

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

MARIA FERNANDA SILVA TUTUI

Utilização da tecnologia LoRaWAN para manutenção preditiva

São José - SC

dezembro/2019

UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA LORAWAN PARA MANUTENÇÃO PREDITIVA

Pré-Projeto de trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenadoria do Curso de Engenharia de Telecomunicações do campus São José do Instituto Federal de Santa Catarina para a aprovação do tema perante banca na disciplina de TCC1.

Orientador: Mário de Noronha Neto

Coorientador: João Pedro dos Reis

São José - SC

dezembro/2019

RESUMO

Na indústria 4.0, a integração de equipamentos às redes IoT (Internet of things) vem se tornando cada vez mais presente, por trazer diversos benefícios. A manutenção preditiva, por exemplo, já é uma realidade em grandes indústrias e tem se mostrado eficaz na predição de falhas em máquinas de forma antecipada e reduzido significativamente o tempo de inatividade de equipamentos. Muitas vezes, a incorporação dessas tecnologias pode ser complexa devido à dificuldade na implantação de conexões cabeadas ou à falta de infraestrutura de redes de dados móveis na região. Plantas industriais de grande porte ou situadas em regiões remotas são as mais afetadas por essas limitações. Como solução para esse problema, muitas tecnologias que compõem o conjunto de LPWAN (Low Power Wide Area Networks) mostram-se uma alternativa viável por suprirem grande parte das necessidades. Neste contexto, a modulação LoRa, juntamente com a pilha de protocolos LoRaWAN, apresentam-se como uma alternativa promissora pela facilidade de implantação, baixo custo e pela transmissão de dados a longas distâncias. Nesse contexto, a Dynamox, empresa do ramo de predição e disponibilidade de máquinas em sistemas aplicados no setor industrial, propõe o desenvolvimento de uma aplicação que possibilite a utilização do protocolo LoRaWAN na infraestrutura já existente da solução DynaPredict, garantindo a transmissão de dados a longas distâncias no contexto de manutenção preditiva.

Palavras-chave: LoRa. LoRaWAN. manutenção preditiva.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo de topologia em estrela de uma rede LoRaWAN.	15
Figura 2 – Comparativo das classes de dispositivos LoRaWAN.	16
Figura 3 – Cenário inicial.	18
Figura 4 – Cenário a ser desenvolvido no projeto.	23

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BLE <i>Bluetooth Low Energy</i>	18
CBM <i>Condition-Based Maintenance</i>	17
IoT <i>Internet of Things</i>	10
LPWAN <i>Low Power Wide Area Network</i>	13
M2M <i>Machine to Machine</i>	13
FSK <i>Frequency-shift keying</i>	14
OSI <i>Open System Interconnection</i>	14
CSS <i>Chirp Spread Spectrum</i>	14
DSSS <i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>	14
FEC <i>Forward Error Correction</i>	15
SF <i>Spreading Factor</i>	14
CR <i>Code Rate</i>	15
ADR <i>Adaptative Data Rate</i>	15
LoRa <i>Long Range</i>	10

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Dynamox	9
1.2	Motivação e justificativa	10
1.3	Objetivos	10
1.3.1	Objetivos gerais	10
1.3.2	Objetivos específicos	10
1.4	Organização do trabalho	11
2	FUNDAMENTAÇÃO	13
2.1	Internet das Coisas - IoT	13
2.2	<i>Low Power Wide Area Network</i> - LPWAN	13
2.3	LoRaWAN	14
2.3.1	Modulação LoRa	14
2.3.2	Topologia da rede	15
2.3.3	Classes de dispositivos LoRaWAN	16
2.4	Manutenção preditiva	17
2.5	Estrutura da Dynamox	17
2.5.1	Solução DynaPredict	17
2.5.1.1	Dynallogger	18
2.5.1.2	DynaGateway	18
2.5.1.3	Plataforma web	18
3	PROPOSTA	21
3.1	Metodologia	21
3.2	Cenário de aplicação	21
3.3	Requisitos	21
3.4	Análise de viabilidade	22
3.5	Decomposição em etapas	22
3.6	Cronograma de atividades	23
	REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

O conceito de Indústria 4.0, também conhecido como Quarta Revolução Industrial aplica características da Internet das Coisas (comumente tratada pela expressão inglesa *Internet of Things*, ou IoT) em diversos processos de automação e na troca de informações entre os mais variados equipamentos (WOLLSCHLAEGER; SAUTER; JASPERNEITE, 2017). O emprego dessa tecnologia tem como objetivo o aumento da produtividade e a modernização dos processos produtivos. IoT se refere à conexão que sistemas estabelecem entre si, e da utilização da transmissão de informação como forma de se auto nutrirem (XIAO et al., 2016).

Tratando especificamente do cenário de produção, a manutenção preditiva destina-se à identificação de problemas em ativos industriais de forma antecipada. A detecção antecipada de falhas e o reparo de eventuais defeitos resultam em uma maior durabilidade do equipamento monitorado, maior confiabilidade do processo produtivo, menor taxa de indisponibilidade de máquinas além de reduzir os custos relacionados a sua preservação. Plantas industriais podem assumir proporções enormes, chegando a cobrir áreas de dezenas de quilômetros em determinados casos. Em diversas instalações, maquinários críticos encontram-se em situações de difícil acesso, o que frequentemente impede a execução efetiva de um monitoramento constante por um ser humano. Em todos esses casos, percebe-se que a manutenção preditiva pode-se beneficiar grandemente da utilização de soluções de IoT, que são supostamente capazes de suprir essa demanda e facilitar o controle desse tipo de maquinário (WOLLSCHLAEGER; SAUTER; JASPERNEITE, 2017).

Com base no contexto, a partir de uma demanda identificada pela empresa Dynamox *Exception Management*, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de transmissão de dados sem fio. O sistema deve suprir as seguintes necessidades: comunicação a longas distâncias, instalação independente da infraestrutura de rede de internet cabeada e da existência de redes de dados móveis.

1.1 Dynamox

A Dynamox *Exception Management*¹ é uma *startup* incubada no Parque Tecnológico Alfa em Florianópolis, Santa Catarina. É uma empresa de alta tecnologia voltada à área de disponibilidade de máquinas e foi fundada em 2015. Iniciou suas atividades com o desenvolvimento de sistemas aplicados no setor industrial. Devido a sua experiência com o desenvolvimento de sistemas embarcados, aplicações *mobile* e sistemas web a empresa se desenvolveu de forma a verticalizar uma solução completa de manutenção preditiva.

O quadro de clientes da empresa incorpora indústrias de grande porte, como mineradoras e papeleiras. O principal produto da Dynamox para essas empresas é a solução de IoT para a Indústria 4.0 chamada DynaPredict. De forma resumida, a solução é composta por uma rede de sensores conectados à máquinas, acumuladores de dados e uma plataforma web. Os dados são utilizados na identificação prévia de eventuais problemas dos ativos industriais monitorados.

¹ <https://dynamox.net>

1.2 Motivação e justificativa

De acordo com Pilon (2009), uma porcentagem significativa de parques industriais enfrentam dificuldades na obtenção de uma conectividade efetiva com a internet. Em muitas situações, isso ocorre devido à complexidade de realizar-se conexões cabeadas ou a falta de infraestrutura de redes de telefonia móvel na região. Plantas industriais de grande porte, ou situadas em locais remotos, são as mais afetadas por essas limitações das redes convencionais. Além disso, indústrias que compreendem o uso de motores e marcais de grande extensão, as que mais se beneficiam da utilização das técnicas de manutenção preditiva, costumam apresentar altos graus de interferência eletromagnética, o que inviabiliza até certo ponto a utilização de redes IEEE 802.11 (PILON, 2009). As plataformas tradicionais de *Internet of Things* (IoT) e Indústria 4.0 não oferecem uma solução para estes problemas, e, portanto, diversas empresas enfrentam grande dificuldade de inserção desse cenário de IoT e Indústria 4.0, e muitas vem fomentando o mercado de redes sem fio de longo alcance.

De acordo com AMERICAN TOWER DO BRASIL (2019), o Brasil conta com um rede *Long Range* (LoRa) que oferece cobertura de rede sem fio e de longo alcance no território nacional. Mais especificamente, a American Tower do Brasil conta com uma infraestrutura localizada principalmente na região litorânea. Ela oferece compatibilidade com o protocolo LoRaWAN, que apresenta baixo custo e facilidades de manutenção e instalação.

Adicionalmente, as demandas de manutenção preditiva permitem a transmissão em batelada de dados contendo informação processadas de forma prévia. Ou seja, a frequência de transmissão de dados e a largura de banda necessárias são compatíveis com as características da tecnologia LoRaWAN.

Atualmente, a solução DynaPredict oferece apenas conectividade com a Internet através de rede cabeada e redes 3G. Nesse contexto, a empresa propõe, através deste trabalho, o desenvolvimento de uma solução que possibilite a utilização do protocolo LoRaWAN na infraestrutura já existente do DynaPredict, garantindo a transmissão de dados a longas distâncias para manutenção preditiva.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos gerais

O trabalho tem como objetivo a adaptação da rede utilizada na solução DynaPredict para que a mesma suporte a tecnologia LoRa utilizando o protocolo LoRaWAN, oferecendo uma alternativa à infraestrutura atual. De modo a atingir o objetivo principal, será necessário alcançar os objetivos específicos apontados na seção seguinte.

1.3.2 Objetivos específicos

Mais especificamente, o projeto possui os seguintes objetivos:

1. Revisão bibliográfica e do estado da arte do protocolo LoRaWAN;
2. Estudo da solução de manutenção preditiva disponibilizada pela Dynamox;
3. Modelagem dos dados transmitidos pelo DynaGateway mediante ao uso do protocolo LoRaWAN;
4. Desenvolvimento de uma aplicação que incorpore o LoRaWAN ao DynaGateway de forma transparente à suas demais funcionalidades;
5. Proposição e realização de testes de desempenho e funcionalidade.

1.4 Organização do trabalho

Este documento está estruturado da seguinte forma:

- O Capítulo 2 faz uma introdução a alguns fundamentos teóricos necessários para o entendimento do trabalho, incluindo tópicos relacionados à IoT e manutenção preditiva. Outros assuntos de extrema importância abordados são a modulação LoRa e o protocolo LoRaWAN, bem como o cenário detalhado da Dynamox e todos os componentes integrados a ele.
- O capítulo 3 apresenta as expectativas da empresa em relação ao sistema desenvolvido durante este trabalho. A partir dela, os principais requisitos foram identificados. O capítulo termina com a divisão do sistema em módulos, utilizados para orientar o projeto e um planejamento de sua execução propriamente dita.

2 FUNDAMENTAÇÃO

Este capítulo introduz alguns conceitos fundamentais para a compreensão do trabalho e seus requisitos. A primeira seção, 2.1, aborda os conceitos de IoT e o seu uso na indústria 4.0. A seção 2.2 exibe as particularidades das redes LPWAN. A seção 2.3 traz uma visão geral sobre as características da modulação LoRa e a tecnologia LoRaWAN, devido ao seu uso no desenvolvimento do trabalho. Pelo trabalho solucionar uma problemática em um sistema para manutenção preditiva, a seção 2.4 discute esse assunto. Ao final, a seção 2.5 apresenta de forma detalhada a estrutura base da Dynamox e os seus componentes de forma detalhada.

2.1 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 um 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.

2.2 *Low Power Wide Area Network* - LPWAN

O surgimento das *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) é comumente atrelado às necessidades geradas pela IoT. O conjunto de tecnologias que engloba, LoRaWAN, Sigfox e NB-IoT, entre outras, oferece características de longo alcance, baixo consumo de energia, baixas taxas de transmissão e baixo custo de implantação (HOELLER et al., 2018).

O baixíssimo consumo de energia dessas tecnologias visa dispositivos finais com baterias de longa vida útil, visto que é ecologicamente e economicamente inviável a troca constante de baterias de bilhões de dispositivos instalados remotamente (BARDYN et al., 2016). Com o intuito de minimizar o consumo total de energia, os dados são enviados periodicamente, de forma que os dispositivos finais permaneçam inativos durante longos períodos de tempo (OLIVEIRA, 2017).

Redes LPWAN são projetadas para utilizar baixas taxas de transmissão. Costuma-se especificar as mensagens vindas dos dispositivos finais de forma a deixá-las na faixa entre 20 e 256 bytes. Esse comportamento proporciona uma redução da taxa de modulação, também chamada taxa de símbolos. Portanto, a energia por símbolo é aumentada, melhorando a sensibilidade do receptor (LINK LABS INC, 2016).

Devido a restrição no consumo de bateria discutido anteriormente, o longo alcance nas transmissões em redes LPWAN não pode ser obtido através do aumento da potência. Dessa maneira, além da baixa taxa

de modulação, o longo alcance é viabilizado pela forma como a camada física é projetada, aumentando a sensibilidade de recepção (CENTENARO et al., 2016). Tecnologias LPWAN operam com sensibilidade na faixa entre 140 e 160 dBm¹ (LINK LABS INC, 2016).

Devido a simplicidade de implantação e melhor eficiência energética, redes LPWAN utilizam a topologia de rede em estrela (CENTENARO et al., 2016). A viabilidade da implantação dessas redes está atrelada ao uso de um ponto de coordenação central (*gateway*), por onde é passado todo tráfego da rede. Ele deve suportar conexões com um número elevado de dispositivos finais. Uma das principais desvantagens desse cenário é a concentração em um ponto único de falha. Esse problema, contudo, pode ser contornado com o uso de *gateways* redundantes (SEMTECH CORPORATION, 2015).

2.3 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).

2.3.1 Modulação LoRa

LoRa é uma modulação de rádio frequência correspondente à camada física no modelo de referência *Open System Interconnection* (OSI), projetada para operar com longo alcance e baixo consumo de potência. De acordo com SEMTECH CORPORATION (2015), o LoRa é de propriedade da Semtech Corporation. A modulação LoRa se baseia na técnica de espalhamento espectral *Chirp Spread Spectrum* (CSS) para codificar a informação a ser transmitida.

Entre vantagens associadas ao uso dessa técnica, destacam-se: o aumento na sensibilidade do receptor devido ao ganho de processamento proveniente do uso da técnica de espalhamento espectral; e a existência de uma maior tolerância quanto ao desalinhamento de frequência entre o transmissor e receptor ao ser comparando com a técnica de espalhamento espectral tradicional *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) (SEMTECH CORPORATION, 2015).

O princípio do espalhamento espectral está na capacidade de cada bit de informação estar codificado em múltiplos *chips*² no sinal modulado. Na modulação LoRa, a taxa de *chirp* R_c apresenta uma razão unitária para cada Hz de largura de banda do sinal. A taxa de bits de informação R_b pode ser calculada com base em um certo fator de espalhamento espectral *Spreading Factor* (SF), de acordo com a Equação 2.1 (SEMTECH CORPORATION, 2015).

$$R_c = 2^{\text{SF}} \cdot R_b \quad (2.1)$$

O aumento no fator de espalhamento espectral implica na redução da taxa de transmissão e no aumento da quantidade de tempo do sinal no ar. Em contrapartida, ele melhora a sensibilidade do receptor. A modulação LoRa permite que o fator de espalhamento espectral seja variado de acordo com as necessidades de cada aplicação. Como esses valores de espalhamento são ortogonais, a transmissão simultânea de sinais com valores de espalhamento espectral diferentes torna-se possível, já que uma interpreta a outra apenas como ruído (SEMTECH CORPORATION, 2015).

¹ decibel miliwatt.

² Sequência responsável pela codificação do sinal de informação. No caso de CSS, esta sequência é um chirp.

Essa modulação implementa uma forma de *Forward Error Correction* (FEC) através de redundância nos bits de informação enviados. Isso permite a recuperação de bits corrompidos na recepção. A taxa de código é também ajustável podendo apresentar os seguintes valores: $\frac{4}{5}$; $\frac{4}{6}$; $\frac{4}{7}$ e $\frac{4}{8}$ (SEMTECH CORPORATION, 2013). Levando em conta o mecanismo de FEC implementado com uma taxa de código *Code Rate* (CR), a taxa de bits de informação R_b pode ser recalculada através da Equação 2.2 (SEMTECH CORPORATION, 2015).

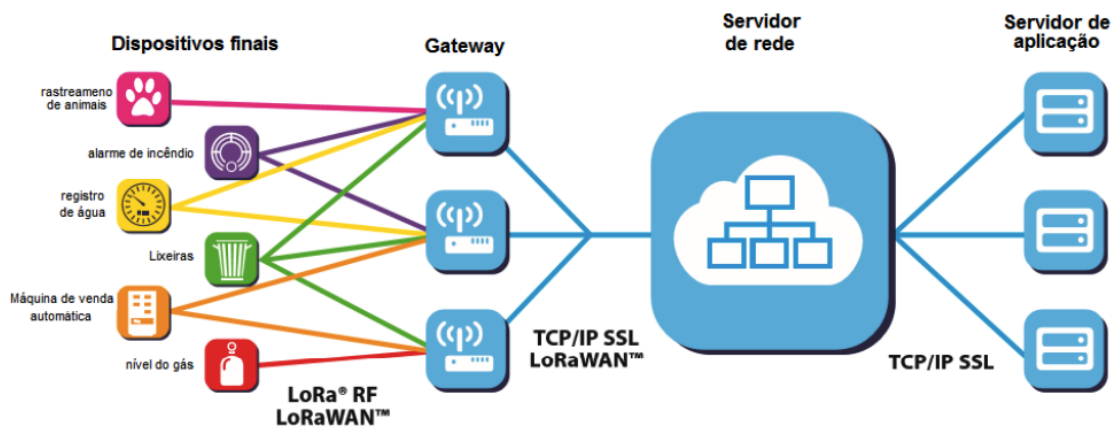
$$R_b = SF \cdot \frac{4}{\frac{4+CR}{2^{SF}} \cdot R_c} \quad (2.2)$$

A partir da Equação 2.2, fica evidente que a possibilidade de atingir um longo alcance utilizando a modulação LoRa devido às características que fornecem maior sensibilidade no receptor (SEMTECH CORPORATION, 2013).

2.3.2 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 1, 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 1 – Exemplo de topologia em estrela de uma rede LoRaWAN.



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

Conforme mencionado na seção 2.2, é comum que os *gateways* sejam capazes de receber grandes volumes de dados. As redes LoRaWAN viabilizam a recepção através do uso da comunicação multicanal e do *Adaptative Data Rate* (ADR). Os fatores críticos para determinar a capacidade do *gateway* são: número de canais, taxa de transmissão (tempo do pacote transmitido no ar), comprimento das mensagens e intervalo de periodicidade da transmissão de dados do dispositivo (LORA ALLIANCE TECHNICAL MARKETING WORKGROUP, 2015).

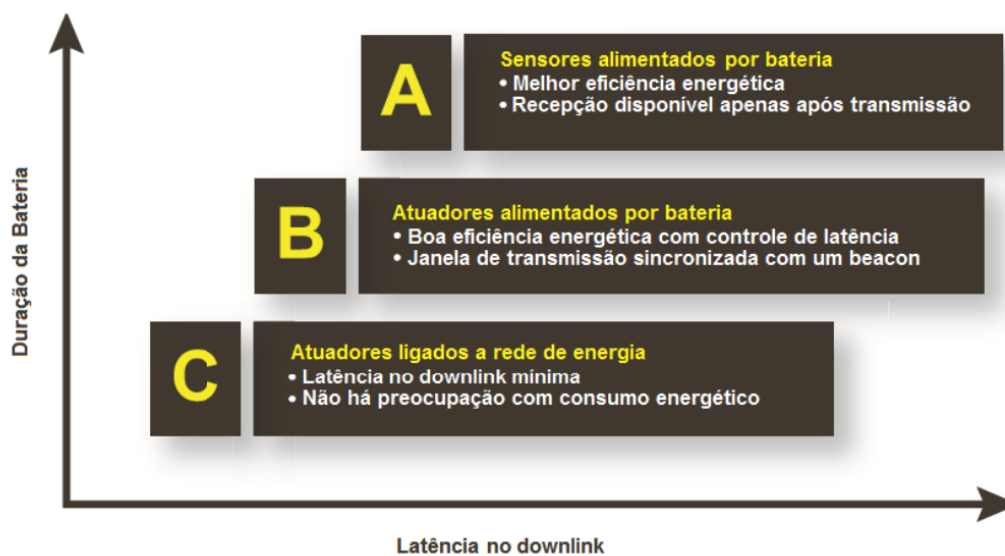
Assim que os diversos *gateways* recebem informações de um dispositivo, elas são transmitidas para o servidor de rede. O servidor, então, identifica a duplicidade dos pacotes e faz o descarte das informações redundantes. Juntamente com esse processo, são feitas verificações de segurança. O LoRaWAN também implementa a criptografia **AES!** (**AES!**) na autenticação dos dispositivos conectados à camada de rede

e na garantia da privacidade dos dados do usuário final na camada de aplicação (LORA ALLIANCE TECHNICAL MARKETING WORKGROUP, 2015).

2.3.3 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 2. Elas são explicadas mais detalhadamente a seguir.

Figura 2 – 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 quando 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).

2.4 Manutenção preditiva

As três principais categorias de manutenção de equipamentos no contexto industrial são: manutenção corretiva, preventiva e preditiva. A manutenção corretiva é realizada após uma falha apresentada pelo equipamento. A ação tomada geralmente envolve a troca ou conserto do ativo. A manutenção preventiva tem como base o acompanhamento periódico do maquinário de forma a efetuar o reparo de peças, garantindo o aumento da vida útil do equipamento (SILVEIRA, 2019).

Já a manutenção preditiva, conhecida como *Condition-Based Maintenance* (CBM), tem como foco a prevenção do processo de degradação do produto. Ela costuma se assemelhar à manutenção preventiva, devido ao objetivo comum de evitar falhas antes que elas ocorram. Essa técnica baseia-se na hipótese de que comportamentos anômalos ocorrem de forma gradual e não instantânea. Logo, o monitoramento contínuo permite o acompanhamento dos níveis de degradação e a predição de falhas. (SHIN; JUN, 2015).

De acordo com Prajapati, Bechtel e Ganesan (2012), as técnicas de CBM possuem ampla área de aplicação incluindo fábricas de manufatura, indústrias, infraestrutura de tecnologia e informação, veículos comerciais e aviação. No cenário industrial, a CBM é uma abordagem que vem se demonstrando capaz de reduzir significativamente o tempo de inatividade de equipamentos ao prever falhas de forma antecipada com base na análise de vibração. Sensores acoplados à peças críticas (e.g. motores, ventiladores, bombas, rolamentos e outras peças rotativas) captam a vibração desses equipamentos. Com o passar do tempo a deterioração da peça monitorada se apresenta de forma mais acentuada no padrão de vibração. Essa variação habitualmente pode ser identificada através de uma série de análises espectrais efetuadas no equipamento.

A CBM feita pela vibração não é a única forma de detectar possíveis defeitos nos equipamentos antes que eles ocorreram. A literatura apresenta outras formas como o monitoramento de temperatura, tensão e corrente elétrica, por exemplo, no entanto, a CBM é um método bastante atrativo e empregado na indústria em geral pela diligência e precisão dos dados (SILVEIRA, 2019).

2.5 Estrutura da Dynamox

Essa seção procura esclarecer de forma completa as particularidades e modo de funcionamento de cada elemento do sistema e da solução como um todo.

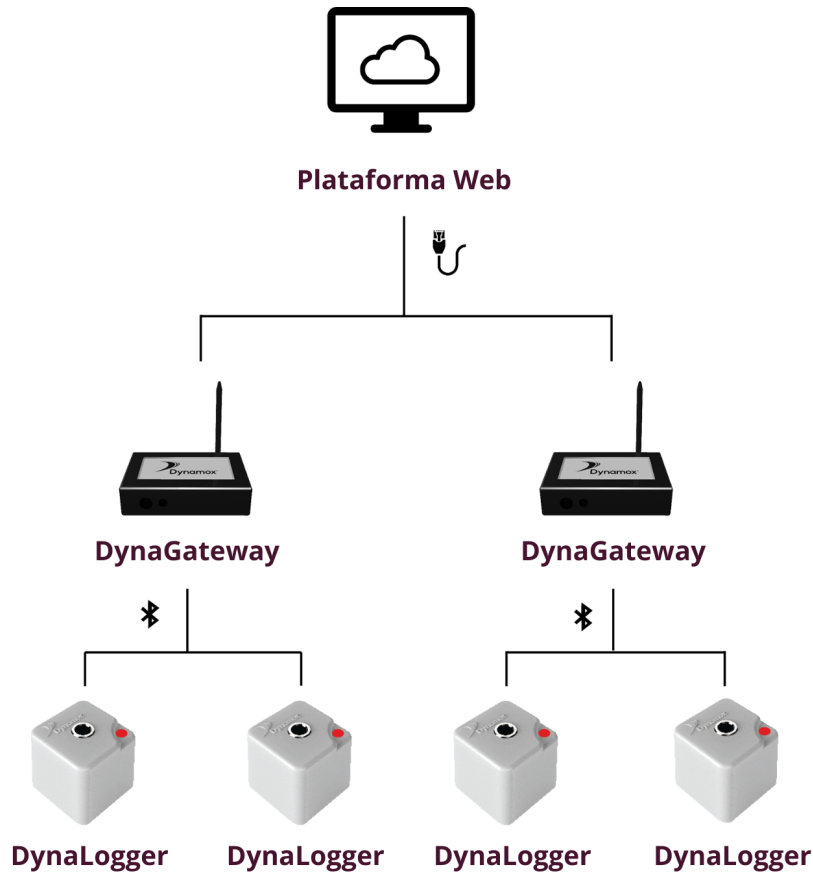
2.5.1 Solução DynaPredict

Simplificadamente, a Dynamox possui uma solução capaz coletar informações sobre o estado de operação de máquinas industriais e exibi-los em uma plataforma web. A partir de seus dados, é possível realizar o monitoramento e o diagnóstico da condição desses ativos.

Em outras palavras, esse sistema é um medidor analítico para a manutenção preditiva. Uma das unidades do produto vai acoplado a avito (e.g. motor), e realiza a coleta de dados fortemente associados às características de funcionamento do maquinário. É possível configurar a taxa de amostragem para curtos intervalos predeterminados. Com o passar do tempo, a plataforma compõe gráficos que representam a saúde da máquina e o seu nível de desgaste.

O sistema pode ser decomposto em em três unidades: o DynaLogger, o DynaGateway e uma plataforma web. Cada um de seus elementos é explicado detalhadamente a seguir.

Figura 3 – Cenário inicial.



Fonte: Própria.

2.5.1.1 Dynallogger

O DynaLogger é um *data logger* que conta com sensores de temperatura e de aceleração. Esse dispositivo pode ser acoplado a uma máquina para então realizar o monitoramento dessas métricas. Os dados coletados são armazenados em uma memória interna e ficam disponíveis para serem posteriormente coletados por um DynaGateway.

2.5.1.2 DynaGateway

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.

2.5.1.3 Plataforma web

O Objetivo da plataforma *web* é disponibilizar os dados dos DynaLoggers e facilitar a interpretação e diagnóstico de falhas. Esses dados são expostos em um painel com interface gráfica, chamado *Dashboard*. O objetivo do *Dashboard* é apoiar na tomada de decisão e em intervenções da manutenção da máquina

monitorada, dando uma visão geral da condição do ponto de monitoramento, com base em medições e limites definidos pelo usuário.

3 PROPOSTA

3.1 Metodologia

Anteriormente à fase de desenvolvimento propriamente dita, as expectativas da Dynamox em relação ao projeto foram estudadas e discutidas. Nessa etapa realizou-se diversas reuniões com os diretores da empresa e prestadores de serviço no contexto da comunicação utilizando a tecnologia LoRaWAN. Tais discussões demonstraram-se de extrema importância, pois possibilitaram a preparação de documentos de especificação e requisitos que permitiram um melhor planejamento das etapas do projeto. Este capítulo apresenta tais documentos e detalha seu conteúdo e inclui uma exposição dos cenários de aplicação do produto.

3.2 Cenário de aplicação

Um dos principais estudos realizados durante a etapa de planejamento envolveu a determinação e descrição da situação em que o sistema proposto se encaixaria, qual problema ele resolveria e de qual forma. O levantamento foi feito no contexto do objetivo geral do trabalho: adaptação da rede utilizada na solução DynaPredict para o suporte à transmissão de dados utilizando o protocolo LoRaWAN. Durante essa sondagem, percebeu-se a necessidade do sistema estar arquitetado como uma aplicação capaz de reproduzir a mesma estrutura da comunicação do DynaGateway com o sistema web de forma cabeada.

O conjunto de aplicações consiste em uma planta industrial situadas 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 o períodos de 14 a 7 segundos. Além disso, devido à 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.

3.3 Requisitos

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:

RF1: Ser compatível com o modelo de codificação de dados utilizado pelo DynaGateway

- a) Possuir um interpretador e montador de pacotes do tipo *json*.

RF2: Ser compatível com a disponibilização de dados para um Gateway LoRa através do protocolo LoRaWAN.

- 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.

RF3: Ser compatível com o modelo de codificação de dados utilizado pela plataforma Web da solução DynaPredict.

3.4 Análise de viabilidade

A viabilidade dos requisitos identificados pela empresa foi analisada a partir de uma revisão bibliográfica e do estado da arte e comparação com funcionalidades já implementadas em sistemas similares disponíveis no mercado. O critério utilizado para aceitação dos requisitos foi a existência de no mínimo um sistema oferecendo a funcionalidade, ou atendendo o requisito específico, sob condições similares às definidas pela Dynamox. Dessa forma, todos os requisitos listados foram considerados viáveis.

Nessa etapa percebeu-se que o sistema expandiria o conjunto de aplicações em que a solução DynaPredict poderia ser instalado e agregaria características novas e únicas a solução em relação a seus concorrentes.

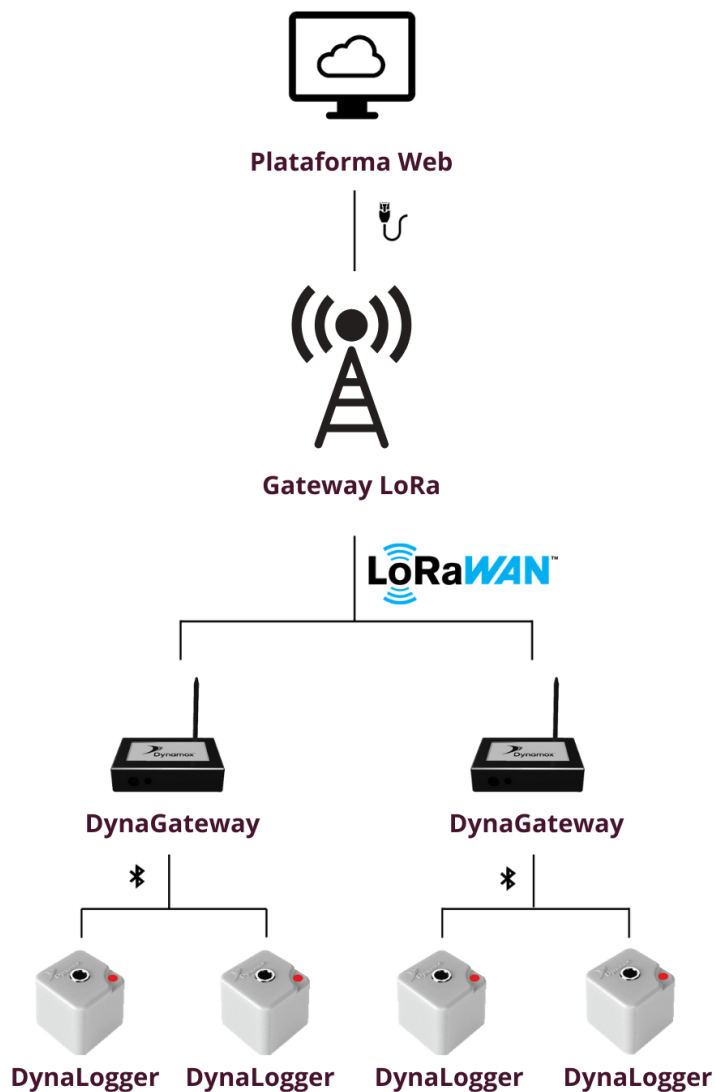
3.5 Decomposição em etapas

A fim de planejamento e com o intuito de facilitar sua realização, dividiu-se o desenvolvimento do projeto em 6 partes. Cada uma delas é detalhada a seguir:

1. **Revisão bibliográfica e do estado da arte do protocolo LoRaWAN:** Tendo em vista que o hardware necessário já encontra-se 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.
2. **Funcionamento do DynaGateway:** Para modificar o envio das informações do DynaGateway será necessário compreender o seu funcionamento de forma global. Esse estudo deve ser realizado a partir da sua utilização na forma como funciona atualmente, conforme mencionado na seção 2.5.1.2.
3. **Dados do DynaGateway:** Após a familiarização com o uso do DynaGateway, deve-se direcionar o estudo para a formatação dos dados que trafegam para a plataforma *web*. A sua compreensão visa o entendimento do arranjo de tudo que é gerado pelo DynaGateway, afim de reproduzir a mesma estrutura utilizando o protocolo LoRaWAN.
4. **Uso do LoRaWAN:** Em consequente, deve-se desenvolver o *frame* de dados de saída do DynaGateway usando o protocolo LoRaWAN. A reformatação desses dados deve-se feita com base nos parâmetros de uso do protocolo LoRaWAN e levando em consideração os seus limites para a quantidade de bytes.
5. **Testes e validação:** 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*.
6. **Documentação:** O projeto será escrito durante todo o período de desenvolvimento. Cada uma das partes citadas na proposta será exposta de forma detalhada de maneira a documentar o mesmo.

O objetivo do projeto é possibilitar a transformação da rede inicialmente retratada no Capítulo 2 pela Figura 3 no cenário da Figura 4 apresentada a seguir.

Figura 4 – Cenário a ser desenvolvido no projeto.



Fonte: Própria.

3.6 Cronograma de atividades

A Tabela 1 apresenta o cronograma de atividades previstas para o cumprimento dos objetivos propostos no trabalho durante o semestre seguinte.

Tabela 1 – Cronograma de atividades.

Atividades	Mês						
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
A1	✓						
A2		✓	✓				
A3			✓	✓			
A4				✓	✓		
A5					✓	✓	
A6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

- A1: Estudo do protocolo LoRaWAN;
- A2: Análise de funcionamento do DynaGateway;
- A3: Estudo do envio dos dados no DynaGateway;
- A4: Reformatação para o envio de dados via LoRaWAN;
- A5: Testes de funcionamento e validação;
- A6: Elaboração do documento final.

REFERÊNCIAS

- 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.
- SEMTECH CORPORATION. An1200.22 lora™ modulation basics. In: _____. 2015. Disponível em: <<http://wiki.lahoud.fr/lib/exe/fetch.php?media=an1200.22.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.
- SHIN, J.-H.; JUN, H.-B. On condition based maintenance policy. *Journal of Computational Design and Engineering*, v. 2, n. 2, p. 119 – 127, 2015. ISSN 2288-4300. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2288430014000141>>. Citado na página 17.

SILVEIRA, V. M. da. *SISTEMA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA UTILIZANDO REDES BLE E WI-FI COM APRENDIZADO DE MÁQUINA*. São José: Instituto Federal de Santa Catarina, 2019. 62 p. Citado na página 17.

TATSCH, D. T. *Localização indoor utilizando Bluetooth Low Energy e aprendizado de máquina*. São José: Instituto Federal de Santa Catarina, 2019. 70 p. Citado na página 18.

WOLLSCHLAEGER, M.; SAUTER, T.; JASPERNEITE, J. The future of industrial communication: Automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0. *IEEE industrial electronics magazine*, Mar 2017. Disponível em: <https://www.th-owl.de/init/uploads/tx_initdb/IEEEMagazine.pdf>. Citado na página 9.

XIAO, Y. et al. Full-duplex machine-to-machine communication for wireless-powered internet-of-things. In: *2016 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. IEEE, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/icc.2016.7511556>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 13.