

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA  
FONSECA – CEFET/RJ

**Manutenção Prescritiva através da Digitalização: Aplicação  
da tecnologia de internet das coisas em Gestão de Motores  
Elétricos**

Igor Ribeiro Ferro de Araujo

Prof. Orientador: D. Sc. Paulo Pedro Kenedi

**Rio de Janeiro**

**2025**

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA  
FONSECA – CEFET/RJ

**Manutenção Prescritiva através da Digitalização: aplicação  
da tecnologia de internet das coisas em Gestão de Motores  
Elétricos**

Igor Ribeiro Ferro de Araujo

Projeto final apresentado em cumprimento às normas do Departamento de Educação Superior do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Prof. Orientador: D. Sc. Paulo Pedro Kenedi

**Rio de Janeiro**

**2025**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

A663 Araujo, Igor Ribeiro Ferro de  
Manutenção prescritiva através da digitalização: aplicação da tecnologia de internet das coisas em gestão de motores elétricos / Igor Ribeiro Ferro de Araujo – 2025.  
64f.: il. color., enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação  
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2025.  
Bibliografia: f. 63-64.  
Orientador: Paulo Pedro Kenedi.

1. Engenharia mecânica. 2. Motores elétricos. 3. Internet das coisas – Monitoramento. I. Kenedi, Paulo Pedro (Orient.). II. Título.

CDD 620.1

Elaborada pelo bibliotecário Leandro Mota de Menezes – CRB/7 nº 5281

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à Deus e Meishu Sama que me deram fortalecimento material e espiritual durante todo ciclo de formação acadêmica. Etapa da minha vida em que busquei muito apoio nos Escritos Divinos, nas práticas messiânicas e nas orientações dos meus mestres a fim de obter permissão para alcançar o merecimento do diploma universitário.

À minha família, que foi fundamental principalmente nos vários momentos que eu pensei em desistir. A caminhada foi longa e tiveram fases bastante desafiadoras para seguir o curso de maneira satisfatória. Então, foram essas pessoas que me deram todo suporte necessário para eu continuar perseguindo o objetivo de ser engenheiro. Em especial, agradeço à minha filha Antonella, à minha esposa Ana Paula, aos meus pais Eduardo e Claudia e à minha irmã, Larissa e aos meus avós maternos e paternos.

Aos professores, por todo conteúdo compartilhado nas aulas com o objetivo de fazer dos seus alunos profissionais de excelência e plenamente capazes de cumprir as demandas do mercado de trabalho. Sobretudo, no período desafiador da pandemia de COVID-19, onde tiveram que remodelar toda didática do ensino presencial para a realidade de ensino remoto. Alguns desses indivíduos merecem destaque na minha trajetória de formação, são eles: Tatiane Chuvas, Fernando Ribeiro, Matheus Campolina, Carlos Catunda, Luciana Monteiro, José Vogel (*in memoriam*), Brenno Duarte e, em especial, meu orientador, Paulo Pedro Kenedi.

Aos amigos, dentro e fora do curso de engenharia, por todo companheirismo nos bons e maus momentos da minha vida. Dentre esses, destaco: Átila Santos, Ruan Pereira, Guilherme Pimentel e Elias Rêgo.

## RESUMO

A transformação digital é amplamente empregada em setores produtivos, impactando significativamente a indústria moderna. A adoção de tecnologias avançadas impulsiona maior eficiência e eficácia dos processos industriais. A Indústria 4.0, utilizando como principais ferramentas IoT (Internet das Coisas), IA (Inteligência Artificial), *Big Data* e Automação Avançada, revolucionou a manutenção industrial. Este estudo explora aplicações de monitoramento remoto, no gerenciamento de manutenção de motores elétricos. Foi realizada uma apresentação básica de três sensores inteligentes disponíveis no mercado, sendo eles: ABB Smart Sensor, WEG Motor Scan e TRACTIAN Smart Trac, bem como, suas respectivas plataformas para gestão de dados e informações. Um estudo de caso apresenta estratégias inovadoras para melhorar o desempenho e prolongar a vida útil de motores elétricos. O projeto apresentado no estudo de caso obteve bom retorno financeiro justificado pelo ROI estimado de 61,50% para 6 ativos monitorados e pelo Payback simples de aproximadamente 7 meses.

Palavras-chave: Engenharia, Manutenção, Manutenção Prescritiva, Indústria 4.0, Monitoramento Remoto, Internet das Coisas, Confiabilidade, Gestão de Ativos, Motores Elétricos.

## **ABSTRACT**

Digital transformation is widely employed in productive sectors, significantly impacting modern industry. Advanced technologies drive greater efficiency and effectiveness in industrial processes. Industry 4.0, IoT, AI, Big Data, and Advanced Automation, transform industrial maintenance. This study explores remote monitoring applications in electric motor maintenance management. A basic presentation of three smart sensors available on the market was made, namely: ABB Smart Sensor, WEG Motor Scan, and TRACTIAN Smart Trac, and their respective data management platforms. A case study presents innovative strategies to improve the performance and extend the life of electric motors. The project in the case study generated a favorable financial return, as evidenced by an estimated ROI of 61.50% for 6 monitored assets and a simple payback period of approximately 7 months.

**Keywords:** Engineering, Maintenance, Prescriptive Maintenance, Industry 4.0, Remote Monitoring, Internet of Things, Reliability, Asset Management, Electric Motors.

## Sumário

AGRADECIMENTOS .....	iii
RESUMO .....	iv
ABSTRACT .....	v
Lista de figuras .....	viii
Lista de quadros .....	x
Capítulo 1 .....	12
1. Introdução .....	12
1.1. Motivação .....	12
1.2. Justificativa .....	13
1.3. Objetivo .....	13
1.4. Metodologia .....	13
Capítulo 2 .....	14
2. Revisão Bibliográfica .....	14
Capítulo 3 .....	16
3. A Indústria 4.0 .....	16
3.1. Digitalização Industrial .....	17
3.1.1. Internet das Coisas .....	19
3.1.2. Inteligência Artificial .....	19
3.1.3. <i>Big Data</i> .....	19
3.1.4. Automação Industrial .....	19
3.2. Desafios da Implementação da Digitalização Industrial .....	20
Capítulo 4 .....	23
4. Evolução da Gestão de Manutenção .....	23
4.1. Manutenção Prescritiva .....	25
4.2. Gestão de Manutenção em Motores Elétricos .....	27
4.2.1. As principais causas de falhas em Motores Elétricos .....	29
4.2.2. Impacto da inatividade de Motores Elétricos .....	30
4.3. Monitoramento Remoto em Motores Elétricos .....	32
Capítulo 5 .....	37
5. Modelos de Sensores Inteligentes para Motores Elétricos .....	37
5.1. WEG Motor Scan .....	37

5.2. ABB Ability Smart Sensor .....	41
5.3. Smart Trac .....	44
5.4. Comparativo entre Sensores Inteligentes .....	50
Capítulo 6 .....	52
6. Estudo de Caso .....	52
6.1. Introdução .....	52
6.2. Aplicação dos Dispositivos .....	52
6.3. Resultados e Discussões .....	54
6.4. Análise de Viabilidade Comercial .....	58
6.4.1. Retorno sobre Investimento .....	58
6.4.2. <i>Payback</i> simples .....	59
Capítulo 7 .....	61
7. Conclusão .....	61
Referências Bibliográficas .....	63

## Lista de figuras

Figura 1 – Capa da NBR 5462 – Confiabilidade e manutenibilidade .....	15
Figura 2 – As Revoluções Industriais .....	16
Figura 3 – Atributos para Implementação da Digitalização .....	20
Figura 4 – Barreira Internas para Implementação das Tecnologias Digitais .....	22
Figura 5 – Barreiras Externas para Implementação das Tecnologias Digitais .....	22
Figura 6 – Intervalos de Relubrificação do Motor W22 .....	24
Figura 7 – Tipos de Manutenção .....	25
Figura 8 – Fluxograma de Manutenção Assistida por Inteligência Artificial .....	26
Figura 9 – Motor Trifásico modelo W22 .....	27
Figura 10 – Fluxo eletromagnético interno do motor elétrico .....	27
Figura 11 – Plataforma TracOs .....	33
Figura 12 – Relatório Inicial de Saúde plataforma TracOs .....	35
Figura 13 – WEG Motor Scan .....	37
Figura 14 – WEG Motor Scan acoplado ao motor elétrico.....	38
Figura 15 – Sistema de transmissão de dados WEG Motor Scan .....	38
Figura 16 – Lista de parâmetros e medições suportadas pelo WEG Motor Scan .....	41
Figura 17 – ABB Ability Smart Sensor .....	42
Figura 18 – ABB Ability Smart Sensor instalado no motor .....	42
Figura 19 – Plataforma ABB Ability Digital Powertrain .....	44
Figura 20 – Sensor Smart Trac – versão ULTRA .....	45
Figura 21 – Alerta gerado pela plataforma TracOs .....	46
Figura 22 – Diagnóstico de Desgaste no Rolamento pela plataforma TracOs .....	47
Figura 23 – Telas da plataforma TracOs .....	48
Figura 24 – Acoplamento do Smart Trac ao motor elétrico .....	49
Figura 25 – Dispositivo inteligente acoplado ao motor elétrico – Estudo de Caso .....	53
Figura 26 – Gráfico de análise do motor 5 – Estudo de Caso .....	54
Figura 27 – Gráfico de análise motor 4 – Estudo de Caso .....	55
Figura 28 – Gráfico de análise da velocidade do motor 6 – Estudo de Caso .....	55
Figura 29 – Gráfico de análise do motor 1 – Estudo de Caso .....	56
Figura 30 – Gráfico de análise do motor 2 – Estudo de Caso .....	56
Figura 31 – Gráfico de análise da velocidade do motor 2 – Estudo de Caso .....	57

Figura 32 – Gráfico de ROI (%) mínimo correspondente ao número de ativos monitorados	
.....	59

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Lista de Atributos dos Sensores Inteligentes ..... 50

## Capítulo 1

### 1. Introdução

A manutenção é uma das áreas mais impactadas pela digitalização na indústria. Historicamente, a manutenção propunha uma estratégia reativa frente as falhas. Isto é, as intervenções de reparo das máquinas eram apenas executadas após a falha ocorrer. Em contrapartida, o novo cenário de transformação digital promove uma crescente adoção de ferramentas como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), *Big Data* e Automação Avançada – gerando assim, o desenvolvimento de uma análise técnica para detecção prévia de potenciais falhas ou mesmo acompanhamento da vida útil de peças e subsistemas do ativo.

A evolução da manutenção, sobretudo considerando os atributos da Manutenção Prescritiva, permitiu às companhias aumentarem a eficiência operacional, a maior confiabilidade do sistema produtivo, a redução de custos e a gestão orientada a dados. Como consequência, gera-se uma mudança cultural nas indústrias, impulsionando a busca por inovação constante.

Nesse contexto, aplicam-se sensores e *softwares* modernos que forneçam informações precisas e realizem técnicas de análise com maior assertividade, a fim de obter o melhor diagnóstico por condição. Trata-se de uma coleta de dados em “tempo real” direto do ativo monitorado. Grandezas como vibração, temperatura e horas de trabalho indicam a condição de “saúde” do motor elétrico.

#### 1.1. Motivação

Digitalização de máquinas e processos, sistemas cibernéticos operados em nuvem, *big data*, internet das coisas, entre outros exemplos de inovação, já são tecnologias aplicadas nas indústrias brasileiras. Segundo GROOPMAN (2017), relatórios da Tractica (*Tractica Research Report*) estimam – globalmente – que as receitas com *softwares* de inteligência artificial partiram de 1,38 bilhões de dólares em 2016 e atingirão 59,75 bilhões de dólares em 2025.

É uma nova maneira de coletar, organizar, analisar e processar os dados para tornar os processos mais produtivos e eficientes. Sobretudo os chamados “dispositivos inteligentes” de monitoramento remoto para motores elétricos, têm como objetivos

principais: garantir total desempenho e disponibilidade; otimizar a manutenção e a operação; aumentar a vida útil dos ativos. As aplicações são bastante abrangentes e com rápido retorno sobre investimento.

### **1.2. Justificativa**

Os avanços tecnológicos característicos da quarta revolução industrial não terão retrocessos, pelo contrário, uma vez implementados, só serão aprimorados e expandidos. Então, os futuros engenheiros precisam estar cada vez mais capacitados para lidar com essas tecnologias durante suas carreiras. Desta forma, a pesquisa para o trabalho de conclusão de curso visa aproximar o conteúdo desenvolvido em sala de aula e as demandas vivenciadas no dia a dia das equipes de engenharia.

### **1.3. Objetivo**

Deseja-se explicar sobre conceitos e aplicações de manutenção prescritiva, digitalização industrial e aplicação de dispositivos de monitoramento remoto em motores elétricos. Além disso, será apresentado um Estudo de Caso contemplando o teor experimental sobre a aplicação, no ambiente real, dos dispositivos inteligentes auxiliando a gestão de operação e manutenção em motores elétricos. Apresentar o caráter experimental dessa tecnologia é para simples ilustração sobre o funcionamento dos dispositivos e as respectivas informações mostradas na plataforma de gerenciamento.

### **1.4. Metodologia**

Esse texto foi desenvolvido através de pesquisa ativa em conteúdo online sobre monitoramento remoto de motores elétricos, normas técnicas, livros abordando conceitos fundamentais de Manutenção e Confiabilidade, bem como, entrevistas com profissionais da área. Já a parte experimental foi realizada mediante análise de uma aplicação em ambiente real do sistema ABB Smart Sensor e seus impactos na gestão de ativos com foco na redução de *downtime* (tempo de inatividade) de processos e máquinas que empregam motores elétricos.

## Capítulo 2

### 2. Revisão Bibliográfica

Este texto estabelece uma compilação das informações extraídas de diferentes referências sobre o tema. As principais fontes de informações foram as Normas Brasileiras da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, revistas e artigos.

Segundo SILVEIRA (2016), estamos entrando em uma nova era de transformação industrial, impulsionada pelas fábricas inteligentes. Essa revolução promete alterar profundamente a maneira como os produtos são fabricados, gerando ondas de mudança em várias áreas do mercado e redesenhando o futuro da produção.

Para LAMEIRINHAS (2024), a inteligência artificial já não é uma promessa para o futuro, mas uma realidade que já está revolucionando a indústria. Nos últimos anos, os softwares e sistemas inteligentes têm mostrado um enorme potencial para melhorar a eficiência e a produtividade. Como resultado, as organizações estão sendo forçadas a repensar suas estratégias de negócios e a encontrar maneiras de integrar a inteligência artificial em seus processos e tomadas de decisão, para manterem-se competitivas e alcançarem novos padrões de excelência.

MARINELLI (2021), reitera que uma abordagem eficaz de manutenção enfatiza a prevenção para evitar falhas inesperadas e reparos de última hora. Além disso, ao adotar uma estratégia de manutenção preventiva, os gestores podem reduzir os custos de manutenção, minimizar os impactos financeiros de reparos urgentes e acidentes, e melhorar a segurança e a eficiência operacional, resultando em uma maior rentabilidade para a empresa. No entanto, para elevar a manutenção a um novo patamar, é fundamental combinar as técnicas preventivas com as preditivas, que empregam tecnologias avançadas e inteligentes para antecipar e prevenir problemas.

A norma NBR 5462 – Confiabilidade e manutenibilidade, cuja capa é mostrada na Fig. 1, regulamenta conceitos e requisitos técnicos, princípios básicos para a gestão de manutenção nas empresas. A referida norma foi publicada inicialmente em 1994 e, posteriormente, foi atualizada em 2012, tendo essa primeira versão sido revogada. Desta forma, a tipificação da manutenção prescritiva é aquela realizada de acordo com um

programa pré-estabelecido, com base em parâmetros definidos (tempo de uso, condição do equipamento, entre outros).



**Figura 1 – Capa da NBR 5462 – Confiabilidade e manutenibilidade**  
**Fonte: Adaptado de NBR 5462 (2012).**

O monitoramento remoto de ativos é um pilar da chamada Indústria 4.0. É uma tecnologia que permite monitorar máquinas e equipamentos relevantes para os processos produtivos, como motores elétricos, em tempo real e à distância, oferecendo visibilidade completa sobre o desempenho desses ativos (PIOVESAN, 2024). Sensores coletam dados como temperatura, vibração e consumo energético, que são transmitidos e analisados para prever falhas e otimizar a manutenção.

## Capítulo 3

### 3. A Indústria 4.0

Atualmente, a evolução das indústrias tem sido bastante acentuada. As transformações tecnológicas, econômicas e sociais tem promovido mudanças no setor produtivo ao longo do tempo. Sobretudo, quando são traçados paralelos comparativos entre as gerações conhecidas como Revoluções Industriais. Conforme ilustrado na Fig. 2, alterações disruptivas de recursos podem caracterizar quatro fases distintas no setor industrial.



Figura 2 – As Revoluções Industriais

Fonte: SILVEIRA (2016)

A Quarta Revolução Industrial ou também chamada Indústria 4.0, já deixou de ser um simples “olhar filosófico” de avanço e passou a ser realidade. Com isso, a necessidade de mão de obra especializada e qualificada para trabalhar utilizando o novo conceito vem se impondo. Cada vez mais, aplicam-se processos produtivos automatizados, modularizados e orientados a dados e com tecnologias baseadas em inteligência artificial.

Atualmente, está se consolidando um modelo produtivo chamado de Produção Inteligente. Nesse panorama, aplicam-se sistemas cyber-físicos que tendem a se tornar cada vez mais eficientes, autônomos e customizáveis.

Há características gerais dessa última geração industrial (SILVEIRA, 2016), são elas:

1. Capacidade em Tempo Real: aquisição e tratamento de dados de forma “instantânea”;
2. Virtualização: simulações computacionais e sistemas supervisórios;
3. Descentralização: tomada de decisão podendo ser realizada pelo sistema cyber-físico onde as máquinas são capazes de gerar ou mesmo aprimorar comandos baseados em seu ciclo de trabalho;
4. Orientação a serviços: aplicação de *softwares* orientados a serviços que padronizam métodos e processos específicos (*IoS - Internet of Services*);
5. Modularidade: capacidade de fragmentação dos processos de acordo com a demanda, aumentando a possibilidade de flexibilização das tarefas (customização);
6. Interoperabilidade: interação autônoma constante entre os ativos e sistemas conectados à nuvem (*IoT – Internet of Things*).

Considerando tais atributos, uma série de profissões poderão acabar e outras tantas precisarão surgir para atender às novas demandas. A boa formação técnico-profissional e o desenvolvimento de novas habilidades devem ser objetivos de quem está se preparando para atuar no mercado de trabalho. Neste cenário, máquinas trabalham com precisão e velocidade; enquanto pessoas, trabalham com capacidade analítica, crítica, humanística, sensorial e criativa.

Segundo CARDOSO (2016), haverá alteração profunda na relação homem-máquina, onde a mão de obra se tornará mais especializada, com maior atuação de profissionais com conhecimento multidisciplinar. Além disso, o autor ressalta que ocorrerá uma substituição de células de trabalho isoladas por células de trabalho integradas, imprimindo maior eficiência e permitindo um fluxo inteligente de insumos e produtos. Um melhor dinamismo do mercado poderá, então, ser estabelecido pela integração da indústria com fornecedores e consumidores, gerando uma cadeia produtiva orientada à demanda.

### **3.1 Digitalização Industrial**

A transformação digital, uma das principais características da quarta revolução industrial, está remodelando os processos produtivos e permitindo que empresas alcancem resultados excepcionais em seus respectivos setores. Estimulando a inovação e imprimindo maior competitividade.

A otimização de processos através da automação, dados em tempo real e visão computacional resultam em maior eficiência global e menor desperdício de recursos. Isso pode ser traduzido pela melhor consistência das operações, redução de erros humanos, redução do tempo de produção, melhor precisão de produção e maior qualidade do produto acabado.

Segundo pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria – CNI (2022), houve um aumento no uso de tecnologias digitais na indústria brasileira nos últimos 5 anos. Saindo de 48% para 69% nos anos de 2016 e 2021, respectivamente.

Tais dados foram coletados através do relatório de Sondagem Especial Indústria 4.0 que listou 18 diferentes tipos de tecnologias digitais adotadas por mil empresas entrevistadas, são elas:

1. Sistemas integrados de engenharia para desenvolvimento e manufatura de produtos;
2. Prototipagem rápida, impressão 3D e similares;
3. Design assistido por inteligência artificial;
4. Simulação/análise de modelos virtuais para projeto e comissionamento (elementos finitos, fluidodinâmica computacional, entre outros);
5. Automação digital sem sensores, uso de Controlador Lógico Programável (CLP) sem sensores;
6. Automação digital com sensores para controle de processos;
7. Automação digital com sensores com identificação de produtos e condições operacionais, linhas flexíveis;
8. Monitoramento e controle remoto de produção com sistemas do tipo MES e SCADA;
9. Sistemas integrados de manufatura, como comunicação M2M (máquina-máquina);
10. Aplicação de Inteligência Artificial para soluções na fábrica;
11. Simulação de processos e gêmeos digitais (*Digital Twins*);
12. Manufatura aditiva, robôs colaborativos (*Cobots*);
13. Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados do processo produtivo;
14. Inspeção da qualidade automatizada ou avançada;

15. Ferramentas digitais que aumentam as capacidades dos trabalhadores (*Smart glasses, Smart watches*, entre outros);
16. Incorporação de serviços digitais nos produtos (Internet das Coisas ou *Product Service Systems*);
17. Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados do mercado, monitoramento do uso dos produtos pelos consumidores;
18. Ferramentas digitais de relacionamento com o cliente (*Chatbots*, Atendimento ao cliente interativo, entre outros)

### **3.1.1. Internet das Coisas**

Permite que dispositivos e máquinas se comuniquem entre si e com sistemas de gerenciamento através da internet. É a principal ligação entre o mundo físico e o digital, ou seja, trabalhando em conjunto. Possibilita a coleta de dados em tempo real por instrumentação e controle de sensores que envolvem tecnologias de nuvem. Desta forma, é possível realizar a interação entre itens conectados, além de rastrear ativos, otimizar processos e melhorar a manutenção de equipamentos.

### **3.1.2. Inteligência Artificial - IA**

A Inteligência Artificial capacita as máquinas a aprenderem e tomar decisões com base em dados. Essa tecnologia auxilia em processos complexos, como a análise de dados em grande escala, a identificação de padrões de funcionamento e a tomada de decisões baseadas em algoritmos. Na prática industrial, a IA é aplicada na previsão de falhas em equipamentos e na automatização da rotina de operação e manutenção.

### **3.1.3. Big Data**

Processamento e análise de grandes volumes de dados. Considerando a indústria, o *Big Data* identifica tendências, padrões e insights que podem indicar a tomada de decisões estratégicas de camada gerencial e operacional.

### **3.1.4. Automação Industrial**

Incorporação de sistemas automatizados, como robôs e sistemas de controle, faz parte da automação industrial, englobe áreas complementares de atuação, são elas: a eletrônica que abrange a arquitetura e implementação de *hardwares* (sensores e

periféricos); a mecânica com máquinas e dispositivos atuadores; e a tecnologia da informação, que são os *softwares* de controle do sistema.

Sistemas automatizados são importantes, considerando que o conjunto é projetado para conduzir os processos sem falhas e sob padrões rigorosos de controle, garantindo a viabilidade de operações altamente complexas e em condições em que não é recomendado serem realizadas por métodos manuais, como por exemplo, ambientes com insalubridade e exposição à risco de vida.

### 3.2 Desafios de Implementação da Digitalização Industrial

O caminho para a implementação da digitalização industrial traz consigo desafios tanto de natureza tangível, quanto intangível. As empresas que iniciam o processo de aplicação dos princípios da Indústria 4.0 enfrentam obstáculos que devem ser superados para garantir a obtenção dos benefícios associados à quarta revolução. A Fig. 3 sugere pré-requisitos e demais atributos para a adoção de sistemas inteligentes em uma companhia.



**Figura 3 – Atributos para Implementação da Digitalização**  
**Fonte: O papel da Transformação Digital na Indústria (2023)**

Segundo a Revista Manutenção, no artigo: O papel da Transformação Digital na Indústria (2023), aponta-se os seguintes desafios:

1. Cultura organizacional: os funcionários podem gerar resistência à adoção de novas tecnologias e processos;
2. Investimento inicial elevado: investimentos substanciais em *hardware*, *software*, treinamento e consultoria. Tal desafio é mais significativo em empresas de pequeno e médio porte;
3. Privacidade de dados: a coleta e análise de grandes volumes de dados gera insegurança quanto à privacidade e conformidade com regulamentações (como o Regulamento Geral de Proteção de Dados – GDPR);
4. Falta de habilidades e talentos: escassez de profissionais capacitados em áreas como análise de dados, Internet das Coisas e cibersegurança;
5. Segurança cibernética: vulnerabilidade à ataques cibernéticos exigem medidas rigorosas de segurança;
6. Integração de sistemas: dificuldade de integração entre os sistemas existentes e as novas tecnologias.

O relatório de Sondagem Industrial Indústria 4.0 CNI (2022), também indica barreiras internas e externas para a adoção das tecnologias digitais. A Fig. 4 e a Fig. 5 apresentam tais barreiras e seus respectivos percentuais, conforme resposta dos entrevistados na pesquisa da CNI em 2021.

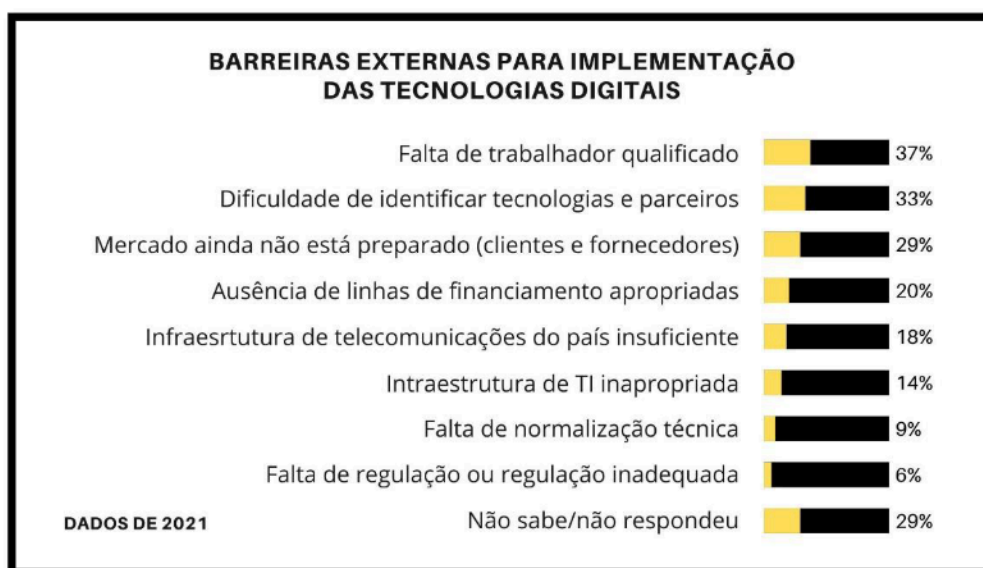
A Fig. 4 mostra, de forma resumida, as dificuldades internas na indústria para a implementação das novas tecnologias digitais. A Fig. 5 ilustra, de forma resumida, as dificuldades que a indústria tem para encontrar parceiros externos para a implementação das novas tecnologias digitais.

O somatório dos percentuais apresentados pode somar mais de 100% devido à possibilidade de múltiplas escolhas durante a pesquisa.



**Figura 4 – Barreiras Internas para Implementação das Tecnologias Digitais**

Fonte: Adaptado de CNI (2022)



**Figura 5 – Barreiras Externas para Implementação das Tecnologias Digitais**

Fonte: Adaptado de CNI (2022)

## Capítulo 4

### 4. Evolução da Gestão de Manutenção

O setor de manutenção é responsável pela confiabilidade e disponibilidade do patrimônio de uma empresa. Pelo ponto de vista de produção numa fábrica, a equipe de manutenção tem a responsabilidade de garantir que os ativos estejam em perfeito estado de conservação e baixo risco de uma falha inesperada. Para isso, faz-se necessário um conjunto de métodos gerenciais e operacionais a fim de garantir o desempenho da produção.

A complexidade de projetos, a grande diversidade de equipamentos e instalações e o surgimento de novas tecnologias exige que a manutenção se desenvolva acompanhando tais transformações.

Importante destacar as mudanças de paradigma quanto aos investimentos e capacitações dedicados à manutenção dentro das companhias ao longo do tempo. Tipicamente, havia um pensamento de que os recursos financeiros destinados à manutenção dos equipamentos eram desperdícios para a companhia. Porém, o impacto que uma falha no ativo pode causar ao trabalho e ao meio ambiente trouxe maior compreensão quanto à relevância na lucratividade que essa área pode gerar para a fábrica.

A NBR 5462 (2012), é a norma técnica que define, de forma ampla, princípios da gestão de manutenção. Ela estabelece requisitos e procedimentos para planejar, executar e controlar a manutenção de equipamentos e instalações, objetivando assim, disponibilidade, segurança e desempenho nas empresas.

Considerando a norma supracitada, os diferentes tipos de manutenção caracterizam-se por:

1. Manutenção Corretiva: realizada após falha ou defeito para reestabelecer funcionamento;
2. Manutenção Preventiva: programada para evitar falhas, reduzir desgaste e prolongar a vida útil. Normalmente, baseada na prescrição do fabricante;
3. Manutenção Preditiva: baseada em análise de dados e monitoramento para antecipar falhas;

4. Manutenção de Oportunidade: realizada durante paradas programadas ou não programadas;
5. Manutenção de Emergência: realizadas em situações críticas para evitar danos maiores.

Os fabricantes disponibilizam informações necessárias para a manutenção protocolar dos motores. Ou seja, parâmetros preestabelecidos indicando intervenções de manutenção dos ativos, o que é fundamental para o método de manutenção preventiva. A Fig. 6, por exemplo, ilustra a tabela extraída do manual do motor WEG modelo W22 considerando as horas de funcionamento do equipamento e seus respectivos intervalos de relubrificação para os rolamentos.

Intervalos de relubrificação (horas)				
Carcaça	Polos	Rolamento	50 Hz	60 Hz
160	2	6309	25.000	25.000
	4			
	6			
	8			
180	2	6311	25.000	25.000
	4			
	6			
	8			
200	2	6312	25.000	25.000
	4			
	6			
	8			
225	2	6314	5.000	4.000
	4		14.000	12.000
	6		20.000	17.000
	8		24.000	20.000
250	2	6314	5.000	4.000
	4		14.000	12.000
	6		20.000	17.000
	8		24.000	20.000
280	2	6314	5.000	4.000
	4	6316	13.000	10.000
	6		18.000	16.000
	8		20.000	20.000
315	2	6314	5.000	4.000
	4	6319	11.000	8.000
	6		16.000	13.000
	8		20.000	17.000
355	2	6314	5.000	4.000
	4	6322	9.000	6.000
	6		13.000	11.000
	8		19.000	14.000

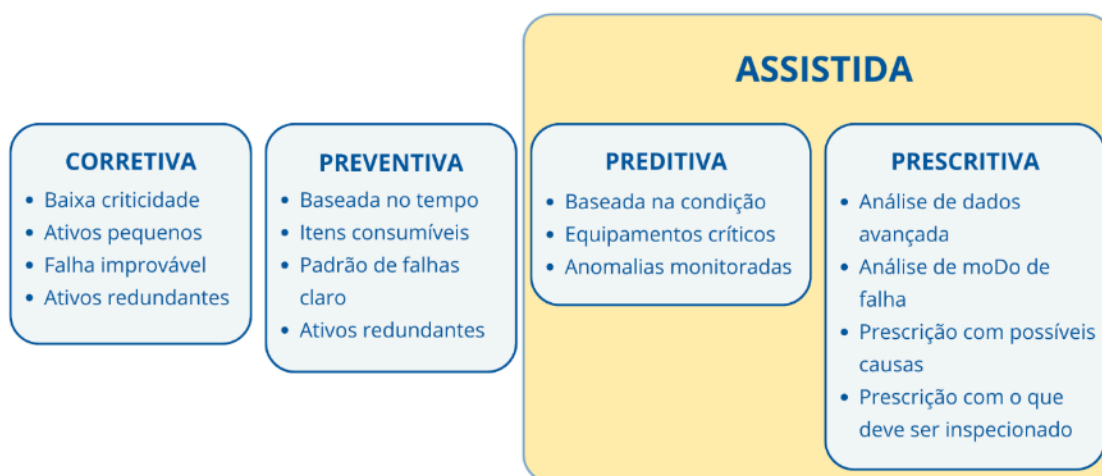
**Figura 6 – Intervalos de Relubrificação do Motor W22**

**Fonte: Catálogo WEG Motor W22 (2023)**

Dados de um relatório divulgado pela McKinsey & Company (2018), a manutenção preditiva aumenta a disponibilidade do processo produtivo em até 15% e pode representar economia de até 25%, sendo um método relevante para redução de custos operacionais.

Em face de crescentes demandas por eficiência energética, sustentabilidade e produção enxuta, os gestores precisam garantir o sucesso da companhia. Como consequência, para as estratégias de manutenção vêm-se adotando tecnologias avançadas (como Internet das Coisas e monitoramento remoto, por exemplo), automação e análise computacional de dados com o objetivo de obter maior eficácia na produção. Isto é, a vida útil de dispositivos e equipamentos mais longa e custos com manutenção mais baixos.

Se faz, então, necessário a união dos modelos típicos de manutenção através de ferramentas modernas ligadas à conceitos de Indústria 4.0. A Fig. 7 mostra as principais características entre os métodos de manutenção corretiva, preventiva, preditiva, prescritiva e assistida.



**Figura 7 – Tipos de Manutenção**

Fonte: Adaptado de Vedan (2023)

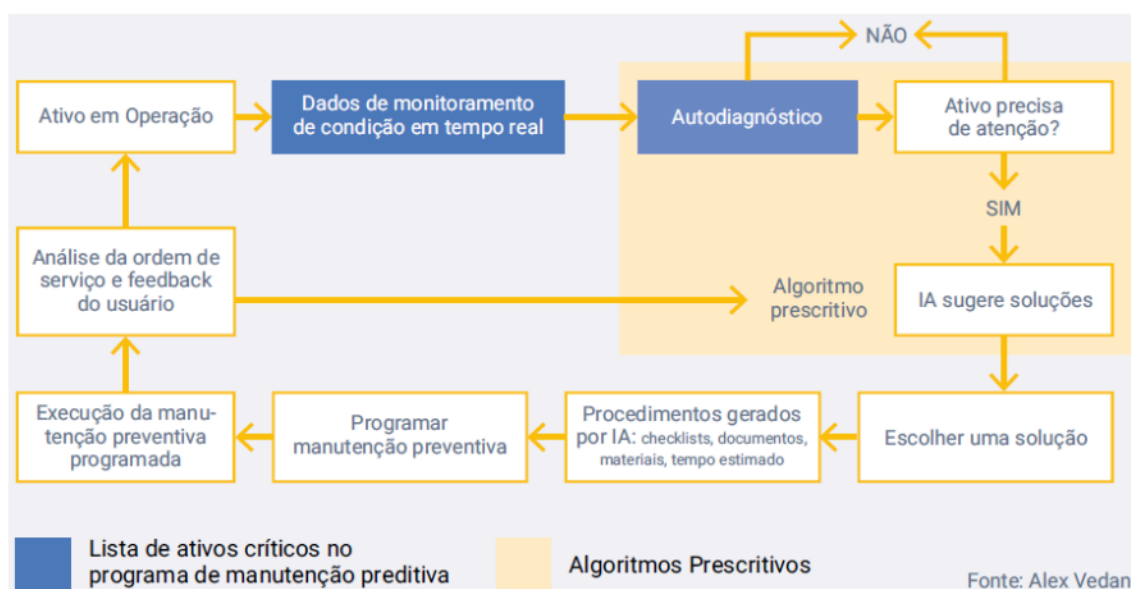
#### **4.1 Manutenção Prescritiva**

De maneira prática, são coletados dados em tempo real e com precisão através de sensores inteligentes. Os dados são processados na nuvem (*Cloud Computing*) a partir de algoritmos sofisticados de análise da condição do ativo. Essa manipulação de dados é

totalmente autônoma e em muitos casos aplica-se Inteligência Artificial. Em seguida, na plataforma de interface homem-máquina (*software* de leitura das informações, painel de informações, plataforma online) são gerados os chamados *insights* para o gestor - informações dedicadas à prescrição de possíveis causas de falha e sugestões do que deve ser inspecionado.

Com o acesso remoto por *smartphones* e/ou *tablets*, os profissionais de manutenção podem verificar em tempo real as condições dos ativos, analisar falhas, obter gráficos dinâmicos das grandezas capturadas pelos sensores e informações detalhadas sobre as possíveis falhas previstas. Quando ocorrem anormalidades, o sistema detecta e gera alertas aos profissionais (operadores, gestores, mantenedores, entre outros).

A Fig. 8, apresenta o fluxo de trabalho com a manutenção assistida por Inteligência Artificial.



**Figura 8 – Fluxograma de Manutenção Assistida por Inteligência Artificial**

Fonte: Vedan (2023)

A integração entre Internet das Coisas, *Big Data* e as práticas de manutenção promovem as seguintes vantagens:

1. Melhora ou substitui as manutenções ineficientes;
2. Cria cronogramas de manutenção mais precisos e dinâmicos que orientam a equipe para atuar de maneira mais assertiva;
3. Garantem o planejamento das intervenções nos ativos monitorados.

## 4.2 Gestão de Manutenção em Motores Elétricos

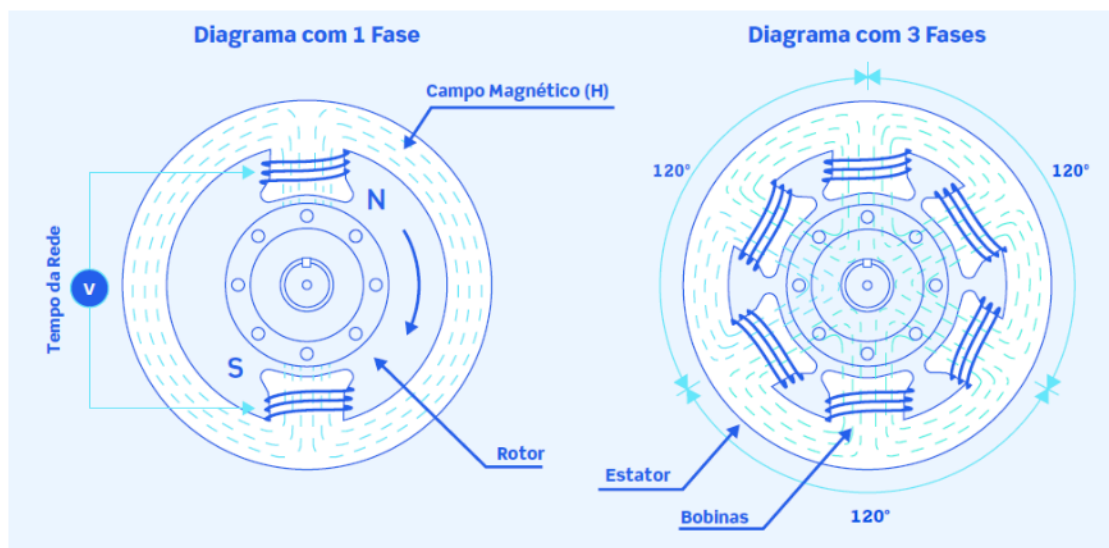
Motores são fundamentais para o funcionamento contínuo de fábricas e sistemas, convertendo energia elétrica em movimento. Desde equipamentos industriais de grande porte até sistemas menores, como ventiladores, os motores desempenham um papel vital na operação. No entanto, falhas inesperadas podem ter consequências graves, incluindo interrupção da produção, aumento de custos e riscos à segurança. Motores Elétricos do tipo “gaiola de esquilo” e corrente alternada, como o mostrado na Fig. 9 são amplamente utilizados no setor produtivo.



**Figura 9 – Motor trifásico modelo W22**

**Fonte: Catálogo WEG (2023)**

CORDEIRO (2023) explica que os circuitos elétricos (monofásicos ou trifásicos) são dispostos internamente no motor. Conforme mostrado na Fig. 10, induzindo um campo magnético rotativo em torno do rotor, o eixo se move em sincronia com a frequência da alimentação elétrica. A presença desse campo magnético girante induz uma corrente elétrica no condutor do rotor, que por sua vez gera uma força eletromagnética. De acordo com a Lei de Lorentz, essa força é responsável pelo movimento rotativo do sistema. Eventos que refletem o mau funcionamento do motor, denotam perda parcial ou total de suas funções. Para evitar essas condições inadequadas, é imprescindível monitorar a “saúde” dos motores.



**Figura 10 – Fluxo eletromagnético interno no motor elétrico**

**Fonte: Cordeiro (2023)**

Inicialmente, manutenção era baseada na percepção sensorial humana, que incluía a detecção de ruídos anormais, vibrações e mudanças de temperatura. Embora essa abordagem fosse econômica e de fácil implementação, apresentava várias limitações. Sua eficácia dependia fortemente da habilidade e experiência do técnico responsável, e não era adequada para identificar problemas em estágios iniciais ou em equipamentos complexos. Além disso, os profissionais de manutenção frequentemente enfrentavam riscos em locais de difícil acesso, o que reduzia a eficiência dessa prática em plantas industriais de grande escala e moderna.

A evolução tecnológica introduziu sensores cabeados conectados a sistemas de monitoramento centralizado, permitindo uma coleta de dados mais frequente e precisa. Isso possibilitou análises mais detalhadas e aprimoradas. No entanto, essa abordagem também apresentou desafios significativos. Entre eles, destacam-se:

1. Altos custos de instalação e manutenção de infraestruturas cabeadas;
2. Complexidade na implantação, especialmente em plantas industriais de grande porte e com múltiplos equipamentos;
3. Riscos à segurança dos técnicos, que precisam trabalhar em áreas críticas para realizar ajustes nos sistemas.

A implementação de sensores sem fio revolucionou o monitoramento de ativos, proporcionando soluções mais eficientes, seguras e práticas:

1. Instalação simplificada, sem a necessidade de infraestrutura cabeadas;
2. Coleta contínua e integrada de dados, acessíveis em plataformas online;
3. Redução da exposição de técnicos a riscos, graças ao acesso remoto aos dados;
4. Integração com inteligência artificial, permitindo análises preditivas e decisões baseadas em alto volume de dados (*big data*) coletados pelos sensores em tempo real.

#### **4.2.1. As principais causas de falha em Motores Elétricos**

As principais causas de falha em motores elétricos são de natureza mecânica e/ou elétrica. Conhecer essas causas é essencial para que sejam evitadas MATTEDE (2023), são elas:

1. Desalinhamento: ocorre quando o eixo de acionamento do motor (rotor) ou a peça de acoplamento não estão corretamente alinhados com a carga, resultando na transferência de esforços mecânicos espúrios que aumentam o desgaste do motor e a sua carga mecânica aparente. Ocorre um aumento no nível global de vibração.
2. Falhas de Lubrificação: aumento do atrito, temperatura excessiva e redução da vida útil dos componentes internos do motor. Isso ocorre por lubrificante inadequado (fora das especificações) ou negligência quanto à troca periódica do fluido ou em quantidade insuficiente. Gera elevação gradual da temperatura de operação e vibrações constantes em patamar mais elevado de frequência.
3. Desgastes do rolamento: problemas como ruídos excessivos, vibrações e aumento da temperatura de funcionamento são os principais indícios de que há problemas com o rolamento. São resultado de desgaste dos rolamentos, falta de lubrificação ou contaminação do fluido lubrificante. Essas anomalias podem provocar falhas catastróficas, se não forem reparadas a tempo.
4. Desbalanceamento de eixo: ocorre quando uma parte giratória do centro de uma massa não gira sobre o eixo de rotação, causando desequilíbrio e

provocando vibrações excessivas na frequência de rotação do motor. Na análise espectral de vibração e velocidade, ocorrem picos característicos de frequência durante a operação;

5. Folga do eixo: com o tempo ou com peças feitas com materiais de baixa resistência ou o próprio movimento do motor podem ocasionar desgastes que alteram o ajuste das peças;
6. Pé suave: a causa desta falha no motor elétrico está relacionada à superfície onde ele e a carga estão instalados;
7. Sobrecarga: quando há uma exigência de torque no motor além da sua capacidade máxima;
8. Transientes de tensão: anomalias existentes na rede de energia que podem danificar o motor;
9. Distorção de harmônicas: deformidades nas características físicas da onda senoidal de tensão da fonte de alimentação elétrica do motor;
10. Fases desbalanceadas: consumo excessivo de corrente em uma das fases pode causar sérios danos ao motor;
11. Corrente Sigma: correntes parasitas presentes num condutor elétrico que podem diminuir a vida útil do motor.

#### **4.2.2. Impactos da inatividade de motores elétricos**

Os motores nem sempre queimam, mas quando eles apresentam falha é preciso:

1. Parar a produção;
2. Solicitar o reparo;
3. Requisitar itens para o reparo no estoque;
4. Providenciar aquisição de itens ao setor de suprimentos, caso não tenham sobressalentes em estoque;
5. Programar o reparo junto à equipe de manutenção.

Os processos citados anteriormente podem representar um longo tempo de inatividade do motor elétrico no processo produtivo. *Downtime* é um termo utilizado para descrever o período de tempo em que uma máquina, equipamento, sistema ou processo está inoperante ou não está funcionando corretamente. Isso

pode ocorrer devido a várias razões, como planejamento de manutenção inadequado, falhas técnicas, problemas de fornecimento de energia, entre outros.

O impacto do *downtime* na indústria pode ser significativo e afetar negativamente a produtividade, a eficiência e a rentabilidade. Aqui estão alguns dos principais impactos do *downtime* na indústria:

1. Perda de produtividade: O *downtime* pode levar a uma redução significativa na produtividade, pois as máquinas e equipamentos não estão funcionando corretamente.

2. Custo financeiro: O *downtime* pode gerar custos financeiros significativos, incluindo a perda de receita, custos de manutenção e reparo, e custos de substituição de peças e componentes.

3. Impacto na qualidade: O *downtime* pode afetar negativamente a qualidade dos produtos ou serviços, pois as máquinas e equipamentos não estão funcionando corretamente.

4. Risco de segurança: O *downtime* pode aumentar o risco de acidentes e lesões, pois as máquinas e equipamentos não estão funcionando corretamente.

5. Impacto na reputação: O *downtime* pode afetar negativamente a reputação da empresa, pois os clientes podem perceber a falta de confiabilidade e eficiência.

A avaliação do custo por *downtime* envolve uma análise abrangente e multidimensional dos gastos incorridos durante o período de inatividade de um ativo. Essa abordagem transcende as perspectivas tradicionais, considerando tanto os custos diretos e evidentes de reparo quanto os custos indiretos e ocultos associados às interrupções.

Os custos diretos, que incluem despesas tangíveis como mão de obra e peças de reposição, variam de acordo com o tipo de equipamento, complexidade da reparação e disponibilidade de peças. Já os custos indiretos, que abrangem fatores menos evidentes, incluem a perda de receitas de produção, danos à qualidade e à reputação, tanto da organização quanto do produto.

A compreensão mais profunda dos impactos financeiros e operacionais do *downtime*, permite que as organizações desenvolvam estratégias mais eficazes para minimizar esses custos e maximizar a eficiência e produtividade.

Portanto, não basta apenas inspecionar de forma pontual as condições de “saúde” do motor ou mesmo atuar somente considerando as recomendações de manutenção do fabricante, o ideal é monitorá-lo ininterruptamente para garantir as características nominais do ativo. Assim, prolongar a vida útil dos componentes. Uma das principais estratégias é o monitoramento remoto dos motores elétricos através dos sensores inteligentes acoplados em suas respectivas carcaças.

### **4.3. Monitoramento Remoto em Motores Elétricos**

O monitoramento remoto em motores elétricos pode fazer com que os mesmos se transformem em “ativos inteligentes”, assim, eles se beneficiam de serviços mais eficazes de manutenção e operação. A detecção automática das falhas elimina as paradas inesperadas da produção através de dispositivos inteligentes (IoT Industrial) acoplados ao ativo que se deseja monitorar (motor elétrico).

Esses dispositivos são dotados de sensores embarcados, onde captura-se dados de vibração em três direções (radial, axial e tangencial), temperatura de carcaça, tempo de operação, corrente do campo magnético interno do motor, entre outros parâmetros. A partir destes, processam-se os dados coletados com algoritmos preestabelecidos e então geram-se gráficos, *insights* e demais informações relevantes capazes de promover a redução do tempo de parada do motor, o prolongamento da sua vida útil e a redução do consumo de energia.

De maneira geral, os principais sensores internos num dispositivo inteligente para monitoramento remoto de motores elétricos são:

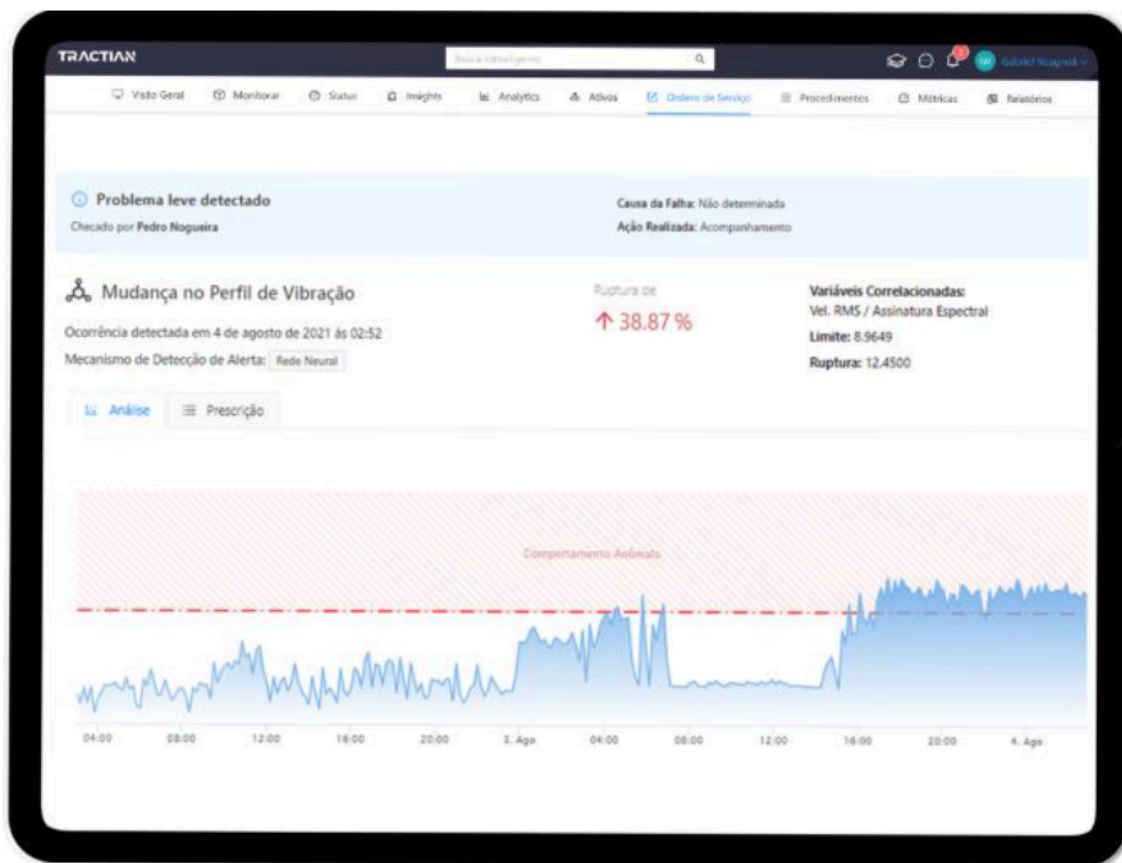
1. **Acelerômetro:** amplamente utilizados para monitorar vibrações em motores elétricos. Mede a aceleração linear ou angular do motor em movimento. Esses sensores são posicionados no dispositivo inteligente para serem capazes de perceber perturbações vibratórias nas direções radial, axial e tangencial do motor. Fundamentais para detecção de falhas de desbalanceamento, desalinhamento e condição de rolamentos.

2. Sensor de Efeito Hall: detecta campos magnéticos e converte essa informação em um sinal elétrico. Possui alta precisão, alta sensibilidade e rápido tempo de resposta. Através do campo magnético interno do motor, é capaz de coletar dados de velocidade e sentido de rotação do eixo, além de correntes elétricas. Essenciais para análise de falhas elétricas e de anomalias na velocidade de rotação do motor.

3. Sensor de Temperatura: sensíveis à temperatura ambiente e convertem essa excitação em sinais elétricos, permitindo medir e monitorar temperaturas na superfície onde os dispositivos de monitoramento são instalados. Isto é, monitoram a temperatura de carcaça do motor. Promove a análise de falha com causa em superaquecimento, por exemplo.

4. Horímetro: registra o tempo de funcionamento do motor. O tempo de operação costuma ser uma variável relevante para a análise de vida útil de um sistema ou subsistema do motor elétrico. A Fig. 6, por exemplo, mostra recomendações do fabricante para a lubrificação do motor considerando suas horas de trabalho.

A partir dos dados coletados dos ativos monitorados pelos sensores inteligentes, há um processamento computacional e então as informações são disponibilizadas em plataformas online em tempo real. Os gráficos são gerados através da aplicação da Transformada Rápida de Fourier (FFT – Fast Fourier Transform), representações visuais das frequências componentes dos sinais captados pelos sensores embarcados nos dispositivos inteligentes. Os gráficos são gerados com base nos parâmetros de intensidade ao longo do tempo, conforme exemplificado na Fig. 11.



**Figura 11 – Plataforma TracOs**  
**Fonte: Site da TRACTIAN (2025)**

O monitoramento remoto utiliza a chamada “Cloud Computing” (Computação em Nuvem) que é um modelo de prestação de serviços de tecnologia da informação (TI) pela internet, permitindo acesso a recursos computacionais, armazenamento e aplicativos de forma sob demanda, escalável e pagos conforme o uso. Como principais vantagens, podemos destacar:

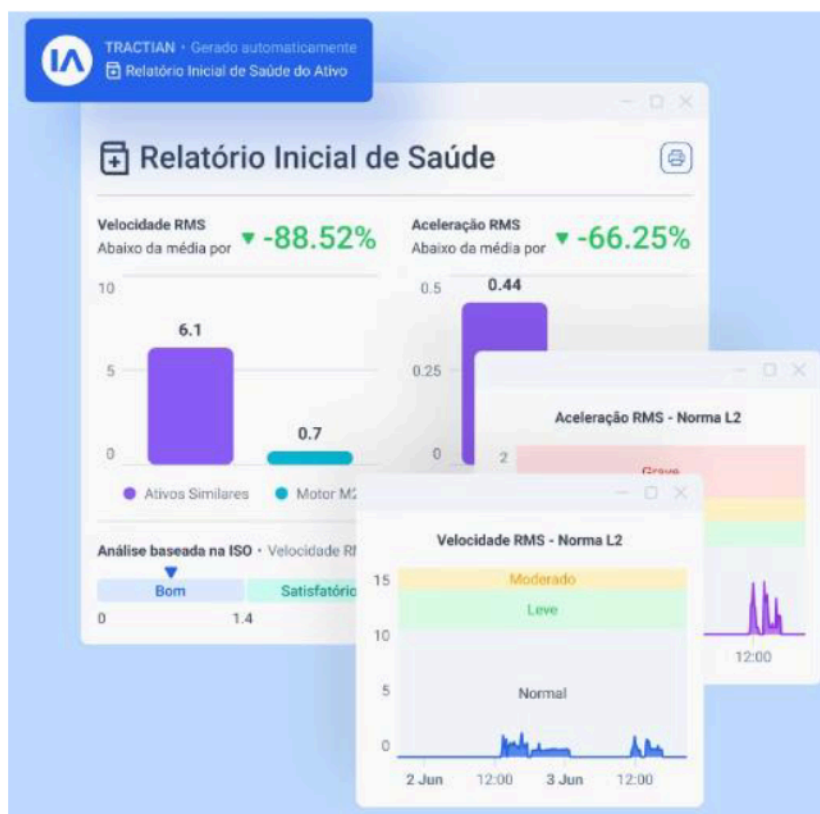
1. Escalabilidade: Ajuste automático de recursos conforme demanda.
2. Flexibilidade: Acesso a recursos de qualquer lugar, a qualquer hora.
3. Redução de custos: Pagamento apenas pelo uso efetivo.
4. Agilidade: Implantação rápida de novos serviços e aplicativos.
5. Segurança: Proteção contra perdas de dados e acesso não autorizado

As plataformas, por sua vez, são denominadas CMMS (*Computerized Maintenance Management System*) onde são soluções de *software* que gerenciam e otimizam processos de manutenção dos motores. No mercado atual, há plataformas de monitoramento remoto com diversos níveis de informação apresentadas, considerando os fatores de complexidade, detalhamento e assertividade da análise assistida por

Inteligência Artificial. De maneira geral, as principais funcionalidades disponibilizadas por essas plataformas são:

1. Gerenciamento de Ordens de Serviço: Atribuição e acompanhamento de ordens de manutenção.
2. Controle de Inventário: Gerenciamento de ativos monitorados.
3. Agendamento de Manutenção: Planejamento e programação de manutenções preventivas e corretivas.
4. Registro de Histórico: Armazenamento de registros de manutenções realizadas.
5. Análise de Dados: Relatórios e gráficos para avaliar desempenho e identificar oportunidades de melhoria.
6. Gerenciamento de Equipes: Atribuição de tarefas e acompanhamento do trabalho de técnicos.
7. Integração com Outros Sistemas: Conexão com sistemas de gerenciamento.

A Fig .12, mostra exemplos de informações disponibilizadas pela plataforma de monitoramento remoto para motores elétricos da empresa TRACTIAN, denominada TracOs.



**Figura 12 – Relatório Inicial de Saúde plataforma TracOs**

**Fonte: Site da TRACTIAN (2025)**

A aplicação de monitoramento remoto em motores elétricos é caracterizada por:

1. Gráficos dinâmicos com dados em tempo real;
2. Dados armazenados em nuvem;
3. Privacidade de informações, segurança da informação (*Data Security*);
4. Relatórios personalizados;
5. Possibilidade de integração com outros aplicativos (interoperabilidade);
6. Alertas e alarmes automáticos quando houver resultado de medição fora do padrão recomendado para operação.

## Capítulo 5

### 5. Modelos de Sensores Inteligentes para Motores Elétricos

Nesse capítulo, apresentam-se três modelos de sensores inteligentes disponibilizados no mercado brasileiro para monitoramento de motores elétricos. Foram selecionados os seguintes dispositivos: WEG Motor Scan, ABB Ability Smart Sensor e SmartTRAC. Equipamentos dos fabricantes WEG, ABB e TRACTIAN, respectivamente. Também são apresentados os softwares (CMMS) de visualização e gerenciamento dos dados que atuam em conjunto com cada sensor.

#### 5.1 WEG Motor Scan

O sensor inteligente WEG Motor Scan faz parte do portfólio de digitalização do fabricante WEG como uma solução inovadora para o monitoramento e manutenção da frota de acionamentos industriais. Com sua capacidade de análise preditiva, essa tecnologia assegura um nível de excelência na operação dos motores elétricos e outros equipamentos, reduzindo o risco de falhas e aumentando a eficiência operacional. A Fig. 13 apresenta esse dispositivo.



**Figura 13 – WEG Motor Scan**

**Fonte: Catálogo WEG Motor Scan (2024)**

Para elevar o nível de gestão da manutenção industrial, o WEG Motor Scan conta com uma nova solução *cloud-based* para o armazenamento e processamento dos dados, o *software* WEG Motion Fleet Management.

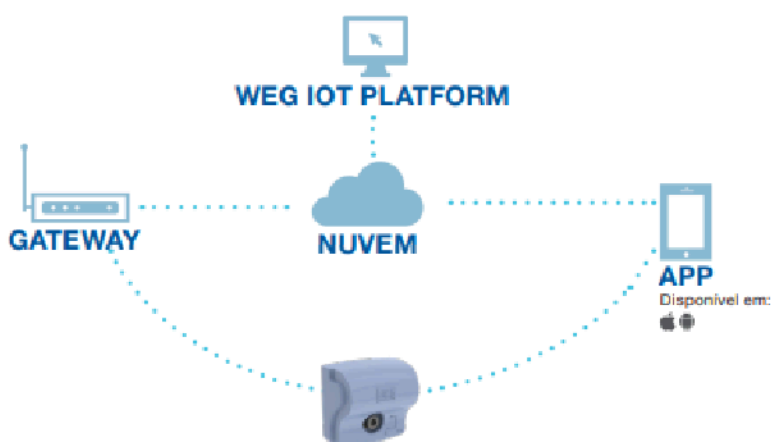
A instalação do WEG Motor Scan é rápida e fácil, com orientações passo a passo fornecidas diretamente no aplicativo durante a configuração do sensor. Além disso, a instalação é simplesmente fixada com parafuso na aleta do motor, sem necessidade de conexões elétricas adicionais. A Fig. 14 apresenta o dispositivo acoplado ao motor elétrico.



**Figura 14 – WEG Motor Scan acoplado ao motor elétrico**

**Fonte: Catálogo WEG Motor Scan (2024)**

O WEG Motor Scan monitora, em tempo real, os dados do motor elétrico, como: vibração, temperatura e horas de funcionamento, diagnosticando eventuais falhas. As informações são coletadas e enviadas para a nuvem através da conexão *Bluetooth* por *Smartphone* ou *Gateway* (antena). Os dados armazenados podem ser analisados na tela do *smartphone* de forma dinâmica e, em maior profundidade, na plataforma WEG Motion Fleet Management. A Fig.15, ilustra a transmissão dos dados coletados pelo sensor.



**Figura 15 – Sistema de transmissão de dados WEG Motor Scan**

**Fonte: Catálogo WEG Motor Scan (2024)**

Os dados podem ser transmitidos via *Bluetooth* para o smartphone de maneira manual, pelo aplicativo, onde o usuário estabelece o pareamento com o dispositivo e inicia o carregamento dos dados para a nuvem ou esse processo pode ser executado automaticamente através da *Gateway* (antena), posicionada e programada especificamente para os sensores. As informações do motor são armazenadas na nuvem e processadas para análise no WEG Motion Fleet Management. Projetado para simplificar e agilizar a operação, manutenção e gestão de plantas industriais, o WEG Motion Fleet Management é uma solução de *software* avançada que permite monitorar e aumentar a disponibilidade da frota de acionamentos industriais. Com base na tecnologia de computação em nuvem, é possível acompanhar o desempenho dos ativos em tempo real, de qualquer lugar do mundo, a qualquer momento.

As principais funcionalidades e características dessa tecnologia são:

- Projeto para motores com carcaça tamanho 63 a 560;
- Medição de vibração axial até 3kHz em valores globais de velocidade e aceleração nos 3 eixos;
- Diagnóstico assistido por Inteligência Artificial sobre anomalias como: desbalanceamento e desalinhamento;
- Medição de temperatura na superfície do motor;
- Estimativas de carga, potência, velocidade (rpm) e frequência de alimentação;
- Medição do tempo de operação do motor;
- Intervalos de relubrificação dos mancais;
- Alimentado por bateria interna com vida útil estimada de 3 anos;
- Resistente à temperatura ambiente de -40 a 80°C;
- Dimensões totais do dispositivo: 44x38x25mm
- Grau de Proteção IP66;
- Capacidade de armazenamento de dados: 1 mês

O WEG Motor Scan utiliza algoritmos avançados para aprender os padrões e desvios de funcionamento do motor elétrico monitorado, analisando indicadores como desbalanceamento, desalinhamento, carga e consumo. Esses dados são então disponibilizados automaticamente por meio do módulo WEG Motor Specialist no WEG

Motion Fleet Management, fornecendo uma visão detalhada e precisa do desempenho do motor. Com base no aprendizado adquirido, o sensor identifica vibrações fora do padrão, sem necessidade de intervenção humana, permitindo uma detecção precoce de problemas potenciais no equipamento monitorado. A inteligência artificial é utilizada para otimizar a confiabilidade, produtividade e disponibilidade da máquina, resultando em um funcionamento mais eficaz e confiável.

Com o WEG Motion Fleet Management, é possível acesso a informações precisas sobre o estado operacional de motores em qualquer tipo de indústria ou instalação. A coleta de dados e o processamento avançado geram insights valiosos, permitindo que seja estabelecido planos de manutenção preditiva baseados na condição operacional da frota de motores. Isso reduz as paradas não planejadas, otimiza as ações de reparo e acelera a tomada de decisão da equipe de operação e de manutenção.

O módulo Specialist emprega algoritmos de Inteligência Artificial para detectar falhas mecânicas em estágios iniciais. Com essa ferramenta, os usuários recebem notificações com diagnósticos de falhas antecipados, permitindo um planejamento de manutenção mais eficaz. Ao analisar os dados coletados pelo WEG Motor Scan e armazenados no WEG Motion Fleet Management, o módulo Specialist pode identificar problemas específicos, como desalinhamento de motor causando vibrações excessivas. Para utilizar o módulo Specialist, é necessário ter um plano de assinatura ativo do WEG Motion Fleet Management associado ao respectivo sensor inteligente. A Fig. 16, foi extraída do manual do WEG Motor Scan e apresenta os principais parâmetros do motor disponibilizados na plataforma de gerenciamento dos ativos monitorados. Ela contém a lista das medições e diagnósticos exibidos para os usuários habilitados na plataforma.

Parâmetros	WEG Motion Fleet Management	WEG Motor Specialist
<b>Medições Suportadas</b>		
Vibração global em 3 eixos (mm/s)	•	•
Espectro de vibração	•	•
Temperatura superficial (°C)	•	•
Tempo de funcionamento (h)	•	•
Frequência de alimentação (Hz)	•	•
Rotação (rpm)	•	•
Carga (%) <sup>1) 2)</sup>		•
Consumo de energia (kWh) <sup>1) 2)</sup>		•
<b>Diagnóstico de falhas<sup>1)</sup></b>		
■ Desbalanceamento		•
■ Desalinhamento		•
■ Rolamentos (falha avançada)		•
■ Vibração externa		•

Notas: 1) Recurso disponível para acionamento direto na rede e futuramente estará disponível também para acionamentos com inversor de frequência.  
2) Valores estimados.

**Figura 16 – Lista de parâmetros e medições suportadas pelo WEG Motor Scan**

**Fonte: Catálogo WEG Motor Scan Specialist (2024)**

## 5.2. ABB Ability Smart Sensor

O ABB Ability Smart Sensor é uma ferramenta correspondente aos conceitos da Indústria 4.0 para a manutenção preditiva e a otimização da eficiência em ambientes industriais. O dispositivo fornece *insights* relevantes sobre o estado dos motores monitorados, permitindo que as equipes de manutenção tomem decisões calcadas em informações, reduzam custos associados à gestão ineficiente dos ativos, aumentem a disponibilidade de equipamentos e melhoram a qualidade operacional no processo produtivo.

O equipamento ABB Ability Smart Sensor é uma solução de monitoramento de condições para motores de baixa tensão. Converte máquinas simples em dispositivos inteligentes conectados sem fio, fornecendo informações significativas sobre a condição e o desempenho do motor. A Fig 17 apresenta o dispositivo.



**Figura 17 – ABB Ability Smart Sensor**

**Fonte: Manual do ABB Ability Smart Sensor (2020)**

Com o ABB Ability Smart Sensor, é possível realizar a manutenção preditiva, planejando a manutenção de acordo com as necessidades reais do motor. Além disso, o dispositivo fornece relatórios detalhados que ajudam a melhorar o desempenho de aplicações acionadas por motor. A Fig.18 ilustra a instalação do dispositivo ao motor.



**Figura 18 – ABB Ability Smart Sensor instalado no motor**

**Fonte: Manual do ABB Ability Smart Sensor (2020)**

O dispositivo inteligente é instalado de maneira não-invasiva no motor elétrico. Inicialmente, é fixada uma base sob pressão na aleta da carcaça do motor. Em seguida, o sensor é acoplado por parafuso à essa base. Esses são os principais passos para instalação do ABB Ability Smart Sensor no motor:

1. Preparação do local de instalação: Confirmação de que o local de instalação esteja limpo e seco.
2. Fixação do sensor: Fixação do sensor ao motor utilizando o parafuso fornecido.

3. Configuração do sensor: Configuração do sensor utilizando o aplicativo móvel ABB Ability Smart Sensor.

4. Conexão à nuvem: Conecte o sensor à nuvem utilizando a tecnologia Bluetooth.

5. Teste do sensor: Teste o sensor para garantir que esteja funcionando corretamente.

O sensor mede com precisão os principais parâmetros do motor em intervalos regulares, incluindo vibrações, temperatura e outros indicadores de desempenho. São, no total, 13 grandezas apresentadas na plataforma de acompanhamento e análise.

1. Vibração global
2. Vibração radial
3. Vibração tangencial
4. Vibração axial
5. Condição de rolamento
6. Temperatura de Carcaça
7. Tempo entre paradas
8. Tempo de operação
9. Intervalo de lubrificação
10. Potência de Saída
11. Estimativa do consumo de energia
12. Estimativa de velocidade
13. Número de partidas

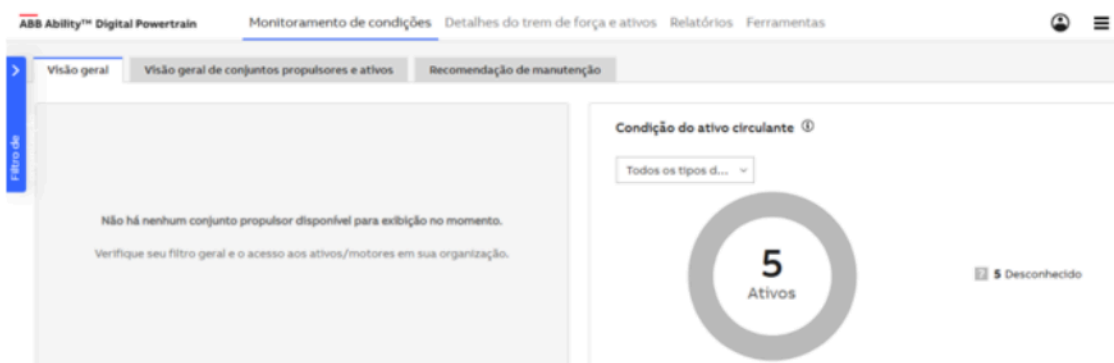
Os dados coletados são transmitidos utilizando a tecnologia *Bluetooth* para um *smartphone* ou *gateway*, e subsequentemente para um servidor seguro baseado na nuvem.

A transmissão de dados é realizada utilizando protocolos de criptografia padrão do setor, garantindo a segurança e a confidencialidade dos dados. Além disso, todos os dados são armazenados na nuvem de forma criptografada, adicionando uma camada extra de segurança.

A análise de dados é realizada com algoritmos sofisticados, desenvolvidos com base na vasta experiência da ABB em monitoramento de motores. Esses algoritmos geram informações precisas sobre o desempenho do motor, incluindo alertas de problemas potenciais e recomendações personalizadas para manutenção preventiva.

As informações geradas são enviadas diretamente para o *smartphone* do usuário e para um portal dedicado da ABB Ability Smart Sensor, denominado ABB Ability Digital Powertrain. Isto é, os dados são rastreados ao longo do tempo para análise de tendências, permitindo que os usuários identifiquem padrões e tendências no desempenho do motor.

A Fig. 19, apresenta a tela principal da plataforma ABB Ability Digital Powertrain. Sendo assim, é possível observar as principais funcionalidades disponíveis no *software*, como: detalhamento dos ativos monitorados, relatórios, visão geral da condição de “saúde” dos motores, número de ativos habilitados para a visualização do usuário, recomendações de manutenção geradas pela Inteligência Artificial. No caso, da Fig. 19, foram desabilitadas as informações por questão de segurança de dados. Não foram encontradas imagens genéricas disponíveis em manuais para mera ilustração das informações na plataforma.



**Figura 19 – Plataforma ABB Ability Digital Powertrain**

**Fonte: Próprio Autor**

### 5.3. Smart Trac

O sensor de monitoramento remoto Smart Trac é um dispositivo *IoT* da empresa TRACTIAN aplicado na manutenção preditiva mais avançada ou manutenção prescritiva ou manutenção assistida. Possui conectividade 3G/4G e dispara alertas em tempo real e automaticamente sobre qualquer mudança na vibração que possa indicar um problema em potencial no ativo. Desta forma, é uma tecnologia que não utiliza o pareamento Bluetooth para enviar os dados à nuvem, sendo então feita de maneira autônoma no dispositivo inteligente com um receptor via comunicação sem fio (Frequência 915MHz ISM/Protocolo IEEE 912.15.4G). A Fig. 20 mostra o dispositivo Smart Trac (versão ULTRA).



**Figura 20 – Sensor Smart Trac - versão ULTRA**

**Fonte: Site da TRACTIAN (2025)**

O dispositivo é integrado ao software TracOs, que oferece uma plataforma completa para a análise de dados e gerenciamento de ativos industriais. Com acesso por aplicativo ou *web*, as empresas podem gerenciar de forma eficiente suas máquinas, equipamentos e sistemas críticos.

A capacidade do dispositivo de detectar mais de 70 tipos de falhas com base em dados de vibração, temperatura e hora coletados em tempo real garante a confiabilidade do ativo monitorado. Isso permite uma detecção precoce de problemas potenciais e uma gestão de manutenção mais eficaz.

As principais funcionalidades da plataforma TracOs são:

1. Monitorização em tempo real: A plataforma TracOs permite a monitorização em tempo real da saúde e do desempenho dos ativos industriais, utilizando sensores e dispositivos de coleta de dados.

2. Análise de dados: A plataforma TracOs analisa os dados coletados para identificar tendências e padrões, permitindo que as empresas antecipem e previnam problemas.

3. Alertas e notificações: A plataforma TracOs envia alertas e notificações para eventos críticos, permitindo que as equipes de manutenção e operação tomem ações rápidas e eficazes.

4. Planejamento de manutenção: A plataforma TracOs permite o planejamento de manutenção preventiva e preditiva, ajudando as empresas a reduzirem os custos de manutenção e reparo.

5. Integração com outros sistemas: A plataforma TracOs pode ser integrada com outros sistemas de gestão de ativos industriais, como sistemas de gerenciamento de manutenção (CMMS) e sistemas de gerenciamento de produção (MES).

A plataforma TracOs é projetada para ser escalável e flexível, permitindo que as empresas a adaptem às suas necessidades específicas. Além disso, a plataforma é desenvolvida com tecnologias de ponta, como inteligência artificial e *machine learning*, para fornecer *insights* precisos e acionáveis para as empresas.

Portanto, o dispositivo gera automaticamente uma análise de falha e prescreve as ações necessárias para restaurar o pleno funcionamento do ativo. Essa abordagem proativa e preditiva permite que os usuários antecipem e previnam falhas, reduzindo assim os custos de manutenção e aumentando a disponibilidade e confiabilidade dos ativos.

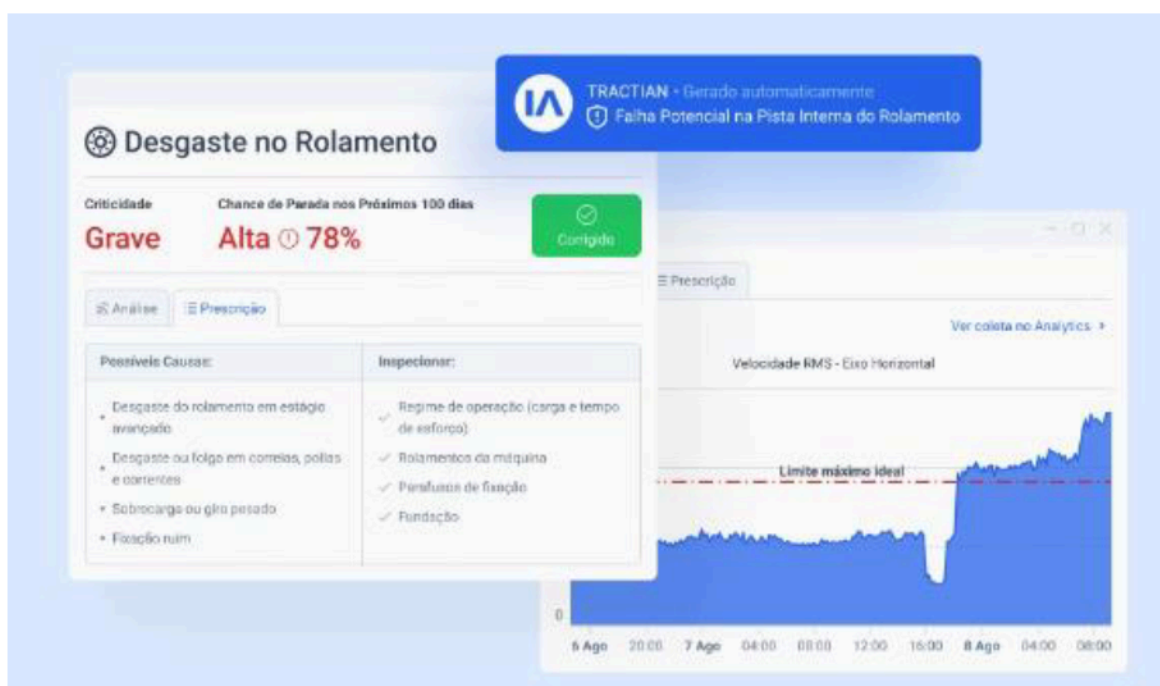
A equipe de manutenção realiza uma intervenção no ativo após receber um alerta da plataforma de monitoramento, como mostrado na Fig. 21. Após a realização da manutenção, a equipe verifica a precisão do diagnóstico e informa o sistema sobre a falha identificada e a eficácia do diagnóstico. Esse processo de feedback permite que a tecnologia de *Machine Learning* (Aprendizado de Máquina) absorva os dados e aprimore seu conhecimento sobre as máquinas, melhorando a precisão das detecções futuras.



**Figura 21 – Alerta gerado pela plataforma TracOS**

**Fonte: Adaptado de GRANZOTTI (2024)**

Essa abordagem de aprendizado contínuo permite que a plataforma de monitoramento melhore sua capacidade de detecção de falhas e forneça diagnósticos mais precisos e assertivos. Como resultado, a intervenção no ativo pela equipe de manutenção é otimizada, reduzindo o tempo de inatividade e os custos de manutenção. Além disso, a melhoria contínua da precisão do diagnóstico permite que as empresas tomem decisões mais bem informadas e eficazes para a manutenção e operação de seus ativos. As Figuras 22-23, mostram alguns exemplos das telas da plataforma TracOs apresentando suas informações de análise.



**Figura 22 – Diagnóstico de Desgaste no Rolamento pela plataforma TracOs**

Fonte: Site da TRACTIAN (2025)



**Figura 23 – Telas da plataforma TracOs**

Fonte: Site da TRACTIAN (2025)

A instalação pode ser feita por colagem (adesivo) ou aparafusamento (parafuso M8). Indica-se fixação por parafuso em ativos com vibração elevada e/ou ambientes agressivos. Após a instalação, são parametrizadas as características da ativo como: modelo, dados de placa e posição de instalação do *IoT*. Assim, é possível gerar relatório de “saúde” do motor em menos de 24h. Em poucos dias, a Inteligência Artificial vai aprendendo o comportamento completo da máquina e é capaz de detectar falhas antecipadamente.

Esses são alguns passos gerais para instalar o dispositivo Smart Trac no motor a ser monitorado:

1. Preparação do dispositivo: Retire o dispositivo Smart Trac da embalagem e verifique se todos os componentes estão incluídos.
2. Instalação do dispositivo: Fixe o dispositivo Smart Trac no equipamento ou máquina que será monitorada, utilizando os parafusos ou adesivos fornecidos.
3. Configuração do dispositivo: Acesse a plataforma TracOs e configure o dispositivo Smart Trac, fornecendo as informações necessárias, como o tipo de equipamento, a localização e as configurações de comunicação.

4. Teste do dispositivo: Verifique se o dispositivo Smart Trac está funcionando corretamente, transmitindo dados para a plataforma TracOs e recebendo comandos e atualizações.

A Fig. 24 ilustra a instalação através da fixação por adesivo do dispositivo Smart Trac na carcaça do motor elétrico.



**Figura 24 – Acoplamento do Smart Trac ao motor elétrico**

**Fonte: Site da TRACTIAN (2025)**

#### 5.4. Comparativo entre os Sensores Inteligentes

Foi desenvolvido na Tabela 1 um comparativo entre as principais características dos sensores inteligentes abordados no Capítulo 5. Assim, possibilita uma análise facilitada frente aos respectivos atributos dos dispositivos. As informações foram extraídas pelas folhas de dados disponibilizadas por cada fabricante.

**Tabela 1 – Lista de Atributos dos Sensores Inteligentes**

<b>Atributo</b>	<b>WEG Motor Scan</b>	<b>ABB Ability Smart Sensor</b>	<b>Smart Trac</b>
Tamanho de Carcaça	IEC 63 a 560	IEC 56 a 500	Motores até 1000kW
Medição de Vibração	Radial/Axial/ Tangencial (até 3kHz)	Radial/Axial/ Tangencial (até 1kHz)	Radial/Axial/ Tangencial (até 3kHz)
Espectro de Vibração	Sim	Sim	Sim
Diagnóstico Balanceamento	Sim	Sim	Sim
Diagnóstico Rolamentos	Não	Sim	Sim
Medição de Temperatura Superficial	Sim	Sim	Sim
Estimativa do Consumo de Energia	Não	Sim	Sim
Estimativa de Carga	Sim	Sim	Sim
Estimativa de Potência	Sim	Sim	Sim
Estimativa de Velocidade	Sim	Sim	Sim
Contagem do tempo de operação	Sim	Sim	Sim
Intervalo de Lubrificação	Sim	Sim	Sim
Fonte de Alimentação	Bateria (aprox. 3 anos)	Bateria (aprox. 5 anos)	Bateria (aprox. 5 anos)
Temperatura Ambiente	-40 a 80°C	-40 a 80°C	-40 a 120°C
Comunicação	Bluetooth via App ou Gateway	Bluetooth via App ou Gateway	Redes Móveis 3G/4G
Dimensões	44x38x25mm	130x76x16mm	40x71x40mm
Grau de Proteção	IP66	IP66	IP69K
Armazenamento de Dados	1 mês	900 medições	---
Intervalo entre Medições	10min - fixo	30min - ajustável	5min - fixo
Fixação	Parafuso M4x20 e bucha recartilhada	Sob pressão na aleta do motor	Adesivo ou Parafuso
Opera em área classificada	Certificação INMETRO 115/2022 Zona 0 e 20	Não	Certificação INMETRO 115/2022 Zona 0 e 20
Certificações	CE/UL/CSA/EAC	CE/UL/CSA/EAC/RCM/FCC	CE/UL/CSA/EAC
Normas de Segurança e Qualidade	IEC 60068-2-6/ IEC 60068-2-14/ IEC 60068-2-30	IEC 60068-2-6/ IEC 60068-2-14/ IEC 60068-2-30	IEC 60068-2-6/ IEC 60068-2-14/ IEC 60068-2-30
Distância máxima da Gateway	Até 50m sem barreiras	Até 50m sem barreiras	Até 1km sem barreiras
Número de dispositivos pareados na Gateway	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado
Comunicação Gateway	Cabo Ethernet/ Wi-fi/Modem 4G	Cabo Ethernet/ Wi-fi/Modem 4G	Redes Móveis 3G/4G
Alimentação Gateway	PoE	PoE	Bivolt 127/220V

**Fonte: Próprio Autor**

Siglas e Normas:

- IEC 60068-2-6 (Teste de vibração)
- IEC 60068-2-14 (Teste de umidade)
- IEC 60068-2-30 (Teste de temperatura)
- CE (Conformidade Europeia)
- UL (Underwriters Laboratories)
- CSA (Canadian Standards Association)
- EAC (Eurasian Conformity)
- RCM (Regulatory Compliance Mark)
- FCC (Federal Communications Commission)
- INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia)
- ATEX (Atmosphères Explosibles)

## **Capítulo 6**

### **6. Estudo de Caso**

Esse capítulo visa mostrar, em um Estudo de Caso, as contribuições do monitoramento remoto para motores elétricos operando em ambiente real. O Estudo de Caso foi desenvolvido em parceria com uma empresa especialista e integradora na aplicação das tecnologias de digitalização no mercado. Também houve contribuição direta da equipe de manutenção responsável pelo sistema e ativos monitorados.

#### **6.1. Introdução**

Um das maiores companhias metroviárias para mobilidade urbana no Brasil, busca cada vez mais projetos de melhoria e almeja ser referência em operação metroviária. Admirada e respeitada pelos seus clientes, colaboradores, sociedade e acionistas com a geração de valor e busca permanente pela sustentabilidade. Vem possibilitando uma evolução do transporte de qualidade, principalmente nos grandes eventos da cidade, onde opera com desafio de promover seus serviços com alta confiabilidade.

Numa estação metroviária, existia o risco de descontinuidade no funcionamento das escadas rolantes. No período do verão, havia histórico de constantes paradas não-programadas por conta do maior fluxo de pessoas na estação. As principais causas de falhas eram de natureza mecânica e elétrica onde provocavam sérios inconvenientes na estação. Além do transtorno causado no atendimento aos clientes e da dificuldade de reparos emergenciais, havia o risco de processos jurídicos pela inatividade das escadas rolantes e suas consequências com a acessibilidade no local.

A fim de garantir total disponibilidade e melhor desempenho dos principais pontos de circulação das pessoas, foi proposta a aplicação do monitoramento em tempo real através dos sensores inteligentes nos motores elétricos das escadas rolantes.

#### **6.2. Aplicação dos Dispositivos**

Inicialmente, foram escolhidos 6 motores elétricos, que operam as escadas rolantes, para a instalação dos dispositivos inteligentes. A escolha foi realizada pela

equipe técnica da companhia metroviária a partir da avaliação interna considerando os critérios de histórico de falhas e criticidade dos ativos para a operação.

Pelo quesito de custo-benefício, a coordenação de manutenção escolheu o modelo ABB Ability Smart Sensor para aplicar nessa demanda. Foi desenvolvido um contrato do tipo SaaS (*Software as a Service*) que é um modelo de entrega das informações dos ativos na plataforma através de um serviço. Desta forma, a partir do pagamento de cotas mensais precificadas por sensor ativado, os usuários podem acessar as informações sem realizar a aquisição dos dispositivos inteligentes. Isto é, durante a vigência do contrato, a equipe de manutenção se beneficiou dos dados coletados, análises assistidas por Inteligência Artificial, prescrições e *insights* gerados na plataforma ABB Ability Digital Powertrain. Já a aquisição, instalação e gestão dos sensores e suas respectivas licenças, foi de responsabilidade da empresa integradora.

Em alinhamento entre as duas empresas, foi programada uma data para parada dos motores onde viabilizou a instalação, parametrização e ativação dos sensores inteligentes. Por sua vez, o time de especialistas da empresa integradora do sistema de monitoramento participou da execução nessa etapa, bem como, o treinamento dos usuários da empresa metroviária para utilização da plataforma. A Fig. 25 mostra o dispositivo acoplado à carcaça do motor. As circunferências em vermelho destacam os dispositivos inteligentes.



**Figura 25 – Dispositivo inteligente acoplado ao motor elétrico – Estudo de Caso**

**Fonte: Próprio Autor**

Para o carregamento das informações na plataforma, foi designado que a equipe de manutenção fizesse rota de inspeção nos ativos com periodicidade de três vezes por semana. Na prática, o manutentor – dotado de um smartphone com o aplicativo da

plataforma ABB Ability Digital Powertrain instalado – se aproximava das escadas rolantes, habilitava o pareamento Bluetooth com o sensor e os dados automaticamente eram atualizados na plataforma. Tal rotina foi definida previamente ao início do contrato. Como vantagem, o custo mensal do contrato foi reduzido por não ter necessidade de utilização da *Gateway* (antena) para envio dos dados à nuvem. Como desvantagem, os dados não eram atualizados em tempo real na plataforma.

### 6.3. Resultados e Discussões

Foi possível detectar momentos de picos de vibração global, temperatura de carcaça e condição de rolamentos. Ocorrências que podem mitigar a vida útil dos equipamentos. Após os chamados automáticos enviados pela plataforma, foram realizados os ajustes pela equipe de manutenção e, conseqüentemente, reestabeleceu o funcionamento dos ativos conforme suas respectivas características nominais.

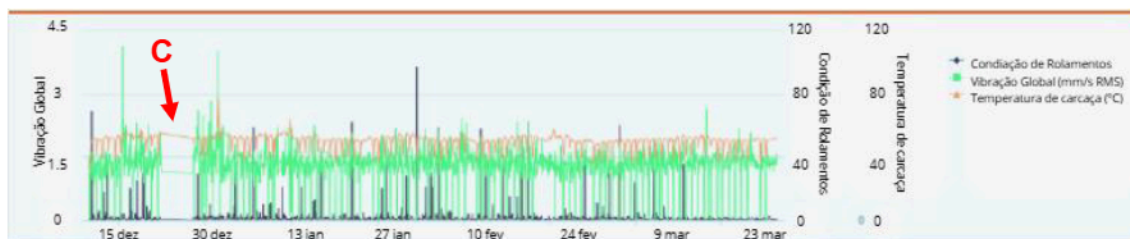
A Fig. 26, exemplifica alguns episódios de pico de temperatura de carcaça (curva na cor âmbar) e vibração global (curva na cor verde) no Motor 5. Atingindo medições de aproximadamente 70°C (destaque “A” na Fig. 26) e 4mm/s RMS (destaque “B” na Fig. 26), respectivamente.



**Figura 26 – Gráfico de análise do motor 5 – Estudo de Caso**

**Fonte: Próprio Autor**

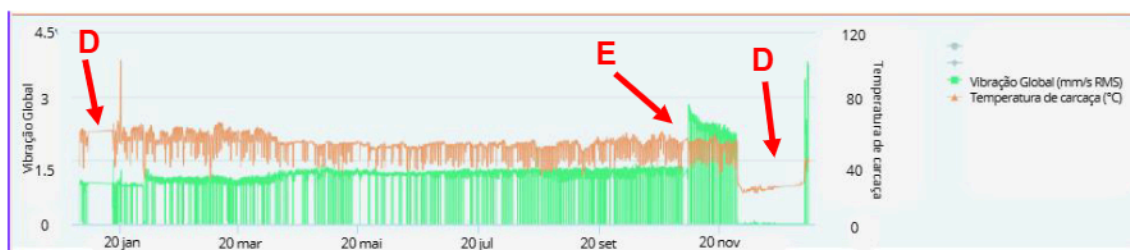
A Fig. 27, ilustra uma parada de manutenção preventiva no Motor 4 ocorrida no período de 18 a 20 de dezembro com o objetivo garantir a disponibilidade durante o Réveillon. É possível notar um intervalo sem medições nesse período, exceto a temperatura de carcaça. Isso acontece pelo fato de o sensor estar acoplado na carcaça do motor e então ser sensível à temperatura ambiente mesmo com o ativo desligado, como apresentado no destaque “C”.



**Figura 27 – Gráfico de análise do motor 4 – Estudo de Caso**

Fonte: Próprio Autor

Do ponto de vista de gestão da manutenção, é possível acompanhar não só o tempo exato de parada durante uma intervenção de reparo no ativo, mas também, o sucesso – ou não – dos procedimentos executados no motor. A Fig. 28, mostra os períodos de manutenção preventivas ocorridos em janeiro e dezembro no Motor 6. O gráfico da Fig. 28 apresenta períodos claros sem dados coletados (destaque “D” na Fig. 28) por conta da atuação da equipe de manutenção realizando os reparos no ativo. Inclusive, em outubro, a plataforma gerou um alerta provocado pela alteração abrupta na vibração global do Motor 6, indicando uma falha por desalinhamento (destaque “E” na Fig. 28). Os manutentores investigaram o caso e ratificaram o diagnóstico enviado como *insight* pela plataforma.



**Figura 28 – Gráfico de análise de velocidade do motor 6 – Estudo de Caso**

Fonte: Próprio Autor

Nas Figuras 29-30, após parada programada para manutenção preventiva nos Motores 1 e 2 no dia 18 de dezembro, observa-se um aumento gradual da vibração global desses ativos. Embora a vibração global não tenha ultrapassado níveis de 2,5mm/s RMS – o que não comprometeria a vida útil dos motores – esse aumento não era esperado por conta dos serviços executados recentemente pela equipe técnica. Sendo assim, foi programada uma nova intervenção nos ativos onde foi diagnosticada uma pequena contaminação de resíduos sólidos no fluido lubrificante em ambos motores elétricos. Os indicadores seguiram sendo monitorados e não houve um acréscimo relevante na vibração

ao longo do tempo de operação, conforme mostrado nos gráficos das Figuras 29-30. Desta forma, não foi necessário nenhum procedimento adicional nesses equipamentos.

Outra análise importante, foi o cruzamento dos dados das vibrações globais com as respectivas temperaturas de carcaça. Também houve a permanência das temperaturas em patamares aceitáveis para operação, até aproximadamente 60°C. Caso contrário, isto é, havendo um aumento correspondente, a sugestão seria a relubrificação – precocemente – dos motores elétricos a fim de garantir total disponibilidade e preservação da vida útil.



**Figura 29 – Gráfico de análise do motor 1 – Estudo de Caso**

**Fonte: Próprio Autor**



**Figura 30 – Gráfico de análise do motor 2 – Estudo de Caso**

**Fonte: Próprio Autor**

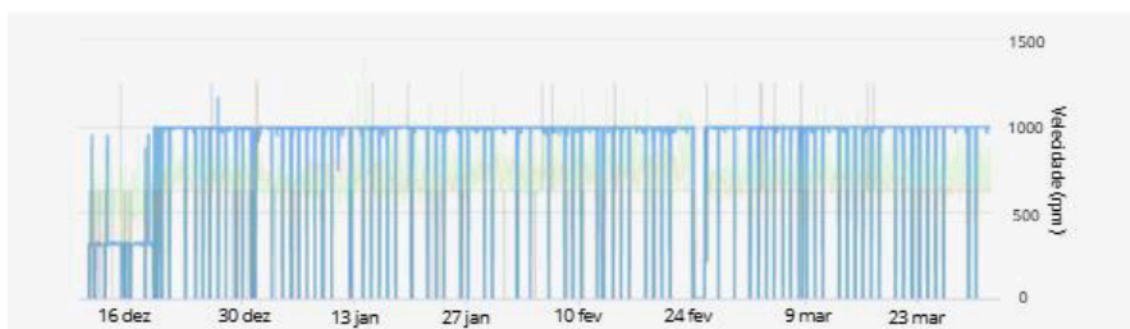
Todos os ativos monitorados nesse Estudo de Caso possuem como característica de operação as seguintes condições:

1. Funcionamento interrompido durante a madrugada, afinal as escadas rolantes não são utilizadas enquanto a estação metroviária está fechada. Desta maneira, é possível perceber os vales nas curvas de vibração global. Em outras palavras, a desaceleração do motor durante o desligamento noturno justifica a curva na cor verde atingindo medições de 0mm/s RMS (destaque “F” na Fig. 30). Em alguns casos, observa-se um desligamento durante o período de funcionamento da estação. Isso pode ocorrer por motivos operacionais tanto da equipe de manutenção como da equipe de supervisão e segurança da estação (isolamento da área onde as escadas estão localizadas, por exemplo).

2. Os motores, quando ligados, funcionam em regime de velocidade de rotação constante todos os dias de operação da estação metroviária.

3. Os motores elétricos são acionados por inversores de frequência. Por sua vez, esses são dispositivos eletrônicos que controlam a velocidade de operação dos motores e atuam diretamente na aceleração e desaceleração gradual das escadas rolantes durante o ligamento e desligamento, respectivamente.

A Fig. 31, mostra um caso em que foi possível observar um problema relacionado à velocidade de rotação do Motor 2 até o dia 18 de dezembro. As medições apresentavam velocidade abaixo de 500 rpm, onde deveriam operar em 1000 rpm. Durante a manutenção preventiva executada nesse ativo nesse dia, foi diagnosticado um defeito no inversor de frequência que controlava a velocidade desse ativo. Então, foi realizada a troca desse equipamento e, após o ligamento, o Motor 2 voltou a operar na velocidade desejada. Com isso, ratifica a importância da aplicação da tecnologia de monitoramento dos motores como forma de investigar problemas relacionados a outras peças, instrumentos, equipamentos e máquinas envolvidas no sistema onde os motores elétricos operam.



**Figura 31 – Gráfico de análise de velocidade do motor 2 – Estudo de Caso**

**Fonte: Próprio Autor**

Por fim, durante o período de 1 (um) ano de monitoramento remoto, foram evitadas 10 paradas não-programadas das escadas rolantes. A inatividade dos motores, geraria custos elevados de manutenção e, além disso, custos intangíveis e incalculáveis quanto a imagem do serviço prestado à sociedade. Não houve indisponibilidade nos grandes eventos e nos períodos de maior fluxo de pessoas após a implementação da tecnologia digital.

## 6.4. Análise de Viabilidade Comercial

### 6.4.1. Retorno sobre Investimento - ROI

Para a análise de viabilidade comercial dessa tecnologia, será considerado o cálculo do “Retorno sobre Investimento” (ROI, do inglês “*Return on Investment*”). Em outras palavras, o cálculo do valor economizado considerando o investimento na tecnologia de monitoramento remoto. Esse valor é expresso em percentual (%), onde resultados positivos indicam retorno financeiro ou – em outras palavras – economia de custos no longo prazo com a aplicação do sistema de manutenção prescritiva. Segundo CYRINO (2024), o ROI na Indústria pode ser inferido matematicamente por:

$$ROI = \frac{(\text{Ganho bruto no investimento} - \text{Valor do Investimento})}{\text{Valor do Investimento}} \times 100 \quad (1)$$

Considerando as seguintes condições informadas pela equipe de manutenção:

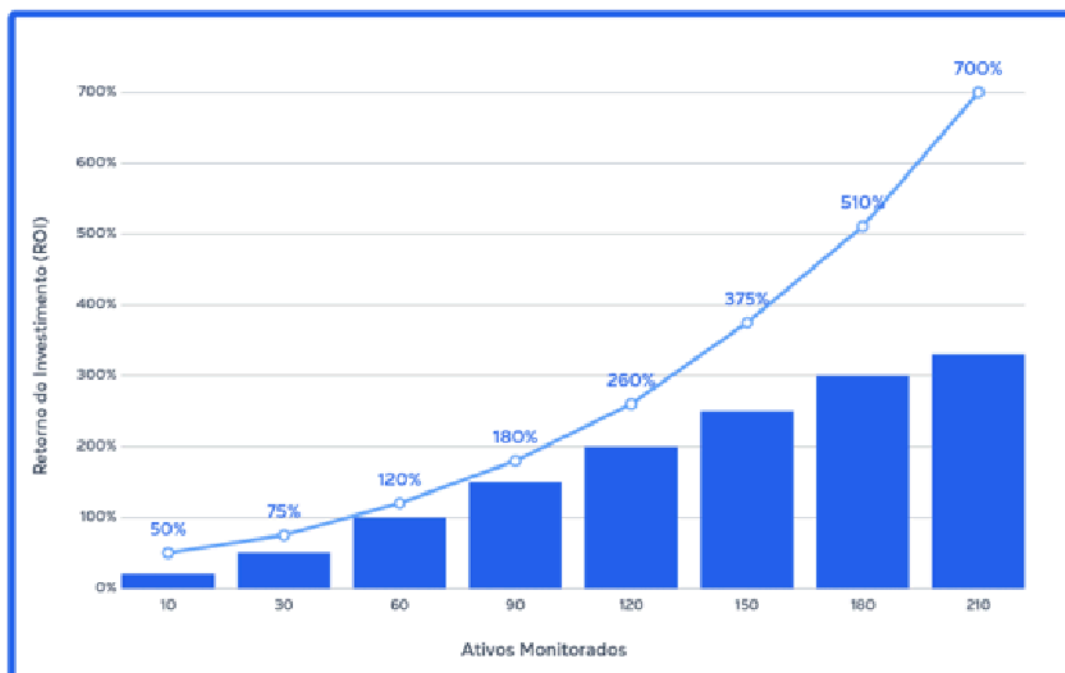
- O Ganho bruto no investimento traduz-se pelo valor economizado com manutenção dos motores em 1 ano. Estimativa de custo orientada pelo corpo técnico:
  - média de custo com material por parada: R\$3.000,00
  - média de custo com mão-de-obra por parada: R\$2.000,00
  - custo com reparo do motor (material e mão-de-obra) por parada: R\$5.000,00
  - número de paradas: 10 paradas evitadas
  - Ganho bruto no investimento (estimado): R\$50.000,00
- Custo do investimento em 1 ano:
  - valor mensal por sensor ativado: R\$430,00;
  - número de ativos monitorados: 6 motores elétricos;
  - número de meses: 12 meses (contrato anual)
  - valor total investido: R\$30.960,00

Aplicando os custos na Equação 1, tem-se o ROI estimado:

$$ROI_{\text{estimado}} = \frac{(R\$50.000,00 - R\$30.960,00)}{R\$30.960,00} \times 100$$

$$ROI_{estimado} = 61,50\%$$

Para CYRINO (2024), o ROI ideal pode ser elucidado considerando os critérios de Retorno sobre Investimento e o número de ativos monitorados. A Fig. 32, mostra um gráfico que marca o ROI percentual mínimo esperado de 50% até 10 ativos monitorados. Sendo assim, o ROI de 61,50% para 6 motores com monitoramento remoto é satisfatório e sugere boa viabilidade comercial no Estudo de Caso.



**Figura 32 – Gráfico de ROI (%) mínimo correspondente ao número de ativos monitorados**

Fonte: CYRINO (2024)

#### 6.4.2. Payback simples

No contexto de manutenção e confiabilidade, outro termo mais comumente utilizado é "Payback" ou "Ponto de Equilíbrio", que se refere ao tempo necessário para que o investimento seja compensado pelos benefícios econômicos gerados pelo dispositivo inteligente, como a redução de custos de reparo e manutenção. Segundo FERNANDO (2024), o Payback simples pode ser calculado por:

$$Payback\ simples = \frac{Investimento}{Ganho} \quad (2)$$

Dessa maneira, considerando os custos levantados no item “6.4.1. Retorno sobre Investimento” e aplicando em (2), obtém-se:

$$\textit{Payback simples}_{\textit{estimado}}^{\textit{anual}} = \frac{R\$30.960,00}{R\$50.000,00}$$

$$\textit{Payback simples}_{\textit{estimado}}^{\textit{anual}} = 0,62$$

Logo, o tempo para retorno do valor investido foi de aproximadamente 7 meses. Ou seja, o investimento com a tecnologia digital para auxiliar a equipe de manutenção resultou numa redução dos custos com paradas não-programadas dos motores elétricos das escadas rolantes num tempo menor do que o período de vigência (anual) do contrato de monitoramento remoto.

## Capítulo 7

### 7. Conclusão

A evolução das estratégias de manutenção ao longo dos anos reflete uma mudança significativa na abordagem de como as organizações gerenciam e mantêm seus ativos. Inicialmente, a manutenção era realizada de forma reativa, ou seja, apenas quando um equipamento ou sistema apresentava uma falha. Com o passar do tempo, as organizações começaram a adotar abordagens mais proativas, como a manutenção preventiva, que visa evitar falhas por meio de intervenções regulares. Essa abordagem reduziu significativamente os custos de manutenção e melhorou a disponibilidade dos equipamentos. No entanto, com a evolução tecnológica, as organizações começaram a adotar abordagens mais avançadas, como a manutenção preditiva e a manutenção prescritiva, ambas baseadas na condição dos ativos. Nessa abordagem, por sua vez, aplicam-se sensores de monitoramento remoto em tempo real, inteligência artificial e análise de dados para prever quando um equipamento ou sistema está prestes a falhar, permitindo que as intervenções sejam realizadas de forma antecipada promovendo aumento da disponibilidade e confiabilidade.

As falhas inesperadas e recorrentes nos sistemas podem comprometer significativamente um processo produtivo e gerar custos elevados de manutenção e operação. O *downtime* é um fator crítico para a rentabilidade das empresas. No entanto, é possível minimizar esses riscos por meio do monitoramento contínuo dos motores em tempo real, resultando em menores perdas financeiras. Desta forma, é possível obter ganho significativo em qualidade e quantidade de produção através de custos mais baixos de manutenção. Ou seja, na quarta revolução industrial, implementam-se tecnologias capazes de aumentar produtividade reduzindo custos. Assim, a utilização de novas tecnologias é irrefreável e elas são essenciais para o sucesso do processo produtivo cada vez mais competitivo.

A experiência e conhecimento dos técnicos continuam sendo fundamentais, enquanto a inteligência artificial fornece análises precisas e objetivas. A combinação dessas abordagens une a capacidade humana com a implementação tecnológica, permitindo um monitoramento mais eficaz e eficiente. Consequentemente, é fundamental uma transformação cultural nos trabalhadores da indústria, para que os dados sejam

valorizados como ativos estratégicos. Para isso, é crucial desenvolver uma cultura organizacional que capacite todos os funcionários, de todos os níveis hierárquicos, a lidar com os dados de forma eficaz. Novas profissões serão necessárias para atender as demandas da indústria nesse cenário tecnológico.

O Estudo de Caso, foi fundamental para elucidar a importância das informações geradas na plataforma para o desempenho satisfatório das equipes de manutenção. Desde os benefícios para a gestão dos ativos até maior assertividade nas ações de reparo e análise de falhas. Também, do ponto de vista de investimento, a aplicação dos sensores inteligentes representou uma economia relevante, para o caso estudado, com *ROI* de 61,50% e *Payback* menor do que 1 ano.

Em trabalhos futuros, pode ser investigada a viabilidade técnico-econômica em projetos com um número maior de ativos monitorados. O objetivo seria investigar os resultados dessa tecnologia em processos mais complexos. Espera-se um impacto ainda mais relevante quanto à disponibilidade e confiabilidade da frota de motores elétricos.

## Referências Bibliográficas

- CARDOSO, M.O. **INDÚSTRIA 4.0: a quarta revolução industrial**; Monografia do Curso de Especialização em Automação Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, 2016.  
[https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/17086/1/CT\\_CEAUT\\_2015\\_08.pdf](https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/17086/1/CT_CEAUT_2015_08.pdf)
- CATÁLOGO W22, Motor Elétrico Trifásico, 2023.  
<https://static2.weg.net/medias/downloadcenter/h9e/h49/WEG-w22-motor-eletrico-trifasico-50023622-brochure-portuguese-.pdf>
- CATÁLOGO WEG Motor Scan, 2024.  
<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h0b/h4b/WEG-weg-motor-scan-manual-geral-de-instalacao-e-operacao-14603136-manual-english-portuguese-spanish-web.pdf>
- CATÁLOGO WEG Motor Scan Specialist, 2024.  
<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h32/h9f/WEG-motor-scan-specialist-50107115-pt.pdf>
- CNI (<https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/inovacao-e-tecnologia/industria-40-69-das-industrias-brasileiras-fazem-uso-de-tecnologia-digital-no-brasil/>), 2022.
- CORDEIRO, E. **Porque os motores queimam**. Revista Manutenção, julho 2024.  
<https://traction-webpage.s3.amazonaws.com/ebooks/revista-manutencao-julho-2023-mecanica-eletrica.pdf>
- CYRINO, L. **Calculadora de ROI: Descubra o que é e como usar na Indústria**, 2024.  
<https://traction.com/blog/roi-descubra-o-que-e-e-como-usar>
- FERNANDO, L. **Payback simples: como calcular o retorno de investimento**, 2024.  
<https://www.higiclear.com/artigos/payback-simples/>
- GRANZOTTI, J. V. **Análise de Vibração: guia completo**, 2024.  
<https://traction.com/blog/analise-de-vibracoes>
- GROOPMAN, J. **Artificial Intelligence Use Cases**, 2017.  
<https://jessgroopman.com/wp-content/uploads/2022/02/AIUC-17-Tractica.pdf>
- LAMEIRINHAS, G. **Inteligência Artificial na indústria brasileira**. 2024.  
<https://traction.com/blog/o-impacto-da-inteligencia-artificial-na-industria-brasileira>

- MANUAL do ABB Ability Smart Sensor, 2020.  
[https://library.e.abb.com/public/80d80b6b23ba49dda329b62a82f2fd46/9AKK107045A8954\\_ABB%20Ability%20SmartSensor\\_user%20guide\\_RevF.pdf](https://library.e.abb.com/public/80d80b6b23ba49dda329b62a82f2fd46/9AKK107045A8954_ABB%20Ability%20SmartSensor_user%20guide_RevF.pdf)
- MARINELLI, I. **Da preventiva à preditiva, a evolução da gestão da manutenção**, 2021.  
<https://www.revistamanutencao.com.br/literatura/tecnica/manutencao/entenda-a-evolucao-da-manutencao-preditiva.html>
- MATTEDE, H. **Principais causas de falhas em motores elétricos**, 2023.  
<https://www.mundodaeletrica.com.br/principais-causas-de-falhas-nos-motores-eletricos/>
- McKINSEY & COMPANY, **Confiabilidade viabilizada digitalmente: além da manutenção preditiva**, 2018.  
<https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/digitally-enabled-reliability-beyond-predictive-maintenance/pt-BR>
- NBR5462 – CONFIABILIDADE E MANTENABILIDADE; Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012.
- O Papel da Transformação Digital da Indústria**, Revista Manutenção, 17/10/2023.  
<https://www.revistamanutencao.com.br/literatura/tecnica/manutencao/o-papel-da-transformacao-digital-da-industria.html>
- PIOVESAN, P. **Remote Asset Monitoring: o que é, benefícios e como implementar na indústria**, 2024. <https://traction.com/blog/remote-asset-monitoring-o-que-e-beneficios-e-como-implementar-na-industria>
- SILVEIRA, C.B., Citisystems, 2016. **Indústria 4.0: O que é, e como ela vai impactar o mundo**. <https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>
- TRACTIAN, site, 2025. <https://traction.com/sensor-traction>.
- VEDAN, A. **Autodiagnóstico futuro da manutenção**. Revista Manutenção, 2024.  
<https://revistamanutencao.com.br/educacao/edicoes-da-revista-manutencao.html>
- VEDAN, A. **Avanços Tecnológicos na Manutenção: A Chegada da AI - Assisted Maintenance**. Revista Manutenção, 08/08/2023.  
<https://www.revistamanutencao.com.br/literatura/cientifica/manutencao/avancos-tecnologicos-na-manutencao-a-chegada-da-ai-assisted-maintenance.html>
- WEG, site, 2025. <https://www.weg.net/institutional/BR/pt/digital-solutions>