

MANUTENÇÃO PREDITIVA 4.0: MONITORAMENTO CONTÍNUO DE VIBRAÇÃO EM EQUIPAMENTOS ROTATIVOS COM IOT

PREDICTIVE MAINTENANCE 4.0: CONTINUOUS VIBRATION MONITORING IN ROTATING EQUIPMENT WITH IOT

Francisco Josiran da Silva¹
Idalmir de Souza Queiroz Júnior²

RESUMO

Este artigo apresenta um estudo experimental sobre o monitoramento on-line de vibração em equipamentos rotativos por meio de uma PoC “*Proof of Concept*”, com foco na aplicação do sensor inteligente Sushi Sensor em ambientes industriais, especialmente no setor de óleo e gás. O objetivo é demonstrar a viabilidade técnica e econômica dessa tecnologia como ferramenta de manutenção preditiva, comparando-a com métodos tradicionais off-line. A metodologia envolveu revisão bibliográfica, instalação de sensores com comunicação LoRaWAN, coleta contínua de dados vibracionais e térmicos, e análise dos espectros de vibração. Os sensores foram posicionados em motores e bombas, permitindo medições em tempo real nos eixos X, Y e Z, além do monitoramento da temperatura das superfícies. Os resultados evidenciam melhorias significativas na confiabilidade operacional, com redução de 35% no tempo de diagnóstico e 25% nas paradas não planejadas. O sistema on-line mostrou-se eficaz na detecção precoce de falhas como desalinhamentos, desgastes em rolamentos e baixa rigidez estrutural, contribuindo para intervenções mais precisas e planejadas. Conclui-se que o monitoramento on-line de vibração, aliado à tecnologia IoT e ao protocolo LoRaWAN, representa um avanço estratégico para a manutenção preditiva na Indústria 4.0, promovendo maior segurança, eficiência e redução de custos operacionais.

Palavras-chave: Monitoramento on-line. Análise de Vibração. Manutenção preditiva 4.0. Internet das Coisas (IoT).

ABSTRACT

This article presents an experimental study on online vibration monitoring in rotating equipment through a Proof of Concept (PoC), focusing on the application of the Sushi Sensor smart sensor in industrial environments, especially in the oil and gas sector. The objective is to demonstrate the technical and economic viability of this technology as a predictive maintenance tool, comparing it with traditional offline methods. The methodology involved a literature review, installation of sensors with

¹Graduando no curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia pela UFERSA, Campus Mossoró. E-mail: josiran1@hotmail.com

²Professor. Departamento de Engenharia e Tecnologia. Centro de Engenharias. E-mail: idalmir@ufersa.edu.br

LoRaWAN communication, continuous collection of vibrational and thermal data, and analysis of vibration spectra. The sensors were positioned on motors and pumps, allowing real-time measurements on the X, Y, and Z axes, as well as monitoring of surface temperature. The results show significant improvements in operational reliability, with a 35% reduction in diagnostic time and a 25% reduction in unplanned downtime. The online system proved effective in the early detection of faults such as misalignments, bearing wear, and low structural rigidity, contributing to more precise and planned interventions. In conclusion, online vibration monitoring, combined with IoT technology and the LoRaWAN protocol, represents a strategic advancement for predictive maintenance in Industry 4.0, promoting greater safety, efficiency, and reduced operating costs.

Keywords: Online monitoring. Vibration analysis. Predictive maintenance 4.0. Internet of Things (IoT).

Disponibilidade:(endereço eletrônico do artigo, DOI ou outras informações relativas ao acesso do documento).

1 INTRODUÇÃO

A vibração é um movimento oscilatório frequentemente em torno de um ponto de equilíbrio. Hipoteticamente, é determinada pela variação no tempo de critérios como deslocamento, velocidade ou aceleração de um componente mecânico. Claudio Lucchesi, (2025).

A análise de vibração tem se consolidado como uma das principais ferramentas de manutenção preditiva na indústria, permitindo a detecção precoce de falhas em equipamentos rotativos e estruturas críticas. Diversos estudos têm explorado essa técnica aliada a tecnologias emergentes como redes sem fio e sistemas embarcados, monitoramento contínuo de equipamentos por sensores de IoT, monitoramento de dados integrado com sistemas em nuvem e monitoramento de tendências, ampliando sua aplicabilidade em ambientes industriais e remotos.

A importância da fusão entre a prática e a teoria nos diz que sem o conhecimento técnico sobre parâmetros vibracionais, os dados das medições perdem o real sentido. Unifique as informações dos instrumentos às condições operacionais (temperatura, torque, rotação) para estruturar um diagnóstico mais preciso e com base sólida. Desse modo, qualquer anomalia se transpõe em ação corretiva confiável.

Silva e Dias (2020) abordam a detecção de falhas em motores de indução por meio da análise de vibração, destacando sua relevância para o diagnóstico de falhas elétricas e mecânicas. O estudo reforça a importância da manutenção preditiva como estratégia para aumentar a confiabilidade dos processos industriais e reduzir paradas não planejadas. Complementando essa abordagem, Santos (2014) realizou um estudo sobre falhas em rolamentos de um moinho de facas, utilizando técnicas de análise espectral para identificar desgastes e anomalias. A pesquisa evidencia a eficácia da análise de vibração na antecipação de falhas e na extensão da vida útil dos componentes. Com o avanço da Indústria 4.0, tecnologias de monitoramento on-line têm ganhado destaque. Silva et al. (2024) investigaram o uso de sensores inteligentes para monitoramento contínuo de vibração e temperatura em motores e bombas, demonstrando ganhos significativos em confiabilidade operacional e redução de custos. O uso de sensores como o Sushi Sensor e a integração com redes LoRaWAN

evidenciam o potencial da Internet das Coisas (IoT) nesse contexto.

Segundo Silva (2023) propôs o desenvolvimento de um sistema sem fio para monitoramento de vibrações estruturais, utilizando microcontroladores e acelerômetros embarcados. O sistema foi validado em ensaios com vigas, demonstrando precisão na detecção de frequências modais e viabilidade para aplicações em Monitoramento de Saúde Estrutural (SHM). Sousa et al. (2025) ampliaram essa perspectiva ao aplicar dispositivos IoT com comunicação LoRaWAN para o monitoramento de utilidades industriais, como água, vapor e energia elétrica. A proposta visa reduzir desperdícios e otimizar processos por meio da coleta remota e contínua de dados, mesmo em ambientes de difícil acesso. Por fim, Frazão, Gomes e Silva (2025) exploraram a viabilidade do uso de redes LoRaWAN em ambientes fluviais, monitorando embarcações de pequeno porte no Rio Negro. O estudo demonstrou que, apesar das limitações impostas pela distância e condições ambientais, a tecnologia é promissora para aplicações de rastreamento e coleta de dados em regiões remotas.

Esses trabalhos evidenciam a convergência entre análise de vibração, redes sem fio e IoT, consolidando um cenário tecnológico robusto para aplicações em manutenção preditiva, monitoramento estrutural e gestão de utilidades industriais. Este artigo é voltado ao entendimento dos parâmetros utilizados na técnica de inspeção preditiva de análise de vibração obtida através de medições realizadas em motores, redutores de velocidade, e bombas de água/transferência, sendo essas medições on-line, ou seja, medições realizadas durante todo tempo.

O projeto piloto para análise de viabilidade é um estudo embasado na ideia do monitoramento on-line de vibração onde, pode ser elevada a confiabilidade dos equipamentos diminuindo em médio prazo, os custos de manutenção e inspeção. Esse monitoramento faz com que os possíveis falhas ou defeitos detectados possam ser acompanhados dia-a-dia até sua correção. A aplicação do monitoramento on-line de vibração mostra o real comportamento do equipamento em todas as etapas do processo produtivo, diferentemente do monitoramento off-line que apresenta apenas o comportamento em plena carga. Desta forma é possível traçar o perfil operacional da máquina, planejando e programando intervenções, para otimizar o processo produtivo. O projeto piloto para análise de viabilidade do equipamento estudo foi desenvolvido com a viabilidade de se realizar a medição de vibração on-line, onde tal experimento possibilitou o estudo dos aspectos técnicos, econômicos e operacionais relevantes para o tema, de forma a reduzir a probabilidade de danos nos acionamentos, compostos por motores elétricos, redutores de velocidades, bombas centrifugas, se comparado aos sistemas de medições off-line.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir será apresentado o referencial teórico abordado por este trabalho, onde serão apresentadas a teoria da análise de vibração e o monitoramento online de vibração.

2.1 ANÁLISE DE VIBRAÇÃO

A inspeção preditiva por análise de vibração é um mecanismo bastante aplicado para detecção de defeitos em equipamentos de vários segmentos industriais (RAO, 2008). Essa técnica consiste em analisar o comportamento da máquina através

de sua vibração, na qual é obtida através da rotação ou frequência da máquina. Vibração é o movimento oscilatório de um corpo excitado por uma força em relação a um ponto de referência, conforme apresentado na Fig 1 .

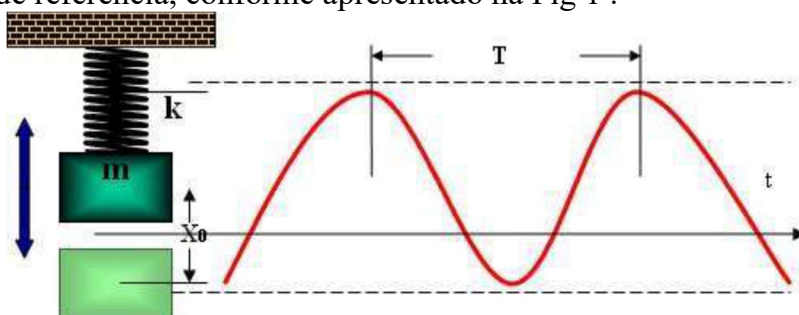


Figura 1 – Movimento oscilatório. Fonte: VE Engenharia (1999)

Outros princípios abordados pelo autor referem-se à manutenção preditiva, cujo conceito é antecipar o defeito de forma condicional para que sejam realizadas intervenções planejadas e programas. O sinal de vibração no tempo, que é obtido através do acelerômetro e de um circuito eletrônico que utiliza a transformada rápida de Fourier, o sinal é passado do domínio do tempo para o domínio da frequência, onde será investigada a maioria de excitações de defeitos nos mancais, eixos, estruturas e engrenagens de várias máquinas.

A medição de vibração dos equipamentos é implementada visando detectar defeitos como, folgas na fixação da base dos acionamentos, desalinhamento entre eixos, excentricidade de eixos, desbalanceamento, ressonância, folgas nos rolamentos, defeitos nos componentes dos rolamentos, avarias nos engrenamentos, chaveamento da tensão da rede devido ao funcionamento de bancos de capacitores, (SOTELO, 2016). Os espectros característicos dos principais defeitos detectados com aplicação da técnica preditiva de análise de vibração são descritos nos sete casos apresentados:

1º Caso - Desalinhamento angular entre eixo pode se demonstrar na presença de vibração com o 2º harmônico da frequência natural ou rotação natural do acionamento, Gualter Peixoto Neto (2016). O local de medição é na direção axial aos eixos e sua medição utiliza a unidade de mm/s, apresentado na Fig. 2.

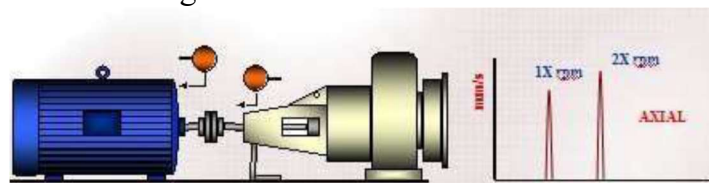


Figura 2 – Desalinhamento angular. Fonte: VE Engenharia (2015)

2º Caso - De acordo com, o analisado pelo mesmo autor, pode ocorrer o desalinhamento paralelo entre eixo que é perceptível na presença de vibração com o 2º harmônico da frequência natural ou rotação natural do acionamento. O local de medição é na direção radial no sentido horizontal aos eixos e sua medição utiliza a unidade de mm/s, conforme apresentado na Fig. 3.

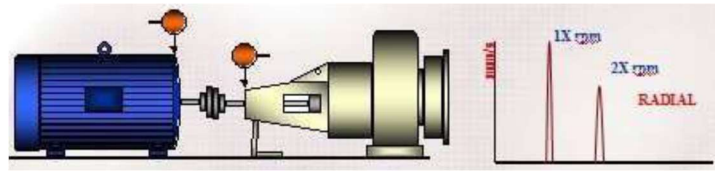
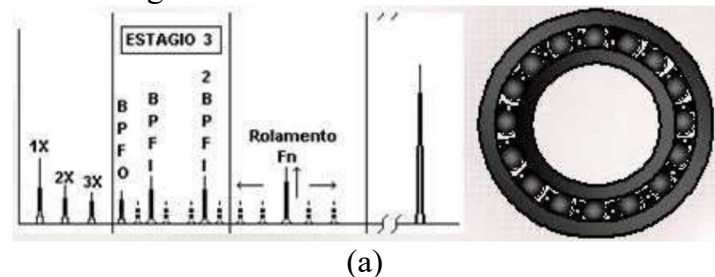
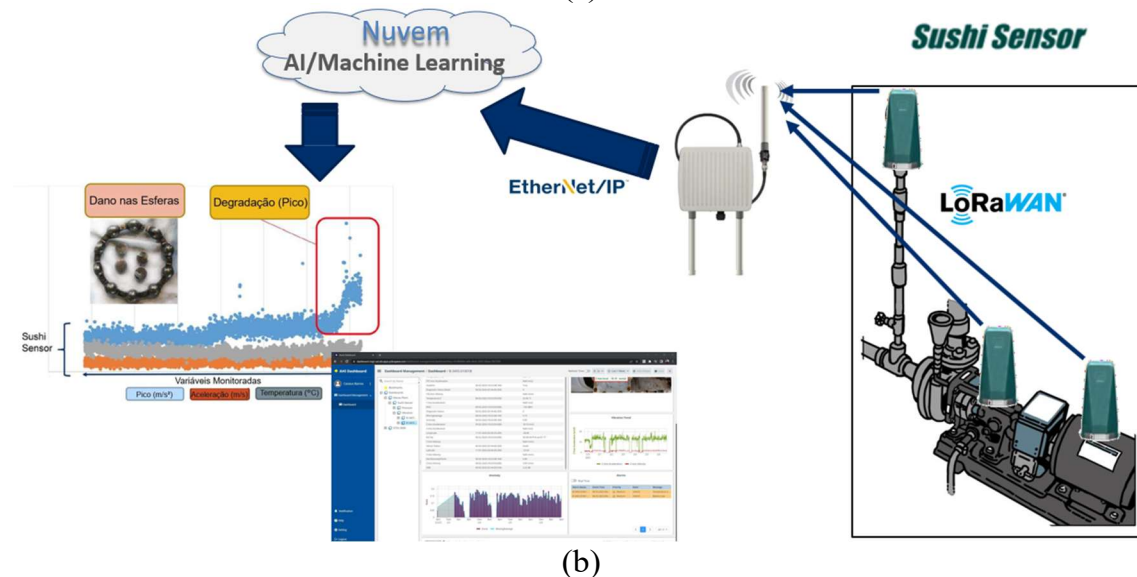


Figura 3 – Desalinhamento paralelo. Fonte: VE Engenharia (2015)

3º Caso - Desalinhamento paralelo entre eixo é notório a presença da vibração com a formação de vários harmônicos da frequência natural ou rotação natural do acionamento e picos de alta amplitude nas altas frequências, Gualter Peixoto Neto (2016). O local de medição é na direção radial no sentido horizontal aos eixos e sua medição utiliza a unidade de mm/s, como mostrado na Fig. 4a.



(a)



(b)

Figura 4 – (a) Desgaste dos rolamentos. Fonte: VE Engenharia (2015)

(b) Desgaste dos rolamentos. Fonte: Autoria própria

4º Caso - A baixa rigidez da base do acionamento pode apresentar-se a presença da vibração com o aumento da amplitude da frequência natural. O local de medição é na direção radial no sentido vertical aos eixos e sua medição utiliza a unidade de mm/s. Todavia, esse tipo de vibração também pode indicar desbalanceamento do acionamento, conforme Fig. 5.

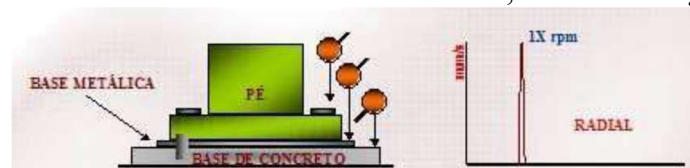


Figura 5 – Baixa rigidez de base. Fonte: VE Engenharia (2015)

5º Caso - A péssima fixação da base ou aparecimento de parafusos de fixação soltos do acionamento se manifesta na presença de vibração com o surgimento de sub-harmônicos da frequência natural. O local de medição é na direção radial no sentido horizontal e vertical aos eixos e sua medição utiliza a unidade de mm/s, conforme Fig. 6.



Figura 6 – Má fixação da base do acionamento. Fonte: VE Engenharia (2015)

6º Caso - Folgas mecânicas ou desgastes se manifestam ao presença da vibração com a formação de vários harmônicos da frequência natural ou rotação natural do acionamento, Gualter Peixoto Neto (2016). O local de medição é na direção radial no sentido horizontal aos eixos e sua medição utiliza a unidade de mm/s, como pode ser visto na Fig. 7.

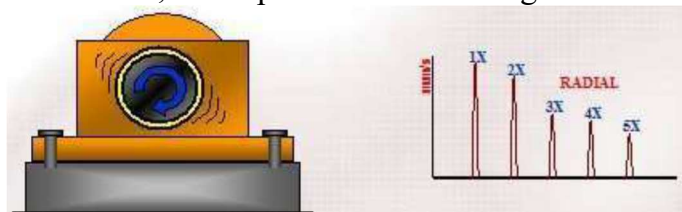


Figura 7 – Desgastes ou folgas mecânicas. Fonte: VE Engenharia (2015)

7º Caso - Desgastes nos rotores de bombas se apresentam na presença da vibração com a formação de picos de frequência de passagem de pás, que é o produto de da frequência natural vezes os números de pás do rotor em estudo, seu local de medição é na direção radial no sentido horizontal aos eixos e sua medição utiliza a unidade de mm/s, apresentado na Fig. 8.

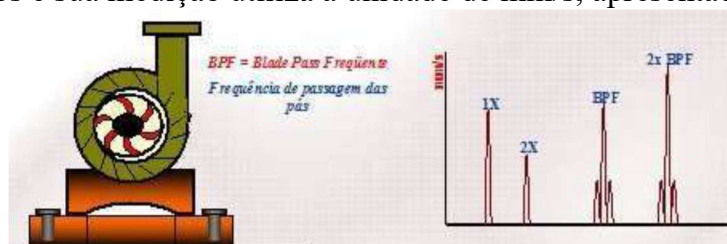


Figura 8 – Desgaste nos rotores de bombas. Fonte: VE Engenharia (2016)

Essa medição é realizada de maneira sistêmica, com frequência mensal, no sistema off-line, o que exhibe o comportamento vibracional de uma máquina mês a mês, com 12 medições anuais e um perfil de funcionamento com poucas informações e provavelmente, com características de funcionamento apenas na condição nominal de carga do sistema. Com a possibilidade do monitoramento on-line, será possível realizar várias medições por dia, ou até mesmo por hora. Dessa maneira, o comportamento vibracional da máquina será verdadeiro, mostrando todos os estágios operacionais da máquina, com grande eficácia na detecção de defeitos e intervenções por condição.

Alguns defeitos que permitem intervenção sem troca dos componentes e defeitos que inevitavelmente requerem a troca de componente podem ser diferenciados em uma análise de vibração detalhada. Os defeitos que possibilitam a intervenção em uma máquina são desalinhamento, má fixação das bases, desbalanceamento. Porém a não correção desses defeitos desgastarão os rolamentos, eixos e engrenagens e a partir desses desgastes, a troca será a única opção. Desta forma se os defeitos de desalinhamento, folgas, desbalanceamentos forem controlados dia-a-dia os desgastes de eixos rolamentos e engrenagens serão amenizados.

2.1 MONITORAMENTOS ON-LINE DE VIBRAÇÃO

O monitoramento on-line apresenta uma área de grande interesse para as empresas. Por meio da instalação de sensores que serão posicionados em pontos estratégicos dos equipamentos que compõe o processo produtivo. É possível obter os sinais vibracionais sem fio alimentado por bateria com funções de sensor e comunicação sem fio integradas que modulam na frequência de rotação de cada eixo componente desse acionamento. Na figura 9 é possível verificar a posição dos sensores em uma bomba de transferência.

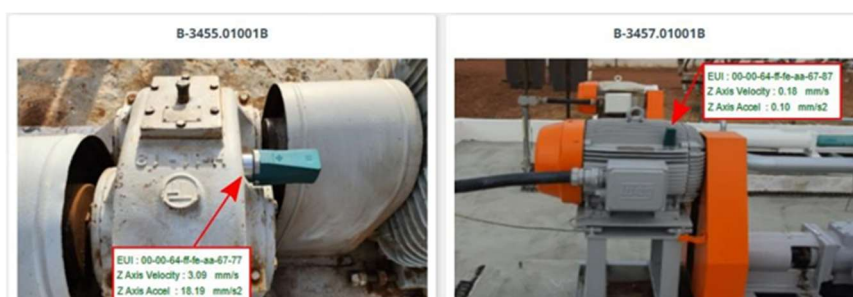


Figura 9 – Coleta dos dados vibracionais da bomba. Fonte: Autoria própria.

3 METODOLOGIA

O projeto piloto para análise de viabilidade de instalação do sushi sensor é um projeto no segmento de Óleo & Gás que tem por característica, a obtenção de dados através do monitoramento on-line de vibração e temperatura devido à mudança de condições necessárias para sua implementação, bem como a quebra de paradigmas existentes no cenário da manutenção preditiva.

Os procedimentos metodológicos foram iniciados com uma revisão bibliográfica, que teve por finalidade nivelar o conhecimento dos pesquisadores sobre o tema pesquisado. Os passos subsequentes consistiram na instalação da antena de comunicação, para a realização do rádio enlace, O LoRaWAN possui excelente sensibilidade de recepção, boa resistência à interferência de rádio e oferece uma distância de comunicação de 10 km ou mais em um ambiente de comunicação ideal. Este sensor pode ser instalado em qualquer lugar que você quiser em uma vasta área, conforme ilustrado na Figura 10.



Figura 10 – Torre de antenas. Fonte: Autoria própria.

A partir desse momento foi necessário instalar o (Sushi sensor), sensor de vibração sem fio alimentado por bateria com funções de sensor e comunicação sem fio integradas em uma unidade e é adequado para aplicações de IoT Industrial (IIoT). O sensor de vibração sem fio XS770A mede a vibração (velocidade e aceleração) ao longo dos eixos X, Y e Z e composto de 3 eixos, além de monitorar a temperatura da superfície do fundo e transmite os dados de medição para os sistemas host via comunicação sem fio. O XS770A pode ser montado facilmente por um parafuso ou um ímã, conforme mostrado na Fig. 11.

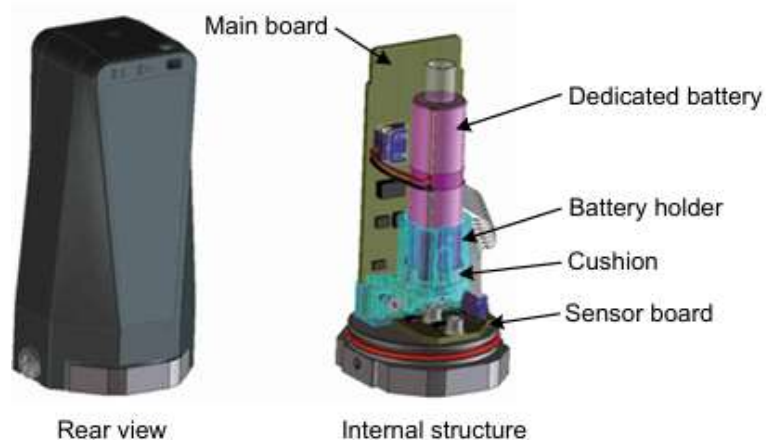


Figura 11 – Estrutura do XS770A Sushi Sensor. Fonte: Nagano (2018)

A interface para configurações e manutenção, uma interface compatível com NFC é usada para configurações e manutenção. Esta interface consome menos energia

do que o LED ou visores LCD ou comunicação infravermelha. Através disso interface, o XS770A pode se comunicar com smartphones com uma função NFC integrada, tornando a interface do usuário mais flexível e expansível. Por meio de um smartphone, o usuário pode configurar o sensor, verifique informações como o nível restante da bateria e lê as indicações independentemente do ciclo de atualização predefinido, conforme Fig. 12.

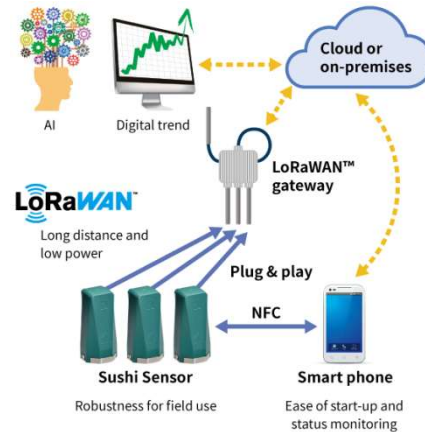


Figura 12 – Exemplo do sistema de configuração. Fonte: Yokogawa (2018)

Por fim, a avaliação e diagnóstico dos defeitos foram detectados através do monitoramento on-line pelos técnicos de inspeção preditiva ilustrado na Fig 13.

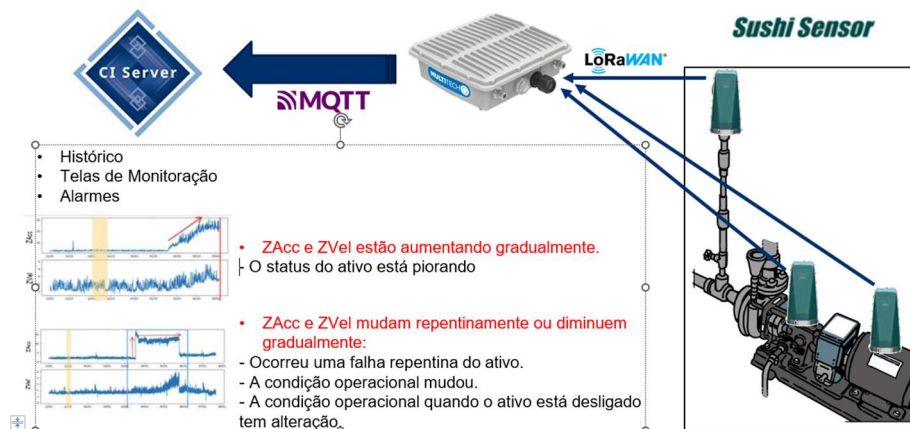


Figura 13 – Exemplo do sistema de monitoramento on-line. Fonte Autoria própria

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a fixação dos sensores nos mancais das máquinas através de base magnética para melhor o contato entre o Sushi Sensor e a superfície do mancal, apresentou resultados satisfatórios, mantendo-se conectados aos mancais de forma simples e eficaz. Após a configuração do Sushi Senor, foi possível iniciar o processo de aquisição do sinal vibracional do equipamento a ser medido. Esse equipamento é composto por um motor de 175CV, 4 polos, tensão 440 V, um redutor 2120YB marca PTI-FALK e um volante de inércia. Na figura 14, podem ser visualizados os pontos pré-configurados.

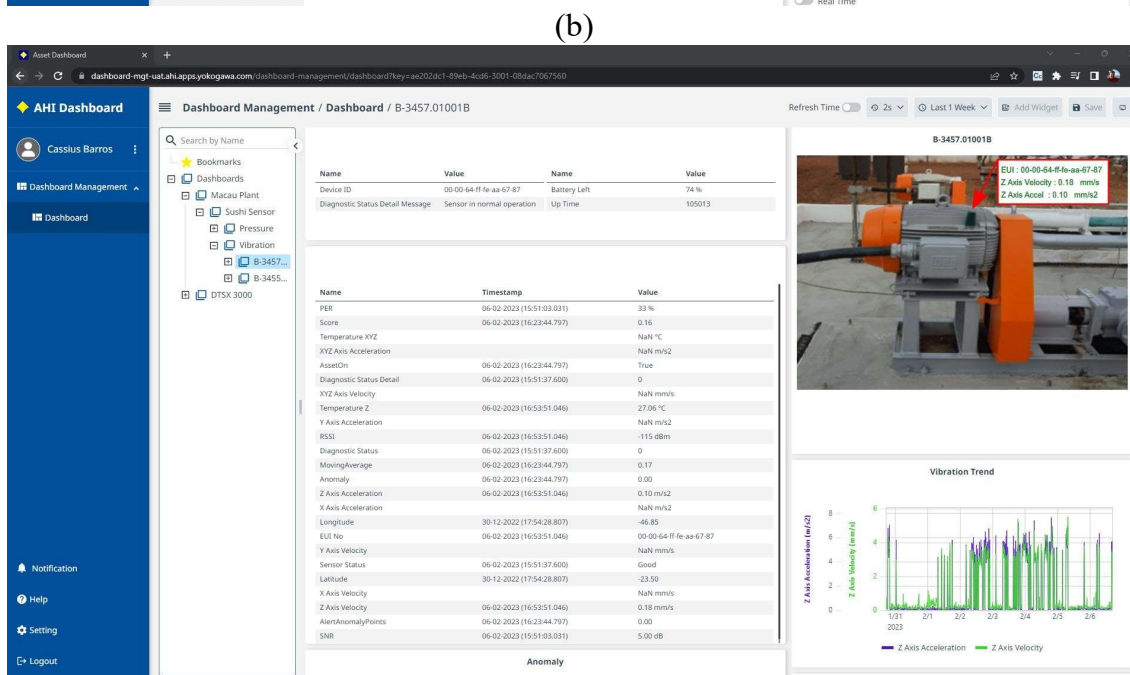
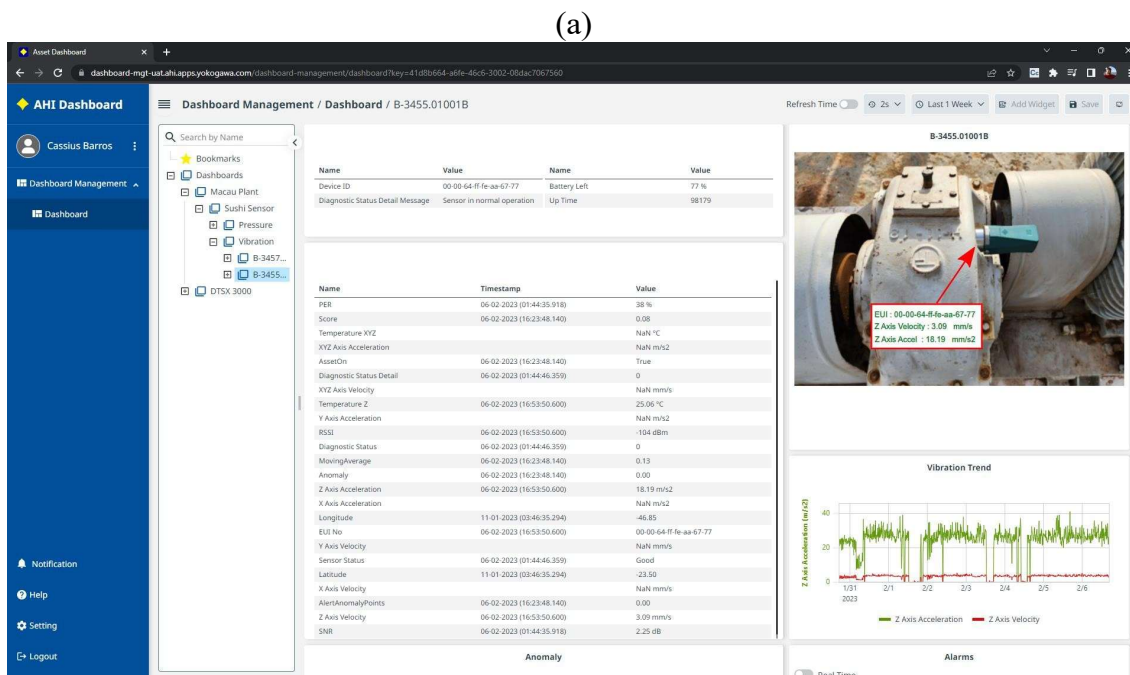


Figura 14 – Tela de supervisão de (a) vibração do motor (b) vibração da caixa de redução. Fonte: Próprio autor.

O presente estudo evidencia os avanços proporcionados pela adoção de tecnologias de monitoramento on-line de vibração, com destaque para o uso do sensor inteligente Sushi Sensor. A análise experimental demonstrou que essa abordagem representa uma evolução significativa em relação aos métodos tradicionais off-line, tanto em termos técnicos quanto econômicos.

A implementação do monitoramento contínuo permitiu: Redução de custos operacionais, onde a detecção precoce de falhas evitou intervenções emergenciais e paradas não planejadas, reduzindo em até 25% os tempos de inatividade. Outro resultado importante é o aprimoramento da confiabilidade dos equipamentos, onde a coleta de dados em tempo real revelou padrões dinâmicos de vibração, conforme

ilustrado na Fig 15, possibilitando intervenções mais precisas e eficazes. É possível também identificar de sobrecargas térmicas, onde o monitoramento simultâneo de temperatura permitiu antecipar condições críticas, evitando danos.

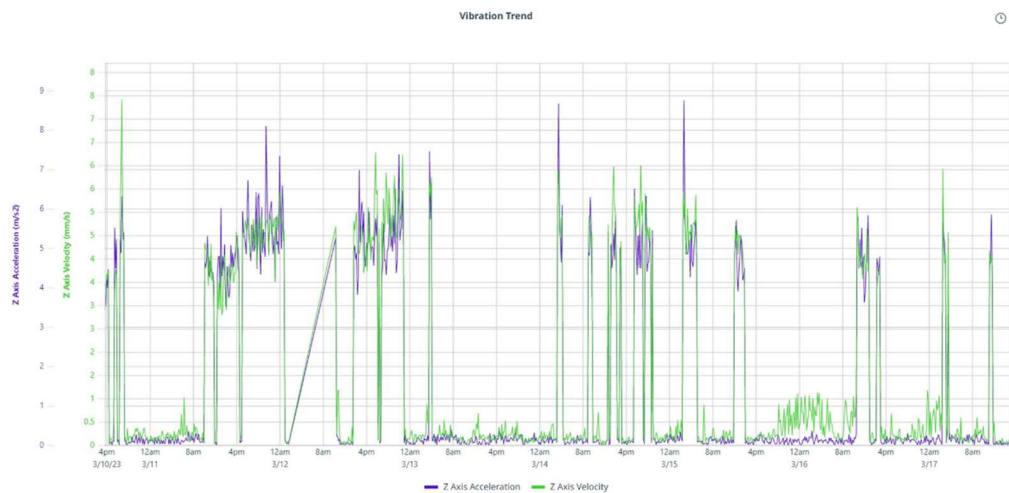


Figura 15 – Tela de supervisão de aceleração e vibração do motor . Fonte: Próprio autor.

Outro ponto a ser destacado é a eficiência na comunicação a longas distâncias, pois o uso do protocolo LoRaWAN garantiu cobertura estável mesmo em ambientes industriais complexos, reforçando a viabilidade da integração com sistemas de IoT. Considerando a maior granularidade dos dados, a frequência elevada de medições (inclusive horárias) proporcionou um perfil vibracional mais completo, cobrindo todas as fases operacionais dos equipamentos. Além disso, o estudo reforça o papel estratégico do monitoramento on-line como ferramenta essencial na manutenção preditiva moderna, alinhada aos princípios da Indústria 4.0. A flexibilidade de configuração via NFC e a compatibilidade com dispositivos móveis tornam o sistema acessível e expansível, facilitando sua adoção em larga escala.

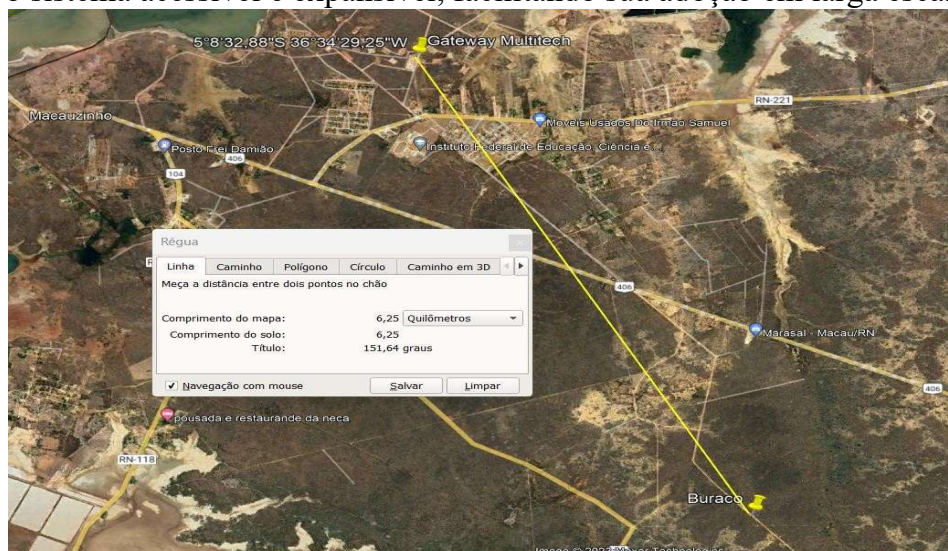


Figura 16 – Distância de 6,25 km entre Gateway e o Sensor. Fonte: Próprio autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de analisar e compreender as técnicas de inspeção preditiva de análise de vibração através de medições on-line realizadas em equipamentos rotativos industriais. O resultado dessa pesquisa elevou a confiabilidade dos equipamentos industriais, reduzindo os custos de manutenção, viabilizando as inspeções preditivas e prospectando redução do tempo de paradas não programadas dos equipamentos.

Esse monitoramento possibilitou a detecção de possíveis defeitos e seus respectivos acompanhamentos dia a dia, até que fosse necessária sua correção. A aplicação do monitoramento on-line de vibração mostrou o real comportamento da máquina em todos os estágios do processo produtivo, possibilitando traçar o perfil operacional da máquina, planejando e programando intervenções e eliminando perdas no processo produtivo.

Pode-se levantar perspectivas futuras como, a validação em diferentes setores industriais (além do óleo & gás), como mineração, papel e celulose, e energia, a integração com algoritmos de aprendizado de máquina para diagnóstico automatizado, bem como, a expansão da análise para outros parâmetros operacionais, como pressão e fluxo, ampliando a capacidade preditiva do sistema. Por fim, o monitoramento on-line de vibração representa não apenas uma inovação tecnológica, mas uma mudança de paradigma na forma como a saúde dos ativos industriais é gerenciada promovendo operações mais seguras, eficientes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

Balachandran. B. Vibrações mecânicas. Editora: Cengage Learning. São Paulo. 2011

DA SILVA B. M. Desenvolvimento de um sistema sem fio para monitoramento de vibrações. Monografia de Graduação. Engenharia de Controle e Automação. Universidade Federal de Ouro Preto. 2023. Disponível em: https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/5184/1/MONOGRAFIA_DesenvolvimentoSistemaSem.pdf. Acesso em: 03 de nov. 2025.

DA SILVA F. J., CAVALCANTE F. J. N., FERNANDES NETO A. P., ARAÚJO G. M. Análise de Vibração em Motores: Monitoramento On-line de Vibração. Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica. UFERSA. v.6. n.2. p. 01-08. 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/r4em/article/view/12658/11703>. Acesso em: 03 de nov. 2025.

DA SILVA I. G., DIAS J. F. Detecção de falhas em motores por análise de vibração. 3º Simpósio de TCC, Faculdades FINOM e Tecsoma. 2020. Disponível em: <https://finom.edu.br/assets/uploads/cursos/tcc/2021021515020424.pdf>. Acesso em: 03 de nov. 2025.

Frazão D., Gomes D., Silva E. Sistema de Monitoramento e Rastreamento Baseado na Tecnologia LoRa LPWAN para Pequenas Embarcações. Conference Proceedings Brazilian Technology Symposium. 2023. Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP. 2023. Disponível em: https://lcv.fee.unicamp.br/wp-content/images/BTSym23-Brasil/papers/BTSym_2023_052.pdf. Acesso em: 03 de

nov. 2025.

LUCCHESI, Claudio. Análise de Vibração em Equipamentos Rotativos: Princípios de Diagnóstico de Falhas. Claudio Lucchesi, 2025.

NAGANO S., KANEKO D., SASAKI K., AONO Y. The XS770A Wireless Vibration Sensor for the Industrial IoT. Yokogawa Technical Report English Edition Vol. 61 No. 1. 2018. Disponível em: <https://web-material3.yokogawa.com/rd-te-r06101-003.pdf>. Acesso em: 03 de nov. 2025.

NEPOMUCENO L. X. Técnicas de manutenção preditiva. Editora Blucher. São Paulo. vol 1 e 2. 1989.

NETO G. P. Análise de vibração em equipamentos de mineração: monitoramento on-line de vibração. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza. Nº 82. Vol 1. 2016. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/analise_de_vibracao_em Equipamentos de Mineracao_0.pdf. Acesso em: 03 de nov. 2025.

RAO S. S. Vibrações mecânicas. Editora Pearson Prentice Hall. São Paulo. 2008

SANTOS G. R. S. S. Manutenção preditiva por análise de vibração: Estudo sobre Análise de Falhas em Rolamentos de um Moinho de Facas. Monografia. Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial. 2014. Disponível em: https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/27537/1/manutencaoindustrial_2014_2_guilhermerodrigosalgadosantos%20manutencaopredittivvaporanalisede.pdf. Acesso em: 03 de nov. 2025.

SELEM R. Manutenção industrial: mantendo a fábrica em funcionamento. Editora Intersaberes. 2015.

SOTELO JR. J. Introdução às vibrações mecânicas. São Paulo. Editora Blucher. 2006

SOUSA J. E, PICCININI M. A., ABRITTA C. C. A., MAGRI L. P. Monitoramento de utilidades industriais: Uma abordagem com iot e lorawan. Caderno de Estudos em Engenharia Elétrica. v 7, n 1. 2025. Disponível em: <https://seer.uniacademia.edu.br/index.php/eletrica/article/viewFile/4462/3348>. Acesso em: 03 de nov. 2025.

TONIATO D. S. Diagnose e classificação vibroacústica de falhas em motores elétricos. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina. 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/264269>. Acesso em: 03 de nov. 2025.

YOKOGAWA. Lançamento do Sushi Sensor, uma solução sem fio da marca OpreX para o Industrial IoT, em outros mercados além do Japão. 02 de dezembro de 2018. Disponível em: <https://www.yokogawa.com/br/news/press-releases/2018/2018-12-03/>. Acesso em: 03 de nov. 2025.