

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO ESPACIAL NA POTÊNCIA DO SINAL RF IRRADIADO POR TAGS RFID UHF PASSIVAS.

*Sérgio Costa Martins de Alencar¹, Kalleu Henry Dacio de Lima²,
Inácio Rafael da Silva Meireles³ e Yago Peixoto de Assis⁴.*

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo da tecnologia de identificação por radiofrequência (Radio Frequency Identification – RFID) que tem se consolidado como ferramenta essencial para sistemas de rastreabilidade e identificação por permitir a coleta de dados de múltiplas etiquetas eletrônicas (tags RFID), simultaneamente, sem necessidade de contato ou visada. Neste estudo, fez-se a análise da tecnologia RFID em UHF, onde se buscou caracterizar o comportamento funcional de um conjunto finito de tags quanto a influência de sua orientação no espaço tridimensional sobre a potência do sinal de RF irradiado por elas, quando submetidas ao campo de radiofrequência do leitor/coletor. O RFID em UHF destaca-se pela eficiência, segurança, confiabilidade, facilidade de integração e pelo seu preço acessível. O seu uso atualmente é importante principalmente na indústria 4.0 auxiliando na coleta de dados da produção.

Palavras-chave: Antenas dipolo; Identificação por radiofrequência (RFID); indicador de intensidade do sinal recebido (RSSI).

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. sergio.alencar@ifam.edu.br, ORCID: 0009-0006-2681-3845

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. kalleudacio@gmail.com, Lattes: 1155824426217387

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. inaciopce2020@gmail.com, Lattes: 7619218313030923

⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. yago.peixotobb@gmail.com

STUDY OF THE INFLUENCE OF SPATIAL ORIENTATION ON THE POWER OF THE RF SIGNAL RADIATED BY PASSIVE UHF RFID TAGS

ABSTRACT

This work presents a study of radio frequency identification technology (RFID), which has been consolidated as an essential tool for traceability and identification systems, allowing the simultaneous collection of data from multiple electronic tags (RFID tags) without the need for contact or direct sight. In this study, an analysis of RFID technology in UHF is presented, where we sought to characterize the functional behavior of a finite set of tags regarding the influence of their orientation in three-dimensional space on the power of the RF signal radiated by them, when subjected to the RF field of the reader/collector. UHF RFID stands out for its efficiency, security, reliability, ease of integration, and affordable price. Its use is currently essential, especially in Industry 4.0, as it helps collect production data.

Keywords: Dipole antennas; Radio Frequency Identification (RFID); Received Signal Strength Indicator (RSSI).

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia RFID (Identificação por Rádio Frequência) tem relevância para a automatização de processos como por exemplo em indústrias envolvendo rastreabilidade no processo produtivo. A tecnologia pode auxiliar no monitoramento da produção, rastreamento de peças e componentes, e na gestão da manutenção de equipamentos. O RFID também pode ser usado na gestão de estoque e armazenamento, permitindo o controle dinâmico de inventários, o que aumenta a eficiência na gestão de ativos (TRSERVICE, 2024). Controle de acesso é outra possível aplicação, onde *tags* RFID podem ser incorporadas em crachás de identificação e pulseiras, permitindo o controle de acesso automatizado e seguro a áreas restritas. Em instalações hospitalares, as *tags* RFID podem ser usadas para rastrear medicamentos, dispositivos médicos e pacientes, garantindo que os recursos sejam utilizados de maneira eficiente e que os pacientes tenham o acompanhamento necessário.

A escolha adequada da *tag* RFID é fundamental para o sucesso de qualquer destas aplicações. Diferentes ambientes e necessidades exigem tipos específicos de *tags*. *Tags* passivas, por exemplo, não possuem uma fonte de energia própria e são ativadas pelo campo eletromagnético do leitor, sendo apropriadas para aplicações de curto alcance e baixo custo.

Por seu turno as *tags* ativas possuem sua própria fonte de energia e são indicadas para aplicações de longo alcance e ambientes mais desafiadores. A frequência de operação da *tag* também afeta seu alcance de leitura e a velocidade de transmissão, e por fim, a própria orientação espacial das *tags* em relação ao sinal de radiofrequência emitido pelos leitores possui impacto sobre os resultados. Tal parâmetro costuma ser negligenciado no momento do projeto e especificação de sistemas de identificação e rastreabilidade baseados em RFID, embora possa contribuir para o mau desempenho da solução desejada.

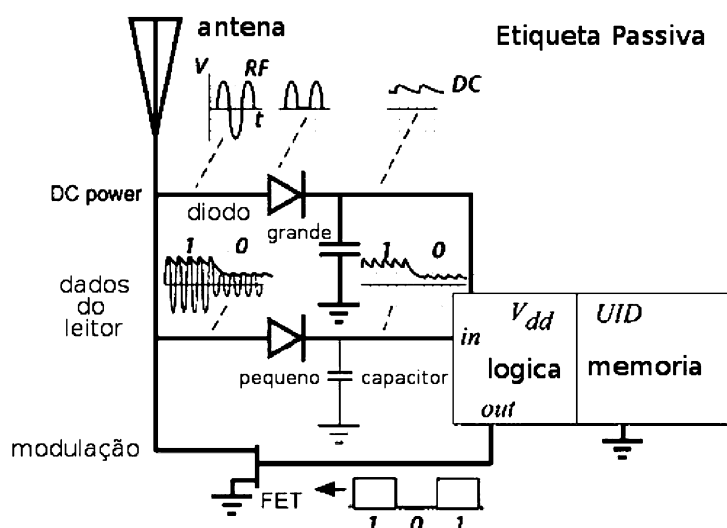
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

RFID é a sigla para Identificação por Radiofrequência. Essa é uma tecnologia que faz uso da comunicação por meio de radiofrequência para transmitir dados de um dispositivo móvel como uma etiqueta ou um chaveiro dotado de microchip e antena, denominados de *tags* (Costa et al., 2021). As informações são transferidas através de ondas de rádio dentro da faixa ISM (industrial, científica e médica), garantindo baixo custo para os sistemas e disponibilidade em todo o mundo uma vez que está é uma banda não licenciada em todos os países. Sua origem vem da segunda guerra mundial, quando era usada para diferenciar aviões inimigos. Com o decorrer do tempo o RFID evoluiu e tornou-se uma das ferramentas essenciais em questões de logística, saúde, transporte e segurança (Cui et al., 2019).

Um sistema baseado em RFID é composto por três elementos principais: as etiquetas ou *tags*, os leitores/coletores e as antenas. Adicionalmente também deve-se considerar um sistema de informação que fará uso das informações coletadas por meio da tecnologia RFID. A *tag*, também conhecida como transponder (derivado do inglês *transmitter* e *responder*), tem como função transmitir e responder comandos que chegam por radiofrequência. Sua estrutura básica é formada por um microchip que armazena informações e uma antena, envolvidos por algum material como plástico ou silicone. As *tags* podem ser divididas em três grupos: passivas, ativas e de via dupla. As *tags* passivas são mais conhecidas e utilizadas atualmente, pois podem ser produzidas por um custo muito baixo, em parte, por não requererem energia de uma bateria interna (de Queiroz; de Araújo; Horta, 2014). A energia que elas obtêm é extraída da própria energia eletromagnética emitida pelo leitor/coletor. As ondas eletromagnéticas geradas pelo dispositivo leitor/coletor são transmitidas através de uma antena do tipo dipolo até a antena instalada na *tag*, que também é uma antena do tipo dipolo.

A antena da *tag* recebe o sinal e o transforma em uma tensão alternada, que por meio de circuitos internos de retificação é transformada em uma tensão contínua. Esta tensão contínua irá carregar capacitores internos que manterão a alimentação do microchip por um intervalo curto de tempo, mas suficiente para ativá-lo, conforme observado na figura 01. O mesmo canal de recepção é utilizado também para transmitir os dados armazenados na *tag* para o dispositivo leitor através de um processo de modulação.

Figura 01 - Diagrama em blocos de uma *tag* passiva



Fonte: de Queiroz; de Araújo; Horta, 2014.

As faixas mais comuns utilizadas pelo RFID são a LF (*low frequency*) HF (*high frequency*) UHF (*ultra-high frequency*) e micro-ondas. Em UHF é possível efetuar a leitura de *tags* em distâncias de até 10 metros, sendo utilizada normalmente em controle de fornecimento logístico (RFID, 2024).

Para avaliar desempenho de canais de radiofrequência (camada física) em diversas tecnologias de enlace de rádio, incluindo a tecnologia RFID, uma métrica bastante usada é o indicador de intensidade do sinal recebido (*Received Signal Strength Indicator* - RSSI). O RSSI é uma medida do nível de potência de um sinal de rádio recebido, normalmente usados em sistemas de comunicação sem fio. No contexto da RFID, o RSSI é usado para determinar a intensidade do sinal de radiofrequência (RF) recebido pelo leitor RFID, proveniente da *tag*. O valor RSSI também é uma indicação da distância entre o leitor e a *tag*, com um valor RSSI mais alto sugerindo maior proximidade e um valor mais baixo indicando maior distância. O RSSI é frequentemente expresso em decibéis (dBm) e pode ser influenciado por vários fatores, como condições ambientais, interferência, orientação da etiqueta e presença de obstáculos (RSSI, 2024). Para o RFID, -30 dBm é um sinal ótimo enquanto -85 dBm é considerado um sinal fraco.

Em termos de potência, pode-se considerar que um leitor/coletor RFID típico pode emitir um sinal de RF de 1 watt ou 30 dBm. Uma etiqueta RFID UHF típica retroespalha a intensidade do sinal na faixa de -30dBm a -85 dBm, sendo -30 dBm igual a 1 μ W. Logo, apenas uma fração da intensidade do sinal original é transmitida de volta ao leitor/coletor. Para ilustrar a perda de potência, um valor de RSSI de -100 dBm refere-se à intensidade do sinal de 0,1 pW, sendo a métrica uma função logarítmica que respeita a lei do inverso do quadrado da distância com relação a propagação de ondas eletromagnéticas.

Além da distância a literatura apresenta que a orientação das *tags* no espaço tridimensional tem efeito preponderante na resposta dessas a leitura realizada pelo leitor/coletor de dados. Quando se muda a orientação da *tag*, o valor retornado de RSSI tende a variar significativamente (Hayward et al., 2021). Também se observa na literatura uma correção entre a distância das *tags* à fonte do sinal de RF e o maior efeito da orientação espacial dessas sobre o valor do RSSI e consequentemente da potência irradiada por esta em resposta ao leitor/coletor, tornando-se mais importante à distâncias maiores (Gomes et al., 2020). A orientação das *tags* é importante pois guarda relação com o projeto de antena do tipo dipolo usada na tecnologia RFID. Uma antena dipolo é composta por dois condutores idênticos alinhados e alimentados por um único ponto central, sendo a antena dipolo de meia onda o projeto mais comum, onde o comprimento total é aproximadamente a metade do comprimento de onda da frequência para a qual ela é projetada (DIPOLLO, 2023). A sua geometria e orientação espacial é crítica, devendo levar em consideração a direção do sinal de transmissão desejado e a polarização deste (horizontal ou vertical) de acordo com a polarização do sinal da antena receptora.

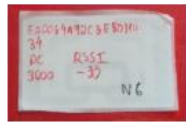
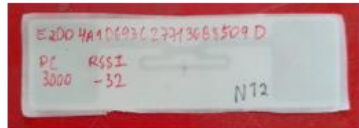
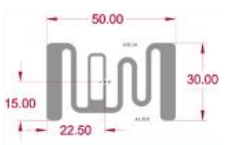
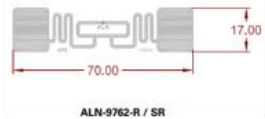
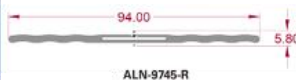
3. METODOLOGIA

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa quantitativa, conduzida por meio do método hipotético-dedutivo aplicado a um estudo de caso. Foram realizadas revisões dos referenciais teóricos pertinentes ao tema, bem como experimentos em bancada para aprofundamento na compreensão dos elementos constituintes de um sistema RFID.

Adicionalmente, executaram-se experimentos em laboratório destinados à coleta de dados, seguidos de análise e caracterização subsequentes. Os experimentos foram realizados em ambiente real, em área interna do laboratório de pesquisa, não anecóico. As *tags* estavam sujeitas à presença dos efeitos interferentes típicos em sua operação normal diária como multipercurso, perdas por penetração, reflexão, refração, difração, e espalhamento, sendo suas influências sobre os resultados não modeladas neste estudo. Os experimentos foram idealizados para avaliar a relação entre os valores do RSSI recebido das *tags* e a mudança de posição dessas quanto ao plano tridimensional no qual estavam fixadas em relação ao plano da antena do leitor/coletor (X-Y, X-Z e Y-Z), estando o plano da antena do leitor/coletor paralelo ao plano X-Y.

Em cada plano no qual a *tag* estava fixada, também foi realizada a mudança de orientação (0º e rotação a 90º), também chamada de polarização, para avaliar sua relevância para o RSSI recebido. Os experimentos foram realizados utilizando-se um leitor/coletor de dados portátil do fabricante Zebra, modelo RFD 8500 (ZEBRA, 2020) juntamente com o aplicativo para smartphones *android* 123RFID do mesmo fabricante. Como indicado na figura 02, foram utilizados cinco tipos diferentes de *tags* UHF passivas do fabricante Alien, modelos ALN-9726, ALN-9728, ALN-9745, ALN-9762 e ALN-9768 (ALIEN, 2024).

Figura 02 – Modelos de tags utilizadas para os experimentos

	ALN-9726 "Spider-360"	
	ALN-9768 "Wonder Dog"	
	ALN-9728 "GT" Garment	
	ALN-9762 "Short"	
	ALN-9745 "SlimLine"	

Fonte: Adaptado de ALIEN, 2014.

O ambiente de testes para os experimentos é apresentado na figura 03, onde essas foram fixadas em área delimitada por marcação, distando seu centro 0,2 m em relação ao centro do plano da antena do leitor, e a uma altura de 0,2 m em relação à mesa, estando o plano da antena do leitor paralelo ao plano da parede oposta.

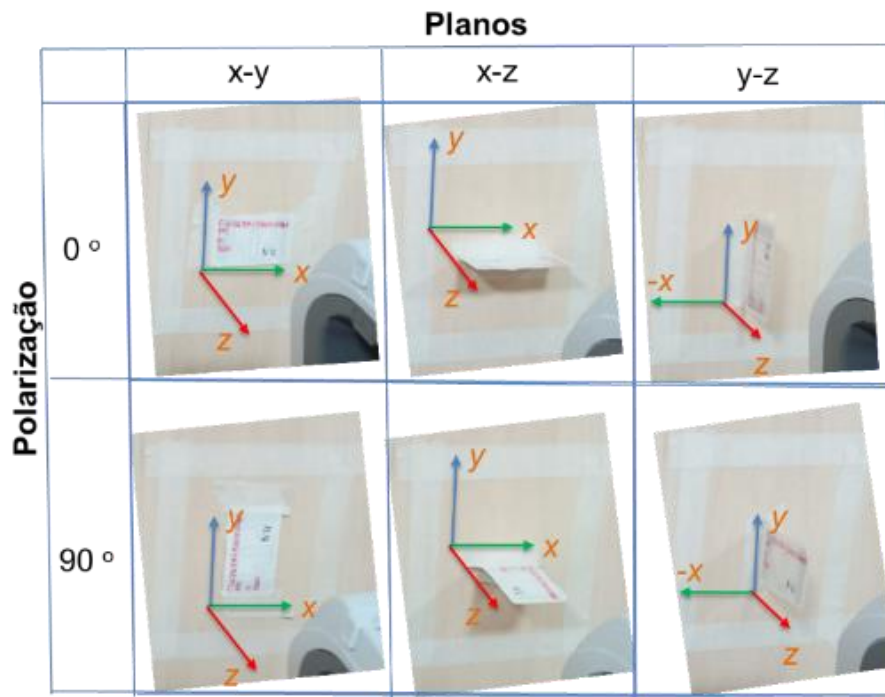
Figura 03 – Área delimitada para realização dos experimentos.



Fonte: Os autores, 2024.

Para cada experimento foram realizadas dez leituras sucessivas sob as mesmas condições de distanciamento e efeitos interferentes. Cada modelo de tag foi disposto, sequencialmente, nos seguintes planos e orientações: plano (X-Y), com orientação de 0 graus e 90 graus; plano (X-Z), com orientação de 0 graus e 90 graus; e plano (Y-Z), com orientação de 0 graus e 90 graus. As diversas disposições das tags estão indicadas na figura 04.

Figura 04 – Orientação espacial das tags para os experimentos.



Fonte: Os autores, 2024.

A métrica usada foi o indicador de intensidade do sinal recebido (*Received Signal Strength Indicator* - RSSI) de cada *tag*, para leitura em cada plano e orientação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para cada modelo de *tag*, foram tabuladas suas respostas RSSI em cada plano e orientação. Para permitir comparação adequada entre desempenhos, analisou-se os resultados em termos de potência, sendo necessário converter os valores em dBm (logartímico) para miliwatts (linear), por meio da equação 01.

$$P(\text{mW}) = 10^{\frac{P(\text{dBm})}{10}} \quad (\text{Eq. 01})$$

Os resultados obtidos para cada experimento em particular são apresentados abaixo por meio e tabelas. Representações gráficas dos resultados também foram construídas de forma a amparar a análise e discussão.

4.1 Experimento 01: Tag ALN-9726 "Spider-360"

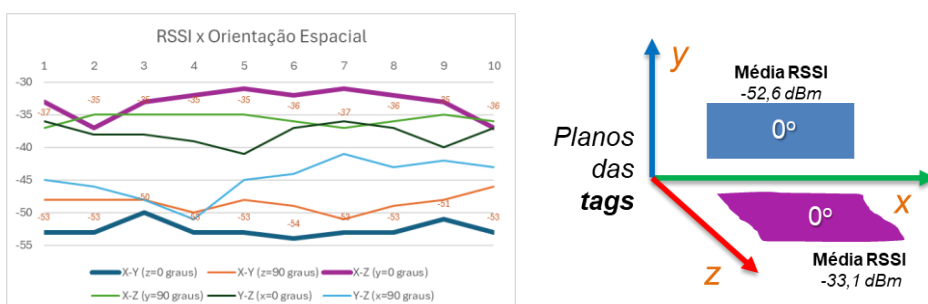
A tag apresentou os menores valores de RSSI quando estava no plano (X-Y), paralela ao plano da antena do leitor e orientada a 0º em relação ao sentido da leitura, com média RSSI de -52,6 dBm (0,000000546 mW). O melhor desempenho ocorreu com a tag no plano X-Z, orientada a 0º, com média RSSI de -33,1 dBm (0,000488 mW). Estes resultados podem ser observados na tabela 1 e gráfico 1.

Tabela 1: Resultados para tag ALN-9726 "Spider-360"

Tag	Plano	X-Y		X-Z		Y-Z	
	Leitura	X-Y (z=0 graus)	X-Y (z=90 graus)	X-Z (y=0 graus)	X-Z (y=90 graus)	Y-Z (x=0 graus)	Y-Z (x=90 graus)
ALN-9726 "Spider-360"	1	-53	-48	-33	-37	-36	-45
	2	-53	-48	-37	-35	-38	-46
	3	-50	-48	-33	-35	-38	-48
	4	-53	-50	-32	-35	-39	-51
	5	-53	-48	-31	-35	-41	-45
	6	-54	-49	-32	-36	-37	-44
	7	-53	-51	-31	-37	-36	-41
	8	-53	-49	-32	-36	-37	-43
	9	-51	-48	-33	-35	-40	-42
	10	-53	-46	-37	-36	-37	-43
Média		-52,6	-48,5	-33,1	-35,7	-37,9	-44,8

Fonte: Os autores, 2024.

Gráfico 1: Curvas de RSSI para a tag ALN-9726 "Spider-360".



Fonte: Os autores, 2024.

A relação entre maior e menor potência obtidas em planos e orientações distintos resultou em 893,8. Logo, posicionada à 0º no plano (X-Z), perpendicular ao plano da antena, a tag retornou um sinal RF com potência aproximadamente 900 vezes maior que posicionada no plano (X-Y), à 0º (voltada para a antena; pior caso).

4.2. Experimento 02: Tag ALN-9768 "Wonder Dog"

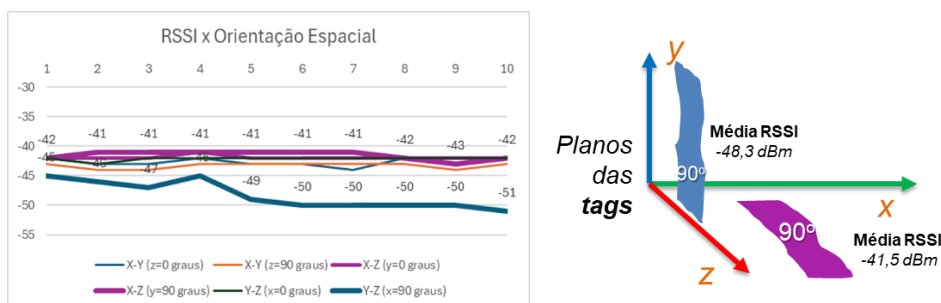
A tag apresentou os menores valores de RSSI quando estava no plano (Y-Z), perpendicular ao plano da antena do leitor, e orientada a 90º em relação ao sentido da leitura, com média RSSI de -48,3 dBm (0,0000147 mW). O melhor desempenho ocorreu com a tag no plano (X-Z), também orientada a 90º, com média RSSI de -41,5 dBm (0,0000707 mW). Estes resultados podem ser observados na tabela 2 e gráfico 2.

Tabela 2: Resultados para tag ALN-9768 "Wonder Dog".

Tag	Plano	X-Y		X-Z		Y-Z	
	Leitura	X-Y (z=0 graus)	X-Y (z=90 graus)	X-Z (y=0 graus)	X-Z (y=90 graus)	Y-Z (x=0 graus)	Y-Z (x=90 graus)
ALN-9768 "Wonder Dog"	1	-42	-43	-42	-42	-42	-45
	2	-43	-44	-42	-41	-43	-46
	3	-43	-44	-42	-41	-42	-47
	4	-42	-43	-41	-41	-42	-45
	5	-43	-43	-42	-41	-42	-49
	6	-43	-43	-42	-41	-42	-50
	7	-44	-43	-42	-41	-42	-50
	8	-42	-43	-42	-42	-42	-50
	9	-43	-44	-42	-43	-42	-50
	10	-42	-43	-42	-42	-42	-51
Média		-42,7	-43,3	-41,9	-41,5	-42,1	-48,3

Fonte: Os autores, 2024.

Gráfico 2: Curvas de RSSI para a tag ALN-9768 "Wonder Dog".



Fonte: Os autores, 2024.

4.3 Experimento 03: Tag ALN-9728 “GT” Garment

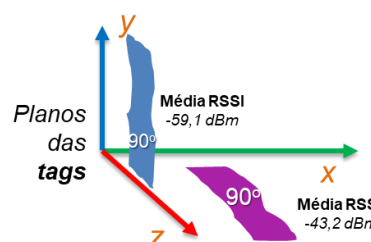
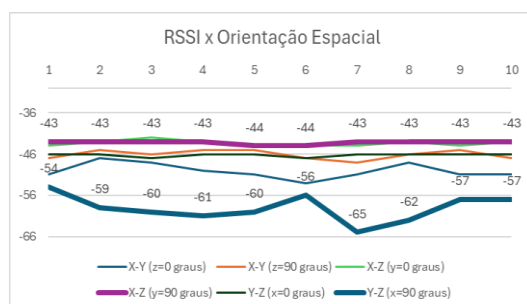
A tag apresentou os menores valores de RSSI quando estava no plano (Y-Z), perpendicular ao plano da antena do leitor, e orientada a 90º em relação ao sentido da leitura, com média RSSI de -59,1 dBm (0,00000123 mW). O melhor desempenho ocorreu com a tag no plano (X-Z), também orientada a 90º, com média RSSI de -43,2 dBm (0,0000707 mW). Estes resultados podem ser observados na tabela 3 e gráfico 3.

Tabela 3: Resultados para tag ALN-9728 “GT” Garment.

Tag	Plano	X-Y		X-Z		Y-Z	
	Leitura	X-Y (z=0 graus)	X-Y (z=90 graus)	X-Z (y=0 graus)	X-Z (y=90 graus)	Y-Z (x=0 graus)	Y-Z (x=90 graus)
ALN-9728 “GT” Garment	1	-51	-47	-44	-43	-46	-54
	2	-47	-45	-43	-43	-46	-59
	3	-48	-46	-42	-43	-47	-60
	4	-50	-45	-43	-43	-46	-61
	5	-51	-45	-44	-44	-46	-60
	6	-53	-47	-44	-44	-47	-56
	7	-51	-48	-44	-43	-46	-65
	8	-48	-46	-43	-43	-46	-62
	9	-51	-45	-44	-43	-46	-57
	10	-51	-47	-43	-43	-46	-57
Média		-50,1	-46,1	-43,4	-43,2	-46,2	-59,1

Fonte: Os autores, 2024.

Gráfico 3: Curvas de RSSI para a tag ALN-9728 “GT” Garment.



Fonte: Os autores, 2024.

A relação entre maior e menor potência obtidas em planos e orientações distintos resultou em 38,9. Posicionada à 90º no plano (X-Z), novamente perpendicular ao plano da antena, a tag retornou um sinal RF com potência aproximadamente 39 vezes maior que posicionada no plano (Y-Z), à 90º (também perpendicular à antena; pior caso).

4.4 Experimento 04: Tag ALN-9762 "Short"

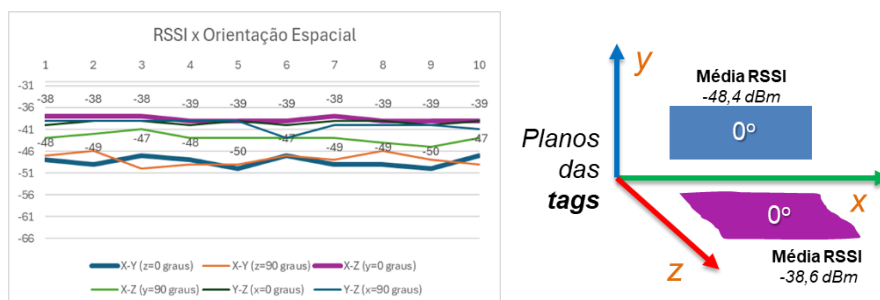
A tag apresentou os menores valores de RSSI quando estava no plano (X-Y), paralela ao plano da antena do leitor, e orientada a 0º em relação ao sentido da leitura, com média RSSI de -48,4 dBm (0,00000144 mW). O melhor desempenho ocorreu com a tag no plano (X-Z), também orientada a 0º, com média RSSI de -38,6 dBm (0,0000138 mW). Estes resultados podem ser observados na tabela 4 e gráfico 4.

Tabela 4: Resultados para tag ALN-9762 "Short".

Tag	Plano	X-Y		X-Z		Y-Z	
	Leitura	X-Y(z=0 graus)	X-Y(z=90 graus)	X-Z(y=0 graus)	X-Z(y=90 graus)	Y-Z(x=0 graus)	Y-Z(x=90 graus)
ALN-9762 “Short”	1	-48	-47	-38	-43	-40	-39
	2	-49	-46	-38	-42	-39	-39
	3	-47	-50	-38	-41	-39	-39
	4	-48	-49	-39	-43	-40	-39
	5	-50	-49	-39	-43	-39	-39
	6	-47	-47	-39	-43	-40	-43
	7	-49	-48	-38	-43	-39	-40
	8	-49	-46	-39	-44	-39	-40
	9	-50	-48	-39	-45	-40	-40
	10	-47	-49	-39	-43	-39	-41
Média		-48,4	-47,9	-38,6	-43	-39,4	-39,9

Fonte: Os autores, 2024.

Gráfico 4: Curvas de RSSI para a tag ALN-9762 "Short".



Fonte: Os autores, 2024.

A relação entre maior e menor potência obtidas em planos e orientações distintos resultou em 3,1. Posicionada à 0º no plano (X-Z), mais uma vez perpendicular ao plano da antena, a tag retornou um sinal RF com potência aproximadamente 3 vezes maior que posicionada no plano (X-Y), à 0º (voltada para a antena; pior caso).

4.5 Experimento 05: Tag ALN-9745 “SlimLine”

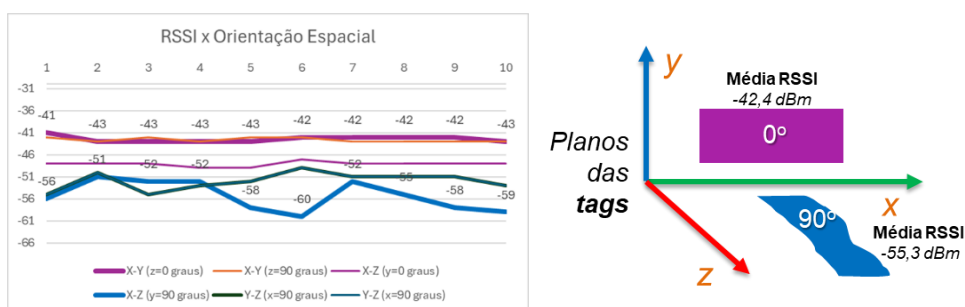
Esta tag foi a única divergente, apresentando os menores valores de RSSI quando estava no plano (X-Z), perpendicular ao plano da antena do leitor, e orientada a 90º em relação ao sentido da leitura, com média RSSI de -53,3 dBm (0,00000295 mW). O melhor desempenho ocorreu com a tag no plano (X-Y), orientada a 0º, com média RSSI de -42,4 dBm (0,0000575 mW). Estes resultados podem ser observados na tabela 5 e gráfico 5.

Tabela 5: Resultados para tag ALN-9745 “SlimLine”.

Tag	Plano	X-Y		X-Z		Y-Z	
	Leitura	X-Y (z=0 graus)	X-Y (z=90 graus)	X-Z (y=0 graus)	X-Z (y=90 graus)	Y-Z (x=0 graus)	Y-Z (x=90 graus)
ALN-9745 “SlimLine”	1	-41	-42	-48	-56	-47	-55
	2	-43	-43	-48	-51	-47	-50
	3	-43	-42	-48	-52	-49	-55
	4	-43	-43	-49	-52	-47	-53
	5	-43	-42	-49	-58	-46	-52
	6	-42	-42	-47	-60	-47	-49
	7	-42	-43	-48	-52	-46	-51
	8	-42	-43	-48	-55	-48	-51
	9	-42	-43	-48	-58	-47	-51
	10	-43	-43	-48	-59	-48	-53
Média		-42,4	-42,6	-48,1	-55,3	-47,2	-52

Fonte: Os autores, 2024.

Gráfico 5: Curvas de RSSI para a tag ALN-9745 “SlimLine”.



Fonte: Os autores, 2024.

A relação entre maior e menor potência obtidas em planos e orientações distintos resultou em 18,6. Posicionada a 0º no plano (X-Y), desta vez paralela ao plano da antena, a tag retornou um sinal RF com potência aproximadamente 19 vezes maior que posicionada no plano (X-Z), à 90º (perpendicular à antena; pior caso).

4.6 Quadros-resumo e discussões

Como resultado observou-se que considerando o espaço tridimensional, o plano no qual as *tags* estão situadas em relação ao plano da antena do leitor/coletor tem grande influência no RSSI e na potência recebida por este, vinda das *tags*.

Para o espaço amostral do conjunto de experimentos realizados, o plano que apresentou os menores valores de RSSI e a máxima potência recebida, denominado de plano de máxima potência, foi o plano (X-Y), independente da polarização na qual estas estavam observando-se uma prevalência de 80% sobre os demais planos, como ilustrado na tabela 6.

Tabela 6: Quadro-resumo dos planos de maior potência.

Tag	Melhor plano	Melhor orientação no plano (graus)	Orientação do plano da Tag em relação ao plano da Antena do Leitor
ALN-9726 "Spider-360"	X-Z	0	Perpendicular
ALN-9768 "Wonder Dog"	X-Z	90	Perpendicular
ALN-9728 "GT" Garment	X-Z	90	Perpendicular
ALN-9762 "Short"	X-Z	0	Perpendicular
ALN-9745 "SlimLine"	X-Y	0	Parelelo

Fonte: Os autores, 2024.

Por outro lado, não foi possível estabelecer um plano específico para os menores valores de RSSI e a mínima potência recebida, denominado de plano de mínima potência, como apresentado na tabela 7, pois não houve prevalência quando ao comportamento.

Tabela 7: Quadro-resumo dos planos de menor potência.

Tag	Pior	Pior orientação no plano (graus)	Orientação do plano da Tag em relação ao plano da Antena do Leitor
ALN-9726 "Spider-360"	X-Y	0	Parelelo
ALN-9768 "Wonder Dog"	Y-Z	90	Perpendicular
ALN-9728 "GT" Garment	Y-Z	90	Perpendicular
ALN-9762 "Short"	X-Y	0	Parelelo
ALN-9745 "SlimLine"	X-Z	90	Perpendicular

Fonte: Os autores, 2024.

Na tabela 8, é apresentado um quadro-resumo com os resultados de todos os experimentos, agrupados. Observa-se que a maior diferença de potência entre planos distintos foi de surpreendente 900 vezes, observada na tag ALN-9726 “Spider-360”, entre os planos (X-Y) e (X-Z). A menor diferença de potência entre planos distintos foi de aproximadamente 3 vezes, observada na tag ALN-9762 “Short”, também entre os planos (X-Y) e (X-Z).

Tabela 8: Quadro-resumo com resultados dos experimentos realizados.

Tag	Plano de máxima potência	Orientação de máxima potência (graus)	Máximo RSSI (dBm)	Máxima potência (mW)	Média do RSSI / Orientação 0° (dBm)	Média da potência / Orientação 0° (mW)	Média do RSSI / Orientação 90° (dBm)	Média da potência / Orientação 90° (mW)	Diferença no mesmo plano	Plano de mínima potência	Orientação de mínima potência (graus)	Mínimo RSSI (dBm)	Mínima potência (mW)	Média do RSSI / Orientação 0° (dBm)	Média da potência / Orientação 0° (mW)	Média do RSSI / Orientação 90° (dBm)	Média da potência / Orientação 90° (mW)	Diferença média no mesmo plano	Diferença média entre planos de máxima e mínima
ALN-9726 “Spider-360”	X-Z	0	-41	0,00007943	-42	0,00048800	-41	0,00026900	1,81	X-Y	0	-43	0,00003398	-43	0,00000055	-44	0,00000316	5,8	893,8
ALN-9768 “Wonder Dog”	X-Z	90	-43	0,00005012	-43	0,00005012	-43	0,00005012	1,00	Y-Z	90	-60	0,00000100	-46	0,00002512	-59	0,00000126	20,0	39,8
ALN-9728 “GT” Garment	X-Z	90	-39	0,00012589	-38	0,00015849	-42	0,00006310	0,40	Y-Z	90	-39	0,00012589	-39	0,00012589	-39	0,00012589	1,0	0,5
ALN-9762 “Short”	X-Z	0	-49	0,00001259	-48	0,00001585	-51	0,00000794	2,00	X-Y	0	-43	0,00005012	-43	0,00005012	-43	0,00005012	1,0	0,2
ALN-9745 “SlimLine”	X-Y	0	0	1,00000000	0	1,00000000	0	1,00000000	1,00	X-Z	90	0	1,00000000	0	1,00000000	0	1,00000000	1,0	1,0

Fonte: Os autores, 2024.

Observou-se ainda que dentro de um mesmo plano, a mudança de orientação também gera diferenças de potência, mas em menor proporção. Considerando o plano de máxima potência (X-Y), a maior diferença de potência entre as orientações de 0o e 90o foi de aproximadamente 3 vezes, enquanto a menor foi de 1,05 vezes (5%), para as tags ALN-9762 “Short” e ALN-9728 “GT” Garment, respectivamente.

O comportamento geral das tags foi coerente com o modelo de antena “dipolo” usados pelos produtos RFID. A posição da tag no espaço tridimensional – incluindo o plano considerado e a polarização nesse plano – mostrou-se determinante nos experimentos. Esses fatores condicionam a quantidade de energia efetivamente captada pela antena da etiqueta. Como consequência, a intensidade do sinal de retorno, avaliada via RSSI, variou de forma significativa. O RSSI dependeu tanto da energia residual disponível para alimentar a tag quanto da orientação espacial de sua antena do tipo dipolo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho foi um resultado derivativo do Projeto de Conclusão de Curso Técnico (PCCT) de acadêmicos do Curso Técnico Integrado em Mecatrônica Industrial. A orientação dos trabalhos norteada pelos conceitos de Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL, ou *Problem Based Learning*) e foi direcionada à caracterização da tecnologia, tecnologia RFID (Identificação por Rádio Frequência) bem como ao estudo de suas aplicações em rastreamento automático de objetos e produtos.

Como objeto de estudo, o conjunto de experimentos realizados permitiu a caracterização do comportamento das *tags* investigadas quanto a sua orientação no espaço tridimensional e a relação desta com a potência do sinal RF irradiado. Os resultados mostraram-se coerentes com a literatura revisada no trabalho e demonstraram a relevância do comportamento relativo à orientação espacial para a escolha adequada da *tag* RFID adequada para a solução de identificação ou rastreabilidade desejada.

Quanto contribuição pedagógica derivada do uso do PBL no trabalho, o estudo da tecnologia RFID no processo de ensino-aprendizagem ofereceu diversas vantagens e oportunidades para a criação de experiências práticas e envolventes para os alunos. Proporcionou um aprendizado "hands-on", onde os alunos puderam experimentar diretamente a tecnologia e compreender melhor seu funcionamento e aplicação em simulação de cenários reais. Promoveu ainda a integração multidisciplinar entre os diversos campos de estudo, incluindo engenharia, administração, logística e tecnologia da informação.

6. REFERÊNCIAS

- ALIEN. **Tag Family Overview (2014-11-06)**. [S. l.]: [s. d.], 2024. Disponível em: [https://www.alientechnology.com/wp-content/uploads/Tag%20Family%20Overview%20\(2014-11-06\).pdf](https://www.alientechnology.com/wp-content/uploads/Tag%20Family%20Overview%20(2014-11-06).pdf). Acesso em: 25 set. 2025.
- COSTA, Filippo *et al.* A Review of RFID Sensors, the New Frontier of Internet of Things. **Sensors**, [s. l.], v. 21, n. 9, p. 3138, 2021.

CUI, Lei et al. Radio Frequency Identification and Sensing Techniques and Their Applications—A Review of the State-of-the-Art. **Sensors**, [s. l.], v. 19, n. 18, p. 4012, 2019.

DE QUEIROZ, Eduardo Luiz; DE ARAÚJO, Tairone Ádamo; HORTA, Mário Marcos Brito. RFID E O SEU USO NA INDÚSTRIA. [s. l.], 2014.

DIPOLO. Radioamadorismo - Antena Dipolo - Antena Ativa. In: 27 nov. 2023. Disponível em: <https://antenaativa.com.br/radioamadorismo-antenadipolo/>. Acesso em: 25 set. 2025.

GOMES, Eduardo Luis et al. Etiquetas RFID Passivas e Aprendizagem de Máquina para Sistema de Localização Indoor de Alta Precisão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS (SBRC), 2020. **Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC)**. [S. l.]: SBC, 2020. p. 225–238. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbrc/article/view/12285>. Acesso em: 25 set. 2025.

HAYWARD, S. J. et al. A novel inertial positioning update method, using passive RFID tags, for indoor asset localisation. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, [s. l.], v. 35, p. 968–982, 2021.

RFID. **RFID - Como escolher a etiqueta correta para seu projeto - i3C**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://i3csolucoes.com.br/rfid-como-escolher-a-etiqueta-correta-para-seu-projeto/>. Acesso em: 25 set. 2025.

RSSI. **What is RSSI in RFID? Item Finding With an RFID Reader**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.encstore.com/blog/5830-what-is-rssi-in-rfid-item-finding-with-an-rfid-reader>. Acesso em: 25 set. 2025.

TRSERVICE. 6 aplicações RFID no setor industrial - TR Service. In: 2024. Disponível em: <https://www.trserv.com.br/aplicacoes-rfid-na-industria/>. Acesso em: 25 set. 2025.

ZEBRA. **RFD8500 User Guide (en)**. [S. l.]: [s. d.], 2020. Disponível em: <https://www.zebra.com/content/dam/support-dam/en/documentation/unrestricted/guide/product/rfd8500-ug-en.pdf>. Acesso em: 25 set. 2025.