* utilizadas.

Para a leitura da assinatura espectral das *tags chipless*, as antenas UWB foram posicionadas a aproximadamente 2,5 cm de distância uma da outra, ambas com inclinação de 20° e conectadas ao Adalm-Pluto, conforme a Fig. 2.

Figura 2 – Conjunto leitor de RFID



Fonte: Autoria própria (2024).

Desta forma, para garantir que o sistema leitor mantivesse um padrão na leitura, o conjunto das antenas foi montado dentro de uma caixa de papelão a fim de se montar a mesa leitora, conforme a Fig. 3.

Figura 3 – Posicionamento das antenas



Fonte: Autoria própria (2024).

A montagem da mesa leitora possibilitou a correta leitura, garantindo um padrão de qualidade na comparação das *tags chipless*, permitindo que o processo fosse reproduzível. Os testes realizados e os resultados são apresentados na Seção 3.

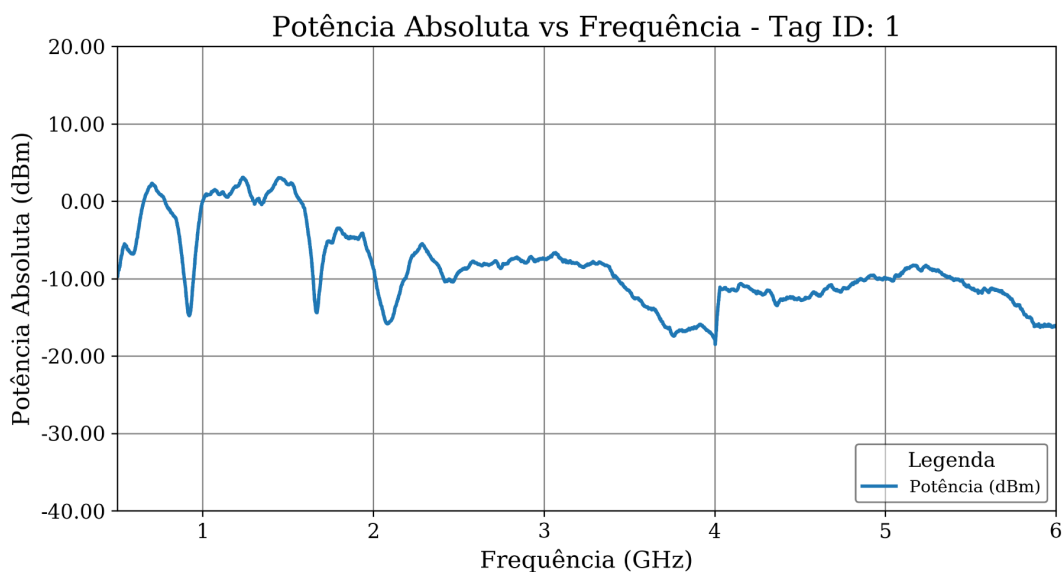
### 3. RESULTADOS

Os testes realizados com as *tags chipless* selecionadas permitiram avaliar o desempenho do sistema SpuR na identificação das assinaturas espectrais em diferentes orientações. A seguir, são apresentados os resultados obtidos, detalhados em duas etapas principais.

#### 3.1. Cadastro das *Tags chipless*

Após a montagem da mesa leitora e dos testes preliminares, foram cadastrados no sistema SpuR os valores relativos à potência absoluta dado em (dBm) das duas *tags chipless* escolhidas. O gráfico relativo à Tag\_ID\_1 é apresentado na Fig. 4 e o gráfico da Tag\_ID\_2 pela Fig. 5, pode-se perceber que o sistema armazenou os dados referentes a todo o espectro de frequência que o *hardware* Adalm-Pluto suporta.

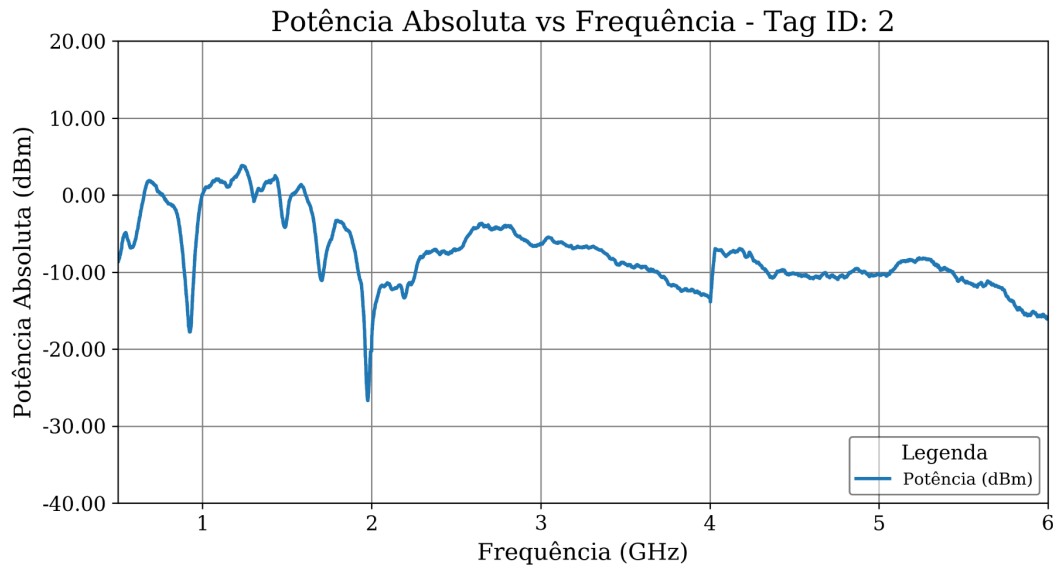
Figura 4 – Assinatura espectral da Tag\_ID\_1



Fonte: Autoria própria (2024).



Figura 5 – Assinatura espectral da Tag\_ID\_2



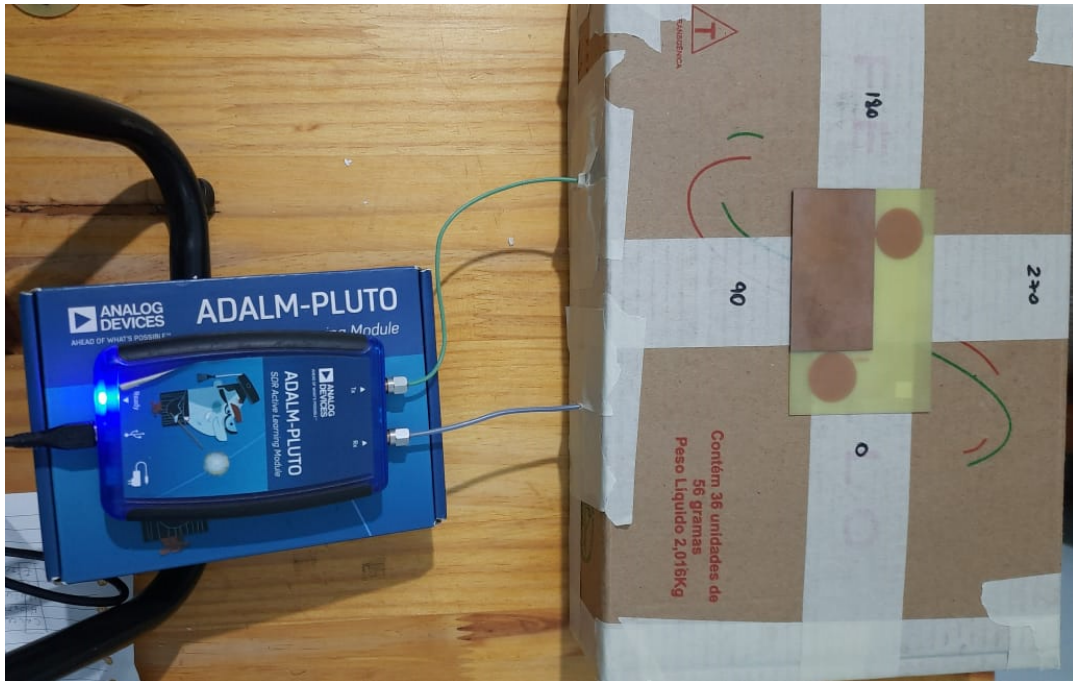
Fonte: Autoria própria (2024).

O método da distância euclidiana, conforme apresentado em Frate *et al.* (2023), é um procedimento de classificação supervisionada. Neste método, o menor valor calculado dessa distância entre os pontos dos *arrays* A e B permitem comparar as assinaturas espectrais da *tag* medida com as armazenadas. Ou seja, os pontos pré-estabelecidos para efetuar o cálculo são os valores de frequência e magnitude das *tags chipless* medidos e armazenados.

### 3.2. Leitura das *Tags chipless*

Após o cadastro das *tags chipless*, foi realizada a leitura e a comparação com o banco de dados. O primeiro conjunto de testes foi realizado utilizando a *tag chipless* Tag\_ID\_1, posicionada sobre a superfície da mesa leitora conforme apresentado na Fig. 6, situada imediatamente acima do ponto central entre as antenas de transmissão e recepção e teve a sua orientação alterada sistematicamente a cada leitura, variando nas posições 0°, 90°, 180° e 270°.

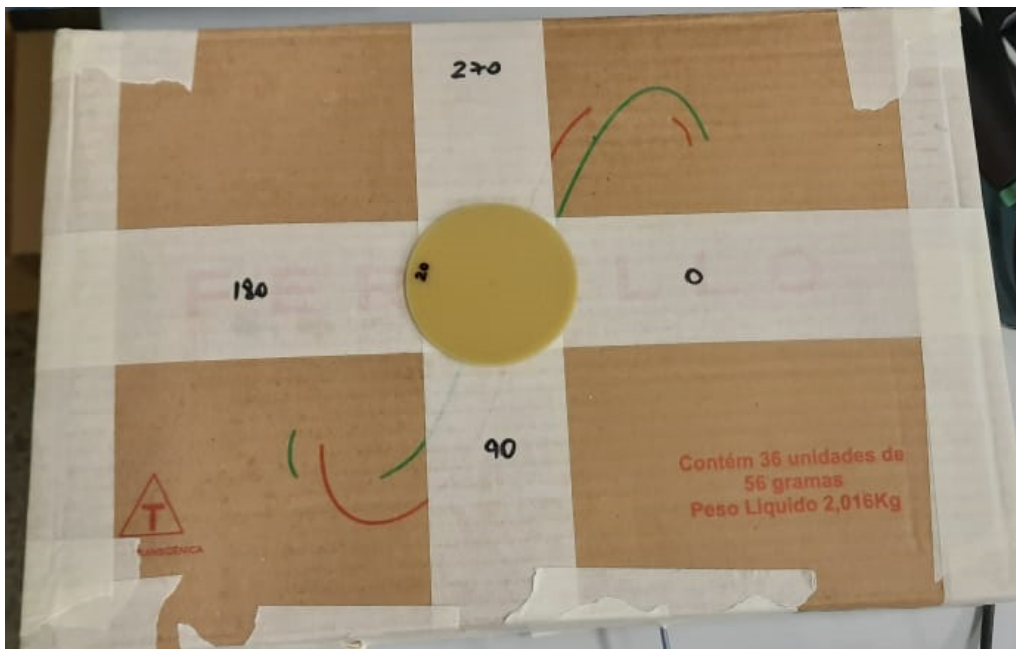
Figura 6 – Mesa e Tag\_ID\_1



Fonte: Autoria própria (2024).

Da mesma forma, o segundo conjunto de testes foi realizado utilizando a *tag chipless* Tag\_ID\_2, como apresentado na Fig. 7.

Figura 7 – Mesa e Tag\_ID\_2

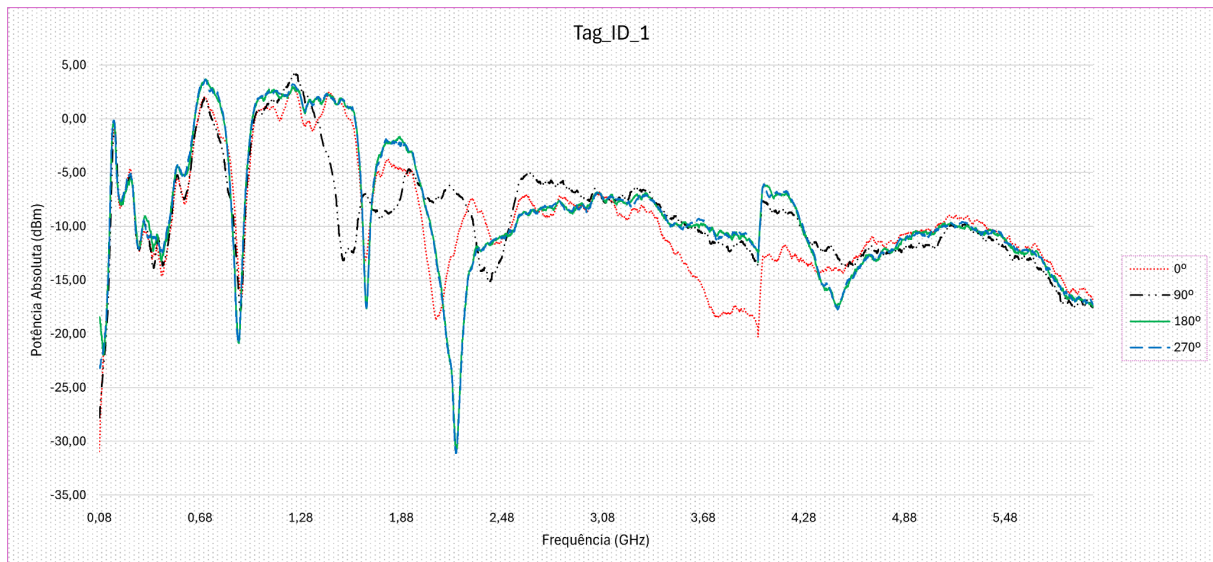


Fonte: Autoria própria (2024).



Os resultados obtidos através da metodologia proposta são apresentados através das figuras Fig. 8 e Fig. 9, onde é possível observar a variação da leitura conforme muda a orientação das *tags chipless* em relação ao posicionamento das antenas.

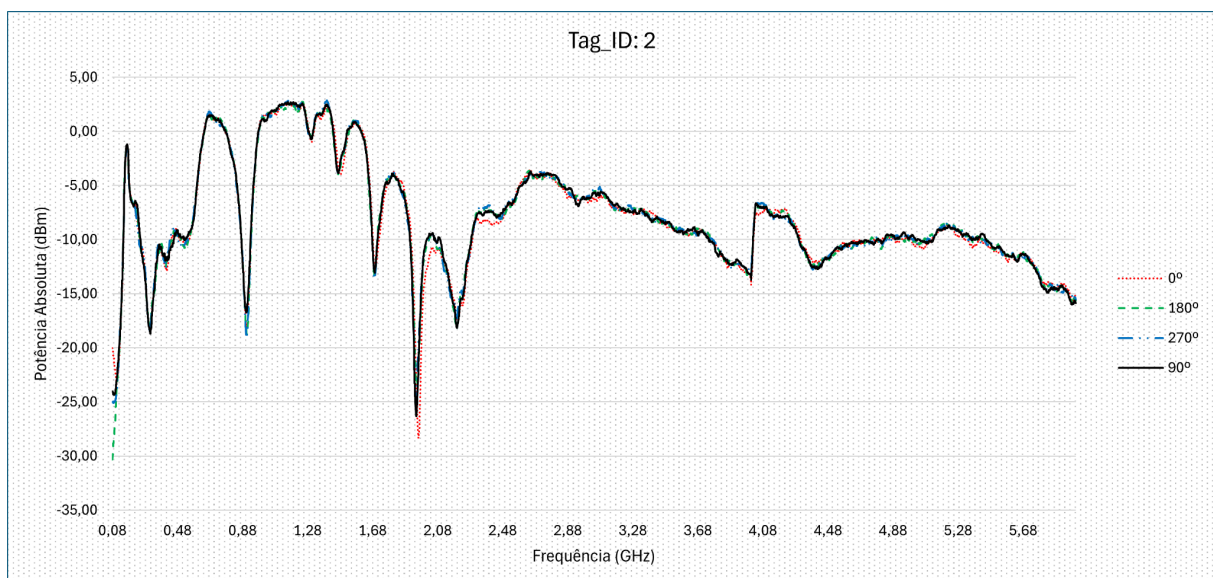
Figura 8 – Tag\_ID\_1



Fonte: Autoria própria (2024).

É possível perceber que para a Tag\_ID\_1 em todas as leituras o sinal obtido forma um conjunto de dados diferente e para a Tag\_ID\_2 os gráficos apresentam praticamente os mesmos resultados.

Figura 9 – Tag\_ID\_2



Fonte: Autoria própria (2024).

Alternativamente, pode-se utilizar métricas de erros estatísticos para demonstrar a taxa de erro entre as diferentes posições das *tags chipless* em relação às antenas da mesa leitora. Comumente utilizado em projetos de *machine learning* ou ciência de dados, as mensurações dos erros são importantes para verificar se a assertividade do modelo está convergindo ou não. Neste caso, algumas das métricas mais utilizadas, foram adotadas para a comparação entre as informações lidas e armazenadas e suas fórmulas são apresentadas a seguir:

- Erro Absoluto Médio ou *Mean Absolute Error* (MAE)

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (2)$$

- Erro Quadrático Médio ou *Mean Square Error* (MSE)

$$\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \quad (3)$$

- Raiz do Erro Quadrático Médio ou *Root Mean Square Error* (RMSE).

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (4)$$

- Erro Percentual Médio Absoluto ou *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE)

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - y_i|}{y_i} \quad (5)$$

Como resultado das leituras e aplicação das fórmulas, obtém-se a Tabela 1 de comparação para as duas *tags* lidas nos ângulos 90°, 180° e 270° e comparadas com os valores armazenados na posição 0°.

**Tabela 1. Tabela de comparação**

	Tag_ID_1			Tag_ID_2		
	90°	180°	270°	90°	180°	270°
<b>MAE</b>	9,23	9,30	9,31	8,40	8,42	8,40
<b>MSE</b>	102,46	11,06	111,39	89,60	90,37	89,41
<b>RMSE</b>	10,12	10,54	10,55	9,47	9,51	9,46
<b>MAPE</b>	199,35	90,19	97,33	12,24	12,82	16,22

Fonte: Autoria própria (2024).

Os resultados confirmaram a capacidade do sistema SpuR em reconhecer as *tag chipless* independentemente de orientação com precisão em qualquer posição, corroborando a hipótese inicial e mantendo a integridade dos dados armazenados. É possível observar que, em todos os casos e para todas as métricas aplicadas, a Tag\_ID\_2 apresenta sempre o menor percentual de erro em relação à Tag\_ID\_1, atestando a eficiência da leitura através da metodologia proposta.

#### 4. CONCLUSÕES

Observou-se que o sistema leitor apresentou dificuldades em reconhecer corretamente as tradicionais *tags chipless* (Tag\_ID\_1) devido à orientação das antenas das *tags* em relação às antenas responsáveis pela transmissão e recepção do sinal. Em relação às *tags chipless* independentes de orientação (Tag\_ID\_2), como a *tag* circular utilizada nesta pesquisa, ficou evidente que o sistema SpuR foi capaz de reconhecê-las em qualquer posição. Observou-se aqui a funcionalidade das *tags chipless* independentes de orientação, que tornam os produtos ainda mais baratos, facilitando a leitura e garantindo a correta identificação, independentemente da orientação do objeto alvo em relação à mesa leitora. Percebe-se ainda que esse avanço abre espaço para futuras pesquisas, pois o posicionamento das *tags* está sempre na horizontal, de forma paralela à mesa leitora. Dessa forma, um objeto apresentado na posição vertical não será reconhecido corretamente, criando uma

situação parecida com a das *tags chipless* tradicionais. Pode-se concluir que as *tags chipless* independentes de orientação representam uma alternativa promissora às *tags chipless* tradicionais, especialmente em cenários em que a orientação da *tag* não pode ser controlada. No entanto, a eficácia dessas *tags chipless* posicionadas na vertical ainda precisa ser investigada em estudos futuros para validar completamente sua aplicabilidade em diferentes situações.

## REFERÊNCIAS

BRINKER, K. R. Passively-Coded Embedded Microwave Sensors for Materials Characterization and Structural Health Monitoring (SHM). **Missouri University of Science and Technology**, 2019.

FRATE, M.; RODRIGUES, R. J. G.; SOUZA, G. d. T. S.; CHUMA, E. L.; ROGER, L. L. B. Spur-a system for spectral signature recognition of chipless RFID tags using software-defined radio. **IEEE Latin America Transactions**, [S. l.], v. 21, n.10, p.1114-1121, 2023.

ISLAM, M. A.; YAP, Y.; KARMAKAR, N.; AZAD, A. K. M. Orientation independent compact chipless RFID tag. In: **IEEE International Conference on RFID-Technologies and Applications (RFID-TA)**, [S. l.], p.137-141, 2012.

LANDT, J. The history of RFID. **IEEE Potentials**, [S. l.], v.24, n.4, p.8-11, 2005.

SCHANTZ, H. Introduction to ultra-wideband antennas. In: **IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies**, [S. l.], p.1-9, 2003.

SEUFITELLI, C. B.; HENRIQUE, D. F.; da ROSA, S. I.; de CARVALHO, R. A. Tecnologia RFID e seus benefícios. **Revista Vértices**, [S. l.], v.11, n.1/3, p.19-26, 2009.

SHARMA, V.; MALHOTRA, S.; HASHMI, M. Slot resonator based novel orientation independent chipless RFID tag configurations. **IEEE Sensors Journal**. [S. l.], v.19, n.13, p. 5153-5160, 2019.

SERRES, A. J. R.; GURJÃO, E. C.; de FREITAS SERRES, G. K. RFID sem chip, o código de barras do futuro? **Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação**. [S. l.], v. 5, n. 2, p.19-24. 2015.

SANTOS SOUZA, G. de T. **Novos sensores de RFID para aplicações em IoT baseados em ressonadores "dual-mode" de sintonias independentes**. 2019. 1

recurso online (117 p.) Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia, Limeira, SP, 2019. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/14559>. Acesso em: 19 nov. 2024.

VENA, A.; PERRET, E.; TEDJINI, S. High-capacity chipless RFID tag insensitive to the polarization. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**. [S. l.], v.60, n.10, p. 4509-4515, 2012.