DOI: 10.48011/asba.v2i1.1414

Aplicação de RFID para rastreamento de carga e auxílio no processo logístico ⋆

Clayton de Mello Henequim * **Rodrigo Pierezan** ** **Gilberto Reynoso-Meza** *

* *Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas - PPGEPS. Escola Politécnica. Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). Rua Imaculada Conceição, 1155, código postal 80215-901, Curitiba, PR, Brasil (e-mail: clayton.henequim@gmail.com, g.reynosomeza@pucpr.br)*
** *Escola Politécnica. Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). Rua Imaculada Conceição, 1155, código postal 80215-901, Curitiba, PR, Brasil (e-mail: rodrigo.pierezan@pucpr.br)*

Abstract: Aiming the resolution of the information deficit in the process of logistics of sending and receiving Racks, it was developed and evaluated the feasibility of a set of hardware and software that make it possible to track the positions and information of the Racks, aiding the logistic process. Therefore, the whole process of solving this problem will be developed, only for one of the suppliers. The company does not have a system dedicated to the management of Racks, not having precise control of the actual need for shipping to suppliers, causing direct damage to freight cost and indirectly to inventory management deficiency. The management of Racks will be made through the provision of updated information in real time in a web software and has great potential to reduce asset losses. When comparing appropriate technologies for solving the problem, the use of RFID was found to be the most appropriate. A web software with user interface was developed just like a database with the MySQL system, for the presentation of the information.

Resumo: Objetivando a resolução do déficit de informações no processo de logística de envio e recebimento de Racks, foi desenvolvido e avaliado a viabilidade de um conjunto de hardware e software que possibilitem o rastreamento das posições e informações dos Racks, auxiliando o processo logístico. Para tanto, foi desenvolvido todo o processo de resolução desta problemática, apenas para um dos fornecedores. A empresa não possui um sistema dedicado a gestão de Racks, não tendo o controle preciso da real necessidade de envio aos fornecedores, causando prejuízo direto com o custo do frete e indiretamente com a deficiência na gestão de estoque. A gestão de Racks será feita através da disponibilização de informações atualizadas em tempo real em um software web, além de possui grande potencial para diminuir perdas dos ativos. Ao realizar a comparação de tecnologias cabíveis de resolução do problema, constatou-se o uso do RFID como sendo a mais apropriada. Foi desenvolvido um software web com interface usuário assim como um banco de dados com o sistema MySQL, para a apresentação das informações.

Keywords: Technology RFID; Logistics; Industry 4.0; RFID; Cargo tracking.
Palavras-chaves: Tecnologia RFID; Logística; Indústria 4.0; RFID; Rastreamento de carga.

1. INTRODUÇÃO

Para o aumento da eficiência organizacional e do nível de competitividade das indústrias, é inevitável o uso de tecnologias da informação e comunicação em diversas áreas, principalmente na logística e em operações de produção. A coleta e transmissão de dados em tempo real objetiva o aumento na velocidade dos processos evitando incertezas (BARRETO et al., 2017). Além do que a gestão de estoque e controle logístico podem ser extremamente beneficiadas com a atualização de informações em tempo real.

A perda de ativos em grandes empresas é um problema recorrente de logística e impacta diretamente no balanço financeiro. O uso da tecnologia RFID possui grande potencial para diminuir perdas ocasionadas pela localização de ativos ou equipamentos valiosos e as condições em que se encontram (HADDUD et al., 2015).

O estudo de caso do presente trabalho é uma empresa do ramo automotivo que possui um sistema de logística com o envio e recebimento de ativos através de *Racks*, que são utilizados para armazenar mercadorias durante o

⋆ This study was financed in part by the *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior* (CAPES), the *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico* (CNPq), and the *Fundação Araucária* (FAPPR) - Brazil - Finance Codes: 159063/2017-0-PROSUC, 310079/2019-5-PQ2, 437105/2018-0-Univ, 51432/2018-PPP, and PRONEX-042/2018.

transporte. Estes, são estruturas metálicas com capacidade de carga para quatro bancos de caminhões e para fins de estudo, será considerado o envio e recebimento de apenas um fornecedor.

Hodiernamente o processo da empresa não possui um *software* dedicado a gestão de *Racks*, não tendo o controle preciso da real necessidade de envio aos fornecedores. Caso haja uma deficiência na quantidade de *Racks* presentes nos fornecedores, não será possível o envio de mercadorias para suprir a necessidade da empresa, criando atrasos na produção ou até mesmo a paralisação do processo de montagem. A fim de evitar problemas com a falta de *Racks* nos fornecedores, a empresa necessita do envio de caminhões de pequeno porte, de forma emergencial, para suprir a demanda do fornecedor, causando prejuízo direto com o custo do frete e indiretamente com a deficiencia na gestão de estoque.

O objetivo geral do trabalho é desenvolver e avaliar um conjunto de *hardware* e *software*, baseados em tecnologias de rastreamento, para possibilitar a disponibilização de posição e informações dos *Racks* em um sistema *web*.

Dentre os objetivos específicos do trabalho, destaca-se a comparação de tecnologias cabíveis para resolução do problema, a criação de uma arquitetura de banco de dados, um *software web* que possibilite antecipar eventuais faltas em seus fornecedores, alterando a forma de trabalho, de reativa para preditiva e a realização de testes de campo visando otimização do processo.

A pesquisa de tecnologias que podem ser utilizadas para atender a demanda de informações levou em consideração *Global Positioning System* (GPS), *Radio-Frequency IDentification* (RFID), código de barras e *Quick Response Code (QR code)*. Sendo assim, decidida a melhor opção que atenda os requisitos de agilidade, simplicidade e possibilidade de automação do processo.

A divisão do trabalho será entre o desenvolvimento, resultados, análise de resultados e conclusão. No capítulo 2 será descrita algumas definições importantes para o projeto, como a comparação e seleção da tecnologia e da arquitetura da solução, assim como o desenvolvimento do *software*, *hardware* e banco de dados. Por fim, neste mesmo capítulo, será descrito os teste de campo que serão utilizados para comprovar a eficiência dos equipamentos selecionados. No terceiro capítulo serão apresentados os resultados dos testes realizados no capítulo anterior. Em seguida (Capítulo 4), os testes serão discutidos em relação a eficiência na resolução do problema e no último capítulo, será concluído os dados apresentados na análise de resultados e os objetivos do trabalho.

2. DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo serão detalhadas as comparações entre as tecnologias para a escolha na utilização da resolução do problema, assim como a definição e escolha do *hardware* final, o banco de dados, *software web* e a prova de conceito da comunicação entre *hardware* e *software*.

2.1 COMPARAÇÃO ENTRE AS TECNOLOGIAS DE RASTREAMENTO

Para a resolução do problema, foram determinados alguns requisitos para a comparação entre as tecnologias, que são agilidade, custo benefício, simplicidade e automação do processo.

Com base nos requisitos para a resolução do problema foi criada a Tabela 1 para a ilustração gráfica da comparação.

Tabela 1. Comparação entre as tecnologias

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens	Agilidade	Simplicidade	Automação
GPS	Rastreio de todo o trajeto.	Necessidade de carregar as baterias dos equipamentos.	X	X	O
Código de barras	Etiquetas embarcadas sem circuitos ou baterias.	Impossibilidade de automação do processo.	X	O	X
QR code	Etiquetas embarcadas sem circuitos ou baterias.	Impossibilidade de automação do processo.	X	O	X
RFID	Possibilidade de automação do processo; Precisão na leitura de tags; Etiquetas embarcadas sem circuitos ou baterias.	Necessidade de criação de um portal para a leutura.	O	O	O

Analisando a tecnologia de GPS, podemos destacar que, caso a solução aplique este método, não apresentaria agilidade, pois, os equipamentos instalados nos *Racks* necessitariam de um funcionário para realizar a carga de suas baterias com certa frequência. O custo da implementação da solução seria inviável por apresentar um preço elevado para cada peça instalada no *Rack*, além de, todo o trajeto do fornecedor à empresa em questão, seria rastreada em tempo real, porém esta informação seria desnecessária, apresentando um custo benefício elevado.

Aplicando uma solução com base na tecnologia de código de barras, o sistema poderia apresentar um baixo custo de implementação, necessitando a compra das etiquetas com os códigos, bem como os leitores. Desta forma, por não necessitarem de circuitos e baterias, os códigos embarcados apresentariam diminuição do custo de implementação. Os *scanners* têm um custo bastante variado, porém, para a presente aplicação, seriam necessárias poucas unidades. O sistema não possuiria automação, pois necessitaria de um funcionário para realizar as leituras dos códigos de barras nas entradas e saídas dos *Racks*, a utilização de uma leitura automática seria inviável por suas limitações de alcance e precisão.

As mesmas restrições encontradas no código de barras, se aplicam no *QR code*, sendo que os leitores não possuem precisão e alcance necessário para a realização de leituras automáticas com garantia de eficácia. Além de possuírem custos mais elevados na compra de leitores, por se tratar de leitores por imagem.

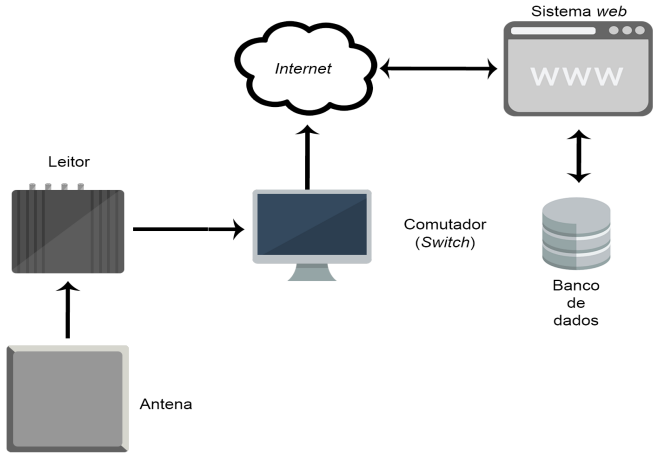
Dentre todas as soluções estudadas anteriormente, a baseada na tecnologia de RFID se apresentou a melhor opção, possibilitando a automação do processo com precisão e garantia de eficácia nas leituras das *tags*, além de agilidade.

2.2 PROPOSTA DE ARQUITETURA DA SOLUÇÃO

Com base na tecnologia de RFID, a arquitetura da solução, a ser avaliada, deve conter um *software web*, um banco de dados, antenas e um leitores RFID.

As *tags* serão embarcadas nos *Racks*, sendo lidas por antenas RFID UHF conectadas aos leitores. As informações lidas das *tags* devem ser enviadas a um servidor, para que possam ser interpretadas e redirecionadas ao sistema *web*. O *software*, ao receber os dados, interpreta-os e realiza o armazenamento no banco de dados. A Figura 1 ilustra a proposta de solução a ser estudada.

Figura 1. Arquitetura proposta para a solução



Fonte: O autor, 2019.

2.3 SOFTWARE WEB

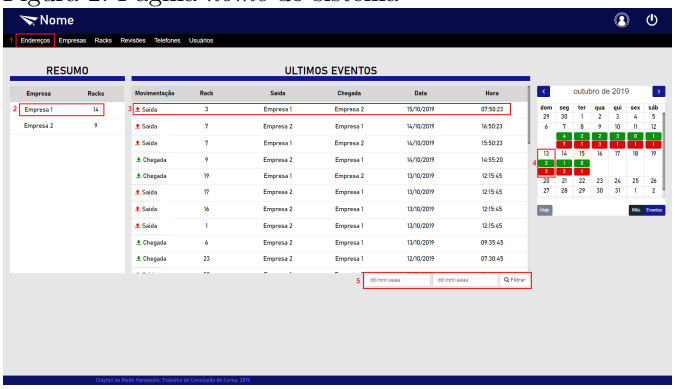
O desenvolvimento do *software* foi baseado no *framework* *django*, sendo programado principalmente em *python*, com auxílio do *html, css, javascript* e *php*. O propósito do *software* ser desenvolvido como uma aplicação *web* é a facilidade e praticidade da sua utilização em qualquer lugar, além de possibilitar sua integração com o *hardware* via *ethernet*, facilitando a implementação do sistema, apenas necessitando de uma conexão com a rede.

Ao entrar no sistema, o usuário deve realizar o *login*, após isso, o sistema é redirecionado à página *home* (Figura 2) onde estão apresentadas todas as suas principais informações. Os botões "Endereços", "Empresas", "*Racks*", "Revisões", "Telefones" e "Usuários" localizados na barra superior, na cor preta (Figura 2, número 1), direcionam o usuário para as páginas de listagens de informações cadastradas no sistema.

A tabela "Resumo", ainda na página *home*, apresenta a informação da quantidade de *Racks* em cada empresa, como mostrado na Figura 2, número 2. Ao centro da página, a tabela de últimos eventos possui uma lista com informações do tipo de movimentação, número do *Rack*, local de saída, local de chegada, data e hora dos últimos 31 dias (Figura 2, número 3) e possui a opção de receber um filtro de informações por data (Figura 2, número 5).

O calendário no canto direito da página, mostra um resumo da quantidade de *Racks* que chegaram (Figura 2, número 4, retângulo verde) e a quantidade de *Racks* que saíram (Figura 2, número 4, retângulo vermelho) da empresa por dia.

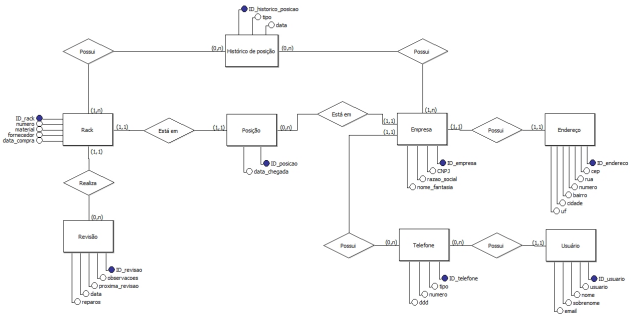
Figura 2. Página *home* do sistema



2.4 BANCO DE DADOS

A aplicação *web* necessitou de uma integração com um banco de dados que foi desenvolvido com base no sistema MySQL. As entidades necessárias para o desenvolvimento do sistema, assim como o diagrama Entidade Relacionamento (DER) estão apresentados na Figura 3.

Figura 3. Diagrama Entidade Relacionamento (DER)



Fonte: O autor, 2019.

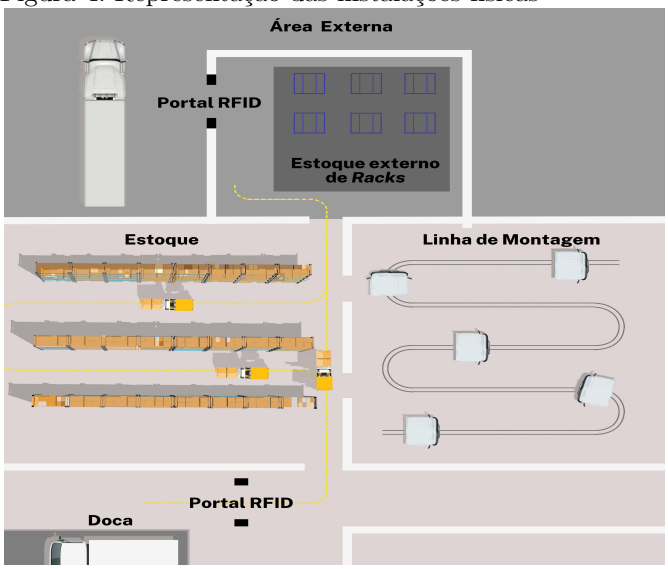
2.5 REQUISITOS DO HARDWARE

Para que possam ser selecionados os componentes do *hardware*, deve-se levar em consideração, o modo e local de instalação mais apropriado. As instalações físicas, ilustrada pela Figura 4, e o fluxo de *Racks* dentro da empresa, propiciam o uso de um portal RFID, por onde as empilhadeiras devem passar, assim que descarregarem os caminhões nas docas de recebimento levando-as ao estoque. Sendo assim, a entrada de informações no sistema seria garantida pela única passagem entre a descarga dos caminhões e a estocagem.

Após irem para o estoque, os *Racks* carregados com bancos, ficam estocadas até que seja necessário o uso dos bancos na linha de montagem. Ao ser esvaziado, o *Rack* vai para a área externa da empresa, aguardando o envio novamente ao fornecedor, porém não existe uma delimitação de espaço onde os Racks ficam armazenados. Para haver o controle de saída, se faz necessário a criação de uma delimitação na área da estocagem externa dos *Racks* para que possa ser instalado um portal RFID de saída.

REQUISITOS DO PORTAL A definição da largura do portal é de suma importância para a escolha das antenas, pois com o tamanho do portal e a padronização

Figura 4. Representação das instalações físicas



Fonte: O autor, 2019.

da localização das *tags* nos *Racks* é possível determinar a distância máxima que o sensor deverá ler.

O cálculo deve considerar as dimensões das empilhadeiras, para tanto, utilizou-se, apenas como base de cálculo, a empilhadeira da empresa Still, modelo RX70-40 possuindo uma largura total de 1380mm. Considerando que não haverá passagem de pedestres por entre o portal, verificou-se que deverá ter uma largura de 4112mm respeitando as normas de segurança em vias de circulação para empilhadeiras e tomando como base que a mesma esteja carregando um palete de 1000x1200 milímetros na transversal, conforme a norma 89/654/CEE (Still p.127). O cálculo do corredor é feito através de (1).

$$K = R + X + C + A \tag{1}$$

Sendo K o comprimento do corredor, R o raio de giro da empilhadeira, X o comprimento entre a face dos garfos e o eixo dianteiro, C o comprimento do garfo, A uma folga.

A posição das etiquetas nos *Racks* será constante, portanto, não será necessário o uso de uma antena com polarização circular.

REQUISITOS DA ANTENA A antena pode ser tanto polarizada linearmente quanto circularmente para a aplicação, pois a orientação das *tags* não será alterada e seguirá um padrão de posicionamento nos *Racks*.

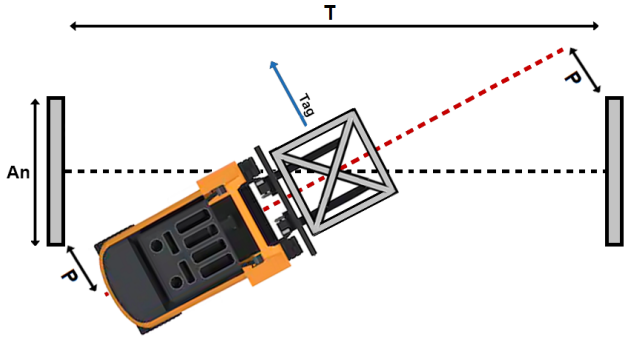
Observando que o portal possui um tamanho de 4112mm, uma empilhadeira com largura de 1380mm e a largura do *Rack* que será considerada como possuindo as dimensões de um palete comum de 1000x1200 milímetros, a maior distância teórica possível para uma *tag* que esteja posicionada na lateral do *Rack* pode ser calculada com (2).

$$D = T - \frac{L}{2} - \frac{P}{2} \tag{2}$$

Onde D é a distância máxima necessária para o alcance da antena, T é o tamanho do portal, L é a largura da empilhadeira e P é o tamanho do *Rack*. Sendo assim, a maior distância necessária para o alcance da antena é de 2922mm.

O ângulo máximo de passagem da *tag* pela antena foi calculada para saber se atenderia a leitura das etiquetas sem interferência, para tanto, foi definida a trajetória da empilhadeira RX70-40, que apresente o maior ângulo de passagem pelo portal, ilustrada pela Figura 5.

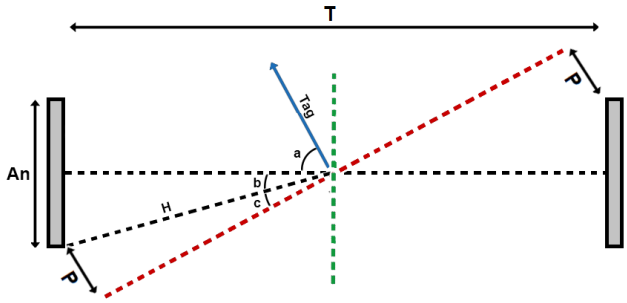
Figura 5. Trajetória da empilhadeira com máximo ângulo de passagem da *tag* pela antena



Fonte: O autor, 2019.

A menor distancia que a empilhadeira poderá passar, em uma trajetória retilínea, será definido pelo tamanho do portal (T), pela largura do portal (An) e pela largura da empilhadeira (L), caso ela passe próximo aos dois lados do portal, pode-se calcular o ângulo entre a *tag* e a antena, como mostra a Figura 6.

Figura 6. Definição do ângulo a ser calculado



Fonte: O autor, 2019.

Para determinar o ângulo "b" da Figura 6, é necessário o comprimento "H", para isso, foi utilizado a fórmula (3).

$$H = \sqrt{(\frac{T}{2})^2 + (\frac{An}{2})^2} \tag{3}$$

Onde H é o comprimento entre a intercessão de "An"e "P" com o centro da distância do portal e An é a largura da antena RFID.

Obtemos um "H" de 2060,43, com este valor, podem ser aplicadas as formulas (4) e (5).

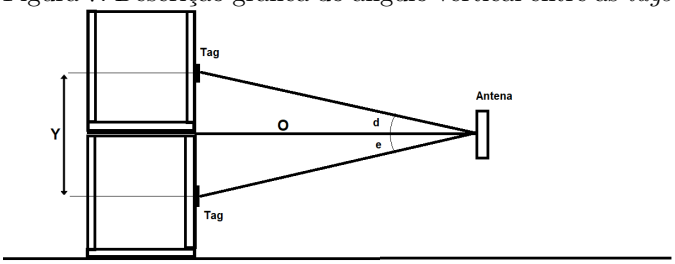
$$b = tan^{-1}(\frac{An}{T}) \tag{4}$$

$$c = sin^{-1}(\frac{P}{H}) \quad (5)$$

Resultando em "b" igual a 3,76° e "c" igual a 19,56°. A soma dos dois ângulos é 23,32°, portanto, o ângulo "a" pode ser calculado como o ângulo complementar de 90°, visto que, a direção da *tag* é perpendicular a trajetória da empilhadeira, resultando em um ângulo de 66,68°.

O ângulo vertical entre as duas *tags* foi calculado com base na distância máxima de leitura e na altura dos *Racks*, pois as etiquetas devem ser fixadas nas laterais dos *Racks* e em seu centro vertical, como mostra a Figura 7.

Figura 7. Descrição gráfica do ângulo vertical entre as *tags*



Fonte: O autor, 2019.

A distância "O" é o máximo alcance necessário para a antena, portanto possui uma medida de 2922mm, o *Rack* possui uma altura de 1500mm, as *tags* serão posicionadas no seu centro, então a medida "Y", representada na Figura 7, possui a mesma medida da altura do *Rack*. Para obter o ângulo "d" pode-se utilizar a equação (6).

$$d = tan^{-1}(\frac{Y}{2 * O}) \quad (6)$$

O ângulo "e" possui o mesmo valor de "d", então a soma de "d" e "e" é igual a 28,79°, uma vez que o ângulo "d" é igual a 14,395°.

2.6 SELEÇÃO DO HARDWARE

Para que os testes de alcance, ângulo e interferência de leitura das tags fossem realizados, alguns modelos de antenas e *tags* foram selecionados e organizados em cinco opções de conjuntos, para a cotação e compra pela empresa.

A necessidade dos equipamentos foi enviada à empresa para serem cotados para compra, ficando a cargo da mesma, a escolha do conjunto de equipamentos, porém, não foi possivel a compra dos equipamentos.

Para a realização dos testes, foi disponibilizado temporariamente uma antena e um leitor, assim como três *tags* para a realização dos testes necessários. A antena utilizada foi o modelo *WANTENNAX020* da marca Caenrfid. O leitor usado foi o modelo *Speedway* R420 da marca Impinj. Assim como duas *tags* próprias para uso em superfícies metálicas e uma *tag* para uso em superfícies não metálicas.

2.7 PROVA DE CONCEITO DE COMUNICAÇÃO

A fim de comprovar a comunicação via *ethernet* entre o *raspberry pi 3* e o leitor RFID *Speedway* R420, foi realizado uma prova de conceito utilizando dois *raspberry pi 3*, pois não foi possível o uso do leitor RFID usado nos testes de alcance e ângulo de leitura, uma vez que, os equipamentos foram emprestados e não houve tempo de realizar a comunicação com o *raspberry pi 3*.

O *raspberry* é uma solução de baixo custo para a integração entre o *software web* e o *hardware*, o leitor de RFID utilizado nos testes não pode ser programado para que envie os dados da forma correta para o *software*. O *raspberry* serve para receber a informação do código RFID, lido pelo conjunto antena-leitor e tratar os dados, adicionando informações necessárias no envio, como o tipo de movimentação, podendo ser chegada ou saída, dependendo da posição da antena que enviar a informação. O envio é realizado criptografado, evitando que o sistema possa ser alterado por qualquer indivíduo.

Os testes consistem de um *raspberry* para servir como o conjunto antena-leitor, pois será acoplado a ele uma placa RFID-RC522 por meio de um *Shield* de desenvolvimento próprio, para realizar a leitura de cartões RFID e envia-los via *ethernet* para outro *raspberry* que servirá para receber os dados, trata-los e envia-los ao sistema.

Os cartões RFIDs foram fixados na lateral do carro em uma esteira, que passa próxima ao leitor RFID fixado a distância necessária para a leitura dos cartões (Figura 8).

Figura 8. Leitura do cartão RFID

Fonte: O autor, 2019.

O *raspberry pi* realizou a leitura dos cartões e, por *ethernet*, enviou os dados ao próximo *raspberry* para que possa ser processado e enviado ao sistema na nuvem.

O *raspberry*, ao receber os dados lidos pelo primeiro *raspberry*, acrescenta a informação do tipo de movimentação, criptografa os dados e envia ao sistema *web*.

3. RESULTADOS

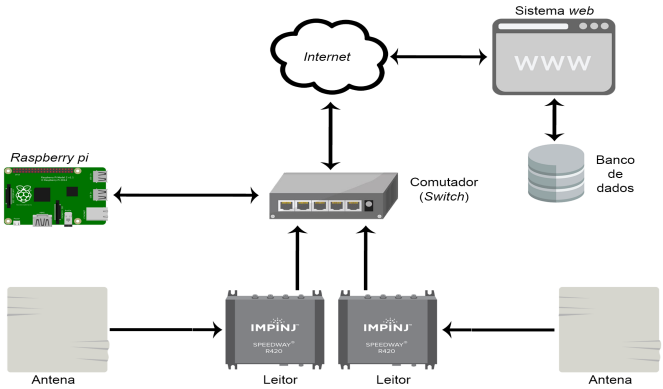
Neste capítulo será detalhada a arquitetura final da solução, os resultados obtidos com a leitura das *tags* RFID e comunicação do *hardware* com o *software*.

3.1 ARQUITETURA FINAL DA SOLUÇÃO

A proposta final do projeto constitui de duas antenas Caenrfid, modelo *WANTENNAX020* e dois leitor da marca Impinj, modelo *Speedway* R420. Os dois conjuntos antena-leitor serão posicionados nos portais de passagem dos

Racks, enviando os dados lidos das *tags* RFID ao *raspberry pi*, que deve diferenciar a entrada da saída através do *IP* do leitor. O *raspberry pi* adiciona a informação do tipo de movimentação e a envia criptografada ao sistema *web*. O *software web* recebe os dados, descriptografa-os e atualiza as informações no banco de dados, enviando uma resposta ao *raspberry pi* de confirmação ou erro. A Figura 9 ilustra a solução.

Figura 9. Arquitetura da solução final



Fonte: O autor, 2019.

3.2 ALCANCE E ÂNGULO DE LEITURA DAS TAGS

Com a antena *WANTENNAX020* da marca Caenrfid e o leitor da marca Impinj, modelo *Speedway* R420, foram realizados testes de alcance e ângulo de leitura com as *tags M-Shield, Short Inlay H3WET* e *Secure-it Tag* (*Tamper-proof*), em contato com chapas de aproximadamente 140x90 milímetros de latão, aço, alumínio, plástico e também sem contato com nenhum material, tanto para os testes de alcance quanto para os testes de ângulo de leitura. Os testes ocorreram em uma sala com limite de distância de 8 metros. O primeiro teste realizado foi de leitura a 3,5 metros de distância sem contato com nenhum tipo de material, sendo testados também o alcance máximo de leitura com as *tags* em contato com cada um dos materiais, assim como sem contato com nenhum material, foi verificado também a possibilidade de leitura de duas *tags* ao mesmo tempo. Por último, os testes de ângulo foram conduzidos com o contato dos metais nas *tags*, aumentando o ângulo entre a *tag* e a antena até que não ocorresse mais a leitura (Tabela 2).

Tabela 2. Teste de alcance e ângulo de leitura das tags

Alcance			
	M-Shield	**Short Inlay H3WET**	**Secure-it Tag (Tamper-proof)**
Teste de leitura a 3,5 metros	ok	ok	ok
Latão	Distância máxima da sala	Não leu	Distância máxima da sala
Aço	Distância máxima da sala	Não leu	Distancia máxima da sala
Alumínio	Distância máxima da sala	1 metro	Distância máxima da sala
Plástico	Distância máxima da sala	Distância máxima da sala	Distância máxima da sala
Teste de leitura com duas tags	ok	ok	ok
Teste de alcance sem metal	Distância máxima da sala	Distância máxima da sala	Distância máxima da sala
Ângulos			
	M-Shield	**Short Inlay H3WET**	**Secure-it Tag (Tamper-proof)**
latão	360°	não leu	360°
aço	73°	não leu	360°
alumínio	360°	360° em curta distância (1m)	360°
sozinho	360°	360°	360°
plástico	360°	360°	360°

Fonte: O autor, 2019.

Os modelos *M-Shield* e *Secure-it Tag (Tamper-proof)* obtiveram ótimos resultados de alcance, chegando a ler a máxima distancia da sala em que ocorreram os testes, sendo de 8 metros. Não houve nenhum tipo de interferência durante os testes de leitura com essas duas *tags*.

O modelo *Short Inlay H3WET*, por ser o único modelo que não é indicado para uso em superfícies metálicas, não apresentou bons resultados durante os testes. As leituras sem contato com nenhum material, assim como o contato com plástico, não interferiram na leitura da *tag*, obtendo o alcance de 8 metros da sala. Os metais latão e aço apresentaram interferência na leitura da *tag*, não permitindo a leitura em nenhuma distância. O alumínio também apresentou interferência, porém, a *tag* pode ser lida até uma distância de 1 metro, após isso não foi possível realizar a leitura.

Nos testes de ângulo, a etiqueta que obteve o melhor resultado foi a *Secure-it Tag (Tamper-proof)*, não apresentando nenhuma interferência das chapas metálicas durante os testes. A *M-Shield* apresentou interferência apenas com a chapa de aço acima de 73°. A *Short Inlay H3WET* não pode ser lida em contato com aço e latão, entretanto, em contato com o alumínio, pode ser lida em qualquer ângulo a uma distância inferior a 1 metro, não havendo problema na leitura com plástico e sem nenhum material.

O ângulo vertical máximo de leitura foi medido com a antena posicionada no chão, uma *tag* na mesma altura da antena e outra *tag* a uma altura de aproximadamente 5 metros, não podendo ser testado uma altura maior por limitações do espaço onde ocorreram os testes. A Figura 7 é uma representação gráfica da disposição dos elementos do teste realizado onde "Y" é a distância entre as tags de aproximadamente 5 metros, "d + e" é representado como "f" na formula que calcula o ângulo de leitura da *tag* verticalmente e "O" é a distância da antena até as *tags* horizontalmente. Para os testes, a distância "O" foi de 3500mm, para que houvesse uma distância um pouco maior que a máxima distância de leitura da antena. O ângulo máximo de leitura realizado em testes foi de 110° representando duas vezes o valor de "f", calculado conforme a formula (7) e representado graficamente pela Figura 7.

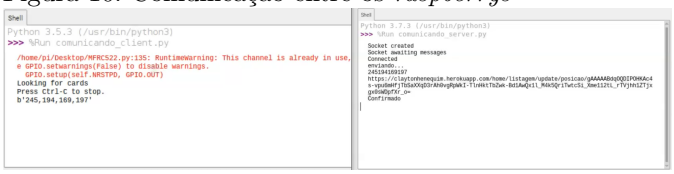
$$f = tan^{-1}(\frac{Y}{2 * O}) \tag{7}$$

3.3 COMUNICAÇÃO HARDWARE-SOFTWARE

Para validação da integração entre todas as plataformas, a partir da prova de conceito de comunicação, foram desenvolvidos códigos para os *raspberrys* baseados em *sockets*. *Socket* pode ser utilizado na criação de "servidor" e "clientes", proporcionando a comunicação entre os equipamentos. É necessário a criação de um código para o servidor e um para o cliente, para a aplicação dos testes com *raspberry*, os códigos foram desenvolvidos em *python*.

O *raspberry* utilizado como servidor, apresentado na lateral direita da Figura 10, ao iniciar, mostra a mensagem "*Socket created*" e em seguida "*Socket awaiting messages*", significando que o mesmo está aguardando a conexão do *raspberry* cliente, apresentado na lateral esquerda da Figura 10.

Figura 10. Comunicação entre os *raspberrys*



Fonte: O autor, 2019.

Assim que o *raspberry* cliente inicia, cria-se a conexão com o servidor. O *raspberry* servidor, ao se conectar com o cliente, apresenta a mensagem "*Connected*" de confirmação, e o cliente apresenta a mensagem "*Looking for cards*", em seguida mostra a mensagem "*Press Ctrl-C to stop*", indicando que há a conexão com o servidor e que está aguardando a leitura do cartão RFID.

Ao aproximar um cartão RFID do *raspberry* cliente, seu codigo é lido, exibido e enviado ao servidor. O *raspberry* servidor recebe o número do cartão RFID proveniente do *raspberry* cliente. Para fins de testes, a informação do tipo de movimentação é selecionada aleatoriamente, porém, na aplicação final, a informação seria proveniente de dois leitores distintos, possibilitando a identificação de entrada e saída. O valor do cartão, assim como a informação do tipo de movimentação, é criptografado e enviado ao sistema *web*. O sistema recebe as informações, descriptografa e as atualiza no banco de dados que serão apresentadas na tela inicial do sistema.

4. ANALISE DOS RESULTADOS

A arquitetura final do projeto sofreu mudanças, comparada a estrutura proposta, para adequar-se às tecnologias implementadas. Visando reduzir custos, o servidor foi substituído pelo *raspberry* e houve a necessidade da implementação de dois conjuntos de antena e leitor, pois a estrutura física da empresa demanda lugares de entrada e saída diferenciados. Houve a necessidade da realização de testes com os componentes de *hardware* selecionados. A antena *WANTENNAX020* da marca Caenrfid em conjunto com o leitor, também da marca Impinj, modelo *Speedway* R420, apresentaram bons resultados de leitura das etiquetas, alcançando a distância máxima da sala onde ocorreram os teste, sendo 8 metros.

Ao realizar o teste de ângulo com a *tag M-Shield* em contato com a chapa de aço de aproximadamente 140x90 milímetros, houve interferência em sua leitura com ângulos acima de 73° em relação a antena. Ao passarem pelo portal RFID, transportadas pela empilhadeira Still modelo RX70-40, o máximo ângulo de passagem das *tags*, no pior caso possivel, é de 66,68°, possibilitando o uso desta *tag* no projeto. A segunda *tag*, própria para uso em superfícies metálicas, denominada *Secure-it Tag (Tamper-proof)*, não apresentou nenhum problema em sua leitura durante os testes de alcance e ângulo, possibilitando, também, seu uso no projeto. Os testes realizados com a *tag Short Inlay H3WET*, em contato com aço e latão, apresentaram bloqueio em sua leitura. O contato com aluminio permitiu que fosse lida pela antena até uma distância de 1 metro, apresentando interferência após essa distância. Esta interferência já era esperada pois esta *tag* é indicada apenas para aplicações em superfícies não metálicas, impossibilitando seu uso na resolução do problema.

O *raspberry pi 3* possui a capacidade de integrar diversas plataformas, sua utilização possibilitou uma integração entre o *hardware* RFID e o *software web* de uma forma econômica, constatado sua eficiência através da prova de conceito.

A possibilidade de criação de códigos em *python* no *raspberry* facilitou sua comunicação, na prova de conceito, com outro *raspberry* atravéz da *ethernet*, além da possibilidade de tratar os dados recebidos e criptografa-los, enviando-os ao *sistema web*.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho, incorporando o RFID a um sistema *web* que possibilita a realização do monitoramento de ativos, representado na presente aplicação pelas *Racks*, contribui para a gestão e tomada de decisão, além de auxiliar em eventuais perdas dos equipamentos.

As antenas RFID são posicionadas estrategicamente nas instalações da empresa e com *tags* embarcadas, possuindo comunicação direta com uma plataforma *web* desenvolvida com o auxílio do *framework* django e banco de dados utilizando o sistema MySQL.

Foi realizado a identificação e comparação de diversas tecnologias possíveis para o rastreamento de carga, resultando na seleção do RFID que, dentre as tecnologias estudadas, possibilitou a melhor solução em relação aos requisitos de agilidade, custo benefício, simplicidade de operação e possibilidade de automação do processo.

O sistema acelera a transmissão de informações de rastreio, disponibilizando-as em um *software online* que possui diversos recursos de segurança, tanto para a proteção e confiabilidade dos dados cadastrados, quanto para a proteção de invasões e uso indevido por usuários. A comunicação com o *hardware* é protegida através de criptografia, evitando alterações de dados por sistemas não autorizados. Os testes de campo referente a implementação da solução na empresa foram inviabilizados devido à indisponibilidade dos equipamentos. Entretanto, foi possível um novo estudo de caso implementado nas esteiras do laboratório LAS 8, localizada na Pontifícia Universidade Católica do Paraná no bloco 9, segundo andar.

Para o caso estudado, o material da estrutura dos *Racks*, onde serão posicionadas as *tags*, é de metal, limitando os modelos das *tags* que podem ser usadas, aos indicádos para uso em superfícies metálicas. Como mostrado nos testes de alcance e ângulo, a *tag Short Inlay H3WET* sofreu interferência pelo contato com as chapas metálicas, impossibilitando sua leitura pela antena RFID.

O sistema *web* foi desenvolvido para que apresentasse as informações de posicionamento de dois locais distintos, sendo eles, uma empresa e um de seus fornecedores. Sendo assim, quando o *Rack* é identificado pela antena RFID posicionada na entrada da empresa, o sistema sabe qual foi a empresa de saída e a empresa de chegada para atualizar a informação no banco de dados, assim como, quando a antena RFID posicionada na saída da empresa identifica o *Rack*. Uma possível melhoria para o sistema

seria a implementação de uma página dedicada a entrada de informações da leitura das antenas, ou seja, assim que fosse identificadas leituras de *tags* no portal de saída da empresa, um funcionário deve alterar o destino de cada *Rack* para que o sistema atualize as informações no banco de dados, permitindo a ampliação do sistema para uso com diversos fornecedores.

REFERÊNCIAS

Acura. Acutag UHF Short Inlay H3WET. Acura. 2018. Disponível em: <http://www.acura.com.br/pt/produtos/etiqueta-rfid/item/acutag-uhf-short-inlayh3wet>. Acesso em: 02 out. 2019.

BARRETO, Luis et al. Industry 4.0 implications in logistics: an overview. Procedia Manufacturing. ScienceDirect, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917306807?via%3Dihub>. Acesso em: 01 nov. 2019.

CaenRFID. WANTENNAX020: Circular polarized antenna 8.5dBc – FCC. Disponível em: <https://www.caenrfid.com/en/products/wantennax020/>. Acesso em: 19 out. 2019.

Filipeflop. Raspberry Pi 3 Model B+ Anatel. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/raspberry-pi-3-model-b/ >. Acesso em: 30 set. 2019.

HADDUD, Abubaker; DUGGER, John C.; LEE, Huei. Manufacturing control, asset tracking, and asset maintenance: Assessing the impact of RFID technology adoption. Journal of International Technology and Information Management, v. 24, n. 2, p. 35, 2015.

Impinj. SPEEDWAY R420 RAIN RFID READER. Disponível em: <https://www.impinj.com/platform/connectivity/speedway-r420/>. Acesso em: 14 set. 2019.

Serialio. Impinj Speedway Revolution R420 UHF RFID Reader (4 Port). Disponível em: <https://buy.serialio.com/products/impinj-speedway-revolution-r420-uhf-rfidreader-4-port>. Acesso em: 30 set. 2019.

Still. RX70 40-50 (Máquina a gasóleo): Manual original. Hamburgo, 2017.

The tag factory. M-Shield Tag. Disponível em: <http://thetagfactory.com/Details?pid=11&cid=3&Gid=3>. Acesso em: 05 out. 2019.

The tag factory. Secure-it Tag (Tamper-proof). Disponível em: <http://thetagfactory.com/Details?pid=174&cid=3&Gid=3>. Acesso em: 09 out. 2019.