

AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE RFID E INTERNET DAS COISAS PARA O MONITORAMENTO DE SENSORES INSERIDOS EM PNEUS

João Paulo de Souza Rodrigues¹; Wânderson de Oliveira Assis²;
Alessandra Dutra Coelho²; Fernando de Almeida Martins^{2,3}; Rogério Cassares Pires³;
Ana Helena Arruda Cavalli Rosa Marcacini⁴; João Paulo Mardinotto Sócio⁴

¹ Aluno de Iniciação Científica do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT);

² Professor(a) do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT);

³ Engenheiro do Centro de Pesquisas do Instituto Mauá de Tecnologia (EEM);

⁴ Aluno(a) do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT).

Resumo. *Este trabalho se refere a avaliação do uso da tecnologia RFID e de sensores IoT para a criação de Pneus Inteligentes, que vão permitir o monitoramento de variáveis vitais para o funcionamento do Pneu desde o seu processo de fabricação até o seu eventual descarte. Para realizar esse monitoramento foram utilizadas etiquetas UHF RFID equipadas com sensores de IoT, como sensores de Temperatura e Pressão, que vão ser instaladas diretamente dentro do pneu durante o seu processo de fabricação. Por conta desse sistema ter os sensores instalados próximos da área de contato com a superfície, ele permite a observação de características de contato que não eram possíveis ser observadas em outros sistemas usados para o controle de pneu. A visualização dessas características, além de outras variáveis como temperatura e pressão, permite o desenvolvimento de veículos cada vez mais eficientes e seguros.*

Introdução

O avanço e desenvolvimento da Internet das Coisas (IoT) têm aumentado muito nos últimos anos por conta das diversas oportunidades que ela gera. O conceito de IoT é a criação de uma rede de dispositivos inteligentes que conseguem se interligar um com o outro a qualquer momento, permitindo o compartilhamento de dados (NOOR et al, 2016). Dentro desse cenário, a implementação de sensores de IoT para o controle de pneus vêm se mostrando como uma tecnologia cada vez mais promissora por fornecer informações sobre estados vitais para o funcionamento do pneu, como por exemplo a pressão, que é tratada como destaque no Regulamento nº 141 da Comissão Econômica para a Europa das Nações Unidas (UN/ECE, 2018). Um dos principais sistemas usados para o controle de pneus atualmente é o TPMS (*Tyre Pressure Monitoring System*), onde os sensores são instalados na haste da válvula dentro da roda permitindo a medição da pressão do pneu e da temperatura do ar dentro da válvula, além de ter um sistema de comunicação feito para avisar o condutor do veículo se houver uma mudança preocupante na pressão dos pneus (KUBBA e JIANG, 2014).

No entanto, há um interesse cada vez maior em começar a realizar a instalação desses sensores IoT dentro do pneu, proporcionando a medição desses estados de forma mais direta em relação aos outros métodos, por conta da proximidade que o sensor vai ficar em relação ao contato do pneu com a superfície viabilizando a visualização das forças que são aplicadas no pneu e a profundidade da banda de rodagem do pneu; o que não era possível com os sensores TPMS clássicos. A medição dessas medidas pode gerar um impulsionamento no desenvolvimento nos Sistemas de Controle Automotivos de Pneu, como sistemas avançados de tração, frenagem e controle de estabilidade, de forma que a segurança e o desempenho dos automóveis fiquem cada vez melhor (SINGH e TAHERI, 2019).

Um exemplo dos benefícios que essa instalação direta gera, é a coleta de informações sobre o comportamento do pneu em momentos de deslizamento e deformação durante o seu uso, medindo exatamente quanto de atrito ocorre entre o pneu e a superfície, o que facilita a otimização do freio ABS (*Antilock Braking System*) (MATSUZAKI e TODOROKI, 2008), um sistema fundamental e obrigatório para todos os veículos automotivos no Brasil (CONTRAN, 2022).

Para realizar a transmissão das informações coletadas pelos sensores, foi utilizada a tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*), uma tecnologia cada vez mais presente no cotidiano com o constante crescimento da Internet das Coisas. Os grandes benefícios de utilizar a tecnologia RFID para realizar o controle de pneus é justamente a capacidade de acompanhar o pneu durante todo o seu tempo de vida útil (GOMES e PASTANA, 2011). Para este projeto, serão utilizadas etiquetas passivas com chips RFID que contam com a presença de sensores IoT, permitindo a medição de variáveis como temperatura e pressão. A tecnologia RFID permite a transmissão dos dados medidos pelos sensores em tempo real e no caso de etiquetas passivas não se utiliza de uma bateria, permitindo que o monitoramento possa ser realizado por longos períodos sem a necessidade de manutenção (SAINI, 2016).

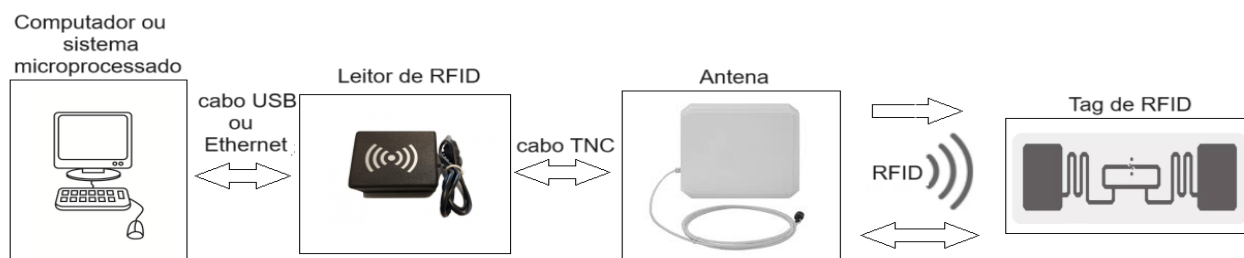
Além disso, a utilização das etiquetas RFID para o controle de pneus também pode ajudar na prevenção de roubos, diminuição de perdas por desgaste, aumento do número de recapagens possíveis e melhora no acompanhamento do serviço pós-venda, como *recalls* dos pneus (KOVAVISARUCH, LERTUDOMTANA e HORUNGRUANG, 2008). Gomes e Pastana (2011) mostram que a utilização das etiquetas RFID para a gestão de pneus demonstrou um desgaste nos pneus maior que o esperado e indicou diversas vezes a necessidade de realinhamento dos pneus, causado justamente pela verificação de desgastes irregulares nos sulcos dos pneumáticos. Concluiu-se que esses problemas estavam sendo causados por conta de valores inadequados de pressão, medidos pelas etiquetas RFID, o que permitiu uma manutenção mais rápida e eficiente por parte dos funcionários da transportadora e um melhor desempenho dos pneus quando voltavam aos caminhões.

Dessa forma, este projeto tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema, principalmente focado em software, que viabilize a comunicação entre as etiquetas RFID instaladas dentro do pneu com o veículo por meio de comunicação via CAN; possibilitando a realização desse monitoramento mais profundo e preciso, impulsionando o desenvolvimento de pneus cada vez mais eficientes e seguros.

Material e Métodos

Para a realização deste projeto foram utilizados os dispositivos apresentados na Figura 1, a saber: etiquetas de RFID (tags), antena, leitor de RFID e computador ou sistema microprocessado.

Figura 1 — Diagrama de Blocos de Aplicação com RFID



Os dispositivos utilizados no projeto estão detalhados a seguir.

1. Etiquetas RFID

A transmissão de informações por meio da tecnologia RFID funciona por meio da transmissão de ondas de radiofrequência entre um leitor e uma etiqueta com um chip RFID. Existem três tipos de etiquetas RFID baseada na forma que elas são alimentadas:

- a. Ativas – Necessitam de uma bateria que alimente o seu chip. Têm um alcance operacional maior, além de poderem operar a uma frequência mais elevada, no entanto são mais caras e tem uma vida-útil menor (KUMAR et al, 2009).

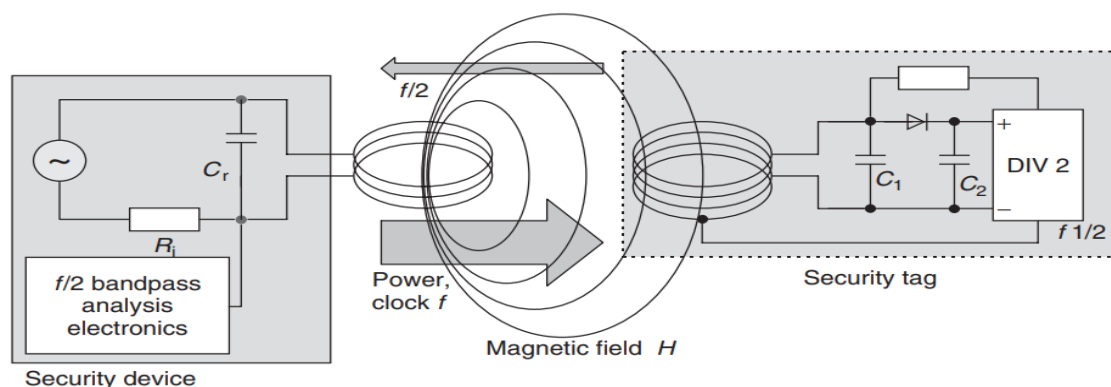
- b. Semi-passivas – Se utilizam da bateria apenas para alimentar o circuito da etiqueta, o que permite que essas etiquetas possam ser lidas a uma velocidade maior que as etiquetas passivas (KUMAR et al, 2009).
- c. Passivas – Dispensam uma fonte de alimentação, portanto, não precisam de baterias. Porém precisam receber um forte sinal do leitor para que seu circuito seja alimentado. Apenas transmitem informações quando estão no alcance de um leitor RFID. Operam em frequências menores em comparação com as etiquetas ativas (KUMAR et al, 2009).

Por conta da sua dispensabilidade de bateria, as etiquetas passivas possuem tempo de vida útil maior e um tamanho reduzido em comparação aos outros tipos de etiquetas (KUMAR et al, 2009). Essas etiquetas se mostraram a mais adequada ao projeto já que por elas terem um tamanho limitado há uma maior facilidade na sua instalação no interior do pneu e possibilitam o monitoramento durante toda a vida útil do pneu, sem a necessidade de constante manutenção.

Dessa forma, quando uma etiqueta RFID passiva entra no alcance de um leitor RFID, que está constantemente emitindo sinais, ela capta esse sinal e utiliza essa energia para alimentar o seu circuito e emitir um sinal de resposta contendo as informações guardada no seu microchip. Após isso, o leitor capta o sinal de resposta enviado e transmite as informações recebidas para o restante do processamento (KUMAR et al, 2009).

A Figura 2 demonstra como o é o funcionamento do sistema RFID com uma bateria passiva.

Figura 2 — Comunicação RFID entre Leitor e Etiqueta (FINKEZELLER, 2003)



São exemplos de tags de RFID passivas utilizadas no projeto:

1.1. Temperature Sensor DogBone

O DogBone sensor é um inlay UHF passivo equipado com o chip Axzon Magnus®S3. Esse sensor RFID é responsável por medir a temperatura e a umidade no ambiente ao redor da etiqueta. Consegue operar entre -40 °C até 85 °C e permite calibração de um ou dois pontos para a medição de temperatura.

1.2. Magnus-S3 M3D Sensor IC

Essa etiqueta contém o chip Magnus-S3 M3D, desenvolvido pela Axzon. Esse chip contém um sensor de temperatura *on-chip*, o que permite que a etiqueta consiga realizar o monitoramento da temperatura, proximidade e umidade do ambiente. Contém uma faixa de temperatura operacional de -40 °C até 125 °C , com o sensor se mantendo funcional até a sua temperatura de pico de 125 °C .

1.3. Asygn AS321x

Desenvolvido pela Asygn, essa etiqueta contém em seu chip sensores que permitem a medição de temperatura e pressão. Pode operar entre -40 °C até 125 °C sem que haja perda de desempenho.

1.4. MuRata Tag for Tyre Control

Essa etiqueta foi desenvolvida pela MuRata especialmente para ser utilizada para a realização de controle de pneus. Utiliza o chip Impinj Monza R6P, frequentemente utilizado para o controle de estoque, embora não contenha nenhum tipo de sensor instalado.

1.5. PYROS

O PYROS-RM-0373 é etiqueta EPC1G2 RFID desenvolvida pela Farsens, com um sensor de temperatura incluído. Tem um alcance de até 5 metros e tem uma faixa de temperatura operacional de -25 °C até 105 °C e uma precisão de $\pm 0,5$ °C.

1.6. KINEO

A etiqueta KINEO-RM, feita pela Farsens, possui um acelerômetro de 3 eixos com um alcance de até $\pm 4g$, precisão de $\pm 40mg$ e resolução de 2mg. Possui alcance de até 5 metros e utiliza o chip ROCKY100.

1.7. CYCLON

A etiqueta CYCLON-14BA da Farsens inclui um sensor de pressão e temperatura MS5803-14BA, desenvolvido pela Measurements Specialities. O sensor tem um alcance de pressão de 0 a 14 bar enquanto o de temperatura vai de -40 °C até 85 °C, sendo a acurácia e resolução da pressão são ± 140 mbar e 14 mbar respectivamente já para o sensor de temperatura são ± 1 °C e 0,1 °C. Utiliza o chip ANDY100.

2. Leitores RFID

Existem diversos tipos de leitores de RFID de diferentes fabricantes. Os módulos avaliados na aplicação estão apresentados a seguir.

2.1. EDGE – 50

O leitor RFID EDGE-50 TCP-IP é um leitor RFID UHF de dimensões 125 x 125 x 52 mm desenvolvido pela empresa Acura. Se utiliza do módulo UHF M6e da ThingMagic e possui suporte para a utilização de até 4 antenas monoestáticas, além de também suportar a comunicação via Ethernet TCP/IP ou via cabo USB.

2.2. M-ID40 Raspberry

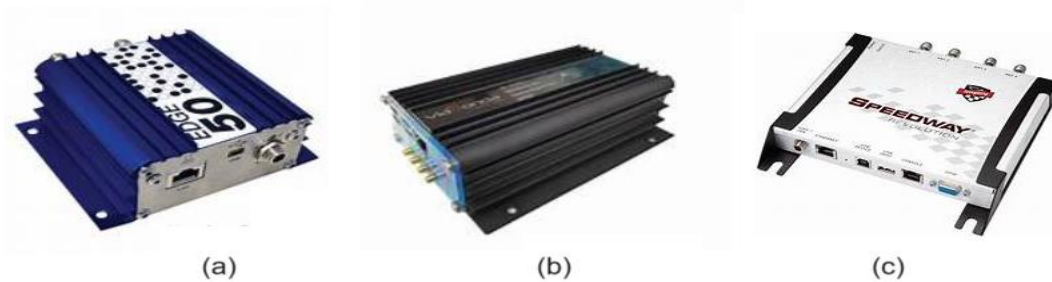
O M-ID40 Raspberry, desenvolvido pela ViaOnda, é um leitor RFID UHF de dimensões 125 x 168 x 51 mm, podendo suportar a conexão de até 4 antenas distintas e independentes. Além disso, também pode realizar comunicação dos dados via WiFi, USB ou Ethernet 10/100 Mbps.

2.3. Impinj Speedway R420 UHF

Esse leitor, de dimensões 30 x 30 x 5 cm, foi desenvolvido pela Impinj e possui suporte para o uso de até 4 antenas de forma independente; além de suportar a realização de comunicação via cabo USB.

A Figura 3 ilustra os leitores testados no projeto.

Figura 3 - Leitores de RFID: (a) Edge 50; (b) M-ID40–Raspberry; (c) Impinj Speedway R420 UHF



3. Antenas

As antenas são os dispositivos que permitem realizar a comunicação por rádio frequência entre as tags de RFID e os leitores. A antena utilizada no projeto foi a **Antena UHF Circular 14dBic RHCP**.

Essa antena, de dimensões 380 x 380 x 30 mm, possui uma potência de 14dBic, dessa forma podendo ler e identificar etiquetas RFID à longa distância com boa precisão e cobrir uma grande área de leitura. Sua faixa de frequência operacional varia de 902 a 928 Mhz e possui uma polarização circular no sentido horário (RHCP – *Right Handed circular Polarization*).

Para realizar o controle e visualização das leituras feitas pelos leitores foram utilizados diferentes softwares:

1. **Universal Reader Assistant (URA)** – utilizado em aplicações com o Edge 50, mas podendo também ser utilizado em outras aplicações.
2. **Impinj MultiReader RFID** – utilizado em aplicações com o Impinj Speedway R420 UHF.
3. **RAX Software** – utilizado em aplicações com o Impinj Speedway R420 UHF.
4. **Software de Gestão ViaOnda** – aplicação embarcada em placa Raspberry Pi da marca Viaonda RFID, projetado e produzido pela Marchi Engenharia; utilizado em aplicações com o M-ID40 – Raspberry.

Para conseguir realizar a leitura dos sensores por meio desses softwares é preciso entender como a memória do *chip* das etiquetas RFID funcionam. Segundo o *datasheet*, cada etiqueta RFID contém 4 blocos de memória:

- a. **RESERVED MEMORY** – Guarda o valor responsável pela *Kill Password* (32 bits) e a *Acess Password* (32 bits). Também salva os valores que representam o Sensor Code, Temperature Code e RSSI.
- b. **EPC MEMORY** – Contém o *Cyclic Redundancy Check (CRC)* de 16 bits, o *Protocol Control (PC)* de 16 bits e o número EPC de identificação da etiqueta.
- c. **TID MEMORY** – Bloco de memória *Read Only*, ou seja, não pode ser modificado. Contém o valor responsável pelo *ID Manufacturer* e o número do modelo da etiqueta.
- d. **USER MEMORY** – Nesse bloco os valores responsáveis pela calibração do valor de temperatura medido, além de conter o endereço responsável por realizar a alimentação do circuito do sensor de temperatura.

As Figura 4 e 5 mostram os valores salvos dentro do *User Memory* e da *Reserved Memory* de uma etiqueta Magnus-S3 M3D Sensor. De acordo com o *datasheet* das etiquetas, os sensores IoT implantados não são inicializados junto com o resto do circuito da etiqueta. Para realizar a ativação dos sensores é necessário que um leitor RFID envie um comando SELECT e READ do protocolo EPC C1 G2, sendo o SELECT o comando responsável por inicializar o sensor e o READ responsável por realizar a leitura do valor medido pelo sensor.

Figura 4 — Endereços do USER BANK da etiqueta Magnus-S3 M3D

Memory Bank	Bank Name	R/W	Bit Address	Description LSB /MSB	Default	Comments
11	USER	READ ONLY	E0-EF	Temperature Sensing Enable	N/A	See Sec. 5.1
			D0-DF	RSSI Threshold	N/A	See Sec. 4.2
		READ/WRITE	B0-BF	Temperature Calibration Data	N/A	See Sec. 5.3
			A0-AF	Temperature Calibration Data	N/A	
			90-9F	Temperature Calibration Data	N/A	
			80-8F	Temperature Calibration Data	N/A	
			70-7F		0	
			60-6F		0	
			50-5F		0	
			40-4F		0	
			30-3F		0	
			20-2F		0	
			10-1F		0	
			00-0F		0	

Figura 5 — Endereços do RESERVED BANK da etiqueta Magnus-S3 M3D

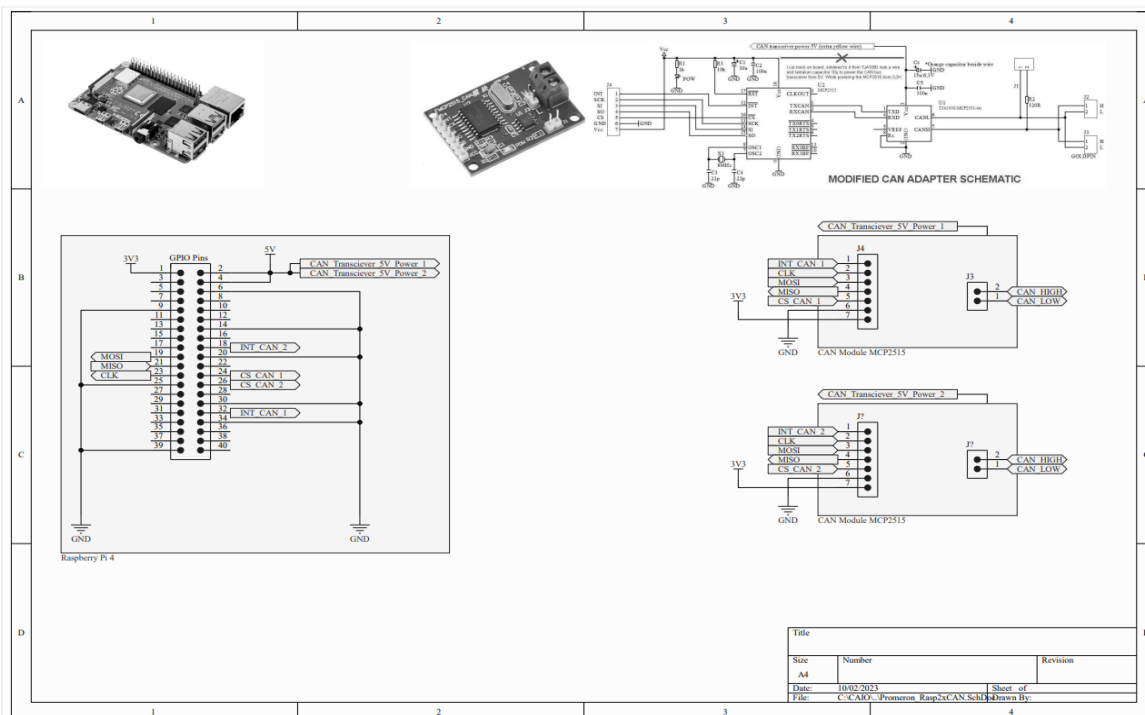
00	RESERVED	READ ONLY	E0-EF	TEMPERATURE CODE	N/A	See Sec. 5.2
			D0-DF	RSSI CODE	N/A	See Sec. 4.1
			C0-CF	SENSOR CODE	0	See Sec. 3.1
		READ/WRITE	30-3F	Reserved for future use	0	
			10-1F	KILL Password[15:0]	0	See Sec. 6.3
			00-0F	KILL Password[31:16]	0	

O comando SELECT funciona por meio do envio de um código apontando para um endereço dentro da *User Memory* da etiqueta, seguido de uma onda eletromagnética de 3 milissegundos emitida pela antena, alimentando o sensor e dando tempo o suficiente para que o sensor seja inicializado e realize a sua medição. Após a medição do leitor ser realizada, o valor é salvo dentro de um endereço no bloco *Reserved Memory* da etiqueta e para que esse valor seja lido é necessário que o leitor emita um comando READ apontando para o endereço que contém o valor gerado pelo sensor.

No caso do sensor de temperatura, o valor medido pelo sensor (*Temperature Code*) pode ser convertido para um valor de temperatura em graus Celsius ao utilizar os valores de *Sensor Code* e os valores de Calibração de Temperatura salvos nos blocos de memória *Reserved Memory* e na *User Memory*.

Os valores medidos nos sensores poderão ser transmitidos e utilizados numa aplicação integrada utilizando a placa Raspberry PI e comunicando-se com a rede CAN cuja estrutura é apresentada na Figura 7. Contudo, o enfoque deste trabalho não engloba o desenvolvimento dessa integração sendo apenas direcionada ao desenvolvimento da aplicação com RFID, conforme o diagrama de blocos da Figura 1.

Figura 6 — Raspberry e Barramento CAN



Resultados e Discussão

Inicialmente foram realizados testes para avaliar o funcionamento e características dos diferentes tipos de leitores de RFID com os respectivos softwares. Em todos os leitores foi possível realizar a leitura dos códigos de identificação de diferentes tags de RFID.

Testes foram realizados para verificar a distância máxima que as etiquetas RFID conseguiram ser identificadas pelo leitor. Alguns resultados são apresentados na Tabela 1. Esses testes de distância foram feitos utilizando o leitor M-ID40 Raspberry conectado a uma antena circular 14dBic RCHP, com a etiqueta sendo colocada diretamente na frente da antena à uma distância de 15 metros de forma que o leitor não consiga identificá-la. Após isso, o leitor é inicializado e a etiqueta é lentamente aproximada da antena até que ela seja identificada pelo leitor. Dessa forma, é possível realizar um teste de *benchmark* com as etiquetas disponíveis e verificar qual etiqueta é mais eficiente em relação à captação dos sinais enviados pelo leitor.

Esse teste foi feito com as etiquetas Temperature Sensor DogBone, Magnus-S3 M3D Sensor IC, PYRONS, KINEO, CYCLON e MuRata, além de ter sido refeito para diferentes níveis de potência do leitor: 5, 14, 24 e 33 dBm.

Tabela 1 — Resultados dos testes de distância

Teste de Distância						
Tags testadas	Obstáculo	Potência Aplicada (dBm)				Distância (em metros)
		5	14	24	33	
Temperature Sensor DogBone	Sem obstáculo	0,5	1	8,5	12	
Magnus-S3 M3D Sensor IC		0,5	2,4	12	12	
EVAL01-PYROS (temperatura)		ND	0,75	2,75	11	
EVAL01-KINEO (acelerometro)		ND	0,25	2,5	8,5	
EVAL01-CYCLON (pressão)		ND	0,625	2,75	8,5	
MuRata		ND	0	2,75	7	

A partir dos resultados, é possível notar que as etiquetas Temperature Sensor DogBone e a Magnus-S3 M3D Sensor IC são as que melhor responderam aos sinais do leitor, permitindo que elas fossem lidas na distância máxima do leitor (12 metros); enquanto as outras etiquetas não tiveram a

mesma eficiência em relação a distância por apresentarem uma sensibilidade menor aos sinais eletromagnéticos ou um alcance menor, dessa forma não permitindo leituras à longas distâncias (NIKITIN, 2009).

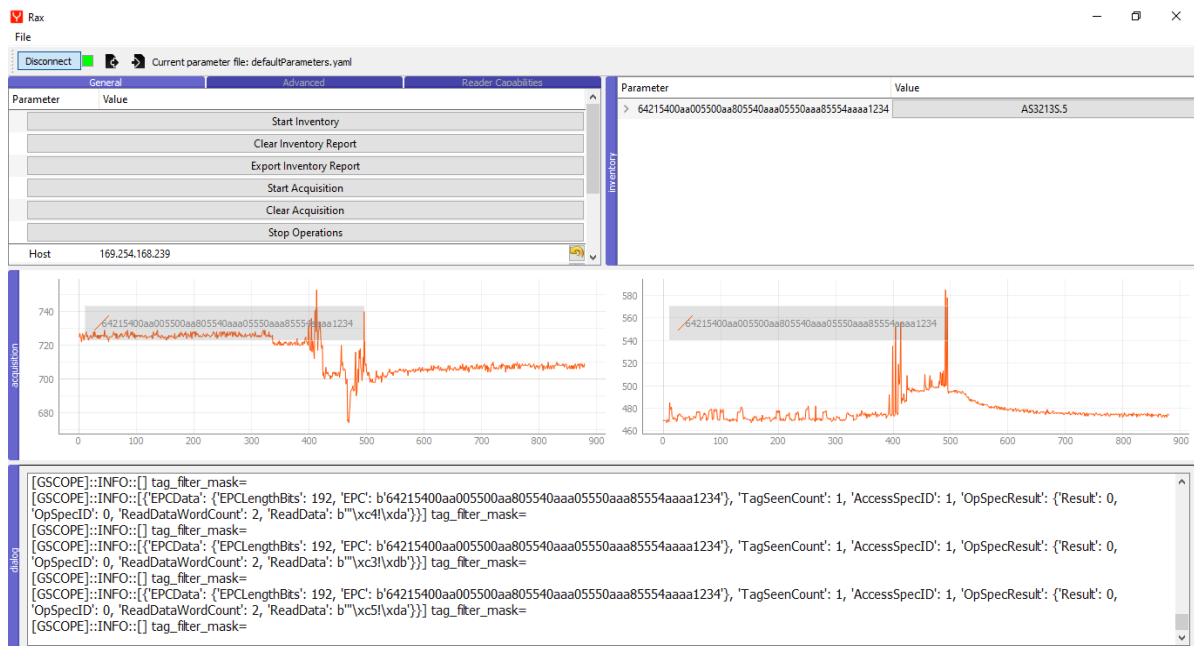
Esses testes de distância foram refeitos mas dessa vez colocando as etiquetas dentro de uma matriz de metal, com o objetivo de simular as condições que a etiqueta vai se encontrar durante o processo de vulcanização da borracha. No entanto, por conta do molde metálico ser completamente fechado e não permitir a entrada dos sinais eletromagnéticos emitidos pelo leitor, a comunicação entre o leitor e a etiqueta é limitada (NAPPI, 2017) de forma que nenhuma etiqueta pôde ser identificada independente da distância que ela estava da antena e de qual potência foi configurada no leitor.

Outro problema foi encontrado no momento da realização da leitura do código de temperatura medido pelo sensor, pois a função SELECT responsável pela ativação do sensor da etiqueta tinha alta complexidade de implementação e o código do leitor M-ID40 Raspberry não continha a funcionalidade dessa função; impossibilitando a medição do código de temperatura do leitor. Ao estudar como essa medição era realizada com outros leitores foi notável que muitos se utilizavam do módulo da ThingMagic, que continham as funções SELECT e READ que permitiriam a alimentação e a leitura dos valores medidos pelos sensores, entretanto o leitor M-ID40 utiliza o módulo MU804 que é incompatível com o módulo da ThingMagic.

Outros testes foram realizados com os leitores EDGE-50 e Impinj Speedway R420, porém o resultado foi parecido já que os softwares utilizados (URA e Impinj MultiReader, respectivamente) não foram desenvolvidos para a leitura dos sensores, se limitando apenas a identificação do número EPC de identificação das etiquetas RFID.

A leitura dos valores de temperatura só foi possível com a utilização das etiquetas Asygn AS321x, que diferentemente das outras etiquetas não necessita do envio do comando SELECT pelo leitor viabilizando a leitura dos valores medidos no sensores de temperatura e pressão através da utilização do software RAX (Figura 7). Nesta figura pode se observar a leitura de uma etiqueta AS321x, com o seu *EPC Number* indicado no canto superior direito do software e a geração de dois gráficos para os valores lidos de temperatura e pressão, respectivamente. A variação notada nos gráficos acontece por conta de uma pressão que foi aplicada em cima do chip da etiqueta, fazendo com que a temperatura e a pressão medida pelos sensores produza variação.

Figura 7 — Medição dos sensores de pressão e temperatura das etiquetas Asygn AS321X utilizando software RAX.



Conclusões

Infelizmente por conta da dificuldade na hora de realizar a leitura dos valores medidos pelos sensores de temperatura e pressão não foi possível ter um avanço significativo no desenvolvimento e adaptação do código responsável pela leitura das etiquetas RFID para a conexão com o barramento CAN.

Por conta das limitações de hardware e *software* encontrados com o leitor M-ID40 Raspberry, se mostrou necessária a escolha de um novo leitor RFID para a continuação do projeto já que é necessário um leitor que tenha o seu código aberto para modificação. Quanto ao monitoramento da etiqueta RFID durante a vulcanização, Nappi (2017) sugere que uma das formas de limitar a passagem de ondas eletromagnéticas pelo molde é a instalação direta de uma antena no molde metálico onde o processo vai ocorrer.

Outra ação necessária a ser tomada é a implementação de uma proteção térmica ao redor das etiquetas com o intuito de proteger os sensores das etiquetas já que eles têm uma faixa operacional de temperatura baixa em comparação com as temperaturas que são alcançadas durante o processo de vulcanização.

De qualquer forma, os resultados obtidos foram promissores e os testes realizados permitiram a avaliação de diferentes tecnologias para monitoramento de etiquetas de RFID, sendo verificadas diferentes configurações, com leitores e antenas diferentes além de softwares com diferentes funcionalidades o que levou a obtenção de diversas conclusões relevantes para a continuidade do projeto.

Nesse sentido, é possível concluir que com a aquisição de um novo leitor RFID que tenha código aberto e com um módulo que tenha as funcionalidades necessárias para a ativação dos sensores (como o módulo ThingMagic), o projeto poderá ser continuado com a implantação da comunicação via CAN com as etiquetas alcançando o objetivo final de ter um sistema de monitoramento inserido diretamente dentro do pneu.

Agradecimentos

Ao IMT e à FINEP pelo apoio para a realização do projeto e a toda a equipe envolvida no projeto “Produtos Inteligentes Rastreáveis e Interoperabilidade na Cadeia de Fornecedores da Indústria Automotiva com Aplicação a Pneus Sensorizados – Pneu IoT”, projeto com apoio da FINEP e participação da empresa Prometeum e instituição FEI (Fundação Educacional Inaciana), chamada pública MCTI/FINEP/PROGRAMA FINEP 2030 – Rede de ICT - 01/2020 – Ciclo 3.

Referências Bibliográficas

- CONTRAN; (2022). Resolução CONTRAN No 915, de 28 de março de 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/Resolucao9152022.pdf>. Acesso em: 29/10/2023.
- Finkezzeller, K; (2003). RFID Handbook. West Sussex, England. John Wiley & Sons, 427 p. Disponível em: https://repo.zenk-security.com/Magazine%20E-book/RFID_handbook.pdf. Acesso em: 29/10/2023.
- Gomes, José C.; Pastana, Érico S.; (2011). Proposta de Sistema de Tomada de Decisão Baseada em Tecnologia RFID para Gestão de Pneus. Simbório Brasileiro de Automação Inteligente. São José del-Rei, MG. Disponível em: <https://fei.edu.br/sbai/SBAI2011/92733.pdf>. Acesso em: 29/10/2023.
- Kovavisaruch, La-or; Lertudomtana, Pichit; Horungruang, Sakol; (2008). Management truck tire information in logistic industry using RFID technology. PICMET '08-2008 Portland

- International Conference on Management of Engineering & Technology. Cape Town, South Africa, pp. 1656-1665. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4599785?casa_token=BsV5S8PruAQAAAAA:c9211VILl8ikRIDgXKf3ochYzHzyaSEPupL06M1m3NXjnFuIDlIvB1h2rMxZb2kH8WYv33Edo3aCkPk. Acesso em: 29/10/2023.
- Kubba, Ali E.; Jiang, Kyle; (2014). A Comprehensive Study on Technologies of Tyre Monitoring Systems and Possible Energy Solutions. *Sensors* 2014, no. 6: 10306-10345. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/14/6/10306>. Acesso em 23/9/2023.
- Kumar, P.; Reinitz, H.W.; Simunovic, J.; Sandkeep, K.P.; Franzon, P.D.; (2009). Overview of RFID Technology and its Applications in the Food Industry. *Journal of Food Science*, 74, R101-R106. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1750-3841.2009.01323.x>. Acesso em: 05/11/2023
- Matsuzaki, Ryosuke; Todoroki, Akira; (2008). Wireless Monitoring for Automobile Tires for Intelligent Tires. *Sensors* 8, no. 12: 8123-8138. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/8/12/8123>. Acesso em: 23/9/2023.
- Nappi, S.; D'Uva, N.; Amendola, S.; Occhiuzzi, C.; Marrocco, G.; (2017). A near-field RFID sensor network for the real time monitoring of tire vulcanization. *IEEE International Conference on RFID Technology & Application (RFID-TA)*. Warsaw, Poland, pp.69-73. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8098873>. Acesso em: 29/10/2023.
- Nikitin, P.V.; Rao, K.V.S.; Martinez, R.; Lam, S.F.; (2009) Sensitivity and Impedance Measurements of UHF RFID Chips. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol 57, no 5, pp. 1297-1302. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4806177?casa_token=mptKRBK-RVAAAAAA:R4s2x40tFP_u2DCLPh2HkmOFyvPdvH5hAEPuyaAl5ICI-eoKocgPdU83DZ9aVoHfgS8SSPPVNaMaEFs. Acesso: 29/10/2023.
- Noor, T; et el (2016). High-density chipless RFID tag for temperature sensing. *Electron. Lett.*, 52:620-622. Disponível em: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1049/el.2015.4488>. Acesso em: 13/8/2023.
- Saini, Navtej; (2016). UHF RFID Sensor Tag for Tire Monitoring. Master's thesis, Ohio State University. Disponível em: https://etd.ohiolink.edu/acprod/odb_etd/etd/r/1501/10?clear=10&p10_accession_num=osu1480629684843769. Acesso em: 29/10/2023.
- Singh, Kanwar Bharat; Taheri, Saied; (2019). Accelerometer Based Method for Tire Load and Slip Angle Estimation. *Vibration*, V. 2, p. 174-186. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2571-631X/2/2/11>. Acesso em: 23/9/2023.
- Tovar, Livia Goulart; Pizzolato, Nélío D.; Romanel, Celso; (2019). O veículo conectado: perspectivas sobre aplicações de Internet das Coisas no transporte de carga rodoviário. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ). Rio de Janeiro. Disponível em: <https://files.antp.org.br/2019/10/9/o-veiculo-conectado-perspectivas-sobre-aplicacoes.pdf>. Acesso em: 29/10/2023.
- UN/ECE; (2018). Regulation No 141 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) – Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to their Tyre Pressure Monitoring Systems (TPMS) [2018,1593]. *Official Journal of the European Union*, L 269 / 36 – 46. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/e96ed45b-d8a8-11e8-afb3-01aa75ed71a1>. Acesso em: 13/8/2023.