

Diante deste cenário, o presente estudo visa resolver um dos problemas de monitoramento contínuo da indústria 4.0, quando utilizado o sistema de gás, que se refere ao fato deste monitoramento se realizar em chão de fábrica, ambiente este hostil para a transmissão de dados em redes sem fio e redes cabeadas com cobre.

O monitoramento de gás industrial já existe, mas existem problemas de interferências, que este trabalho visa resolver. Monitorar a vazão de gás em tempo real, em ambiente hostil, evitando desperdícios de custo e energia, são os objetivos principais deste estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem como objetivo apresentar técnicas de comunicação de dados e sistemas de leituras de gás industrial, utilizando a rede LoraWan e sensor de gás industrial.

2.1 LORAWAN

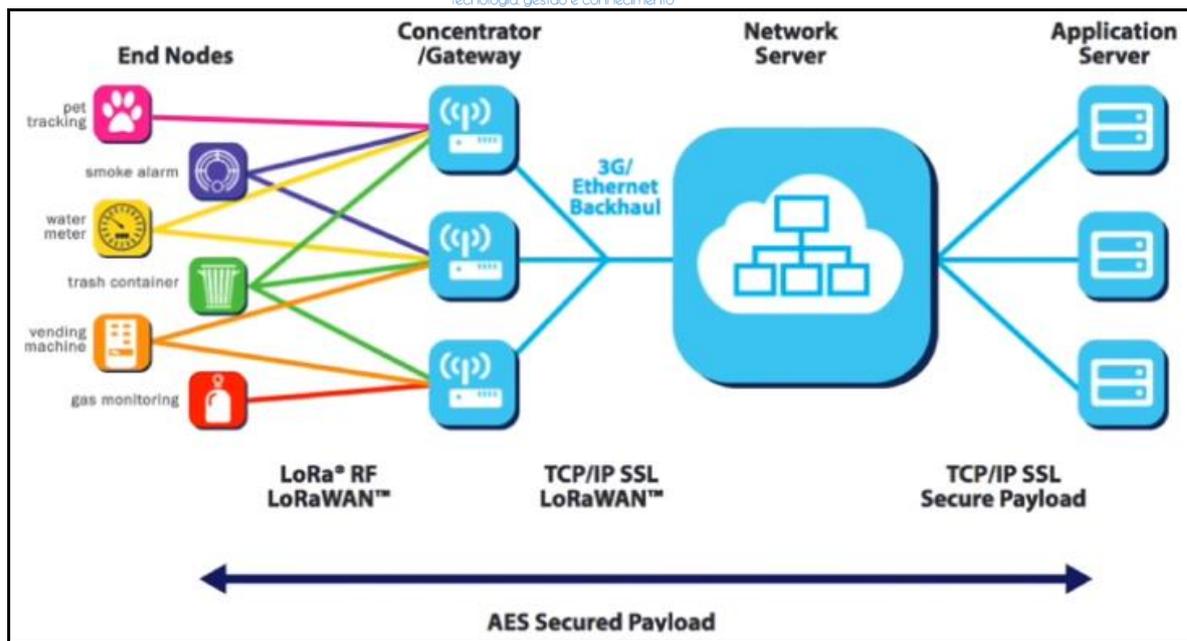
A última década viu o surgimento do paradigma da Internet das Coisas (IoT), que visa conectar qualquer objeto à Internet. Nesse contexto, surgiu um novo tipo de rede de comunicação sem fio, conhecido como Low-Power Wide-Area Network (LPWAN). Ao contrário das conhecidas redes sem fio de curto alcance e multi-hop, as redes LPWAN permitem comunicações de longo alcance, a uma taxa de bits baixa. Além disso, as redes LPWAN são consideradas integradas ao 5G (P. NEUMANN ET AL., 2016).

A faixa de frequência utilizada depende da região (NETWORK, T. T., 2021a). No Brasil, ela é determinada pela Anatel, e opera em um intervalo de 915 a 928 MHz.

Conforme Figura 1, a arquitetura de rede LoraWan[®] é implantada em uma topologia estrela-das-estrelas¹⁷ na qual os gateways retransmitem mensagens entre os dispositivos e um servidor de rede central. Os gateways são conectados ao servidor de rede por meio de conexões IP padrão e atuam como uma ponte transparente, simplesmente convertendo pacotes RF em pacotes IP e vice-versa. A comunicação sem fio aproveita as características *Long Range* da camada física LoraWan, permitindo um link de salto único entre o dispositivo final e um ou vários gateways. Do dispositivo ao gateway temos a rede LoraWan, que envolve os parâmetros, detalhados no subitem 2.1.1. Já do gateway até a aplicação, trata-se da nuvem LoraWan TTN, que está detalhada no subitem 2.1.2.

Figura 4 - Topologia rede LoraWan

¹⁷ Os periféricos não estão associados a um gateway específico, qualquer gateway registrado na mesma rede pode receber a mensagens de qualquer nó da rede, adicionando ao sistema maior garantia no recebimento de mensagens em áreas que coincidem a cobertura de mais de um gateway.



Fonte: ERIC B., 2018

2.1.1 Parâmetros e Indicadores do LoraWan

Conforme FERRIGO, S. E SILVA, J. (2021), o LoraWan é uma pilha de protocolos, formada pela camada física Lora, uma subcamada de acesso ao meio (MAC) e camada de aplicação. Além dos dispositivos LoRa, a arquitetura LoraWAN é composta por gateways, servidores de rede e servidores de aplicação, formando uma topologia chamada de estrela-das-estrelas. A comunicação LoraWan possui indicadores e parâmetros. Os indicadores são propriedades que demonstram os níveis de intensidade e qualidade do sinal. Já os parâmetros são necessários para definir o tipo da comunicação, como definição de canais, frequência e correção de erros. Os indicadores e parâmetros são listados abaixo.

- Indicador *Received Signal Strength Indication* (RSSI): refere-se à intensidade de sinal recebido. É recebido em miliwatts e utilizado como unidade de medida dBm. O valor é sempre negativo e quanto mais próximo de zero, melhor a intensidade do sinal. Os valores típicos para o RSSI variam de -30 dBm para um sinal forte e -120 dBm para um sinal fraco.
- Indicador *Signal-to-Noise Ratio* (SNR): é a relação entre o sinal de potência recebido e o nível de potência do piso de ruído. Este sinal pode sofrer interferências indesejadas que podem corromper o sinal transmitido, e com isso, é necessária a retransmissão. Os valores variam de -20 dBm a +10 dBm. Um valor próximo de +10 dBm significa que o sinal recebido está menos corrompido.
- Frequência: neste parâmetro observa-se qual a frequência que o dispositivo utiliza



para enviar dados pela TTN¹⁸. A frequência é o canal que é configurado para a transmissão dos dados, e cada região tem uma frequência padrão definida.

- d) Parâmetro *Spreading Factor* (SF): Refere-se ao fator de espalhamento. Por definição da Anatel (NETWORK, T. T., 2021b), o fator de espalhamento pode variar de 7 a 10. Quanto maior o fator, maior o consumo energético e maior o tempo de permanência no ar, porém, também é maior a probabilidade de o pacote chegar ao seu destino. Por consequência, quanto maior o SF, menor a taxa de transmissão.
- e) Parâmetro *Code Rate* (CR): este parâmetro permite a correção de erros na transmissão dos dados, podendo ter uma variação de 0 a 4.

2.1.2 Configuração na TTN LoraWan

A TTN é uma comunidade global aberta da LoraWAN que possui uma "nuvem" LoraWAN gratuita e gateways ativos, na cidade de Caxias do Sul. Este Gateway é fornecido pelo grupo Trino Polo¹⁹, de Caxias do Sul, Polo de TI da Serra Gaúcha. Os Gateways são antenas de uso público e, para utilizá-los, basta configurar um dispositivo na TTN e ele se comunicará pelo gateway mais próximo, dentro da área de abrangência desta rede.

A TTN é um órgão que integra dispositivos de gateways na internet e aplicações de dispositivos com chaves únicas de identificação para que possam fazer parte da rede LoraWAN.

Para a comunicação via rede LoraWAN, se faz necessário, além dos parâmetros do item 2.1.1, as configurações de chaves para identificação e liberação na TTN (thethingsnetwork, org). A TTN é uma nuvem LoraWAN e suas configurações se baseiam em três propriedades:

Device Address – contém o endereço do dispositivo na LoraWAN.

NwKsKey – chave de sessão de rede, do qual é utilizado para criptografar e descriptografar o pacote de mensagens puramente MAC, além de gerar e verificar o código de mensagem íntegra (MIC). Essa chave é composta por 128 bits.

AppSKey – Aplicação de sessão de chave, tem por objetivo criptografar e descriptografar a carga útil, isso significa que ninguém pode ler o conteúdo da mensagem que envia e recebe.

Estas duas chaves, *NwKsKey* e *AppSKey*, são exclusivas por dispositivo. Para a efetiva comunicação do gateway com a ferramenta de monitoramento, é necessário registrar o dispositivo na

¹⁸ <https://www.thethingsnetwork.org/> - ecossistema global de IoT colaborativo, criação de redes, dispositivos e soluções, usando LoraWAN.

¹⁹ <https://www.trinopolo.com.br/>

TTN (nuvem), para que esta passe a reconhecê-lo e, conseqüentemente, os dados recebidos pelo gateway são reencaminhados para a ferramenta de monitoramento.

2.2 DEFINIÇÃO DA TECNOLOGIA POSSÍVEL PARA O PROJETO

Conforme Tabela 1, observa-se um comparativo sobre os meios de comunicação LoraWan, LoraWan com as tecnologias sem fio Wi-Fi, SigFox, e NB_IOT, baseado em características técnicas de cada tecnologia, embasadas no referencial teórico.

Na característica taxa máxima de transferência, observa-se que a tecnologia Wi-Fi tem maior capacidade de transferência de dados, seguida da tecnologia LoraWan. Em se tratando de abrangência de sinal, as tecnologias Sigfox e NB-IoT tem maior alcance, seguido da LoraWan. Para o quesito de uso aplicável em comunicações de dispositivos IoT, a única tecnologia que não se aplica ao projeto é a Wi-Fi empresarial, uma vez que tem menor alcance, e é necessário adicionar muitos equipamentos para se obter uma cobertura de sinal que caracteriza as indústrias. Para a característica de eficiência energética, a tecnologia que tem menos consumo de energia elétrica é a LoraWan (TEIXEIRA, Grazielle Bonaldi; ALMEIDA, João Víctor Peroni de, 2017), ou seja, melhor custo benefício neste quesito. Já para o requisito de estrutura pública para uso, a única que está disponível é a LoraWan, e não há necessidade de um replicador ou antenas para captação de sinal.

Com base na avaliação destas características técnicas, a tecnologia que melhor se aplica ao projeto é a LoraWan, visto que, embora não tenha a melhor taxa de transferência de dados e abrangência de sinal, de todos os itens avaliados, ainda assim, a taxa de transferência e abrangência da LoraWan atende a necessidade da proposta. Além disso, é a que melhor se destaca nos quesitos uso em IoT, economia de energia, e disponibilidade de uso público dos gateways ativos²⁰, que já existem na área geográfica do projeto.

Tabela 1 - Comparativo entre Tecnologias

Tabela Comparativa				
	Wi-Fi	LoraWan	Sigfox	NB_IOT
Taxa Max. De Transferência	Até 1000 Mbps	Até 50 Kbps	Até 600 bps	Até 234,57 bps
Abrangência	Até 100 mts	Até 5 Km	Até 10 Km	Até 10 Km
Eficiência Energética	Baixa	Alta	Média	Média
Estrutura Pública para Uso	Não	Sim	Não	Não

Fonte: IEEE; Sigfox; L. C. Alexandre; adaptado pelo autor

²⁰ Site do LoraWan com Mapa dos Gateways - <https://www.thethingsnetwork.org/>.

2.3 MEDIDOR DE VAZÃO

Um medidor de vazão é um instrumento utilizado para medir a taxa de vazão de um líquido ou um gás. Um sistema de medição é constituído de um elemento sensor e condicionador de sinal. O elemento sensor, que está em contato direto com o material fluído, resulta em alguma interação entre a vazão medida e a saída do sensor. O elemento condicionador de sinal tem a função de medir a grandeza física gerada pela interação do sensor com a vazão do fluído, e transformá-la em forma mais conveniente para o *display* de volume, peso ou vazão instantânea. O condicionador de sinal é finalmente ligado a um instrumento receptor de *display*, como indicador, registrador ou totalizador, em alguns modelos com saída para comunicação de dados. Na medição de vazão, o condicionador é também chamado de elemento secundário (Ribeiro, Marco, 2003).

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Utilizando o sistema de busca acadêmico na internet, com o propósito de adquirir trabalhos e artigos que colaborem com o projeto, e que proponham um maior estudo sobre o projeto tratado, fez-se um estudo e foram selecionados trabalhos dos quais abordam conceitos e implantação do LoraWan, como proposta de projeto de baixo custo e projeto de implantação do medidor de vazão de gás. Para analisar a possibilidade de baixo custo, os trabalhos também apresentam outros meios de comunicação, e assim, podendo fazer um comparativo entre eles.

No trabalho FROSI (2020) foi implementado um sistema eletrônico do qual possibilite realizar monitoramento e análise dos parâmetros de soldagem, podendo assim controlar gases envolvidos no processo. Para este projeto foi necessário mapear toda a logística necessária entre a entrada do eco gás, leitura do sensor, até a chegada no ponto da solda.

O trabalho SCHWAB (2020) aborda a Internet das Coisas (IoT) como conceito, comparativo entre rede Wi-Fi, LoraWan, Bluetooth, ZigBee, SigFox. Também especifica local para desenvolvimento dentro de um laboratório da Universidade, podendo efetuar testes de envio e recebimento de dados.

O trabalho SOUZA (2019) tem como objetivo proporcionar uma plataforma aberta e de baixo custo, relacionado a dispositivos, para coleta de informações automatizadas, assim chamada de cidades inteligentes.

O objetivo do trabalho FERRIGO, S. E SILVA, J. (2021) é avaliar, na cidade de Caxias do Sul, a confiabilidade de sinal nos gateways que se situam em determinadas áreas da cidade. Para este objetivo, foram analisados os parâmetros localização, variação do SF, e o tamanho do pacote de dados.

3.1 COMPARATIVO

Todos os trabalhos citados anteriormente proporcionaram uma base para dar prosseguimento a este projeto. Mais especificamente, o trabalho FROSI (2020), que se refere a implementação de sistema de análise de eco gás, sendo a base para a proposta a seguir, onde será abordado o método de comunicação. Método este que no trabalho apontou pontos de ausência de sinal do Wi-Fi e com o LoraWan tem-se o objetivo de resolver, pois possui uma cobertura de sinal mais abrangente.

Com o trabalho SCHWAB (2020) foi analisado outras tecnologias de comunicação como SigFox, NB-IoT e Wi-Fi e o trabalho FERRIGO, S. E SILVA, J. (2021) reforçou que na Cidade de Caxias do Sul a escolha pelo LoraWan é a mais assertiva, pois já tem pontos na cidade com Gateways, ou seja, locais de abrangência de sinal do Lora, onde é possível envio e recebimento de dados.

Com o trabalho SOUZA (2019) observa-se que o uso do LoraWan proporciona sua implementação com baixo custo. Também apresenta no trabalho 4.3 considerações sobre tempo real de resposta. Com isso, no projeto aqui apresentado, estas considerações serão colocadas à análise, será verificado se é viável o tempo que levará entre o medidor de vazão até os gráficos de tomada de decisão que serão apresentados ao usuário, na ferramenta de monitoramento.

O trabalho relacionado FERRIGO, S. E SILVA, J. (2021) tem contribuição devido ao fato de identificar o local dos gateways e uma melhor maneira de implementar no código fonte os ajustes para se obter melhor qualidade de sinal, certificando que a rede pública LoraWan funciona. Também serve de parâmetro as suas análises de SF, RSSI, mantendo assim, uma base inicial para o ambiente dos cenários do qual este trabalho irá ser realizado.

4 PROJETO E DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO

Nesta seção serão apresentados os detalhamentos da proposta deste trabalho, desenvolvimento do protótipo e detalhes da implementação.

4.1 PROPOSTA

Para desenvolvimento da solução do estudo em questão, a proposta definida consiste em usar equipamentos de baixo custo no ambiente de empresas que possuem processo de solda e armazenamento em grande escala de gás, com intuito de garantir uma melhor operacionalização e gerenciamento da vazão de gás, utilizando o método de comunicação LoraWan. Além disso, a comunicação LoraWan permite o monitoramento e acompanhamento da vazão em tempo real, ou com alguns segundos de atraso. Isso permite melhor gerenciamento e tomada de decisão. A escolha por

esta tecnologia deve-se pela análise das características técnicas observadas na Tabela 1, capacitando assim a sua implementação.

A Figura 2 apresenta o conceito da implementação a ser utilizada no projeto. O medidor de vazão de gás (1), através da sua saída serial, emite dados, através da porta de comunicação do medidor de vazão ao módulo LoraWan (2). Este, por sua vez, envia os dados diretamente ao Gateway LoraWan (3), que enviará dados ao servidor em nuvem. Os dados são armazenados no servidor de Banco de Dados (4), e estes podem ser acessados por qualquer terminal (5), via navegador de Internet.

Para fins de avaliação desse modelo proposto, o sensor (1) será um dispositivo da marca SMC modelo PFM511 C2. O módulo LoraWan (2) será um ESP32 Heltec. Já o Gateway LoraWan será utilizado o que existe próximo a empresa. A localização do gateway pode ser verificada na Figura 4, e maiores detalhes da localização, no subitem 4.4. O gateway enviará os dados em formato numérico, decimal, que indicará o quanto de volume está passando de gás no momento da leitura ao servidor na nuvem. A nuvem utilizada será a TTN, e maiores detalhes são apresentados no subitem 4.5. Estes dados são armazenados e apresentados em formato de *Dashboard*, demonstrando, graficamente, o volume da vazão do gás, na ferramenta Tago. Maiores detalhes da ferramenta, gráficos e dados apresentados podem ser consultados na seção 4.6 deste capítulo.

Figura 5 - Projeto Monitoramento de Vazão de Gás



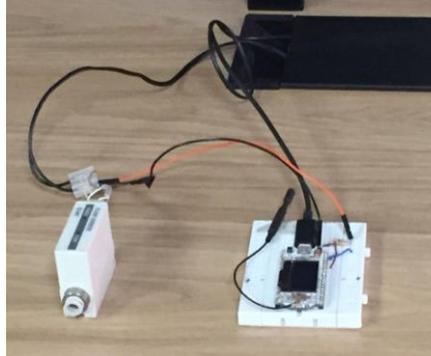
Fonte: O Autor

4.2 MEDIDOR DE VAZÃO UTILIZADO NA PROPOSTA

O medidor de vazão deverá conter uma saída que possa comunicar com o LoraWan. Para atender ao requisito do protótipo deste trabalho, a saída deve ser do tipo serial, enviando os dados do medidor o qual corresponde ao valor registrado em tempo real. Neste caso, será utilizado da marca SMC modelo PFM 511 C2, do qual será conectado a entrada analógica porta 0 do Esp32 Heltec. Para

converter saída analógica em digital, será adicionado a sua entrada um resistor de 10 khoms, conforme Figura 3.

Figura 6 - Conexão do Sensor ao Arduino



Fonte: Autor

4.3 DISPOSITIVO LoraWan

O Dispositivo LoraWan está conectado ao medidor de vazão, conforme Figura 3, e será programado para receber a leitura do medidor de forma contínua. Na medida que é feita a leitura do dado no medidor, ele enviará ao Gateway. Nesta fase, é utilizado o dispositivo Lora Esp32 de marca Heltec, que armazena o código fonte responsável pela comunicação do dispositivo ao gateway.

4.4 GATEWAY LoraWan

Um gateway, na rede LoraWan, é uma antena que recebe e retransmite os dados dos dispositivos que a ele estão conectados.

O Gateway utilizado neste protótipo, recebe os dados e os retransmite ao servidor, que no caso, será utilizado servidor da ferramenta Tago. Para a comunicação entre Gateway e servidor de banco de dados será utilizado o protocolo MQTT²¹ (MQ Telemetry Transport). O Gateway se encontra a aproximadamente 605 metros do pavilhão central da empresa que será realizado o protótipo. A Figura 4 demonstra a localização geográfica do Gateway e da empresa, bem como a distância entre os dois pontos.

²¹ MQTT é um protocolo de mensagens extremamente simples e leve de publicação/assinatura, projetado para dispositivos restritos e redes de baixa largura de banda, alta latência, ou não confiáveis.

Figura 7 - Distância entre o Gateway e a Empresa



Fonte: Google Maps, adaptado pelo autor

4.5 TTN – THE THINGS NETWORK

Para desenvolvimento do protótipo, foram definidos os parâmetros, conforme especificado na seção 2.1.2. A partir do cadastro do dispositivo na rede TTN, foram criadas as chaves e estas, utilizadas no código fonte do protótipo.

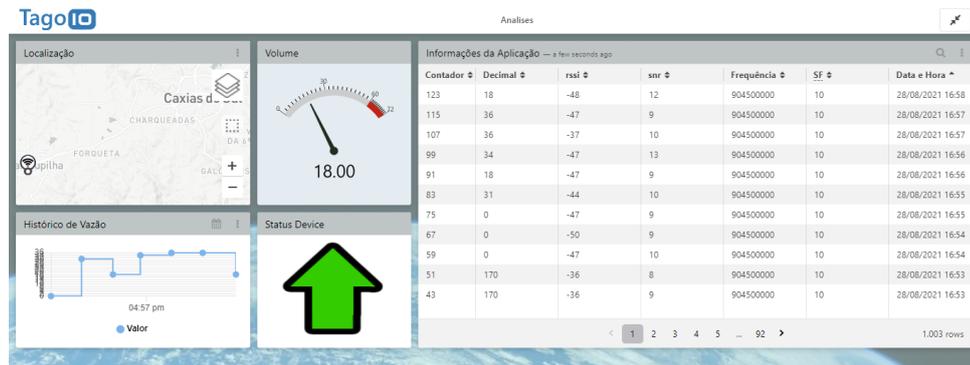
4.6 APLICAÇÃO TAGO

A ferramenta TagoIO²² oferece recursos para gerenciar dispositivos, armazenar dados, executar análises e integrar serviços.

Conforme Figura 5, o painel foi desenvolvido para monitoramento dos dados, com base nas necessidades deste trabalho, de monitoramento da vazão do gás, avaliação da comunicação e dados referente à transmissão. Este painel também será utilizado para auxílio nas avaliações do projeto.

²² <https://tago.io/>

Figura 8 - Painel de Monitoramento Tago



Fonte: tago.io, adaptado pelo autor

4.7 RESUMO DO FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO

Conforme verifica-se nas seções 4.1 a 4.6, para este projeto foi utilizado um Arduino Lora Esp32 da Heltec, como dispositivo para ligar o sensor de gás modelo SMC PFM511 C2, utilizando o software Arduino 1.8.5, para efetuar programação em C++. Foi necessário criar uma conta na TTN e adicionar um *device*, que teve uma identificação única e com endereços únicos de acesso a TTN. Com o cadastro na TTN, efetuado o cadastro no site da ferramenta Tago, no qual foi criado o painel de dados para análise, conforme seção 4.6 deste capítulo. Após, efetuado testes de comunicação em diferentes pontos da empresa.

Na mesma aplicação do Tago, foi adicionado recurso para que se possa verificar a perda de sinal, ou comunicação com a aplicação, adicionado também recurso de alerta quando a vazão atingir um limite mínimo e máximo na leitura, proporcionando assim, a quem estiver acompanhando, dados para uma tomada de decisão assertiva.

5 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

Para fins de avaliação da proposta, instalou-se o protótipo descrito item 4.3 numa empresa, que fica situada em Caxias do Sul, no bairro Interlagos, e sua principal atividade é a produção de implementos rodoviários, como carretas, furgões e tanques para diversas finalidades. Possui um pavilhão de aproximadamente trezentos e noventa metros de largura por trezentos e trinta metros de comprimento.

Após avaliação inicial do sinal, na área externa da empresa, para validação da proposta do projeto, de forma integral, foram definidos pontos estratégicos dentro do pavilhão



da empresa, levando em consideração a sua linha de montagem e cenários com diferentes características locais, como por exemplo, presença de ruído ou interferências causadas por equipamentos utilizados no ambiente fabril de uma metalúrgica. A partir desta metodologia aplicada, pretende-se verificar, se dentro do ambiente fechado da empresa, um pavilhão, tem-se a mesma qualidade de sinal, comparado ao teste que foi realizado em ambiente aberto, ao redor da empresa.

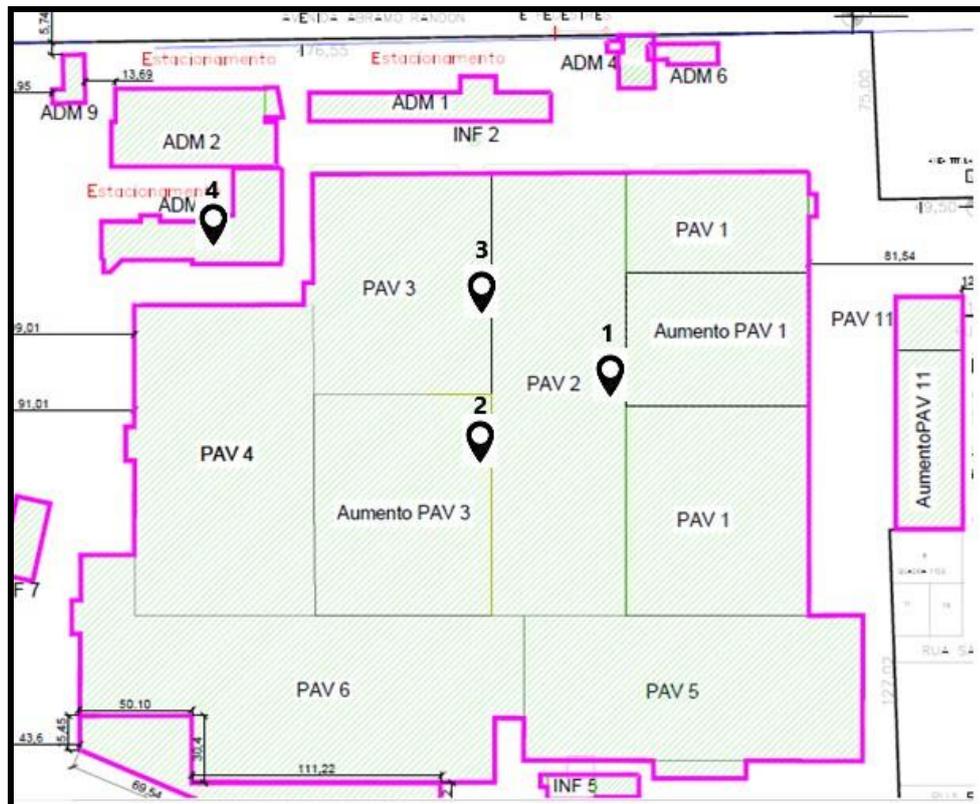
Após os cenários definidos, definiu-se um período de maior interferência, dentro do processo de produção da metalúrgica, para cada cenário, instalou-se o dispositivo, e foi avaliado se o dispositivo envia dados ao Gateway, e este, o recebe. A partir deste momento, se a comunicação foi efetiva, em cada cenário, avaliou-se as transmissões e a qualidade dos dados coletados, no painel de monitoramento da ferramenta Tago.

Retransmissão de pacote: para melhor avaliar as perdas de pacotes, o parâmetro de retransmissão de pacotes ficou desabilitado no código fonte, nesta metodologia. O motivo de não ter retransmissão é a possibilidade de avaliar os dados transmitidos, e verificar quantos deles são perdidos.

5.1 CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO

Conforme verificado na Figura 6, observa-se os pontos 1, 2 e 3, que são os locais dos cenários para avaliação, seguindo a linha de produção fabril e um ponto 4, local utilizado como comparativo, situado dentro de escritório, sendo este o ponto mais distante do gateway, que passa pela linha de montagem. Na linha de produção, as peças têm grande quantidade de aço, por se tratar de carretas e vagões de vários tipos, além de equipamentos utilizados na solda, que geram grande demanda de consumo energético. Em decorrência deste ambiente, existem interferências eletromagnéticas, que caracterizam um ambiente hostil para equipamentos eletrônicos de pequeno porte, como o dispositivo utilizado neste projeto.

Figura 9 - Pavilhão de Montagem



Fonte: A Empresa

Todos os cenários para avaliação enviaram dados através do Gateway mais próximo da empresa.

5.2 RESTRIÇÕES DE METODOLOGIA

Nesta metodologia, tivemos alguns pontos que delimitaram o escopo da avaliação.

A primeira restrição foi a definição dos cenários de avaliação. Foram avaliados apenas quatro cenários, pois a empresa, devido aos seus critérios de Segurança do Trabalho, exige que o acesso aos locais dentro da linha de montagem seja supervisionado, fazendo uso de EPIs, bem como limita o tempo da presença de pessoas que não seja com o objetivo final do negócio. Além disso, o pavilhão não tem muitos pontos de energia elétrica disponíveis, para que o dispositivo pudesse ser alimentado. Desta forma, os cenários foram avaliados e definidos da forma mais objetiva e adequada para esta metodologia.

Outra restrição no desenvolvimento do projeto, foi a implementação utilizando equipamentos de baixo custo, além da estrutura pública de gateway.



E por fim, nesta metodologia, verifica-se a limitação da ferramenta Tago, responsável pela apresentação dos dados, neste projeto, de uma forma mais visual. A ferramenta oferece licenciamento de forma gratuita para análise, porém, esta forma de contratação limita a quantidade de transações utilizadas por hora. Ou seja, excedendo o número de transações naquela hora, o recebimento de dados é bloqueado até a hora seguinte. Isso significa que, em testes mais extensos que uma hora, nem todos os dados transmitidos foram apresentados na ferramenta Tago.

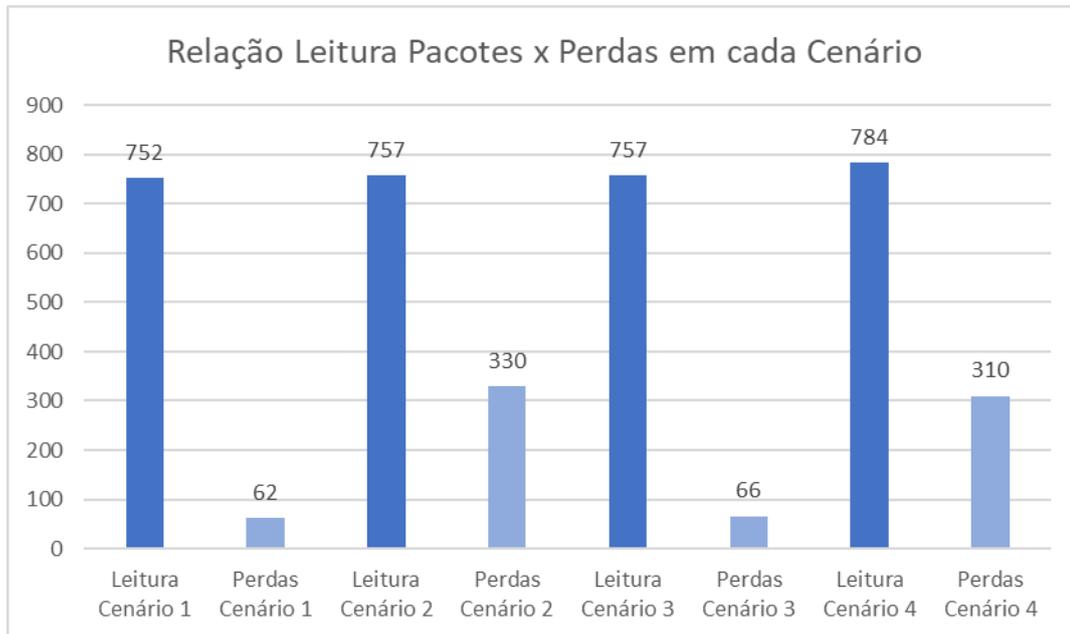
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da metodologia de avaliação, descrita no Capítulo 5, foram realizados testes nos cenários indicados, os dados foram coletados e analisados, obtendo-se os resultados. No subitem 6.1, verifica-se um comparativo entre todos os cenários avaliados.

6.1 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO

Na Figura 7, pode-se observar os totais de pacotes transmitidos em cada cenário, e suas respectivas perdas. Verifica-se que os quatro cenários tiveram a quantidade de comunicações na mesma proporção, porém, as perdas foram maiores nos cenários 2 e 4, devido ao ambiente que o dispositivo foi exposto. O cenário 2 foi o ambiente mais hostil e com maior quantidade de equipamentos e ruídos da linha de produção. Já o cenário 4 é o ambiente de maior distância do gateway, e o sinal passa pela linha de produção. As quantidades de perdas dos cenários 1 e 3 também foram semelhantes. Estas, mais baixas, devido aos cenários serem menos expostos na linha de produção, ruído e equipamentos.

Figura 10 - Totais de pacotes e perdas de cada cenário



Fonte: O Autor

6.2 COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO

Conforme a Figura 7, os cenários 1 e 3 foram os que apresentaram melhores resultados, pois apresentaram 5 vezes menos perdas de pacotes que os demais cenários. Já os cenários 2 e 4, tiveram as maiores perdas de dados. Isso se deve ao fato de que o cenário 2 foi o ambiente de teste mais hostil, na linha de montagem, dentro do pavilhão, com maior quantidade de aço próximo ao cenário, e maior quantidade de ruído. Já o cenário 4, apesar de estar situado em ambiente administrativo, desta forma, menos hostil, porém, é o ponto mais distante do gateway, e, entre essa comunicação, o sinal passa pelo pavilhão, apresentando interferências da linha de montagem da empresa.

Portanto, a partir da análise dos 4 cenários, verifica-se que a comunicação Lora sofre interferências significativas na transmissão dos dados coletados pelo dispositivo, quando o sinal está exposto a ruídos e demais características do ambiente fabril ou longas distâncias do Gateway. Outro fator observado foi o *delay* do qual os dados que passam pela TTN e são repassados à ferramenta Tago, sofrem um atraso aproximado de oito segundos.

Mesmo assim, observa-se que as perdas de pacotes foram em minutos diferentes, de forma que a amostra sempre se manteve com dados recebidos, ao longo dos períodos de leitura. Como o controle da vazão do eco gás não necessita dos dados em tempo real, e, em



todos os cenários foi possível o monitoramento dos dados, mesmo que de forma mais espaçada, entende-se que a comunicação Lora é viável e pode ser utilizada no projeto. Além da comunicação dos dados funcionar de acordo com a necessidade, para a finalidade do projeto, outro ponto importante a ser destacado é a facilidade de acesso e uso à rede Lora, que não necessita passar por regras e bloqueios corporativos, existentes na rede Wi-Fi da empresa.

7 CONCLUSÃO

Com base no estudo realizado, conclui-se que, utilizando a tecnologia LoraWan é possível enviar os dados da linha de produção da empresa até chegar ao seu Gateway, e com isso, à internet, onde pessoas possam acessar os dados obtidos, analisar e auxiliar numa tomada de decisão. O objetivo do trabalho era identificar uma possibilidade de utilizar a estrutura física já existente na empresa e utilizar componentes de baixo custo, a obter dados de um medidor de gás, e disponibilizá-los em um painel de monitoramento.

Considerando todos os parâmetros de transmissão de dados analisados, interferências externas que geram ruídos, e a qualidade do sinal, conclui-se que, mesmo em cenários em que se obteve resultados com alto índice de perda de dados, a transmissão se mostrou satisfatória, uma vez que as perdas se deram em minutos diferentes, e não subsequentes, o que poderia acarretar falha na análise do sensor. Logo, em todos os cenários, foi possível um resultado e análise de dados adequados ao propósito deste estudo.

Um fator negativo, porém, que não interferiu neste tipo de análise, foi o *delay* do qual os dados que passam pela TTN e são repassados à ferramenta Tago, em média, atrasam, aproximadamente, oito segundos. Em análises para outros fins, esta característica pode interferir, e até inviabilizar o desenvolvimento do projeto. Para o caso de estudo deste projeto, os parâmetros mostraram que é possível utilizar o LoraWan, em substituição ao Wi-Fi, dentro da empresa, para o monitoramento de vazão do eco gás.

Cabe ressaltar que, para desenvolvimento deste protótipo, utilizou-se equipamentos de baixo custo, além da estrutura pública da TTN. Porém, na efetiva implantação deste conceito, utilizando LoraWan em indústrias, existem algumas melhorias com custo mais elevado que permitem melhores resultados, como por exemplo, a aquisição de dispositivos com melhor performance e alcance, comparado ao utilizado neste projeto, Esp32. E por fim, em caso de implementação deste conceito, o local físico dos dispositivos, de forma permanente, seriam mais bem posicionados. Ou seja, ao invés da utilização dentro das caixas

de metal, conforme foram provisionados neste trabalho, o ideal seria a empresa realizar a instalação em local mais adequado e próximo ao sistema eco gás.

REFERÊNCIAS

ERIC B. LORA NETWORKS. 2018. DISPONÍVEL EM:

<[HTTPS://LORA.READTHEDOCS.IO/EN/LATEST/#ID3/](https://lora.readthedocs.io/en/latest/#id3/)>. ACESSO EM: 30.AGO.2021.

FERRIGO, S. E SILVA, J. 2021. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA REDE LORAWAN PÚBLICA DA CIDADE DE CAXIAS DO SUL/RS. REVISTA BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO APLICADA. 13, 2 (JUN. 2021), 38-47. DOI:[HTTPS://DOI.ORG/10.5335/RBCA.V13I2.12348](https://doi.org/10.5335/rbca.v13i2.12348).

IEEE STANDARDS ASSOCIATION. IEEE STD 802.11AC-2013. [S.L.]: IEEE COMPUTER SOCIETY, 2013. 1-425 P. ISBN 9780738188607.

NETWORK, T. T. (2021A). FREQUENCY PLANS BY COUNTRY. DISPONÍVEL EM [HTTPS://WWW.THETHINGSNETWORK.ORG/DOCS/LORAWAN/FREQUENCIES-BY-COUNTRY.HTML](https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/frequencies-by-country.html). ACESSO EM 30.AGO.2021.

NETWORK, T. T. (2021B). FREQUENCY PLANS. DISPONÍVEL EM [HTTPS://WWW.THETHINGSNETWORK.ORG/DOCS/LORAWAN/FREQUENCY-PLANS.HTML](https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/frequency-plans.html). ACESSO EM 30.AGO.2021.

OLIVEIRA, S. 2017. INTERNET DAS COISAS COM ESP8266, ARDUINO E RASPBERRY PI. NOVATEC EDITORA.

P. NEUMANN, J. MONTAVONT E T. NOËL, "INDOOR DEPLOYMENT OF LOW-POWER WIDE AREA NETWORKS (LPWAN): A LORAWAN CASE STUDY", 2016 IEEE 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIRELESS AND MOBILE COMPUTING, NETWORKING AND COMMUNICATIONS (WIMOB) , 2016, PP. 1-8, DOI: 10.1109/WIMOB.2016.7763213.

SIGFOX. 2020. WEBSITE DA EMPRESA SIGFOX [HTTPS://WWW.SIGFOX.COM](https://www.sigfox.com). ACESSO EM: 14 DE NOVEMBRO DE 2020.

TEIXEIRA, GRAZIELLE BONALDI; ALMEIDA, JOÃO VÍCTOR PERONI DE. REDE LORA® E PROTOCOLO LORAWAN®/ APLICADOS NA AGRICULTURA DE PRECISÃO NO BRASIL. 2017. 76 F. TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (ENGENHARIA ELETRÔNICA) - UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, PONTA GROSSA, 2017.