

2023

# MANUTENÇÃO 4.0: A MANUTENÇÃO NA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL



Edgard Gonçalves Cardoso

[www.professoredgard.com](http://www.professoredgard.com)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1	Objetivo Geral .....	3
1.2	Objetivos Específicos.....	3
<b>2</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO: A MANUTENÇÃO NA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL</b> .....	<b>4</b>
3.1	História da manutenção .....	4
3.2	Evolução da manutenção .....	5
3.3	Manutenção Classe Mundial.....	7
3.4	Manutenção 4.0 .....	8
3.4.1	Manutenção preditiva.....	8
3.4.2	Internet das coisas aplicada à manutenção .....	8
3.4.3	Big Data aplicada à manutenção .....	9
3.4.4	Cloud computing e edge computing aplicadas à manutenção .....	9
3.4.5	Inteligência artificial aplicada à manutenção.....	10
3.4.6	Manutenção prognóstica.....	10
3.4.7	Manutenção prescritiva e analítica.....	11
3.5	Análise SWOT da Manutenção 4.0.....	11
3.5.1	Forças.....	11
3.5.2	Fraquezas.....	12
3.5.3	Oportunidades .....	13
3.5.4	Ameaças.....	13
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO CRÍTICA</b> .....	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>15</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>17</b>

## RESUMO

A manutenção é uma área da organização empresarial que foi se desenvolvendo à medida que a complexidade dos sistemas instalados nas fábricas aumentou. A administração da manutenção tem por objetivo normatizar as atividades, ordenar os fatores relacionados à produção, contribuir para a produção e a produtividade com eficiência, eficácia e efetividade, sem desperdícios e retrabalho, gerenciando sistemas informatizados relativos à manutenção de máquinas e equipamentos. A tecnologia continua evoluindo. Atualmente se fala em Indústria 4.0, ou a 4ª Revolução Industrial, conceito este que engloba as principais inovações tecnológicas dos campos de automação, controle e tecnologia da informação, aplicadas aos processos de manufatura. A maneira como se administra a manutenção também tende a mudar. Neste trabalho foi estudado o estado da arte no que concerne a manutenção industrial na denominada Quarta Revolução Industrial, apresentando breve histórico da manutenção industrial, descrevendo os principais tipos de tecnologias aplicadas na Quarta Revolução Industrial e descrevendo como os principais tipos de tecnologias aplicadas na Quarta Revolução Industrial afetam a manutenção.

**Palavras-chave:** Manutenção Industrial. Manutenção 4.0. Quarta Revolução Industrial. Manutenção Preditiva.

## ABSTRACT

*Maintenance is an area of the organization that developed as the complexity of systems installed in factories increased. Maintenance administration aims to standardize activities, order factors related to production, contribute to production and productivity efficiently and effectively, without waste and rework, managing computerized systems related to the maintenance of machinery and equipment. The technology keeps being developed. Currently, there is talk of Industry 4.0, or the 4th Industrial Revolution, a concept that encompasses the main technological innovations in the fields of automation, control and information technology, applied to manufacturing processes. The way maintenance is managed is also likely to change. In this work, the state of the art regarding industrial maintenance in the so-called Fourth Industrial Revolution was studied, presenting a brief history of industrial maintenance, describing the main types of technologies applied in the Fourth Industrial Revolution and describing how the main types of technologies applied in the Fourth Revolution Industrial affect maintenance.*

**Keywords:** *Industrial Maintenance. Maintenance 4.0. Fourth Industrial Revolution. Predictive Maintenance.*

## 1 INTRODUÇÃO

“A questão para todas as indústrias e empresas, sem exceção, não é mais: ‘haverá ruptura em minha empresa?’, mas: ‘quando ocorrerá a ruptura, quanto irá demorar e como ela afetará a mim e a minha organização?’”. Essas são as palavras do Ph.D. professor Klaus Schwab\*, fundador e presidente executivo do Fórum Econômico Mundial (*World Economic Forum – WEF*), uma organização internacional de cooperação público-privada, sem fins lucrativos, com sede em Genebra.

E é com base na frase do professor Klaus que a palavra *disrupção* se encaixa. E *disrupção* é o que está movendo a manutenção tradicional para a manutenção 4.0, a manutenção baseada na tecnologia, na análise de dados, na robotização, na manufatura aditiva.

A manutenção 4.0 é sustentada por alguns pilares tecnológicos, como a manutenção preditiva, a internet das coisas, *Big Data Analytics*, *Edge Computing*, inteligência artificial e as manutenções prognóstica e prescritiva.

A manutenção preditiva é um método de manutenção que age na prevenção de falhas nos ativos da organização, através do monitoramento constante de variáveis, tais como, vibração, temperatura e índice de contaminação. Softwares dotado de alta capacidade de processamento compilam os dados obtidos e fornecem relatórios gerenciais para a tomada de decisão da engenharia e da equipe técnica ou, em alguns casos, realizam a auto adaptação da máquina ou sistema às melhores condições de funcionamento, aumentando a disponibilidade e a confiabilidade.

A Internet das Coisas (IoT) é a conexão entre dispositivos e a Internet. No processo de gerenciamento da manutenção, a IoT dará suporte essencial aos processos de manutenção preditiva, análise de dados em tempo real, métricas de desempenho, recomendações de reparo automático, gestão de inventário e monitoração remota de ativos da organização.

A obtenção de dados através do *Big Data Analytics* é muito relevante para gerenciar as condições e prever falhas em máquinas e equipamentos. Além disso, com a utilização do Big Data é possível a obtenção de estratégias de manutenção e fornecimento de insights para a gerência resolver problemas de manutenção, sendo

essas estratégias denominadas proativas. Além disso, também são viabilizados processos analíticos, que, bem projetados, reduzem consideravelmente o tempo de resposta da manutenção e melhoram substancialmente a disponibilidade do sistema produtivo.

A computação de borda (*Edge Computing*) é aquela na qual o processamento acontece no local físico (ou próximo) do usuário ou da fonte de dados (máquinas e equipamentos). A importância da computação de borda na implantação da manutenção preditiva na Indústria 4.0 permite que a análise e o processamento de dados sejam executados no local, sem a necessidade de uma conexão à Internet, ou seja, o acesso aos dados pode ser realizado também remotamente. Para a transição dos sistemas de computação comumente utilizados nas organizações para a *Edge Computing* faz-se necessário um gerenciamento centralizado, interoperabilidade e a garantia de atualizações de segurança.

Em termos básicos e objetivos, o uso de *Artificial Intelligence* (Inteligência Artificial, IA) é uma ação com o objetivo de substituir a inteligência humana pela inteligência das máquinas. As aplicações de IA na manutenção são embasadas pela utilização de modelos inteligentes de otimização de manutenção, especificação de administração como, por exemplo, a obtenção de orçamentos de custos de projetos e seleção de métodos tecnicamente e economicamente ideais de reparo.

A manutenção prognóstica tem por princípio fornecer ao responsável técnico informações sobre a previsibilidade de desempenho de máquinas ou equipamentos, apresentando dados sobre a impossibilidade, no período de tempo, onde estes não mais desempenharão suas funções conforme especificado, baseando-se nas análises preditivas. Esta técnica faz uso de *Machine Learning*, *Neural Networks* e *Neural Fuzzy Systems*.

Por fim, a manutenção prescritiva, a qual concatena tudo o que as demais técnicas de manutenção da Indústria 4.0 apresentam, tem por finalidade dar respostas tecnicamente assertivas, objetivando resultados otimizados, ou seja, com altíssimos rendimentos e curtos intervalos de tempo. O princípio de atuação da manutenção prescritiva é baseado no desempenho que o usuário pretende alcançar com determinada máquina, equipamento, conjunto ou sistema e, esta técnica de

manutenção irá proporcionar os parâmetros ideais para que este desempenho seja atingido. Para isso, a manutenção prescritiva, faz uso de *Machine Learning, Neural Networks, Neural Fuzzy Systems, IoT, Big Data Analytics, Edge Computing e Artificial Intelligence*. O processamento de dados com essa complexidade de processo envolvidos apresentará o máximo desempenho que um sistema poderá oferecer.

Assim, podemos ter a certeza de que as palavras do professor Klaus Schwab realmente fazem muito sentido, ou seja, a questão não é se haverá ruptura dos processos de manutenção da organização, mas sim quando ocorrerá e como irá afetar o modo de trabalho dos profissionais e a maneira como as organizações empresariais funcionarão no futuro, futuro este que podemos chamar de presente.

### 1.1 **Objetivo Geral**

O objetivo geral do presente trabalho é apresentar o estado da arte no que concerne a manutenção industrial na denominada Quarta Revolução Industrial.

### 1.2 **Objetivos Específicos**

- a) apresentar breve histórico da manutenção industrial;
- b) descrever os principais tipos de tecnologias aplicadas na Quarta Revolução Industrial; e
- c) descrever como os principais tipos de tecnologias aplicadas na Quarta Revolução Industrial afetam a manutenção.

## 2 **MATERIAIS E MÉTODOS**

Para a realização do presente trabalho, a metodologia aplicada sustentou-se por documentação indireta, composta de pesquisa documental e pesquisa bibliográfica, representando uma síntese do conhecimento o que já foi escrito até a presente data. Foram consultadas e apresentar o maior número possível de referências bibliográficas, bem como indicação dos principais trabalhos publicados sobre o tema.

### **3 DESENVOLVIMENTO: A MANUTENÇÃO NA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL**

A manutenção evoluiu no decorrer da história, acompanhando as inovações tecnológicas e as mudanças nos padrões de produção, especialmente durante o que se denominou Terceira Revolução Industrial, quando os processos se tornaram mais complexos e realizar intervenções corretivas durante o processo produtivo era impensável, visto que os custos resultantes de paradas não programadas geravam altíssimos prejuízos financeiros para as empresas.

#### **3.1 História da manutenção**

Sabe-se que máquinas em inatividade concorrem para a minimização dos lucros de um empresário, pois fatalmente menos produtos serão fabricados e menos valor será agregado ao negócio. Nesse contexto, manter máquinas e equipamentos em pleno funcionamento, proporcionarão resultados contrários aos supracitados, concorrendo agora para a maximização dos lucros do empresário é o grande desafio da manutenção e a sua razão de existir.

Um setor dedicado à manutenção de máquinas, equipamentos, dispositivos, ferramentas e instalações nem sempre existiu, visto que a necessidade de intervenção técnica era negligenciada pelos proprietários das primeiras fábricas, tendo em vista que os mesmos, juntamente com algum engenheiro, realizavam as intervenções técnicas corretivas quando necessário (POOR, ŽENÍŠEK e BASL, 2019).

Também corroborava para a inexistência de um setor de manutenção a baixa qualificação técnica do pessoal que trabalhava nas fábricas, sendo estes, em grande maioria, vindos do campo para as recém-inauguradas fábricas.

Nesse princípio de industrialização, fatores relativos à manutenção ainda eram marginalizados. Entretanto, à medida que as fábricas foram se modernizando com a ajuda das novas tecnologias implementadas nos processos produtivos, as máquinas também se tornaram mais complexas. Assim, não era mais possível que o proprietário da fábrica e o pessoal de engenharia realizassem as intervenções técnicas sem comprometer as decisões gerenciais, a nível estratégico e tático. Começa aí um esboço do setor de manutenção nas fábricas.



Com o passar dos anos a necessidade de trabalhadores dedicados única e exclusivamente às tarefas relativas à manutenção aumentou e continua aumentando até os dias atuais. Como exemplo de ampliação da importância da manutenção nas organizações, pode-se verificar o aumento de proporção de 1 em cada 17 funcionários em 1969 para 1 em cada 12 funcionários em 1981 na indústria estadunidense (NIEBEL, 1994).

### 3.2 **Evolução da manutenção**

O período que antecede a Segunda Guerra Mundial é composto por fábricas repletas de máquinas com tecnologia demasiadamente limitada e com capacidade de produção reduzida, além de os sistemas de instrumentação e controle serem muito básicos ou inexistentes (VILAÇA e ARAUJO , 2006).

Além disso, a demanda por produtos normalmente não excedia a capacidade produtiva das máquinas; aliás, muitas vezes estava bem distante desta. Assim, quando uma máquina se encontrada na condição de reparo, ou seja, avariada, não se fazia necessário intervir tecnicamente com urgência, pois havia um tempo ocioso da máquina, o qual não comprometia a produção. Alinhado a isso, as máquinas desse período eram consideravelmente robustas, caracterizando-as como de difícil quebra.

Com o fim da Segunda Guerra Mundial, as economias capitalistas viveram uma era de grande desenvolvimento, a qual foi denominada “Era de Ouro do Capitalismo” (SAES e SAES, 2013).

A partir da década de 1950, com a indústria reconstruída após a Segunda Guerra Mundial, países como Japão, Alemanha e Estados Unidos coordenam um mercado cada vez mais competitivo, onde a ociosidade outrora aceitável de máquinas e equipamentos já não mais era possível (SAES e SAES, 2013).

Nesse cenário as relações trabalhistas também sofreram grandes mudanças. Os trabalhadores exigiam cada vez mais direitos e a mão de obra especializada era disputada pelas empresas. Assim, o custo do trabalho tornou-se cada vez mais relevante, conduzindo as empresas a uma mecanização e automação mais intensiva, onde as máquinas eram menos robustas e suas capacidades produtivas

eram muitos superiores às suas antecessoras. Nesse contexto não se podia aguardar a quebra de uma máquina para realizar a intervenção, pois agora a máquina parada significava perda de produtividade e conseqüentemente dos lucros. Surge então a manutenção Preventiva Programada.

A manutenção continuou sua evolução: já não era apenas uma subárea da produção, mas sim um setor da empresa, responsável não somente para fazer intervenções corretivas, mas também manter máquinas e equipamentos em seus respectivos pontos ótimos de funcionamento (POOR, ŽENÍŠEK e BASL, 2019).

O final do século XX marca, definitivamente, uma nova visão mercadológica que deveria ser adotada pelas organizações, pois estas foram surpreendidas e procuraram se reestruturar rapidamente dentro desse novo contexto global, visando ao atendimento das necessidades dos clientes, mantendo qualidade e buscando maior competitividade no mercado (BROWN e SONDALINI, 2010).

Com este novo cenário, manutenção passou a ter cada vez mais destaque dentro de uma organização, deixando de estar apenas no nível operacional, mas também atuando no nível tático e em determinados casos em nível estratégico, como nas usinas sucroalcooleiras, onde a manutenção de todo o parque fabril é realizada, normalmente uma vez ao ano, sendo este procedimento vital para o sucesso desta indústria.

Os procedimentos de manutenção preventiva são ações programadas realizadas para minimizar a chance de uma falha ou para melhorar a confiabilidade do sistema (TZVETKOVA e KLAASSENS, 2001).

O motivo mais importante de um programa de manutenção preventiva é a redução de custos colocados em perspectivas específicas: redução do tempo de parada da produção, resultando em menos paradas de máquinas, melhor conservação dos equipamentos e aumento da expectativa de vida dos equipamentos, redução dos custos de horas extras e uso mais econômico da manutenção trabalhadores devido ao trabalho com base em um cronograma em vez de com base em acidentes para reparar as avarias (KARDEC e NASCIF, 2012).

Reparos de rotina em tempo oportuno resultam em menos reparos em grande escala e, por conseguinte, em custo reduzido de intervenções causadas por falhas secundárias.

Um programa de manutenção preventiva também impacta em redução de rejeitos, redução de retrabalho e redução de refugo de produtos devido a uma melhor condição geral dos equipamentos, bem como na identificação dos equipamentos com custos excessivos de manutenção, indicando a necessidade de manutenção corretiva e melhoria das condições de segurança e qualidade (TAVARES e SILVA, 2021).

### 3.3 **Manutenção Classe Mundial**

Classe mundial pode ser definida como uma ferramenta usada para pesquisar e permitir que uma empresa desempenhe no melhor nível da classe. É útil usar a planta como o nível de análise porque, embora a manufatura de classe mundial (*WCM – World Class Maintenance*) seja uma estratégia abrangente, muitas de suas iniciativas de melhorias mensuráveis ocorreram em o nível da planta (FLYNN, SCHROEDER e BATES, 1989).

Considerações estratégicas e as decisões operacionais são influenciadas por outras funções corporativas, como produção, finanças, qualidade e recursos humanos.

É verdade que o informações coletadas por esses sistemas no nível operacional e ações tomadas são de fato estratégicas - maior disponibilidade de ativos, produtividade e qualidade, bem como gerenciamento de recursos, controle de estoque, planejamento e assim por diante (LABIB, 1998).

Indicadores *WCM (World Class Maintenance)* medem a manutenção desempenho em comparação com os níveis de "classe mundial".

Medir o desempenho permite identificar potenciais melhorias, bem como determinar quais estratégias, programas ou atividades necessários para implementar tais melhorias. Os indicadores precisam ser mensuráveis, o significa

que devem ser capazes de medir o estado atual dos processos existentes em uma organização (RAZA, IMAM e RATNAYAKE, 2013).

### 3.4 **Manutenção 4.0**

A Manutenção 4.0 é composta pelas tecnologias que são pilares da Quarta Revolução Industrial, bem como aprimora características e boas práticas já implementadas com sucesso no decorrer do desenvolvimento da manutenção.

Nos subitens a seguir, serão apresentados os conceitos sobre Manutenção Preditiva, Internet das Coisas, Big Data, Computação em Nuvem, Inteligência Artificial e Manutenção Prescritiva.

#### 3.4.1 *Manutenção preditiva*

A manutenção preditiva, também denominada atualmente como PdM 4.0, é hoje uma das formas mais avançada de manutenção. É um método de prevenção de falha de ativo analisando dados de produção para identificar padrões e prever problemas antes que eles aconteçam (POOR, ŽENÍŠEK e BASL, 2019; CARDOSO, RIGOLON, *et al.*, 2019; CARDOSO, RIGOLON, *et al.*, 2017).

A chave para isso é uma combinação de análise de big data e inteligência artificial para criar insights e detectar padrões e anomalias. Inclui monitoramento contínuo em tempo real de ativos em combinação com dados externos (por exemplo, dados ambientais, uso etc.) com alertas baseados em técnicas preditivas, como análise de regressão, para pelo menos um ativo importante (Orosz *et al.*, 2015).

#### 3.4.2 *Internet das coisas aplicada à manutenção*

A internet possibilitou que as tecnologias máquina a máquina (*M2M – Machine to Machine*) atingissem um nível de comunicação avançada, envolvendo serviços, pessoas, máquinas ou qualquer objeto físico com sistemas embutidos (FIRJAN, 2016).

Essa rede de objetos físicos, sistemas, plataformas e aplicativos com tecnologia embarcada para comunicar, sentir ou interagir com ambientes internos e externos é denominada *Internet of Things* – IoT (ou Internet da Coisas, em Português) (FIRJAN, 2016).

Isso resulta na necessidade de uma infraestrutura de rede que interliga objetos físicos e virtuais, gerando um grande volume e processamento de dados, os quais desencadeiam ações de comando e controle das coisas.

No conceito de manutenção 4.0, a Internet das Coisas permite novas análises e percepções, sendo a aplicação mais elaborada, atualmente, a manutenção preditiva combinada com a análise de *Dig Data*.

### **3.4.3 *Big Data aplicada à manutenção***

O Big Data é um novo paradigma de mineração de dados, que combina técnicas de análise e modelagem que exigem grande capacidade de armazenamento e poder de processamento (COSTA, 2017).

O monitoramento das instalações das organizações fornece uma grande quantidade de dados. Este “Big Data” contém uma grande variedade de informações e, por isso, pode-se prever eventos que outrora não seriam possíveis, trabalhando-se esses dados e transformando-os em informações: as principais empresas fornecem monitoramento contínuo de ativos com avisos baseados em técnicas preditivas, onde a análise de regressão é uma dessas técnicas.

### **3.4.4 *Cloud computing e edge computing aplicadas à manutenção***

Os avanços na computação em nuvem remodelam a indústria de manufatura em um modelo de negócios de baixo custo, dinamicamente escalável, orientado a serviços sob demanda e altamente distribuído. No entanto, também apresenta desafios como confiabilidade, disponibilidade, adaptabilidade e segurança em máquinas e processos além de fronteiras espaciais (WANG, ZHANG, *et al.*, 2017).

Antes do surgimento do paradigma *Edge Computing*, *Cloud Computing* tinha uma estrutura centralizada onde a computação e o armazenamento eram implantados apenas em um servidor centralizado ou distribuído na nuvem remota.

No paradigma *Edge Computing* uma parte importante das tarefas de computação e até mesmo de armazenamento não acontecem mais na nuvem, mas no “Edge”, disponibilizando os processos de computação mais próximos dos locais onde os dispositivos IoT funcionam (SITTÓN-CANDANEDO, ALONSO, *et al.*, 2020).

Isso permite liberar uma parte importante da carga computacional dos servidores em nuvem, evitando a sobrecarga de tráfego de rede e custos, e reduzindo o tempo de resposta necessário para novos aplicativos baseados em IoT.

Para a manutenção 4.0 isso é mais rápido, seguro e barato quando se divide entre os dados armazenados e processados localmente e os dados enviados para a nuvem.

#### **3.4.5 *Inteligência artificial aplicada à manutenção***

Os Sistemas de manutenção que fazem uso de técnicas de processamento de sinais e inteligência artificial, quando atuam em conjunto, são conhecidos como sistemas de manutenção inteligente. Através desses sistemas é possível monitorar as condições físicas, tomar decisões, efetuar ações de manutenção e fornecer diagnósticos precisos de falhas (GONÇALVES, 2011).

#### **3.4.6 *Manutenção prognóstica***

Coletados os dados de monitoramento, procede-se o diagnóstico e prognóstico de falhas. O diagnóstico de falhas em máquinas é um procedimento de mapeamento das informações extraídas dos dados de monitoramento da condição e de eventos em um espaço de modos de falha, também conhecido como reconhecimento de padrões (SOUZA, 2008).

Identificados os padrões que configuram um determinado modo de falha incipiente, procede-se uma análise da tendência de evolução destes padrões estabelecendo-se o prognóstico da falha (SOUZA, 2008).

Prognóstico é uma disciplina de engenharia focada em prever o momento em que um sistema ou componente não executará mais sua função pretendida. Essa forma de manutenção baseia-se na análise na manutenção preditiva. Ele usa aprendizado de máquina, reconhecimento de padrões e outras técnicas avançadas, como "redes neurais" e "sistemas nebulosos neurais".

### **3.4.7 *Manutenção prescritiva e analítica***

Com os conceitos avançados de digitalização em implementação nas organizações e com a aplicação dos conceitos de inteligência artificial, os ativos se tornam conscientes de si mesmos e capazes para prever seu futuro status operacional de acordo com a demanda estimada, usando seus próprios gêmeos digitais (*Digital Twins - TD*) e as implementações de TD de processo. Portanto, os ativos tornam-se conscientes de sua função de falha a tempo e, assim, podem estimar suas necessidades de manutenção, o que é denominado de manutenção prescritiva (*Prescriptive Maintenance - PcrM*) (MARTÍN, ÁLVAREZ, *et al.*, 2020).

*Prescriptive Maintenance - PcrM* é o conceito mais avançado em manutenção industrial, tendo sua estrutura sustentada por Big Data, análise gráfica, simulações, processamento de eventos complexos, redes neurais (*neural networks*) e aprendizado de máquina (*machine learning*).

A *Prescriptive Maintenance - PcrM* vai além da manutenção preditiva, pois não apenas reflete os resultados possíveis de uma abordagem específica, mas também avalia qual abordagem é a mais rápida ou mais eficiente.

## **3.5 Análise SWOT da Manutenção 4.0**

### **3.5.1 *Forças***

- Melhora a eficiência econômica;
- Maximiza os lucros da produção e minimiza todos os custos e perdas, incluindo ativos;
- Reduz o tempo de manutenção e o estoque;

- Maior vida útil do equipamento;
- Melhoria na disponibilidade;
- Ajusta os dados em tempo real do status da máquina e prevê falhas futuras, além de permitir a tomada de decisão baseada em dados;
- Facilita a gestão do conhecimento das atividades de manutenção e eventos passados;
- Diminui o uso de peças sobressalentes e lubrificantes;
- Melhora a segurança ambiental e do trabalhador;
- Minimiza o fim da vida;
- Fornece melhorias para mitigação de acidentes; e
- Permite a experimentabilidade, ou seja, pode ser testado sem implementação completa.

### ***3.5.2 Fraquezas***

- Complexidade de inovação;
- Complexidade e grandes desafios para entender e aplicar tecnologias;
- Dificuldades em demonstrar benefícios financeiros;
- Necessidade de encontrar e até capacitar profissionais de manutenção especializados;
- Dificuldade no estabelecimento de indicadores de estado de dos ativos para estabelecer planos de manutenção;
- Manutenção corretiva/reativa, preventiva e baseada na condição insuficientes para o desenvolvimento de M4.0;



- Necessidade de pesquisas para ter um impacto amplo;
- Alto investimento de capital na adoção de novas TICs;
- Curta vida das TICs e tecnologias relacionadas, tornando-se obsoletas e sendo necessário substituí-las por sistemas de geração mais recente;
- Dificuldades em avaliar a qualidade dos dados em um período razoável devido às quantidades de dados e pouca informação relevante; e
- Tecnologia necessária pode ser proibitiva para pequenas e médias empresas.

### ***3.5.3 Oportunidades***

- Mudanças das políticas de manutenção e do papel dos trabalhadores no suporte às inovações tecnológicas;
- Desenvolvimento de novas tecnologias que afetam a engenharia de manutenção;
- Possibilidade única para fazer uma evolução disruptiva com M4.0;
- Contribuição para uma economia circular e sustentável;
- Desenvolvimento de novas capacidades organizacionais;
- Aumento do envolvimento dos funcionários, permitindo uma combinação de abordagens de cima para baixo e de baixo para cima;
- Criação de novos modelos integrados de custo-benefício que incluam impacto positivo na gestão de ativos; e
- Rastreabilidade dos fluxos de dados dos ativos de produção.

### ***3.5.4 Ameaças***

- Organizações com setores de manutenção incapazes de se adaptar podem causar grandes problemas aos ativos e a produção;

- Implantações não planejadas adequadamente podem resultar em altos custos para a organização;
- Mesmo com programações de manutenções preventivas e periódicas, as falhas das máquinas não são totalmente controladas;
- Falhas de segurança cibernética, confiabilidade e análise de falhas; e
- Questões de regulamentação e responsabilidade por normas, propriedade de dados, propriedade intelectual e segurança.

#### **4 DISCUSSÃO CRÍTICA**

A manutenção 4.0 é sustentada por alguns pilares, como a manutenção preditiva, a internet das coisas, Big Data Analytics, edge computing, inteligência artificial e as manutenções prognóstica e prescritiva.

A manutenção preditiva é um método de manutenção que age na prevenção de falhas nos ativos da organização através do monitoramento constante de variáveis, como vibração, temperatura e índice de contaminação.

A Internet das Coisas (IoT) é a conexão entre dispositivos e a Internet, dando suporte essencial aos processos de manutenção preditiva, análise de dados em tempo real, métricas de desempenho, recomendações de reparo, gestão de inventário e monitoração de ativos.

A obtenção de dados através do Big Data Analytics é muito relevante para gerenciar as condições e prever falhas em máquinas e equipamentos.

A computação de borda (edge computing) processa dados no local físico do usuário ou da fonte de dados, permitindo que a análise ocorra no local de trabalho, sem a necessidade de uma conexão à Internet.

As aplicações de Artificial Intelligence utilizam modelos inteligentes de otimização de manutenção como, por exemplo, obtenção de orçamentos de custos de projetos e seleção de métodos técnica e economicamente ideais de reparo.

A manutenção prognóstica fornece informações sobre a previsibilidade de desempenho de máquinas ou equipamentos, apresentado dados sobre a data na qual estes não mais desempenharão suas funções conforme especificadas.

A manutenção prescritiva une todas as demais técnicas de manutenção citadas, pois tem por finalidade responder tecnicamente às necessidades da manutenção, utilizando Machine Learning, neural fuzzy systems, IoT, Big Data, edge computing e AI.

O processamento de dados com essa complexidade de processo envolvidos apresentará o máximo desempenho que um sistema poderá oferecer, compondo a Manutenção da 4ª Revolução Industrial.

Considerando as tecnologias citadas que compõem aquilo que se convencionou denominar “Manutenção 4.0”, pode-se claramente verificar que manutenção vive um novo período de disrupção em suas bases e, devido a isso, pode-se verificar a importância da coleta e tratamento de dados para a obtenção de resultados mais assertivos no processo de gestão e execução da manutenção industrial.

## **5 CONCLUSÃO**

A manutenção sofreu grandes revoluções no decorrer do tempo, todas elas resultantes dos impactos das Revoluções Industriais. Entretanto, com o advento da Quarta Revolução Industrial, a manutenção industrial sofreu uma transformação síncrona e disruptiva, ou seja, transformou-se ao mesmo tempo e que as mudanças nas indústrias ocorreram e, além disso, incorporou e adaptou tecnologias que rompiam com conceitos considerados ultrapassados.

Com base nisso, pode-se verificar que grandes empresas de injetam bilhões em pesquisa e desenvolvimento no campo da Inteligência artificial, Computação em nuvem, *Big data*, Cyber segurança, Internet das coisas, Robótica avançada, Manufatura digital, Manufatura aditiva, Integração de sistemas, Sistemas de simulação e Digitalização.

Novos avanços se sucedem cada vez mais rápido, como por exemplo a aplicação de cobots nas indústrias, robôs que colaboram e aprendem com colegas

humanos, gerando a necessidade e implementação de sistema que minimizem drasticamente intervenções para manutenção corretiva através da análise de falhas.

Também há na manutenção da indústria 4.0 a aplicação de drones de inspeção e robôs de limpeza, os quais também desempenham um papel mais importante na manutenção, pois reduzem a necessidade de contato humano com sistemas onde identifica-se maior probabilidade de riscos.

Nesse contexto, também verifica-se cada vez mais a aplicação de termos como manutenção inteligente, sendo esses sistemas de manutenção que fazem uso de técnicas de processamento de sinais e inteligência artificial, atuando simultaneamente, monitorando as condições físicas, tomando decisões, efetuando ações de manutenção e fornecendo diagnósticos precisos de falhas, o que impacta em indicadores com disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade, ou seja, na eficiência global dos equipamentos e, pro consequente, do sistema produtivo.

## REFERÊNCIAS

- BROWN, P.; SONDALINI, M. **Asset Maintenance Management - The Path toward Defect Elimination**. [S.l.]: Lifetime Reliability - Solutions, 2010.
- CARDOSO, E. G. et al. **Manutenção Eletromecânica**. São Paulo: SENAI-SP, 2016. 632 p. ISBN ISBN 978-85-8393-424-0.
- CARDOSO, E. G. et al. **Manutenção Mecânica Industrial - Técnicas Preditivas e de Análise de Falhas**. 1ª. ed. São Paulo: SENAI-SP, 2017. 2016 p. ISBN ISBN 978-85-9363-853-8.
- CARDOSO, E. G. et al. **Administração da Manutenção Industrial - Técnicas Aplicadas**. São Paulo: SENAI-SP, 2019. 336 p. ISBN ISBN 978-85-8393-963-4.
- COSTA, C. I. D. A. **Aplicação de Técnicas de Big Data à Previsão de Carga Elétrica**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, p. 179. 2017.
- FIRJAN. **Indústria 4.0: Internet das Coisas**. Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 38. 2016.
- FLYNN, B. B.; SCHROEDER, G.; BATES, K. A. World class manufacturing in the United. **Proceedings of the Decision Sciences Institute**, New Orleans Institute, 1989.
- GONÇALVES, L. F. **Desenvolvimento de um Sistema de Manutenção Inteligente Embarcado**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 233. 2011.
- JASIULEWICZ - KACZMAREK, M.; GOLA, A. Maintenance 4.0 Technologies for Sustainable Manufacturing – an Overview. **ScienceDirect IFAC-PapersOnLine**, p. 91–96, 2019.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção - Função Estratégica**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: QualityMark, 2012. ISBN ISBN-13: 978-8541400404.
- LABIB, A. World-class maintenance using a computerised maintenance management system. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 4, p. 66-75, Março 1998.
- MARTÍN, M. G. et al. New Business Models from Prescriptive Maintenance Strategies Aligned with Sustainable Development Goals. **MPDI Sustainability**, Basel, n. 213, p. 26, 2020.
- MOURTZIS, D. et al. Integrated Production and Maintenance Scheduling Through Machine Monitoring and Augmented Reality: An Industry 4.0 Approach. **HAL-Inria**, p. 354-362, Setembro 2017. Disponível em: <<https://hal.inria.fr/hal-01666188>>.
- MULDERS, M.; HAARMAN, M. **Predictive Maintenance 4.0 - Predict the unpredictable**. [S.l.]: [s.n.], 2017.

NIEBEL, B. W. **Engineering Maintenance Management**. New York: Marcel Dekke, 1994.

POOR, P.; ŽENÍŠEK, D.; BASL, J. Historical Overview of Maintenance Management Strategies: Development from Breakdown Maintenance to Predictive Maintenance in Accordance with Four Industrial Revolutions. **Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management**, Pilsen, p. 495-504, Julho 2019.

RIBEIRO, D.R.S., MENDES, L.G., FORCELLINI, F.A., FRAZZON, E.M. (2022). Maintenance 4.0: A Literature Review and SWOT Analysis. In: Freitag, M., Kinra, A., Kotzab, H., Megow, N. (eds) Dynamics in Logistics. LDIC 2022. Lecture Notes in Logistics. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-05359-7\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-031-05359-7_33)

RAZA, J.; IMAM, S. F.; RATNAYAKE, R. M. C. **World Class Maintenance (WCM):** Measurable indicators creating Opportunities for the Norwegian Oil and Gas industry. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). Bangkok: [s.n.]. 2013.

SAES, F. A. M. D.; SAES, A. M. **História Econômica Geral**. São Paulo: Saraiva, v. I, 2013. 664 p. ISBN ISBN-13: 978-8502212541.

SILVA, D. D. S. D.; LIMA, E. V. **O Planejamento e Controle da Manutenção na Indústria 4.0**. IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Ponta Grossa: [s.n.]. 2019. p. 12.

SITTÓN-CANDANEDO, I. et al. **Edge Computing Architectures in Industry 4.0: A General Survey and Comparison**. IoT Digital Innovation HUB,. Salamanca: University of Salamanca. 2020. p. 121-131.

SOUZA, R. D. Q. **Metodologia e Desenvolvimento de um Sistema de Manutenção Preditiva visando à melhoria da confiabilidade de ativos de uma usina hidrelétrica**. Universidade de Brasília. Brasília, p. 226. 2008.

TAVARES, L.; SILVA, F. **Índices Brasileiros de Manutenção**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2021. ISBN ISBN-13: 978-8541403627.

TZVETKOVA, S.; KLAASSENS, B. Preventive Maintenance for Industrial Application. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 34, n. 29, p. 3-8, 2001. ISSN ISSN 1474-6670.

VILAÇA, M. L. C.; ARAUJO, E. V. F. D. **Tecnologia, Sociedade e Educação na Era Digital**. ISBN:978-85-88943-69-8. ed. Duque de Caxias: UNIGRANRIO, 2006.

WANG, J. et al. A new paradigm of cloud-based predictive maintenance for intelligent manufacturing. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 28, p. 1125-1137, Junho 2017.

ZHE, L.; WANG, Y.; WANG, K. Intelligent Predictive Maintenance for Fault Diagnosis and Prognosis in Machine Centers — Industry 4.0 Scenario.