



REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA
FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

APLICAÇÃO DE INTERNET DAS COISAS PARA MONITORAMENTO DE MOTORES ELÉTRICOS

APPLICATION OF INTERNET OF THINGS FOR MONITORING ELECTRIC MOTORS

Gustavo Baloni¹ i

Edgard Goncalves Cardoso² ii

Leandro Cardoso da Silva³ iii

Lucas Almeida Willenshofer⁴ iv

Manuel Patricio da Silva Bisneto⁵ v

Data de submissão: (05/07/2023). Data de aprovação: (02/09/2025)

RESUMO

A manutenção de motores elétricos em ambientes industriais exige estratégias cada vez mais eficientes para garantir a continuidade operacional e reduzir custos. Neste contexto, a Internet das Coisas (IoT) surge como uma solução tecnológica promissora para o monitoramento contínuo de máquinas. Este estudo teve como objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica da implementação de um sistema de monitoramento preditivo baseado em IoT aplicado a uma prensa excêntrica em uma indústria de embalagens metálicas. A metodologia adotada foi um estudo de caso, com abordagem mista (qualitativa e quantitativa), incluindo a análise de dados operacionais e financeiros. Foram coletadas informações sobre paradas programadas, custos de manutenção e economia gerada com o uso de sensores inteligentes. Os resultados indicaram uma economia anual de R\$ 391,11 por máquina, com um investimento unitário de R\$ 1.500,00 por sensor, e um payback descontado de 5,6 anos, considerando uma taxa de desconto de 14,25% ao ano. Conclui-se que o uso da IoT no monitoramento de motores é tecnicamente viável e financeiramente justificável, além de abrir caminho para futuras integrações com inteligência artificial e aprendizado de máquina para otimização da manutenção industrial.

Palavras-chave: internet das coisas; manutenção preditiva; motores elétricos; análise econômica; Indústria 4.0.

¹ Pós-graduando no Centro Universitário SENAI-SP - Campus Roberto Simonsen – Brás. E-mail: balonigustavo@gmail.com

² Docente no Centro Universitário SENAI-SP - Campus Roberto Simonsen – Brás. E-mail: edgard.cardoso@sp.senai.br

³ Docente no Centro Universitário SENAI-SP - Campus Roberto Simonsen – Brás. E-mail: leandro.cardoso@sp.senai.br

⁴ Docente no Centro Universitário SENAI-SP - Campus Roberto Simonsen – Brás. E-mail: lucas.willenshofer@sp.senai.br

⁵ Docente no Centro Universitário SENAI-SP - Campus Roberto Simonsen – Brás. E-mail: manuel.bisneto@sp.senai.br

ABSTRACT

The maintenance of electric motors in industrial environments demands increasingly efficient strategies to ensure operational continuity and cost reduction. In this context, the Internet of Things (IoT) emerges as a promising technological solution for continuous machine monitoring. This study aimed to analyze the technical and economic feasibility of implementing a predictive monitoring system based on IoT applied to an eccentric press in a metal packaging industry. The methodology adopted was a case study with a mixed approach (qualitative and quantitative), including the analysis of operational and financial data. Information was collected regarding scheduled downtimes, maintenance costs, and the savings generated by using smart sensors. The results indicated an annual saving of R\$ 391.11 per machine, with a unit investment of R\$ 1,500.00 per sensor, and a discounted payback period of 5.6 years, considering a discount rate of 14.25% per year. It is concluded that the use of IoT for motor monitoring is technically feasible and financially justifiable, also paving the way for future integration with artificial intelligence and machine learning to further optimize industrial maintenance.

Keywords: Internet of Things; predictive maintenance; electric motors; economic analysis; Industry 4.0.

1 INTRODUÇÃO

A melhoria dos processos de manutenção em motores utilizados em linhas de produção é fundamental para prevenir desligamentos prematuros e maximizar a eficiência operacional. A análise do comportamento dos componentes do motor mais suscetíveis a falhas mecânicas é crucial para evitar paradas não planejadas, assegurando a continuidade dos processos industriais (Perez-Gonzalez; Framinan, 2014). Além disso, as funções de produção e manutenção frequentemente compartilham equipamentos críticos, criando um cenário onde a necessidade de minimizar o tempo de inatividade das máquinas pode entrar em conflito com a exigência de disponibilidade operacional.

A manutenção de motores elétricos torna-se particularmente crítica quando o mau funcionamento ou falhas inesperadas afetam diretamente o desempenho operacional (Picazo-Ródenas *et al.*, 2014). Gomes (2012) argumenta que a tomada de decisão eficaz em manutenção requer não apenas a coleta de dados relevantes, mas também uma avaliação criteriosa de alternativas possíveis, preparando o terreno para decisões estratégicas futuras. A tomada de decisão em manutenção preventiva, especialmente aquela baseada em modelos multicritério, ainda é pouco explorada na literatura, destacando uma área de potencial inovação para a pesquisa e prática industrial (Almeida, 2012).

Neste contexto, a adoção de novas tecnologias que melhorem a eficiência dos processos através de redes de supervisão e controle se torna imperativa. Estas redes, muitas vezes baseadas em diversos protocolos de comunicação digital, podem se assemelhar às redes de computadores convencionais, mas são distintas devido às suas aplicações específicas na indústria (Galloway; Hancke, 2013). Gungor (1999) destaca que a instalação e a manutenção dessas redes representam um investimento significativo, mas são essenciais para suportar

aplicações avançadas como comunicação Máquina-a-Máquina e Internet das Coisas (IoT), que requerem extensa capilaridade de comunicação (Miloni, 2013).

Finalmente, a gestão eficaz da manutenção de motores elétricos é desafiadora devido à vasta quantidade de equipamentos empregados nas indústrias e à complexidade em gerenciar suas peças de reposição. O planejamento adequado da manutenção é vital, pois deve alinhar-se com a dinâmica operacional e estratégica dos motores, garantindo a máxima eficiência e confiabilidade (Leme, 2017). Assim, os métodos de manutenção preventiva devem ser robustamente suportados por informações precisas obtidas através da transmissão de dados das redes elétricas, permitindo uma avaliação criteriosa e oportuna das condições operacionais dos motores.

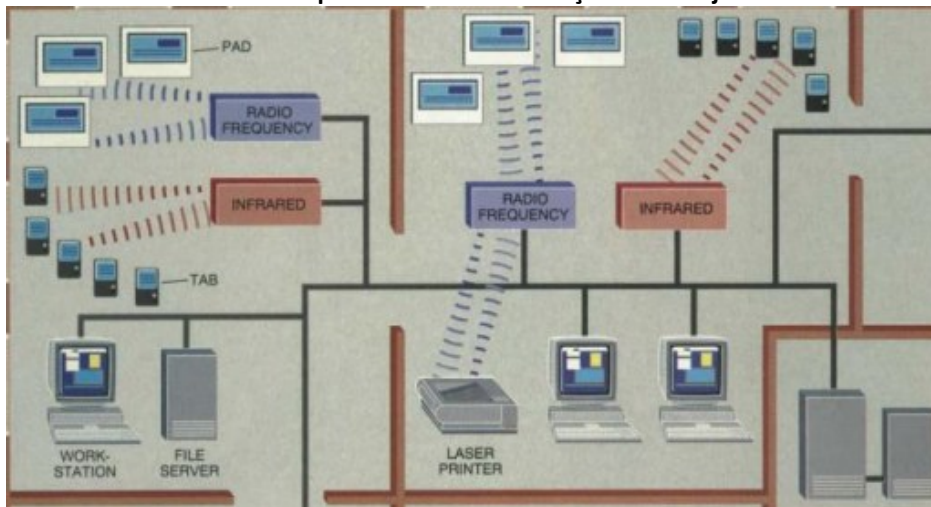
A manutenção preditiva, nesse contexto, desponta como um dos pilares da gestão moderna de ativos industriais. De acordo com Cardoso (2022), essa abordagem visa identificar o momento ideal para a intervenção, com base em dados coletados por sensores e analisados por softwares especializados, o que possibilita intervenções direcionadas e evita trocas ou paradas desnecessárias. A integração entre manutenção e indicadores econômicos também é fundamental para avaliar a viabilidade de investimentos em tecnologias de monitoramento. Assaf Neto (2023) ressalta que o uso de métricas como o Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback descontado são essenciais para estimar o retorno financeiro de projetos, permitindo que as decisões de manutenção sejam não apenas tecnicamente corretas, mas também economicamente sustentáveis.

1.1 Problema de pesquisa

Segundo Gungor (1999), muitas vezes subestimamos o impacto total da tecnologia em nosso mundo. Exemplos históricos como a invenção da roda e a introdução de luzes incandescentes revolucionaram o transporte, a urbanização e até a governança política, alterando profundamente a estrutura da sociedade. De maneira similar, Mark Weiser, diretor do laboratório de ciências da computação do centro de pesquisa de Palo Alto da empresa Xerox em 1991, desenvolveu uma teoria sobre tecnologias que se integram tão completamente ao cotidiano que se tornam invisíveis, assim como a escrita, a primeira tecnologia da informação. Weiser (1991), argumentou que tais tecnologias, que incluem elementos de hardware e software interconectados por diversos meios, se tornarão ubíquas ao ponto de serem indistinguíveis da vida cotidiana.

A relevância dessa integração tecnológica é particularmente evidente na gestão de ativos industriais, onde o monitoramento eficaz de variáveis críticas como tensão, corrente e vibração é fundamental para a manutenção preventiva de motores elétricos. A capacidade de rastrear essas variáveis em tempo real e compará-las com limites aceitáveis permite a detecção precoce de possíveis falhas, facilitando decisões de manutenção proativas e reduzindo interrupções não planejadas. No entanto, apesar da disponibilidade de tecnologias para tal monitoramento, existe uma lacuna significativa na literatura quanto à aplicação de métodos sistemáticos que integrem essas medições à rotina de manutenção preventiva, permitindo uma abordagem mais holística e eficiente (Weiser, 1991), como mostra a figura 1.

Figura 1 – Redes com e sem fim permitindo a comunicação entre objeto



Fonte: Weiser (1991)

Portanto, identifica-se a necessidade de desenvolver uma metodologia robusta que utilize tecnologias avançadas para o monitoramento contínuo de variáveis operacionais em motores elétricos. Tal metodologia não apenas preencheria uma lacuna importante na literatura, mas também representaria um avanço significativo na manutenção preventiva dentro do contexto industrial, alinhando-se com as tendências da Indústria 4.0.

1.2 Objetivos

O objetivo do trabalho é sugerir um método de monitoramento para processar e extrair informação, através do sensoriamento, de motor, possibilitando uma avaliação do estado da máquina (prensa) excêntrica, prevendo desgastes e possíveis falhas, como também, transmitir uma visão compreensiva do conceito de Internet das Coisas ao fazer um resumo teórico sobre o assunto e analisar a tecnologia IoT em sua estrutura de dados operacionais variáveis. Já os específicos foram apresentar a técnica de prevenção, através da IoT para motores elétricos a partir de informações sobre sua operação, estruturar um processo de classificação baseado no método de IoT, com ênfase na manutenção de motores elétricos e desenvolver a metodologia, baseada nas informações e controle de motores elétricos, através da IoT.

1.3 Justificativa

A escolha do tema *Internet of Things* para este trabalho se deve à sua relevância e atualidade, especialmente no contexto da modernização dos modelos de manutenção. Antigas técnicas foram substituídas por abordagens avançadas que se apoiam em sistemas de informação para otimizar a precisão, qualidade e quantidade das informações transmitidas entre máquinas e usuários. Motores elétricos são fundamentais na maioria das máquinas e equipamentos industriais, pois são responsáveis por acionar sistemas variados, como caixas de engrenagens, bombas, transportadores, brocas, elevadores, entre outros.

Esses motores desempenham um papel crítico nos processos produtivos. No entanto, devido à grande quantidade e diversidade de motores utilizados nas indústrias, é quase impossível manter um estoque adequado de peças de reposição ou motores sobressalentes.

Isso torna o planejamento de manutenção uma tarefa crucial para garantir a confiabilidade e o desempenho dos processos industriais. De acordo com dados do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (2008), motores elétricos em indústrias de ponta são responsáveis por mais de dois terços do consumo de energia, destacando a importância de uma manutenção preventiva bem planejada para evitar interrupções imprevistas que podem impactar significativamente os sistemas de produção.

Almeida Filho e Garcez (2016) afirmaram que, embora ainda haja pouca adoção de métodos multicritério na manutenção, a tomada de decisões nesse contexto é complexa, envolvendo objetivos organizacionais estratégicos e diversas consequências possíveis. Por outro lado, Ben-Daya *et al.* (2016) observaram que a detecção de falhas pode se tornar mais demorada e o custo da mão de obra para manutenção pode aumentar. Nesse cenário, o uso de IoT para transmissão de dados justifica o desenvolvimento deste trabalho, uma vez que possibilita a evolução da manutenção ao integrar tecnologia e detecção de falhas.

A previsão de falhas utilizando múltiplas variáveis ao mesmo tempo pode melhorar significativamente a manutenção dos motores elétricos. Além disso, é essencial manter os motores operando em condições ideais para assegurar seu desempenho ótimo e evitar o consumo excessivo de energia elétrica.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A seguir, discorre-se acerca dos motores elétricos e prensas, do conceito de manutenção e vibrações, da prevenção e das ferramentas da qualidade e da IoT e Indústria 4.0.

2.1 Motores elétricos e prensas

O estudo de métodos de manutenção preventiva de motores é fundamental para sistemas que exigem alta confiabilidade e segurança. Essa necessidade decorre do potencial risco ao usuário, danos materiais e perdas financeiras que falhas podem ocasionar. Com o avanço tecnológico, métodos baseados em inteligência artificial (IA) e análise de dados estão sendo desenvolvidos para melhorar a detecção de erros e a análise de risco. Técnicas como a análise de assinatura de corrente, descritas por Vieira (2021), permitem a identificação de falhas específicas por meio de análises detalhadas do sinal de corrente, exigindo processamento avançado para realização dos cálculos e análises necessárias.

Borgato (2022) explica que as prensas, utilizadas para a conformação e corte de diversos materiais, operam por meio de sistemas hidráulicos ou mecânicos. Estes transformam movimento rotativo em linear, utilizando bielas, manivelas ou fusos para mover o martelo ou punção da máquina. Segundo Silva e Araújo (2020) as prensas são máquinas-ferramentas cruciais na metalurgia e em setores que trabalham com materiais metálicos, variando em tipo, modelo, tamanho e capacidade. A figura 2 apresenta uma prensa do tipo excêntrica.

Figura 2 – Prensa excêntrica



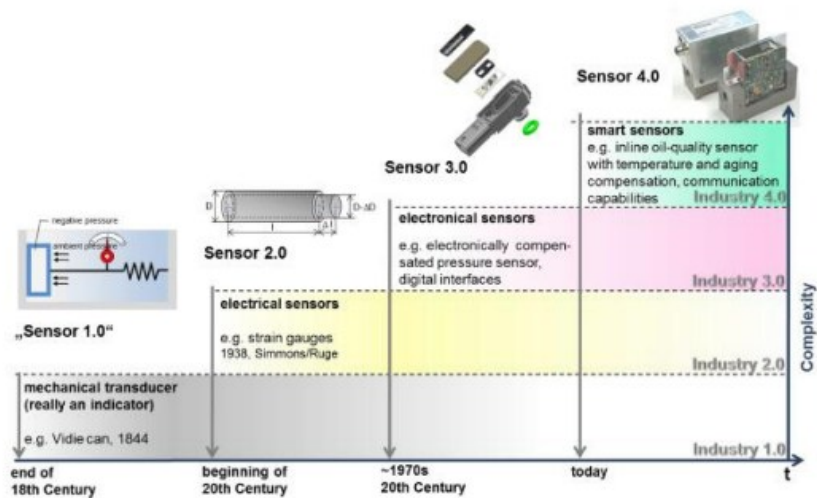
Fonte: Silva e Araújo (2020)

Os principais tipos de prensas, conforme Corrêa, Rivaen e Pinheiro (2021), incluem prensas mecânicas excêntricas de engate por chaveta, prensas mecânicas excêntricas com freio/embreagem, prensas de fricção com acionamento por fuso e prensas hidráulicas. O monitoramento dessas prensas, conhecido como Condition Monitoring (CM), é um processo que avalia as características operacionais de uma máquina para estimar seu estado de saúde e prever a necessidade de manutenção antes de ocorrerem falhas graves (Silva e Araújo, 2020).

Neste estudo, propõe-se a instalação de um sistema de tecnologia IoT na prensa excêntrica, permitindo o monitoramento contínuo e preditivo das operações da máquina. Este sistema visa antecipar as necessidades de manutenção, identificar e localizar falhas em detalhes, e até mesmo estimar a vida útil da máquina, promovendo uma manutenção mais eficiente e reduzindo tempos de inatividade (Borgato, 2022).

Os componentes fundamentais deste sistema incluem: sensores que convertem quantidades físicas em sinais elétricos; um módulo de aquisição de dados que amplifica, filtra e pré-processa esses sinais; um detector de falhas para identificação precoce de problemas; e um sistema de diagnóstico que analisa sinais anormais para fornecer indicações claras de manutenção. Com o avanço tecnológico, espera-se que os sensores e a instrumentação evoluam para criar dispositivos mais inteligentes e integrados, capazes de detectar múltiplos parâmetros simultaneamente, conforme discutido por Schütze, Helwig e Schneider (2018). A figura 3 demonstra a evolução tecnológica sensorial discutida por Schütze.

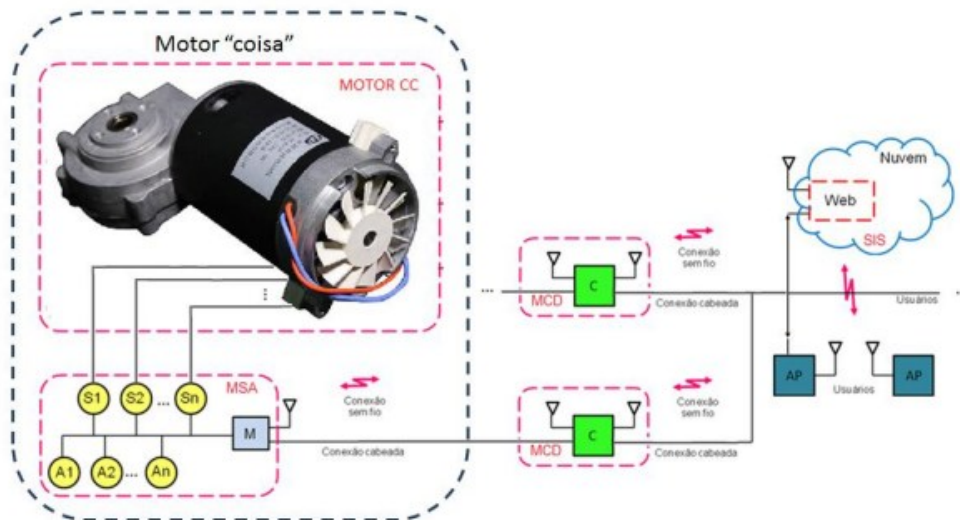
Figura 3 – Evolução da tecnologia sensorial



Fonte: Schütze, Helwig e Schneider (2018)

O sistema de monitoramento demonstrado na figura 4, a seguir, é visto como uma condição a ser desenvolvida e aplicada, com o uso de sensores em rede através de vibrações, capaz de obter informações sobre o motor, sistema, tendo em vista o momento sentido a reação do torque que o realiza (Ferraz Júnior, 2022).

Figura 4 – Integração de rede IoT



Fonte: Fabricio (2018)

O sistema permite a coleta e transmissão contínua de dados operacionais, possibilitando a análise preditiva de falhas e a otimização da manutenção preventiva.

2.2 Conceito de manutenção e vibrações

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (1994), manutenção engloba todas as intervenções técnicas e administrativas, incluindo monitoramento, que visam manter ou restaurar um ativo para que este possa retornar ao seu estado funcional original. Neste contexto, o acompanhamento e a análise de vibração emergiram como métodos preditivos cruciais na indústria, aplicados principalmente em equipamentos rotativos como bombas, turbinas, redutores, ventiladores e compressores. O avanço dos instrumentos, sistemas de monitoramento e softwares especializados tem permitido a integração de outras variáveis, além da vibração, em uma única plataforma de monitoramento.

A temperatura, por exemplo, é um dos parâmetros mais intuitivos, e seu monitoramento contínuo pode indicar mudanças significativas na condição dos equipamentos, componentes e do processo produtivo como um todo. Segundo Dias (2005), a manutenção é uma função vital dentro das empresas, controlando sistematicamente as instalações através de um conjunto de técnicas e padrões necessários para garantir o funcionamento adequado dos equipamentos. Almeida (2017) complementa, definindo manutenção como o conjunto de todas as ações necessárias para que máquinas, equipamentos, peças e sistemas operem de maneira eficaz.

Silva Neto e Lima (2002) definem os principais objetivos da manutenção, que incluem: prever falhas durante a produção, manter os equipamentos em condições seguras de uso, otimizar a eficácia dos equipamentos, minimizar interrupções devido a avarias e reduzir custos de manutenção, enquanto se mantém um alto nível técnico nos trabalhos executados.

Nepomuceno (1989) discute que cada máquina e equipamento apresenta deterioração ao longo do tempo. Com o advento de tecnologias e técnicas voltadas para a confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade, foram criadas novas abordagens para manter a operacionalidade em um mercado globalizado, que exige produtos e serviços de alta qualidade com custos reduzidos. Fogliatto (2011) salienta a necessidade de minimizar falhas para manter a competitividade e o valor agregado dos produtos.

A confiabilidade, embora frequentemente tratada de forma intuitiva, enfrenta desafios significativos de contextualização devido às variadas situações encontradas no campo. Conforme Nepomuceno (1989), a confiabilidade deve garantir que todos os componentes de um sistema realizem suas funções projetadas, independentemente das condições operacionais.

Além disso, a disponibilidade, como definida pela ABNT (1994), é a capacidade de um item de estar pronto para desempenhar uma função especificada em um dado momento ou durante um período definido, levando em conta a confiabilidade, manutenibilidade e o suporte de manutenção, com os recursos externos necessários assegurados.

Por fim, a manutenção é essencial não só para manter as máquinas em funcionamento, mas também para assegurar que todos os componentes sejam mantidos com o menor custo e esforço possíveis. Este conceito foi reforçado após a Segunda Guerra Mundial, quando novas tecnologias e teorias sobre manutenibilidade começaram a ser integradas aos processos industriais, definindo a manutenibilidade como a capacidade de um produto continuar a desempenhar as funções para as quais foi projetado ao longo do tempo.

2.3 Prevenção e ferramentas da qualidade

A distinção entre os termos "predição" e "prevenção" é fundamental no processo de manutenção. A manutenção preventiva envolve a substituição de componentes ao atingirem o fim de sua vida útil, independentemente do seu estado atual. Este método, no entanto, pode enfrentar desafios relacionados às variáveis usadas para definir o momento exato da substituição. Por outro lado, a manutenção preditiva baseia-se no estado atual do componente ou dispositivo, utilizando medições regulares para determinar a necessidade de intervenção (Nepomuceno, 1989).

Tradicionalmente, o primeiro modelo de manutenção operava sob o princípio de reparar apenas após a ocorrência de falhas, o que frequentemente resultava em operações sob condições precárias, como a falta de lubrificante ou refrigerante, causando riscos de superaquecimento e outros danos (Nepomuceno, 1989). Atualmente, este tipo de manutenção reativa é considerado menos eficiente devido aos altos custos e riscos associados.

Pádua (2022) explica que falhas são comumente antecipadas por meio de monitoramento preditivo. A gestão pode optar por realizar reparos após a detecção de uma falha, uma abordagem conhecida como manutenção planejada de reparo. Esta estratégia é geralmente adotada por razões de custo-benefício, permitindo que os componentes sejam utilizados até o final de sua vida útil, contanto que não comprometam outros sistemas. No entanto, a manutenção corretiva não planejada pode ocorrer de forma imprevisível, causando danos significativos e perdas financeiras.

A manutenção clássica, por vezes chamada de corretiva programada, envolve a substituição periódica de componentes desgastados, o que pode exigir extensas horas de trabalho e altos custos com peças e mão de obra. Por isso, torna-se economicamente desafiador manter esse tipo de abordagem sem um planejamento eficiente que alinhe recursos e necessidades do processo (Nepomuceno, 1989).

Pádua (2022) define Manutenção Preventiva como ações realizadas para mitigar falhas ou degradação, baseadas em intervalos predeterminados. Este tipo de manutenção visa intervir antes da ocorrência de falhas, utilizando dados coletados para prever e prevenir problemas, mantendo assim a segurança e a confiabilidade das máquinas.

A manutenção baseada na condição, por sua vez, foca em avaliar o estado operacional futuro de máquinas ou equipamentos através de dados coletados ao longo do tempo, permitindo a prevenção de falhas inesperadas. Esse tipo de manutenção se baseia em monitorar continuamente variáveis críticas como temperatura, vibração, pressão, entre outras, para determinar a saúde operacional do equipamento (Spamer, 2009).

Portanto, a manutenção preventiva não é apenas uma estratégia de intervenção no momento certo; ela é crucial para manter altos padrões de operação e manutenção em diversos setores da indústria, garantindo que os equipamentos operem dentro dos parâmetros desejados e evitando interrupções inesperadas.

2.4 IoT e Indústria 4.0

Kevin Ashton, que cunhou o termo Internet das Coisas, enfatizou a necessidade de adaptar os sistemas de computação para que se tornem mais autônomos na coleta de informações, permitindo-lhes perceber, visualizar e responder ao mundo sem dependência excessiva de intervenção humana. Ele propôs que "a Internet das Coisas tem o potencial de mudar o mundo, tal como a Internet fez, talvez até mais" (Ashton, 2009, p. 12). Segundo Pádua

(2022) a IoT emergiu do desenvolvimento combinado de várias tecnologias, incluindo sistemas embarcados e microeletrônica, expandindo a capacidade de integração de objetos do cotidiano ao ambiente digital.

Atualmente, a IoT é percebida como uma rede de dispositivos interconectados que transformam o ambiente físico em uma extensão do espaço digital, promovendo uma ubiquidade que facilita a vida das pessoas de diversas maneiras. Albertin e Albertin (2017) descrevem a IoT como uma rede globalizada que não só integra o mundo físico através de conexões digitais, mas também se conecta a infraestruturas tecnológicas mais amplas para maximizar seu potencial.

Silva (2015) cita que a IoT já se infiltra em diversos dispositivos cotidianos, impactando significativamente nossas vidas diárias. O Conselho Nacional de Inteligência dos EUA (NIC) considera a Internet das Coisas como uma das tecnologias emergentes mais promissoras. Segundo suas projeções, até 2025, objetos tão comuns quanto embalagens de alimentos e móveis estarão conectados à internet (Silva, 2015).

A IoT também redefine as interações dentro de suas redes, categorizando-as em humano para humano, pessoas por coisas e coisas por coisas (Patel *et al.*, 2016). Este ecossistema vasto permite a criação de ambientes inteligentes onde o real, o digital e o virtual se mesclam para criar sistemas mais eficientes e inteligentes.

No contexto industrial, a IoT é fundamental para a chamada Indústria 4.0, que alia a tecnologia dos sensores modernos à conectividade avançada para otimizar processos de produção. Schütze, Helwig e Schneider (2018), ilustram como os sensores evoluíram através de quatro gerações, desde dispositivos mecânicos simples a sensores inteligentes capazes de realizar automonitoramento e complexas análises de condições, essenciais para a implementação da IoT industrial.

Além disso, de acordo com Elias e Lobato (2013), protocolos de comunicação específicos são necessários para facilitar a interação entre dispositivos conectados, assegurando que eles possam comunicar-se eficientemente dentro de uma rede compartilhada. Segundo Gilchrist (2016), o endereçamento IP é um exemplo disso, permitindo a identificação única de cada dispositivo em uma rede, seja um computador, uma impressora ou um refrigerador conectado.

A Internet das Coisas oferece não apenas uma expansão do uso do espaço digital, mas também transforma as práticas industriais, tornando as fábricas mais eficientes através da análise de dados em tempo real. Esta tecnologia está revolucionando a forma como monitoramos, mantemos e operamos os equipamentos industriais, proporcionando uma manutenção preventiva mais eficaz e reduzindo custos e tempos de inatividade (CNI, 2016).

2.5 Indicadores Financeiros

Na análise de viabilidade econômica de projetos industriais, os indicadores financeiros exercem papel fundamental na tomada de decisões estratégicas e, dentre eles, destaca-se o payback descontado, uma evolução do método tradicional de payback, que considera o valor do dinheiro no tempo por meio da aplicação de uma taxa de desconto. Segundo Alexandre Assaf Neto (2023), o payback descontado corrige uma limitação crítica do método convencional, ao incorporar a taxa de juros na atualização dos fluxos de caixa futuros, oferecendo uma estimativa mais precisa do período necessário para a recuperação do capital investido.

Para aplicar o payback descontado corretamente, é necessário calcular o valor presente de cada fluxo de caixa anual utilizando uma taxa de desconto apropriada, geralmente baseada no custo de oportunidade do capital ou na taxa Selic, quando se trata de investimentos em território nacional. Conforme destaca Gitman e Zutter (2010), esse método é especialmente útil em ambientes industriais com forte volatilidade e incerteza operacional, pois proporciona uma análise mais realista do retorno esperado, considerando o risco temporal dos recebimentos. O payback descontado é amplamente utilizado em avaliações de projetos que envolvem aquisição de equipamentos, modernização de sistemas e adoção de novas tecnologias, como sensores de IoT para manutenção preditiva.

Embora não forneça diretamente uma medida de lucratividade, o payback descontado é valorizado por sua simplicidade interpretativa e por auxiliar na avaliação da liquidez dos projetos. De acordo com Brigham e Ehrhardt (2012), esse indicador é ideal para complementar outras métricas, como o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), compondo uma análise mais robusta e abrangente. Ao aplicar o payback descontado em iniciativas que envolvem automação e digitalização de ativos, os gestores conseguem não apenas justificar o investimento inicial, mas também prever o retorno financeiro com maior segurança, o que é essencial em processos decisórios pautados pela racionalidade econômica e pela sustentabilidade operacional.

3 METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, pois visa propor uma solução prática para um problema real enfrentado por uma empresa do setor industrial: a baixa confiabilidade de seus motores elétricos, que compromete a eficiência do fluxo de produção. Conforme Marconi e Lakatos (2017), pesquisas aplicadas têm como finalidade resolver questões concretas, contribuindo diretamente para o aprimoramento de processos e sistemas específicos. Nesse contexto, foi analisada a viabilidade técnica e econômica da implementação de um sistema de monitoramento baseado na tecnologia da Internet das Coisas (IoT).

A abordagem metodológica adotada foi mista, combinando métodos qualitativos e quantitativos. A etapa qualitativa envolveu a análise contextual da operação da prensa excêntrica, a identificação de falhas recorrentes e a definição dos parâmetros críticos para monitoramento, como vibração e temperatura. Já a abordagem quantitativa concentrou-se na coleta e análise de dados operacionais dos motores e na avaliação da viabilidade econômica por meio de indicadores financeiros. Gil (2019) destaca que abordagens qualitativas permitem compreender fenômenos complexos a partir de informações subjetivas e interpretativas, enquanto os métodos quantitativos aplicam técnicas estatísticas e matemáticas para mensurar e validar hipóteses com rigor analítico.

No que se refere aos objetivos, trata-se de uma pesquisa descritiva, pois buscou documentar e detalhar o processo de aplicação da IoT ao monitoramento preditivo de motores elétricos em um ambiente industrial. Prodanov e Freitas (2013) afirmam que estudos descritivos são fundamentais para compreender as características de determinado fenômeno, permitindo ao pesquisador identificar padrões, relações e implicações práticas. O método adotado foi o estudo de caso, por meio do qual se investigou a aplicação da tecnologia em uma prensa específica da empresa, buscando compreender sua viabilidade técnica e os ganhos operacionais e financeiros associados à sua adoção (Gil, 2019).

Complementando a avaliação técnica, foi conduzida uma análise financeira utilizando o método do payback descontado, que considera o valor do dinheiro no tempo para estimar

o período de retorno do investimento. Essa análise seguiu as orientações de Assaf Neto (2023), que enfatiza a importância de utilizar indicadores como VPL, TIR e payback descontado para fundamentar decisões de investimento em projetos industriais. A escolha do payback descontado permitiu avaliar, com base em fluxos de caixa projetados e ajustados pela taxa Selic, a atratividade econômica da implantação dos sensores IoT.

Considerando esses aspectos, este estudo, além de validar a funcionalidade técnica do sistema, assegura sua viabilidade financeira, estabelecendo critérios racionais para a ampliação da solução em larga escala.

3.1 Objeto de estudo

A prensa excêntrica, mostrada na figura 5, foi escolhida como fonte estudo. A prensa excêntrica conta com características principais o acionamento rotacional, a operação contínua e a ação repetitiva rápida.

Figura 5 – Prensa excêntrica



Fonte: Autor (2022)

A prensa excêntrica estudada neste trabalho é utilizada para estampagem a frio de peças, bem como peças que compõem a lata de aço. Para a operação seguinte, o volante já deverá ter recuperado a energia ou perderá cada vez mais a velocidade até podendo parar completamente. Portanto, uma prensa pode ter o poder de realizar uma operação, mas pode não ter a capacidade de realizar uma operação.

Diante disso durante a operação das prensas deve-se levar em consideração perdas como indisponibilidade de produção, mão de obra ociosa, energia elétrica e desperdício. Desse modo é imprescindível acompanhar o espectro de vibração desse produto, especialmente do motor que é um elemento crítico no processo.

Frente a esse cenário é importante ter um controle rigoroso dos motores elétricos, pois tais componentes podem falhar, tal evento se soma ainda à operação em condições desfavoráveis que podem impactar a máxima eficiência. Diante disso a figura 6 mostra com mais detalhes o motor escolhido para a realização do teste piloto a fim de avaliar a viabilidade do monitoramento dos motores elétricos por meio da IoT.

Figura 6 – Motor elétrico



Fonte: Autor (2022)

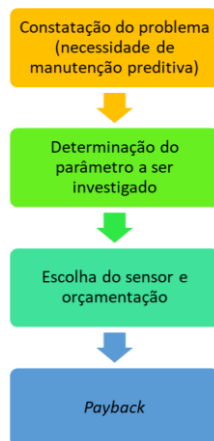
O motor utilizado no processo é da fabricante Weg e apresenta características que o torna ideal para a execução das atividades da companhia. Isto posto, os dados técnicos deste componente são:

- a) A potência é igual a 10 cavalos.
- b) A frequência de operação é de 60 Hertz.
- c) A quantidade de polos é igual a quatro.
- d) A rotação nominal equivale a 1750 rotações por minuto.
- e) A tensão nominal de funcionamento é de 220/440 volts.
- f) O grau de proteção do componente é o IP 55 em que se tem uma proteção relativa contra a poeira, bem como o contato às regiões internas do invólucro e a proteção contra os jatos de água.

3.2 Desenvolvimento do trabalho

É relevante notar que, por razões de propriedade intelectual, a empresa envolvida neste estudo solicitou que seu nome e setor de atuação não fossem divulgados. Conforme ilustrado na Figura 7, o processo de execução do estudo foi meticulosamente planejado, destacando as principais etapas desde o desenvolvimento até a conclusão do projeto.

Figura 7 – Etapas de realização do trabalho



Fonte: Autor (2022)

O estudo identificou uma lacuna significativa na manutenção das máquinas da empresa: a ausência de monitoramento preditivo. Essa deficiência tem resultado em falhas frequentes e interrupções no processo produtivo. Discussões com a equipe técnica revelaram que o principal indicador de falhas nos motores era o aumento da vibração, atribuído a fatores como desbalanceamento e desalinhamento.

Neste contexto, propõe-se a adoção de sensores e práticas associadas à Indústria 4.0 para diminuir a incidência de falhas. Devido à política de confidencialidade da empresa, foi difícil acessar um histórico completo dos equipamentos; no entanto, foi possível documentar a frequência e os custos associados às paradas de uma prensa específica.

A pesquisa subsequente focou na seleção de modelos de sensores apropriados para a aplicação, destacando-se o Weg Motor Scan. Este dispositivo, de instalação e operação simples, elimina a necessidade de cabeamento pois transmite dados diretamente para a nuvem. Os operadores podem ajustar parâmetros e definir intervalos aceitáveis de vibração usando um aplicativo móvel e software dedicado.

Este sensor representa uma solução viável para modernizar maquinários antigos, como as prensas examinadas neste estudo, e pode ser um passo crucial em direção à transformação digital da empresa conforme os princípios da Indústria 4.0 e IoT.

Um cálculo de *payback* descontado foi realizado para avaliar a rentabilidade do investimento nos sensores. Os resultados sugerem que a implementação é economicamente viável, recomendando-se, por isso, a execução de um projeto piloto. Caso a instalação e operação dos dispositivos ocorram conforme planejado, a instalação poderá ser expandida para as outras 999 prensas da empresa. Assim, somente após a validação efetiva da metodologia proposta é que o projeto poderá ser ampliado para uma implementação em larga escala.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, apresentamos os resultados obtidos com a implementação do sistema de monitoramento de motores elétricos utilizando a tecnologia Internet das Coisas, seguido de uma discussão detalhada sobre suas implicações. A análise foca tanto na eficácia operacional do sistema quanto no impacto econômico para a empresa. Além disso, discutiremos como as

observações e os dados coletados alinham-se com as expectativas iniciais do projeto e como eles refletem as tendências atuais e futuras na manutenção preditiva na indústria. Este segmento busca não apenas validar a aplicabilidade da tecnologia IoT em contextos industriais, mas também explorar as potenciais melhorias e desafios enfrentados durante a fase de teste e implementação.

4.1 Escolha do equipamento e do sistema de monitoramento

Para a implementação deste projeto, selecionou-se uma prensa piloto para avaliar a integração de componentes à rede com o objetivo de otimizar a manutenção preventiva. Esta máquina foi escolhida devido à sua importância crítica no processo produtivo, representando uma das 100 máquinas que operam continuamente, vital para o funcionamento da empresa.

Interrupções no funcionamento das prensas podem impactar negativamente a produtividade e resultar em prejuízos significativos. Entre as perdas comuns estão danos aos produtos, desperdício de energia elétrica, ociosidade dos colaboradores e perdas de disponibilidade para produção.

Devido a esses desafios, destacou-se a necessidade de monitorar os motores críticos do processo. Priorizou-se, portanto, o uso de sensores de alta qualidade, e a Weg, reconhecida por sua excelência em motores e acessórios para motores elétricos, foi a escolhida. O sensor Weg Motor Scan, ilustrado na figura 8 e custando aproximadamente R\$ 1500,00, foi selecionado devido à sua eficácia no monitoramento remoto.

Figura 8 – Sensor Motor Scan



Fonte: Weg (2022)

Conforme a Weg (2022), o sensor é de fácil instalação e configuração, realizável através de um aplicativo compatível com sistemas iOS e Android. Uma vez configurado, o sensor começa a transmitir dados armazenados na nuvem, acessíveis via *gateway* ou *bluetooth*. Ele monitora vários parâmetros vitais, incluindo:

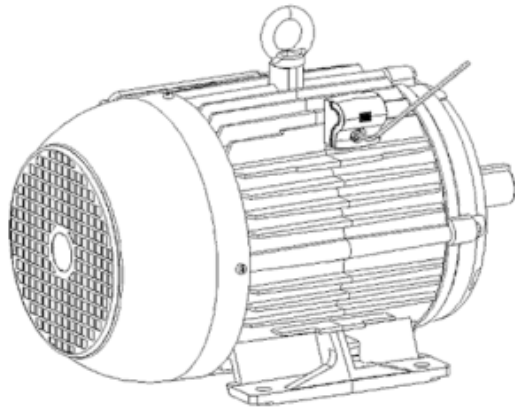
- Período de lubrificação.
- Velocidade.
- Carga.
- Tempo de operação.
- Vibração.
- Temperatura.

Essas informações são cruciais para a manutenção preditiva, permitindo a detecção precoce de consumo anormal, carga, desalinhamento e desbalanceamento, e até mesmo aprendizado autônomo do funcionamento normal e suas variações, alertando sobre possíveis anomalias.

A Figura 9 mostra o ponto de instalação do sensor recomendado pelo fabricante. O Weg Motor Scan pode armazenar dados por até três meses, operar em temperaturas de -40 °C até 80 °C, e é alimentado por uma bateria com vida útil média de três anos. Essas características fazem do sensor uma ferramenta autônoma que não requer o uso de Controlador Lógico Programável (CLP) para monitoramento e controle, como destacado por (Petruzella, 2013).

O uso deste sensor permite a automação de máquinas antigas, como as prensas em estudo, alinhando-as aos conceitos da Indústria 4.0. Após a escolha do dispositivo, realizou-se o cálculo do *payback* descontado para determinar o retorno econômico do investimento, concluindo-se pela viabilidade do projeto. Recomenda-se a execução de um projeto piloto, com potencial para expansão para as demais prensas após validação da metodologia.

Figura 9 – Posicionamento do sensor Motor Scan



Fonte: Weg (2022)

Em resumo, a utilização do Weg Motor Scan é uma estratégia inovadora para monitorar motores elétricos utilizando tecnologia IoT, facilitando a transição para práticas de Indústria 4.0 e garantindo a eficácia da manutenção preditiva. Através deste sistema, é possível monitorar continuamente e em tempo real o estado operacional dos equipamentos, maximizando a eficiência produtiva e minimizando interrupções.

4.2 Cálculo do retorno do investimento

Para avaliar a viabilidade econômica da implementação de um sistema de monitoramento para motores elétricos utilizando tecnologia IoT, este estudo focou na análise do tempo de retorno do investimento (*payback*). Esta análise considerou os custos iniciais de aquisição e instalação do sensor Weg Motor Scan, em comparação com as economias geradas ao longo do tempo, decorrentes da redução de paradas para manutenção.

Para a análise de viabilidade técnica e econômica, foi selecionada uma prensa excêntrica piloto pertencente a uma empresa de destaque no setor de embalagens metálicas. Essa prensa integra um conjunto de aproximadamente 100 máquinas que operam de forma contínua, sendo fundamentais para a produtividade da planta industrial.

Cada uma das prensas passa por inspeções e manutenções preventivas com periodicidade média de 15 dias, totalizando aproximadamente 24 intervenções por ano. Essas paradas programadas, embora necessárias para garantir a operação segura dos equipamentos, geram impactos significativos na produtividade e nos custos operacionais da empresa. O custo anual estimado por máquina é de R\$ 1.108,89, valor que contempla não apenas o tempo de máquina parada, mas também a alocação de mão de obra técnica, o consumo de insumos, o desperdício de energia elétrica durante os ciclos de reinício e a ociosidade temporária de operadores. Ao extrapolar esse valor para o total de 100 máquinas em operação contínua, o custo anual com manutenções preventivas programadas chega a aproximadamente R\$ 110.889,00. Essa composição demonstra que, mesmo em ações planejadas, há perdas operacionais relevantes que poderiam ser mitigadas com a adoção de tecnologias preditivas baseadas em dados em tempo real.

Com a adoção do sistema de monitoramento baseado em IoT, por meio da instalação do sensor Weg Motor Scan, espera-se eliminar grande parte dessas paradas periódicas, permitindo que intervenções sejam realizadas apenas quando necessárias, com base em dados reais de desempenho e condição dos motores. O sensor, cujo custo unitário (já considerando a instalação e operação) é de R\$ 1.500,00, projeta uma economia operacional de R\$ 391,11 por máquina ao ano, ao reduzir o número de interrupções planejadas e os custos indiretos associados.

A análise econômica foi conduzida utilizando o método do *payback* descontado, o qual considera o valor do dinheiro no tempo, proporcionando uma visão mais precisa do retorno sobre o investimento. A taxa de desconto adotada corresponde à taxa Selic vigente de 13,25% ao ano, sendo aplicada para trazer os fluxos de caixa futuros a valor presente. Essa abordagem é amplamente recomendada pela literatura especializada em finanças, pois permite avaliar a atratividade do investimento de forma realista, considerando o custo de oportunidade do capital, conforme equação 01 que define o valor o presente.

$$VP = \frac{FC}{(1+i)^n} \quad (\text{Eq. 01})$$

Em que:

VP_t = Valor presente do fluxo de caixa no período t

FC_t = Fluxo de caixa no período t

i = Taxa de desconto (no estudo considera – se a taxa Selic)

t = Período (ano 1, 2, 3, ..., n)

Depois, os valores presentes de cada período são acumulados ano a ano, subtraindo-se do investimento inicial até que o valor total se torne positivo ou igual a zero — esse é o período de retorno descontado. A aplicação da equação mostra que o retorno financeiro

esperado ocorrerá no sexto ano conforme demonstra a tabela 1, nela é possível ver em detalhes o fluxo de caixa descontado ao longo do tempo.

Com base na análise do quadro de payback descontado, observa-se que o investimento inicial de R\$ 150.000,00 começa a ser recuperado ao longo dos anos por meio de um fluxo de caixa anual de R\$ 39.111,00. Aplicando-se uma taxa mínima de atratividade (TMA) de 14,25% ao ano, os fluxos foram trazidos a valor presente, o que permite uma avaliação mais realista da viabilidade econômica do projeto. O saldo acumulado torna-se positivo a partir do sexto ano, indicando que o payback descontado é de aproximadamente 5,6 anos (manual), ou 5,94 anos (cálculo automático). Esse resultado demonstra que, mesmo considerando o custo do capital, o retorno do investimento ocorre em um horizonte de tempo aceitável dentro do ciclo de vida típico de máquinas industriais. A partir desse ponto, o projeto passa a gerar benefícios líquidos, reforçando sua viabilidade financeira frente à substituição de métodos convencionais de manutenção por soluções preditivas baseadas em IoT.

Tabela 1 – Cálculo do payback

| Ano | Fluxo de Caixa | Fluxo de Caixa Descontado | Saldo |
|-----|--------------------|---------------------------|--------------------|
| 0 | -R\$ 150.000,00 | -R\$ 150.000,00 | -R\$ 150.000,00 |
| 1 | R\$ 39.111,00 | R\$ 34.232,82 | -R\$ 115.767,18 |
| 2 | R\$ 39.111,00 | R\$ 29.963,08 | -R\$ 85.804,09 |
| 3 | R\$ 39.111,00 | R\$ 26.225,89 | -R\$ 59.578,20 |
| 4 | R\$ 39.111,00 | R\$ 22.954,83 | -R\$ 36.623,37 |
| 5 | R\$ 39.111,00 | R\$ 20.091,76 | -R\$ 16.531,61 |
| 6 | R\$ 39.111,00 | R\$ 17.585,78 | R\$ 1.054,17 |
| 7 | R\$ 39.111,00 | R\$ 15.392,37 | R\$ 16.446,54 |
| 8 | R\$ 39.111,00 | R\$ 13.472,53 | R\$ 29.919,07 |
| 9 | R\$ 39.111,00 | R\$ 11.792,15 | R\$ 41.711,22 |
| 10 | R\$ 39.111,00 | R\$ 10.321,36 | R\$ 52.032,58 |
| 11 | R\$ 39.111,00 | R\$ 9.034,01 | R\$ 61.066,59 |
| 12 | R\$ 39.111,00 | R\$ 7.907,23 | R\$ 68.973,82 |
| 13 | R\$ 39.111,00 | R\$ 6.920,99 | R\$ 75.894,81 |
| 14 | R\$ 39.111,00 | R\$ 6.057,76 | R\$ 81.952,57 |
| 15 | R\$ 39.111,00 | R\$ 5.302,20 | R\$ 87.254,76 |

Fonte: Autor (2022)

A partir do sexto ano, a empresa começa a recuperar seu capital investido. Para um período de 15 anos, a economia estimada por máquina é de aproximadamente R\$ 11667,82, representando um potencial de economia total de R\$ 1.166.782,00 quando consideradas as 100 máquinas operadas pela empresa.

Esta análise evidencia que o sistema de monitoramento baseado em IoT pode oferecer significativas economias de custos, ao mesmo tempo em que integra as operações da empresa aos avanços da Indústria 4.0, proporcionando uma supervisão mais eficiente e menos intrusiva das condições das máquinas.

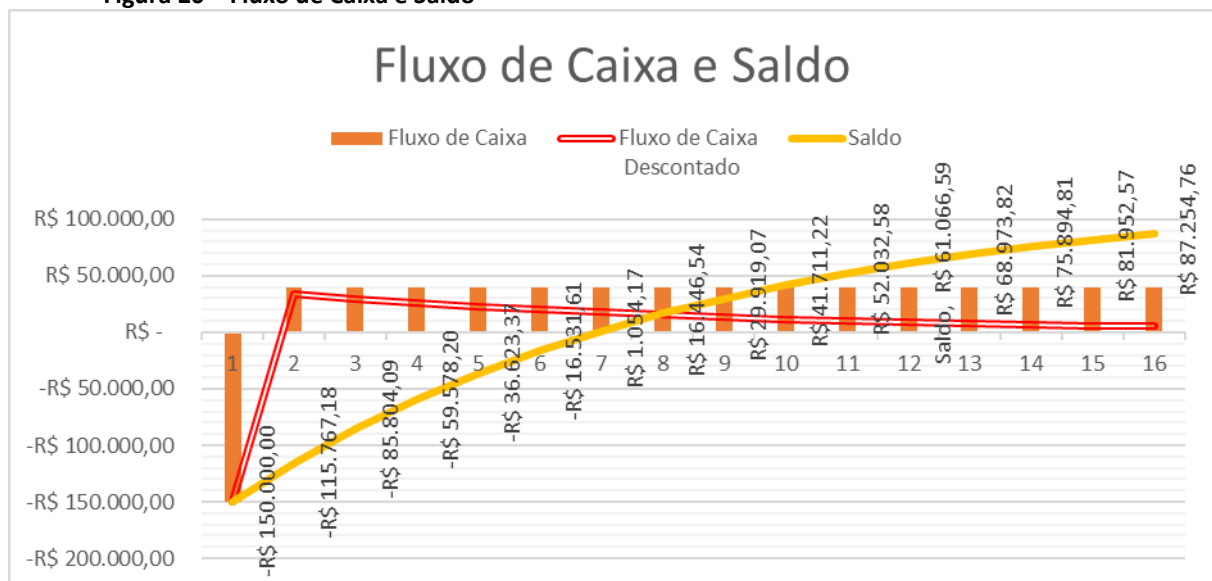
O sistema proposto não apenas otimiza a manutenção preventiva e reduz o tempo de inatividade, mas também introduz uma nova abordagem para a gestão de ativos. Utilizando a tecnologia IoT, é possível monitorar continuamente as condições operacionais das máquinas e receber alertas em tempo real sobre potenciais falhas antes que elas ocorram. Isso permite intervenções mais rápidas e menos dispendiosas, evitando paradas prolongadas e custos de reparo maiores.

A Figura 10 ilustra os ganhos cumulativos esperados ao longo do tempo com a implementação do sistema de monitoramento:

A adoção deste sistema não só beneficia a empresa em termos econômicos, mas também promove uma cultura de manutenção proativa. Ao migrar de um modelo reativo para um modelo preditivo, a empresa pode esperar melhorias significativas na eficiência operacional e na confiabilidade das máquinas. Isso também pode levar a uma maior satisfação dos colaboradores, que poderão se dedicar a tarefas mais estratégicas ao invés de lidar frequentemente com emergências de manutenção.

Além disso, a expansão do sistema para todas as 100 prensas pode transformar significativamente a operação da empresa, estabelecendo um novo padrão de manutenção na indústria. Com o sucesso do projeto piloto e a validação dos dados obtidos, o modelo pode ser escalonado, aproveitando os avanços da Indústria 4.0 para garantir uma vantagem competitiva no mercado.

Figura 20 – Fluxo de Caixa e Saldo



Fonte: Autor

Finalmente, enquanto o investimento inicial no sistema de monitoramento IoT pode parecer substancial, os benefícios de longo prazo e as economias contínuas destacam a sua viabilidade. Este estudo demonstra que a tecnologia pode ser uma ferramenta valiosa para maximizar o desempenho das máquinas enquanto minimiza os custos operacionais e de manutenção. Assim, reforça-se a importância de adotar novas tecnologias que facilitam a transição para práticas de manutenção mais inteligentes e conectadas.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como foco a aplicação da Internet das Coisas (IoT) como solução para otimizar os processos de manutenção de motores elétricos em ambientes industriais, para redução de custos operacionais e no aumento da confiabilidade dos equipamentos, analisando, tecnicamente e financeiramente, a viabilidade de se implementar um sistema de monitoramento preditivo baseado em IoT para reduzir paradas programadas em prensas excêntricas.

A hipótese inicial, de que a adoção da IoT poderia melhorar o desempenho operacional ao substituir manutenções preventivas fixas por intervenções baseadas em condição, foi confirmada ao longo da pesquisa. A análise dos dados operacionais e financeiros demonstrou que o investimento na tecnologia é justificável: a economia anual por máquina foi estimada em R\$ 391,11, enquanto o custo do sensor IoT (R\$ 1.500,00) se mostrou compatível com um payback descontado de 5,6 anos (manual) ou 5,94 anos (automático), utilizando uma taxa mínima de atratividade (TMA) de 14,25% ao ano. A economia em escala, considerando as 100 máquinas em operação contínua, pode alcançar R\$ 110.889,00 por ano, evidenciando o impacto financeiro positivo da implementação.

Os resultados obtidos confirmam que a tecnologia IoT permite o monitoramento contínuo do estado dos motores e oferece dados valiosos para tomada de decisões preditivas, reduzindo a ocorrência de falhas e paradas inesperadas. O sistema aplicado à prensa excêntrica mostrou-se eficaz ao antecipar anomalias, promovendo intervenções mais assertivas, e contribuindo diretamente para a estabilidade do fluxo de produção e para o prolongamento da vida útil dos equipamentos.

A análise foi realizada com base em um único equipamento piloto, o que restringe a generalização dos resultados para outros tipos de máquinas ou ambientes industriais. Também não foi incorporada, nesta fase, a aplicação de técnicas avançadas de análise de dados, como inteligência artificial (IA) ou algoritmos de aprendizado de máquina, que poderiam ampliar ainda mais o potencial preditivo do sistema.

Diante disso, recomenda-se que, em projetos futuros, o monitoramento seja expandido para outras máquinas da planta, utilizando diferentes tipos de sensores e avaliando seu desempenho em condições operacionais variadas.

Como próximos passos da pesquisa, sugere-se a integração do sistema de monitoramento com plataformas de análise inteligente de dados, permitindo não apenas a detecção de falhas iminentes, mas também a geração automática de recomendações de manutenção.

Em suma, este trabalho demonstra a relevância do problema de pesquisa ao demonstrar que a manutenção preditiva baseada em IoT representa uma alternativa viável, escalável e economicamente justificável para a indústria, visto que, ao integrar tecnologia, análise financeira e visão estratégica, a pesquisa contribui para o avanço da digitalização dos

processos industriais e para a consolidação de práticas sustentáveis e inteligentes de gestão de ativos.

REFERÊNCIAS

ALBERTIN, Alberto Luiz; ALBERTIN, Rosa Maria de Moura. A internet das coisas irá muito além as coisas. **GV-executivo**, v. 16, n. 2, p. 12-17, 2017.

ALMEIDA FILHO, A.T.; GARCEZ, T.V. **Multicriteria and multiobjective models for risk, decision analysis reliability and maintenance**, 1. ed., Suíça: Springer, 2016.

ALMEIDA, A. T. Multicriteria model for selection of preventive maintenance intervals. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 28, p. 585-593, 2012.

ALMEIDA, Paulo Samuel de. **Gestão da manutenção**: aplicada as áreas industrial, predial e elétrica. São Paulo: Saraiva, 2017. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=XLdiDwAAQBAJ&pg=PT16&dq=conceitos+manuten%C3%A7%C3%A3o&hl=ptPT&sa=X&ved=0ahUKEwiQq97S7dLhAhV7I7kGHdfCywQ6AEIOzAD#v=onepage&q=conceitos%20manuten%C3%A7%C3%A3o&f=false> e. Acesso em: 15 abr. 2019.

ASHTON, K. That 'Internet of Things' thing. **RFID Journal**, [s.l.], 22 jun. 2009. Disponível em: <https://www.rfidjournal.com/expert-views/that-internet-of-things-thing/73881/>. Acesso em: 4 out. 2018.

ASSAF NETO, Alexandre. **Matemática financeira**. São Paulo: Atlas, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5462**: confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

BEN-DAYA, M. *et al.* **Introduction to maintenance engineering**: modeling, optimization, and management. 1. ed. Hoboken: Wiley, 2016.

BORGATO, João Marcos Marrach. **Projeto e dimensionamento de uma prensa hidráulica tipo c automatizada**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/35033>. Acesso em: 15 abr. 2019.

BRIGHAM, Eugene F.; EHRHARDT, Michael C. **Administração financeira**: teoria e prática. 13. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

CARDOSO, Edgard Gonçalves. **Administração da manutenção industrial**: técnicas aplicadas. São Paulo: Editora Senai-SP, 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Desafios para a Indústria 4.0 no Brasil**. Brasília: CNI, 2016. 34 p.

CORRÊA, Luís Henrique; RIVABEN, Gustavo; PINHEIRO, Weslei Cardoso. **Automação de prensa excêntrica**. 2021. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/7999?mode=full> . Acesso em: 15 abr. 2019.

DIAS, Sidnei Lopes. **A cultura da mudança e a mudança de cultura**. [s.l.]: Abramam, [2005]. Disponível em: <http://www.abraman.org.br/Arquivos/105/105.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2019.

ELIAS, G.; LOBATO, L. C. **Arquitetura e protocolos de rede TCP-IP**. 1. ed. Rio de Janeiro: Escola Superior de Redes, 2013. 418 p.

FABRICIO, Marcos Aurelio. **Monitoramento de equipamentos elétricos industriais utilizando IoT**. 2018. Disponível em: <https://repositorio.sis.puc-campinas.edu.br/handle/123456789/15020>.

FERRAZ JÚNIOR, Fábio. **Aprendizado de máquina para a detecção e diagnóstico de anomalias em aplicações acionadas por motores elétricos**. São Paulo: Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação-USP, 2022.

FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2011. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=_GhSnuKRBtwC&pg=PT237&dq=conceitos+manuten%C3%A7%C3%A3o&hl=ptPT&sa=X&ved=0ahUKEwiQq97S7dLhAhV7I7kGHdfCywQ6AEILjAB#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 16 abr. 2019.

GALLOWAY, B.; HANCKE, B. Introduction to industrial control network. **IEEE Communications Surveys & Tutorial**, v. 15, n. 2, p. 860-880, 2013

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GILCHRIST, A. **Industry 4.0: the industrial Internet of Things**. 1. ed., Califórnia: Apress, 2016.

GITMAN, Lawrence J.; ZUTTER, Chad J. **Princípios de administração financeira**. 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

GOMES, C.F.S. **Tomada de decisão gerencial**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

GUNGOR, A.; GUPTA, S.M. Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey. **Computers & Industrial Engineering**, v.36, n.4, p.811-853, 1999.

LEME, Murilo Oliveira. **Metodologia de manutenção preditiva para motores elétricos baseada em monitoramento de variáveis físicas e análise multicritério**. 2017. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2905> . Acesso em: 18 set. 2019.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de Pesquisa: Planejamento e Execução de Pesquisas, Amostras e Técnicas de Pesquisas, Elaboração, Análise e Interpretação de Dados**. 8 ed., São Paulo: Atlas, 2017.

MILONI, D. **Building the Internet of Things with IPv6 and MIPv6**. The evolving world of M2M communications. Canadá: Wiley, 2013.

NEPOMUCENO, Lauro Xavier. **Técnicas de manutenção preventiva**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 1989. 501 p.

PÁDUA, Hugo Garofalo de. **Análise da indústria 4.0 e o uso de suas tecnologias no auxílio da detecção de falhas prematuras de motores elétricos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira: UNESP, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/235995> . Acesso em: 18 set. 2019.

PATEL, K. N *et al.* A survey on emulation testbeds for mobile ad-hoc networks. **Procedia Computer Science**, v. 45, p. 581–591, 2016.

PEREZ-GONZALEZ, P.; FRAMINAN, J. M. A common framework and taxonomy for multicriteria scheduling problems with interfering and competing jobs: multi-agent scheduling problems. **European Journal of Operational Research**, v. 235, n. 1, p. 1-16, 2014.

PETRUZELLA, F. D. **Controladores lógicos programáveis**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PICAZO-RÓDENAS, M.J. *et al.* Use of the infrared data for heating curve computation in induction motors: application to fault diagnosis. **Engineering Failure Analysis**, v. 35, p. 178-192, 2013.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: FEEVALE, 2013.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Centrais Elétricas Brasileiras S. A. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso - ano base 2005: Classe industrial - Alta tensão: Relatório Brasil**. Rio de Janeiro: Procel, 2008. 85 p. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/services/procel-info/Simuladores/DownloadSimulator.asp?DocumentID=%7B53CBA212%2D2AD0%2D4DF1%2DA00A%2DBF20C8204ED6%7D&ServiceInstUID=%7B5E202C83%2DF05D%2D4280%2D904%2D3D59B20BEA4F%7D>. Acesso em: 02 nov. 2008.

SCHÜTZE, A; HELWIG, N; SCHNEIDER, TIZIA. Sensors 4.0: smart sensors and measurement technology enable Industry 4.0. **Journal of Sensor and Sensor Systems**, v. 7, n. 1, p. 359-371, 2018.

SILVA NETO, João Cirilo da; LIMA, Antônio Marcos Gonçalves de. **Implantação do controle de manutenção**. [s.l]: 2002. Disponível em: <http://www.mantenimentomundial.com/notas/11controle.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2019.

SILVA, Ronaldo Rodrigues da ; ARAÚJO, Tamires Sousa. Confiabilidade de prensas excêntricas horizontais paralelas de uma linha de fabricação de embalagens metálicas para bebidas. **Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 15, n. 2, p. 253. 2020. Disponível em: <https://revista.feb.unesp.br/gepros/article/view/2516>. Acesso em: 20 jul. 2025.

SILVA, T. Large-scale study of city dynamics and urban social behavior using participatory sensing. **Wireless Communications, IEEE**, v. 21, n. 1, p.42–51, 2015.

SOUZA, Leandro Costa de. TIA Portal: **Conversão de Escalas**. 2015. Disponível em: <https://w3.siemens.com.br/home/br/pt/pvendas/Documents/S7-1200%20-%20Conversao%20de%20Escalas.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2019.

SPAMER, Fernanda Rosa. **Técnicas preventivas de manutenção de máquinas rotativas**. Trabalho de Conclusão de Curso - (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11422/7208>. Acesso em: 11 nov. 2019.

VIEIRA, Daniel Damaceno. **Framework IOT para análise do desempenho de motores elétricos trifásicos**. Trabalho de Conclusão de Curso - (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://dspace.mackenzie.br/handle/10899/29075>. Acesso em: 11 nov. 2019.

WEG. **Weg Motor Scan**. 2022. Disponível em: <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>. Acesso em: 15 jul. 2022.

WEISER, M. The computer for the 21st century. **Scientific American**, v. 265, n. 3, p. 66–75, 1991.

WHELAN, C.; SASSANO, E. ; KELLEY, J. Management of electric motor repair. **IEEE Industry Applications Magazine**, v. 12, n.3, p. 74-83, 2006.

Sobre os Autores

ⁱ Gustavo Baloni



Graduação em Engenharia Mecânica pela Faculdade Anhembi Morumbi (2018). Pós-Graduação em Gestão da Manutenção 4.0 pela Faculdade SENAI Roberto Simonsen. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em manutenção de máquinas e Planejamento de Manutenção. É analista de engenharia.

ⁱⁱ Edgard Goncalves Cardoso



Engenheiro de Produção Mecânica e de Segurança do Trabalho, com formação técnica, tecnológica e MBA em Gestão Empresarial. Mestre e Doutorando em Energia, especialista em Manutenção Industrial, Gestão de Projetos, Gestão de Pessoas, Educação Especial e Inclusiva, Tecnologia e Formação de Professores. Experiência nas áreas de manutenção, educação, energia, administração e gestão de riscos. Atua como Técnico de Laboratório de Mecatrônica na UFABC e professor no SENAI-SP. Trabalhou na Arno S.A., Crisflex, Fatec, Facens e Scania. Diretor e Secretário da ASSEAM, Mentor Lean e Black Belt em Lean Six Sigma, coautor de quatro livros. Membro da ABNT, ABRAMAN e ministro na Igreja Católica, cursando Teologia. <https://orcid.org/0000-0001-8953-9464>

ⁱⁱⁱ Leandro Cardoso da Silva



Graduado em Engenharia de Produção Mecânica pelo Centro Universitário Nove de Julho, com Mestrado em Engenharia dos Materiais pela Universidade Presbiteriana Mackenzie e Doutorando em Engenharia Mecânica na USP. Possui experiência acadêmica e industrial em engenharia industrial, mecânica automobilística, materiais poliméricos, análise estrutural por elementos finitos, manutenção, cadeia de suprimentos, logística, administração e gestão da produção. Atuou por 14 anos em empresas multinacionais do setor automotivo, na área de desenvolvimento de produtos como componentes de suspensão do motor, comandos de passagem de marcha, pedaleiras, sistemas de exaustão e admissão de ar para caminhões, ônibus e automóveis, integrando engenharia de produto e processos de manufatura. <https://orcid.org/0000-0003-1636-3685>.

iv Lucas Almeida Willenshofer

Graduado em Engenharia de Controle e Automação e Engenharia Elétrica pela Faculdade ENIAC, com mestrado em Engenharia Mecânica pelo IFSP, onde pesquisou detecção de falhas em rolamentos com redes neurais e sensores MEMs. Atua como professor nas áreas de Engenharia e Manutenção Industrial no SENAI-SP e ENIAC. Experiente em Automação Industrial, Engenharia Elétrica e TI, domina protocolos como RS232, UART, SPI, I2C, Bluetooth e WiFi, integrando hardware e aplicativos. Especialista em plataformas IoT, validação de projetos, aquisição e transmissão de dados, automação de processos e redes industriais. Elabora soluções de infraestrutura e comunicação, com foco em protocolos como TCP/IP, Modbus, Profibus e Profinet, alinhadas à Indústria 4.0. <https://orcid.org/0009-0008-8884-7607>.

v Manuel Patricio da Silva Bisneto

Doutor em Nanociências e Materiais Avançados pela UFABC (2019-2024), mestre em Engenharia Mecânica e Aeronáutica pelo ITA (2018), com dissertação sobre Design for High Speed Machining. Especialista em Engenharia de Produção pela Uninter (2014) e graduado em Tecnologia em Processos de Produção pela FATEC-SP (2002). Professor de nível superior com experiência em Engenharia Mecânica e de Produção, atuando no desenvolvimento de produtos e processos, gestão de projetos e inovação. Consultor em Desenvolvimento Integrado de Produto (DIP) e Lean Manufacturing, com domínio de ferramentas como PFMEA, DFMEA, DFA e DFM. Participa de projetos em setores diversos, elaborando orçamentos e fomentando inovação, com forte atuação em modelagem 3D e simulações. <https://orcid.org/0000-0002-2176-2288>