



WASHINGTON MANOEL FIDELIS

**ACOMPANHAMENTO REMOTO POR SENSORIAMENTO SEM FIO EM
COMPONENTES DE ESCAVADEIRAS**

Itabira, MG

2022

WASHINGTON MANOEL FIDELIS

**ACOMPANHAMENTO REMOTO POR SENSORIAMENTO SEM FIO EM
COMPONENTES DE ESCAVADEIRAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista em Automação para Processos de Mineração.

Orientador: Prof. Gustavo Pessin.

Itabira, MG

2022

Título: **ACOMPANHAMENTO REMOTO POR SENSORIAMENTO SEM FIO EM COMPONENTES DE ESCAVADEIRAS**

Classificação: () Confidencial () Restrita () Uso Interno (x) Pública

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço.

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação(CIP)

F471a

Fidelis, Washington Manoel
Acompanhamento remoto por sensoriamento sem fio em componentes de escavadeiras. Washington Manoel Fidelis... [et al.] - Ouro Preto, MG: ITV, 2022.

31 p.: il.

Monografia (Especialização latu sensu) - Instituto Tecnológico Vale, 2022.
Orientador: Gustavo Pessin

1. Manutenção Preditiva. 2. Componentes. 3. Escavadeira Hidráulica.
I. Pessin, Gustavo. II. Título.

CDD.23. ed. 629.82

Washington Manoel Fidelis

**ACOMPANHAMENTO REMOTO POR SENSORIAMENTO SEM FIO EM
COMPONENTES DE ESCAVADEIRAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista *lato sensu* em [Automação para Processos de Mineração].

Orientador: Prof. D.Sc. Gustavo Pessin

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em 14 de dezembro de 2022 pela banca examinadora constituída pelos professores:

Prof. D.Sc. Gustavo Pessin
Orientador – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Prof. MSc. Jacó Dias Domingues
Membro interno – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Prof. MSc. Luiz Guilherme Dias de Barros
Membro interno – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Os Signatários declaram e concordam que a assinatura será efetuada em formato eletrônico. Os Signatários reconhecem a veracidade, autenticidade, integridade, validade e eficácia deste Documento e seus termos, nos termos do art. 219 do Código Civil, em formato eletrônico e/ou assinado pelas Partes por meio de certificados eletrônicos, ainda que sejam certificados eletrônicos não emitidos pela ICP-Brasil, nos termos do art. 10, § 2º, da Medida Provisória nº 2.200-2, de 24 de agosto de 2001 (“MP nº 2.200-2”).



PROTOCOLO DE ASSINATURA(S)

O documento acima foi proposto para assinatura digital na plataforma Portal de Assinaturas Vale. Para verificar as assinaturas clique no link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/1652-307B-CFB1-096E> ou vá até o site <https://vale.portaldeassinaturas.com.br:443> e utilize o código abaixo para verificar se este documento é válido. The above document was proposed for digital signature on the platform Portal de Assinaturas Vale . To check the signatures click on the link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/1652-307B-CFB1-096E> or go to the Website <https://vale.portaldeassinaturas.com.br:443> and use the code below to verify that this document is valid.

Código para verificação: 1652-307B-CFB1-096E



Hash do Documento

C70A4617DADF29D5DAB3075FC2EA18C40B27AFED987A04AAAD11D89968316241

O(s) nome(s) indicado(s) para assinatura, bem como seu(s) status em 04/01/2023 é(são) :

- Jacó Dias Domingues (Signatário) - 112.250.696-10 em 04/01/2023 08:54 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: jaco.domingues@itv.org

Evidências

Client Timestamp Wed Jan 04 2023 08:54:12 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

Geolocation Latitude: -22.9376 Longitude: -46.5502208 Accuracy: 4232.247180863995

IP 132.255.38.124

Hash Evidências:

6002E63717DAFF3CF0C70E36020569E738DACFE80924B41FA5E5794A32E09E4F

- Gustavo Pessin (Signatário) - 939.084.900-49 em 03/01/2023 08:26 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: gustavo.pessin@itv.org

Evidências

Client Timestamp Tue Jan 03 2023 08:26:19 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

Geolocation Latitude: -19.9589087 Longitude: -43.9349955 Accuracy: 14.346

IP 177.205.131.145

Hash Evidências:

9E7AC5D183AB6FCCEE41B8D5554BC2D2884A9F252D63D539C9846FB8C37C2573

- Luiz Guilherme Dias de Barros (Signatário) - 109.612.966-31 em 02/01/2023 17:16 UTC-03:00



PROTOCOLO DE ASSINATURA(S)

O documento acima foi proposto para assinatura digital na plataforma Portal de Assinaturas Vale. Para verificar as assinaturas clique no link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/1652-307B-CFB1-096E> ou vá até o site <https://vale.portaldeassinaturas.com.br:443> e utilize o código abaixo para verificar se este documento é válido. The above document was proposed for digital signature on the platform Portal de Assinaturas Vale . To check the signatures click on the link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/1652-307B-CFB1-096E> or go to the Website <https://vale.portaldeassinaturas.com.br:443> and use the code below to verify that this document is valid.

Código para verificação: 1652-307B-CFB1-096E



AGRADECIMENTOS

Agradeço a Vale pela oportunidade de me desenvolver. Agradeço a todos os meus colegas de trabalho que me apoiaram em todas as semanas de aula, cobrindo minhas ausências e me ajudando no que foi preciso.

RESUMO

A manutenção preditiva possui o objetivo principal de antecipar e encontrar a raiz de problemas em máquinas e equipamentos. Ou seja, mesmo antes de se tornarem problemas potenciais, agindo quando ainda somente se encontram sintomas. Isso é possível graças ao seu modo de aplicação, por meio de monitoramento constante. As escavadeiras hidráulicas são de enorme importância para o processo de extração do minério de ferro, sendo crucial para o processo produtivo. No último ano tivemos na mina de Itabira um valor considerável de horas de manutenção corretiva em escavadeiras hidráulicas em função de falhas prematuras de componentes e periféricos que poderiam ser evitadas empregando um modelo de acompanhamento preditivo adequado. A grande demanda por minérios e a redução das reservas, bem como a busca pela atenuação dos custos e aumento de produtividade das empresas do setor, fomenta maiores estudos e análises cada vez mais profundas dos indicadores que influenciam todos os processos e etapas desde o planejamento até a operação. Este estudo foca no acompanhamento preditivo automatizado de variáveis, como temperatura e vibração, fornecendo subsídio para o acompanhamento de componentes e periféricos críticos. Evitando a parada do ativo em condições corretivas e aumentando a previsibilidade da manutenção. Em consequência temos um aumento de produtividade horária dos ativos e uma melhor aderência ao planejamento de lavra.

Palavras-chave: Manutenção Preditiva. Componentes. Escavadeira Hidráulica.

Fase da Cadeia: Mina.

ABSTRACT

Predictive maintenance has the main objective of anticipating and finding the root of problems in machines and equipment. That is, even before they become potential problems, acting when only symptoms are found. This is possible thanks to its application mode, through constant monitoring. Hydraulic excavators are of enormous importance for the iron ore extraction process, being crucial for the production process. In the last year, at the Itabira mine, we had a considerable amount of hours of corrective maintenance on hydraulic excavators due to premature failures of components and peripherals that could be avoided using an adequate predictive monitoring model. The great demand for ores and the reduction of reserves, as well as the search for reducing costs and increasing the productivity of companies in the sector, encourages further studies and increasingly in-depth analyzes of the indicators that influence all processes and stages from planning to the operation. This study focuses on the automated predictive monitoring of variables such as temperature and vibration, providing support for monitoring critical components and peripherals. Avoiding asset downtime under corrective conditions and increasing maintenance predictability. As a result, we have increased hourly productivity of assets and better adherence to mine planning.

Keywords: Predictive Maintenance. Components. Hydraulic Excavator.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escavadeira Shovel Hidráulica	17
Figura 2 - Detalhamento sistema hidráulico.....	19
Figura 3 - Exemplo de topologia em estrela de uma rede LoRaWAN.....	21
Figura 4 - Comparativo das classes de dispositivos LoRaWAN.....	22
Figura 5 - Cenário a ser desenvolvido no projeto	26

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Dados de medição de temperatura nas primeiras 48 horas	25
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise estatística medições Abril/22 a agosto/22	28
---	----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Lista de Siglas e Abreviaturas

ITV: Instituto Tecnológico Vale.

RCM: Manutenção centrada na confiabilidade

TPM: Manutenção produtividade total

JIT: Manutenção “just-in-time”

IoT: Internet of Things

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Escavadeiras hidráulicas	17
2.2	Manutenção preditiva no cilindro hidráulico	19
2.3	Internet das Coisas – IoT	20
2.4	LoRaWAN	21
2.5	Topologia da rede.....	21
2.6	Classes de dispositivos LoRaWAN	21
3	MATERIAIS E METODOS.....	24
3.1	Caracterização da área de estudo.....	24
3.2	Dados.....	25
3.3	Metodologia	25
4	Resultados e Discussão.....	28
5	CONCLUSÃO	29
	REFERENCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, têm-se discutido amplamente a gerência de manutenção preditiva. Tem-se definido uma variedade de técnicas que variam desde o monitoramento da vibração até imagens em infravermelho. A manutenção preditiva, tem sido reconhecida como uma técnica eficaz de gerenciamento de manutenção.

Outras terminologias têm surgido como ferramentas de gerência de manutenção, estes novos termos - RCM, manutenção centrada na confiabilidade; TPM, manutenção produtiva total; e JIT, manutenção “Just-in-Time” - são apresentadas como substitutas à manutenção preditiva e a solução definitiva aos seus altos custos de manutenção.

Desde que a maioria das fábricas de manufatura e de processo baseiam-se em equipamentos mecânicos para a maior parte de seus processos, a manutenção preditiva baseada em vibração é a técnica dominante usada para a maioria dos programas de gerência de manutenção. Entretanto, a capacidade em monitorar todas as máquinas críticas, equipamentos, e sistemas em uma planta industrial típica não pode se limitar a uma única técnica. As técnicas de monitoramento na preditiva, ou seja, baseadas em condições, incluem: análise de vibração, ultra-som, ferrografia, tribologia, monitoria de processo, inspeção visual, e outras técnicas de análise não-destrutivas. A combinação destas técnicas de monitoramento e de análise oferece os meios de monitoramento direto de todos os equipamentos e sistemas críticos de um processo.

Recentes pesquisas da efetividade da gerência da manutenção indicam que um terço de todos os custos de manutenção é desperdiçado como resultado de manutenção desnecessária ou inadequadamente realizada. Quando você considera que a Indústria Americana gasta mais de 200 bilhões de dólares todo ano com manutenção de equipamentos de fábricas e instalações, o impacto sobre a produtividade e o lucro que é representado pela operação de manutenção se torna claro.

O resultado da gerência ineficaz da manutenção representa uma perda de mais de 60 bilhões de dólares todo ano. Talvez mais importante é o fato de que nossa gerência ineficaz da manutenção tem um impacto dramático sobre nossa habilidade de manufaturar produtos de qualidade que sejam competitivos no mercado mundial. A perda do tempo de produção e da qualidade do produto, que resulta da gerência inadequada da manutenção tem tido um impacto dramático sobre nossa condição de

competir com o Japão e outros países que têm implementado filosofias mais avançadas de gerência de manufatura e de manutenção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Escavadeiras hidráulicas

A escavadeira shovel hidráulica (figura 1) possui uma maior flexibilidade de escavação, podendo ser operada em ângulos mais acentuados, sendo habilitadas a realizar acabamentos em cristas de talude, eliminando o risco de formação de ângulos negativos. Além disso, pelo fato do sistema de escavação ser hidráulico, permite que o material seja liberado sobre a estrutura dos caminhões de maneira mais branda e suave, com um maior acerto no carregamento e na formação de cargas concentradas (TEIXEIRA, 2016).

Vantagens da utilização da escavadeira Shovel hidráulica:

- Grande alcance;
- Ciclos rápidos;
- Vida útil longa.

Figura 1 - Escavadeira Shovel Hidráulica

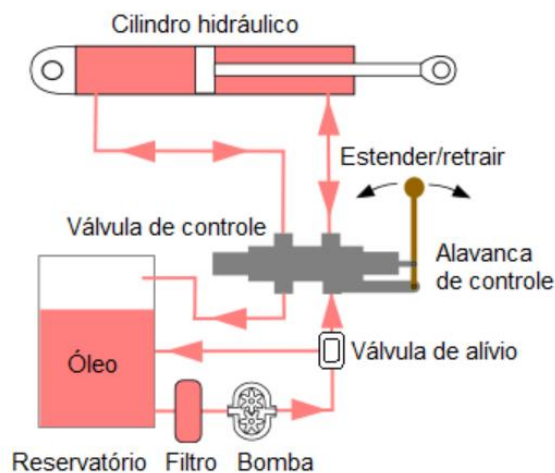


Fonte: Liebherr (2019).

A performance das escavadeiras hidráulicas é completamente fundamentada em sistemas hidráulicos. O seu funcionamento acontece pelo bombeamento do óleo para os cilindros hidráulicos, criando a força necessária para a realização das tarefas. De acordo com o princípio de Pascal, um acréscimo de pressão exercido num ponto de um líquido em equilíbrio é transmitido integralmente a todos os pontos do líquido e às paredes do recipiente que o contém. Uma das aplicações deste princípio está nos sistemas hidráulicos de diversas máquinas, entre as quais a escavadeira hidráulica.

O sistema hidráulico (figura 2) é uma parte muito importante, pois é ele que possibilita a maior parte dos trabalhos com implementos. A bomba hidráulica, acionada pelo motor de tração, provoca a circulação do óleo hidráulico, alimentando-se desde o depósito que assegura um abastecimento contínuo. A válvula de alívio, presente entre a bomba e a válvula de controle, permite o excesso de fluido retornar ao reservatório. Uma válvula de controle canaliza o óleo segundo as condições impostas ao sistema direcionando seu sentido ou interrompendo o fluxo. Finalmente, o cilindro receberá o fluido em circulação e o transformará em trabalho efetivo quando for solicitado, se estendendo ou retraindo. Neste momento, o cilindro realiza uma força proporcional ao seu diâmetro interno e à pressão hidráulica do óleo, movendo o objeto anexado.

Figura 2 - Detalhamento sistema hidráulico



Fonte: Revista cultivar (2020).

A principal falha deste sistema consiste em passagem ou vazamento no cilindro hidráulico, o que ocasiona a parada em manutenção por longos períodos. Além disso, o valor para a troca do componente é muito elevado girando em torno de R\$ 800 mil.

2.2 Manutenção preditiva no cilindro hidráulico

Como a manutenção preventiva, a manutenção preditiva tem muitas definições. Para os mecânicos, a manutenção preditiva monitora a vibração da maquinaria rotativa numa tentativa de detectar problemas incipientes e evitar falha catastrófica. Para os eletricitas, é o monitoramento das imagens infravermelhas de circuitos, de chaves elétricas, motores, e outros equipamentos elétricos para detectar problemas em desenvolvimento. A premissa comum da manutenção preditiva é que o monitoramento regular da condição mecânica real, o rendimento operacional, e outros indicadores da condição operativa das máquinas e sistemas de processo fornecerão os dados necessários para assegurar o intervalo máximo entre os reparos. Ela também minimizaria o número e os custos de paradas não-programadas criadas por falhas da máquina.

Um programa de manutenção preditiva pode minimizar o número de quebras de todos os equipamentos mecânicos da planta industrial e assegurar que o equipamento reparado esteja em condições mecânicas aceitáveis. Ele pode identificar problemas da máquina antes que se tornem sérios já que a maioria dos problemas mecânicos podem ser minimizados se forem detectados e reparados com antecedência. Os modos normais de falha mecânica degradam-se em uma velocidade 5 diretamente proporcional a sua severidade; portanto, quando um problema é detectado logo, normalmente pode-se evitar maiores reparos.

Para funcionar, o cilindro hidráulico precisa da energia de um fluido hidráulico pressurizado, que é normalmente um tipo de óleo. Resumidamente, quem faz o trabalho é o cilindro e um pistão móvel conectado a uma haste. O cilindro de contenção está fechado pelos dois extremos, em um está o fundo e no outros e introduz o pistão, que tem uma perfuração por onde sai a haste. Assim, a pressão hidráulica atua no pistão para produzir o movimento linear. A transformação da energia hidráulica em movimento gera calor que pode ser acompanhada com medidores de temperatura na camisa do cilindro.

2.3 Internet das coisas – IOT

De acordo com Xiao et al. (2016), o conceito de Internet of Things (IoT) se refere ao uso de sensores e atuadores capazes de processar dados, armazená-los e realizarem comunicações, permitindo a integração de qualquer objeto à Internet, com o objetivo de gerar novas formas de integração entre humanos e computadores e Machine to Machine (M2M). Na Indústria 4.0, a manutenção preditiva é uma aplicação de extrema importância que pode utilizar IoT. A manutenção preditiva pode ser empregada para reduzir o tempo de inatividade das máquinas, melhorar a confiabilidade geral dos sistemas e reduzir os custos operacionais (GOPALAKRISHNAN et al., 2019).

Segundo Samie, Bauer e Henkel (2016), tecnologias pertencentes as redes Low Power Wide Area Network (LPWAN), como SigFox, LoRaWAN e NB-IoT tendem a ser opções viáveis para aplicações que exigem vasta área de cobertura e baixo consumo energético. Mesmo possuindo baixas taxas de transmissão em determinadas situações, essas alternativas são vantajosas em relação a rede de telefonia celular, comparados-se os custos de implementação e consumo de energia, entre outros.

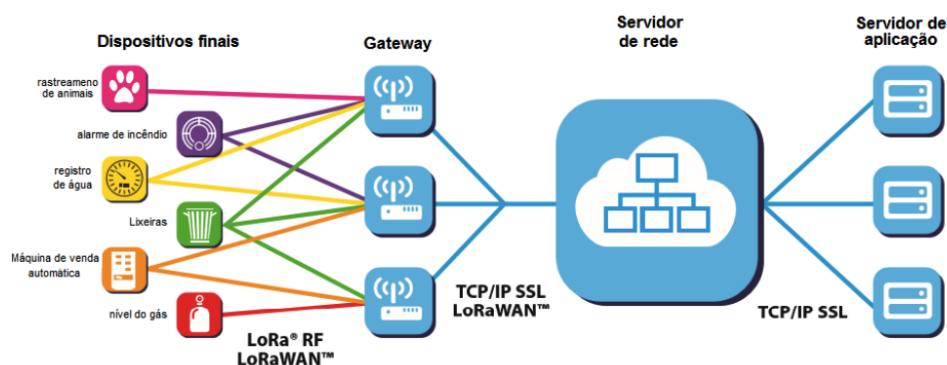
2.4 LoRaWAN

LoRaWAN é um padrão de arquitetura de rede aberto definido pelo grupo LoRa Alliance. Seu objetivo é padronizar a implantação das LPWAN (Low Power Wide Area Network) no cenário de IoT. A camada física de uma rede LoRaWAN pode ser implementada tanto com modulação Frequency-shift keying (FSK) quanto via modulação LoRa (OLIVEIRA, 2017).

2.5 Topologia da rede

O protocolo LoRaWAN já implementa a camada física e proporciona um bom alcance de transmissão, portanto a topologia em estrela é ideal para redes que o utilizam. Conforme apresentado na Figura 3, dispositivos finais podem estar associados a um ou mais gateways, que estão conectados a um servidor de rede. Esse servidor tem a função de papel compor a interface da rede LoRaWAN com a internet.

Figura 3 - Exemplo de topologia em estrela de uma rede LoRaWAN.



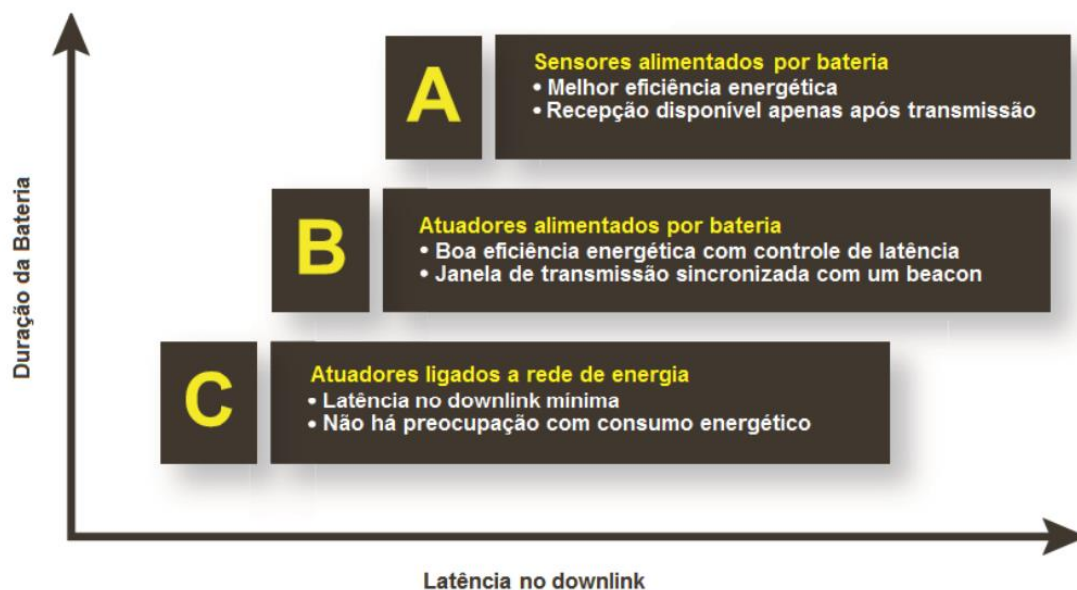
Fonte: Adaptada de LORA ALLIANCE TECHNICAL MARKETING WORKGROUP (2015).

2.6 Classes de dispositivos LoRaWAN

O protocolo LoRaWAN provê classes de dispositivos diferentes que podem ser usados de acordo com os perfis das aplicações. As classes estão relacionadas aos padrões de duração da bateria do dispositivo e sua latência no downlink (OLIVEIRA,

2017). As três classes - A, B e C - podem ser observadas na Figura 4. Elas são explicadas mais detalhadamente a seguir.

Figura 4 - Comparativo das classes de dispositivos LoRaWAN.



Fonte: Adaptada de LORA ALLIANCE TECHNICAL MARKETING WORKGROUP (2015).

Os dispositivos de classe A permitem uma comunicação bidirecional. A transmissão de uplink (envio de dados do dispositivo ao gateway) é seguida por duas janelas curtas de recebimento de downlink (mensagens vindas do gateway para o dispositivo). O slot de transmissão agendado pelo dispositivo é baseado em suas próprias necessidades de comunicação a partir de uma pequena variação com base em tempo aleatório. Em relação às demais, a classe A é a que apresenta melhor eficiência energética, já que as comunicações de downlink aguardam até o próximo uplink para serem recebidas (N.SORNIN; A.YEGIN, 2017).

Dispositivos que implementam a classe B geralmente são atuadores alimentados por baterias e trabalham com comunicação bidirecional e janelas de recepção agendadas. Além das janelas de recepção presentes nos dispositivos de classe A, outras janelas são agendadas para a recepção de dados downlink. Elas são sincronizadas por

um sinal emitido pelo gateway. Desta forma, a latência no downlink pode ser reduzida ao custo de uma menor eficiência energética, devido ao aumento no nível de atividade do dispositivo (N.SORNIN; A.YEGIN, 2017).

A última classe de dispositivos, a classe C, trabalha com uma janela de recepção praticamente contínua, exceto quanto o dispositivo está transmitindo. Nela, a latência no downlink se torna mínima. Em contrapartida, a eficiência energética é extremamente reduzida, tendo em vista que o dispositivo está ativo de forma efetivamente constante (N.SORNIN; A.YEGIN, 2017).

3 MATERIAIS E METODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

Trata-se de um estudo quantitativo. A coleta de dados foi realizada por meio de a instalação de um sensor de medição de temperatura por contato. Os dados foram coletados via Bluetooth enviados para um coletor Gateway que tem como objetivo interagir com os sensores, coletando dados e solicitando análises espectrais, conforme intervalo de tempo definido. Esses dados são enviados para um servidor local via conexão ethernet.

Em campo aberto, o alcance Bluetooth do Gateway com os sensores é cerca de 60 metros. Entretanto, como o posicionamento das escavadeiras possui um posicionamento distinto, com diferentes níveis de interferência, tivemos de mudar o posicionamento à medida que o estudo acontecia.

O Gateway foi alimentado na rede elétrica e conectado via cabo RJ - 45 à rede local. Para isto utilizou-se as torres para transmissão de informações das Perfuratrizes autônomas. Nenhuma outra operação é necessária para que o dispositivo seja iniciado. Entretanto, deve-se configurar as coletas e a interação com os sensores para que ele efetivamente inicie operação.

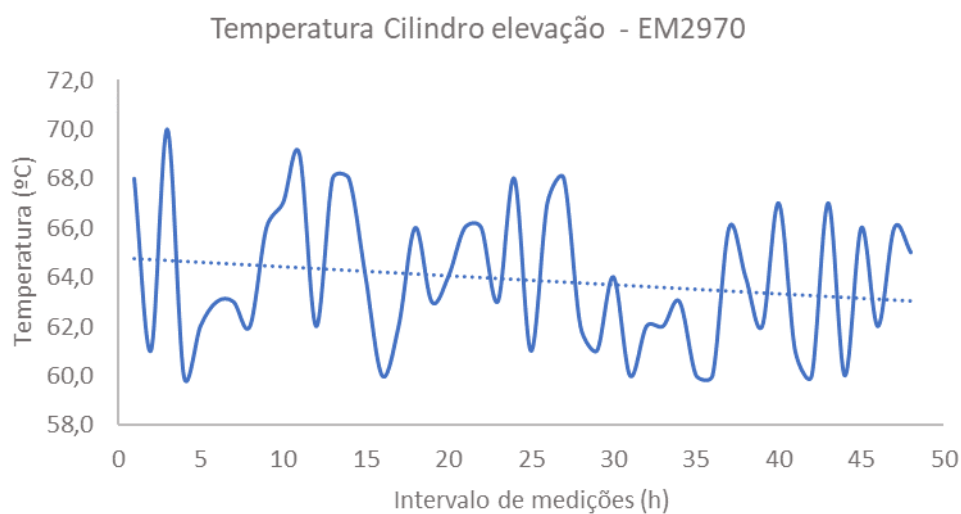
Os sensores foram instalados na escavadeira hidráulica, modelo PC5500, na face externa da camisa. Foi escolhido o cilindro de elevação devido ao histórico recente de falhas. O conjunto de aplicações consiste em um equipamento situado a quilômetros de distância do ponto de conectividade direta com a internet mais próximo. Adicionalmente, existe a necessidade de adequação à norma, no11542 citado na resolução 680 da Anatel. Ela define que o tempo médio de uso da frequência em dispositivos que utilizam a tecnologia de espalhamento espectral (caso da modulação LoRa), nas faixas 902-907.5 MHz e 915-928 MHz, não deve ser maior do que 400 mili segundos durante os períodos de 14 a 7 segundos. Além disso, devido a características da implementação do sistema, na planta em questão definiu-se um conjunto de especificações atribuído a transmissão propriamente dita. Ele envolve grandezas como espalhamento espectral, largura de banda e taxa máxima de transmissão de dados por envio.

3.2 Dados

Os dados foram configurados para coleta da média diária. Porém, existe a opção de uma análise espectral de hora a hora. Inicialmente é necessário realizar a análise do espectro para determinar se a mediação diária, que será uma média de todas as medições horárias.

O espectro das primeiras 48 horas mostrou um comportamento linear dos dados, não se fazendo necessário nenhum tratamento. Além disso o comportamento das medições se desenhou conforme a referência teórica de aumento da temperatura ao longo do regime de trabalho do cilindro.

Gráfico 1 - Dados de medição de temperatura nas primeiras 48 horas

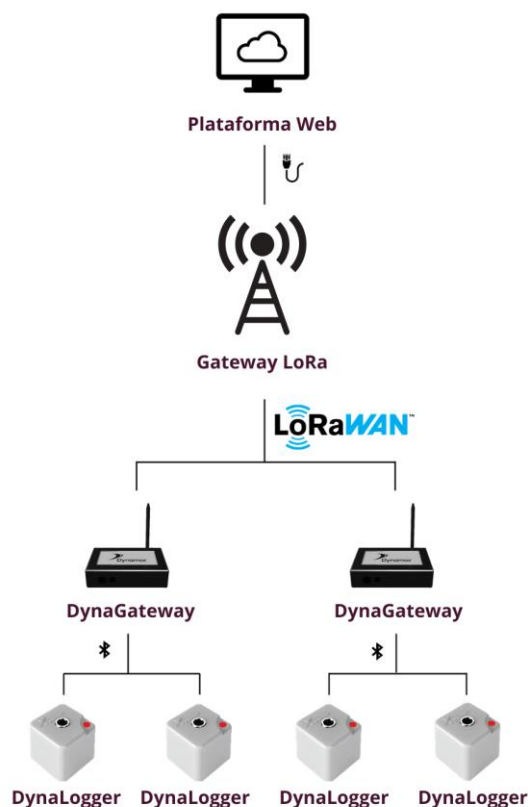


Fonte: Própria.

3.3 Metodologia

Tendo em vista que o hardware necessário já se encontra disponível e já foi validado pela empresa, essa primeira etapa tem como objetivo o domínio do uso do protocolo LoRaWAN e a manipulação de mensagens. Objetiva-se a realização disso através de uma série de testes para a validação e instrumentação do LoRaWAN.

Figura 5 - Cenário a ser desenvolvido no projeto



Fonte: Própria.

Com base no problema exposto, as descrições e exigência em alto-nível feitas pela Dynamox foram compiladas em um conjunto de requisitos. Esse conjunto especifica que o sistema deve ser capaz de:

- a) Possuir um interpretador e montador de pacotes do tipo json.
- a) A classe de dispositivos LoRaWAN usada deve ser a Classe A.
- b) O tempo do pacote no ar não deve ultrapassar 400 milisegundos.
- c) Deve-se utilizar o fator de espalhamento SF7.
- d) A largura de banda não deve exceder 125kHz.
- e) O tamanho do pacote enviado não deve ultrapassar um total de 52 bytes.

O DynaGateway automatiza o processo de leitura dos dados adquiridos pelos DynaLoggers. A comunicação ocorre via Bluetooth Low Energy (BLE), uma tecnologia pertencente ao padrão Bluetooth 4.0 (TATSCH, 2019). A frequência das coletas pode ser configurada através da aplicação web. Caso os DataLoggers estejam no alcance da comunicação BLE, as coletas devem ser realizadas com sucesso, e o conjunto completo de dados concentrados deve ser enviado para a plataforma. Adicionalmente, o DynaGateway se conecta a Internet, e conseqüentemente ao sistema web através de um cabo ethernet.

Apenas após a estruturação do pacote para envio dos dados do DynaGateway via LoRaWAN, é possível dar início aos testes para a validação da estrutura. Espera-se que essa seja uma etapa crítica, pois os dados validados serão integrados diretamente na plataforma da Dynamox. Os testes têm o objetivo de validar a estrutura de dados criada a partir da plena recepção deles na aplicação Web.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em uma primeira análise identificamos uma estabilidade dos dados como podemos ver na tabela 1.

Tabela 1 - Análise estatística medições Abril/22 a agosto/22

Medições de temperatura do cilindro de elevação escavadeira EM 2970	
Média	53,1
Erro padrão	0,4
Mediana	54,0
Modo	54,0
Desvio padrão	4,7
Mínimo	45,0
Máximo	60,0
Contagem	150,0

Fonte:

No que tange a transmissão automatizada de dados pelo Dynagateway funcionou de forma satisfatória. O sistema apresentou inconsistências de transmissão nos primeiros dias, porém ajustes realizados no posicionamento dos sensores resolveu o problema.

5 CONCLUSÃO

A medição da temperatura dos cilindros utilizando sensores de contato não se mostrou tão eficaz para o acompanhamento preditivo deste tipo de componente. As medições com um viés para a menor dificultam a tomada de decisão quanto a questão da condição de operação das escavadeiras.

Porém a opção de um gerenciamento preditivo automatizado se mostrou possível tecnicamente. Percebeu-se que o sistema expandiria o conjunto de aplicações em que a solução DynaPredict poderia ser instalado e agregaria características novas e únicas. Ganhos de produtividade e a retirada da pessoa do risco de trafegar na mina para a coleta de dados são fatores de muito interesse e que agregam a solução um importante ponto de viabilidade. Porém temos de continuar a análise de viabilidade avaliando o custo e benefícios envolvidos.

REFERENCIAS

- AMERICAN TOWER DO BRASIL. **Cidades onde estamos presentes - rede neutra atc lorawan.** In: . 2019. Disponível em: <<http://www.americantower.com.br/pt/solutions/atc-lorawan-network/cidades-onde-estamos-presentes/index.htm>>. Acesso em: 20 nov. 2019. Citado na página 10.
- BARDYN, J.-P. et al. **IoT: The era of LPWAN is starting now.** In: ESSCIRC Conference 2016: 42nd European Solid-State Circuits Conference. IEEE, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/esscirc.2016.7598235>>. Citado na página 13.
- CENTENARO, M. et al. Long-range communications in unlicensed bands: the rising stars in the IoT and smart city scenarios. **IEEE Wireless Communications, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)**, v. 23, n. 5, p. 60–67, out. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/mwc.2016.7721743>>. Citado na página 14.
- GOPALAKRISHNAN, P. K. et al. **Live demonstration: Autoencoder-based predictive maintenance for IoT.** In: 2019 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS). IEEE, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/iscas.2019.8702230>>. Citado na página 13.
- HOELLER, A. et al. Analysis and performance optimization of LoRa networks with time and antenna diversity. **IEEE Access, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)**, v. 6, p. 32820–32829, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/access.2018.2839064>>. Citado na página 13.
- LINK LABS INC. A comprehensive look at low power, wide area networks. annapolis, md. In: 2016. Disponível em: <<http://info.link-labs.com/hubfs/LPWAN-Brochure-Interactive.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 14.
- LORA ALLIANCE TECHNICAL MARKETING WORKGROUP. **Lorawan. what is it?** In: . San Ramon, CA, 2015. Disponível em: <<https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/what-is-lorawan.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.
- N.SORNIN; A.YEGIN. **Lorawan™ 1.1 specification.** In: LORA ALLIANCE, INC. Beaverton, OR, 2017. Disponível em: <https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/lorawantm_specification_-v1.1.pdf>. Citado na página 16.
- OLIVEIRA, G. C. de. **Localização indoor utilizando a tecnologia LoRaWAN e aprendizado de máquina.** São José: Instituto Federal de Santa Catarina, 2017. 87 p. Citado 3 vezes nas páginas 13, 14 e 16.
- PILON, V. A. **Estudo para aplicação de redes sem fio no ambiente industrial.** Curitiba: Universidade Tecnológica Federal Do Paraná Departamento Acadêmico De Eletrônica Especialização Em Automação Industrial, 2009. 51 p. Citado na página 10.

PRAJAPATI, A.; BECHTEL, J.; GANESAN, S. Condition based maintenance: a survey. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 18, n. 4, p. 384–400, 2012. Citado na página 17. SAMIE, F.; BAUER, L.; HENKEL, J. Iot technologies for embedded computing: A survey. In: . Pittsburgh, PA, USA: [s.n.], 2016. Citado na página 13.

SEMTECH CORPORATION. Sx1272/3/6/7/8: **Lora modem**: Designer's guide - an1200.13. In: . [S.l.], 2013. Citado na página 15.