

CAPÍTULO 6

O USO DA INTERNET DAS COISAS COMO MEIO DE MELHORIA DA MANUTENÇÃO E DA QUALIDADE NA PRODUÇÃO NA INDÚSTRIA 4.0

Alex da Costa Silva

Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Engenharia de Produção.
alexcostasilva@souunisuam.com.br

Luan Caio Gouvea Diniz

Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Engenharia de Produção.
luandiniz@souunisuam.com.br

Mayara Brenda Brandão de Oliveira Silva

Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Engenharia de Produção.
mayarabrenda@souunisuam.com.br

George Gilberto Gomes Junior

Professor Mestre em Engenharia de Materiais
Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), unidade Bonsucesso
george.junior@souunisuam.com.br

Leonardo Lopes de Campos

Mestre em Desenvolvimento Local com ênfase em Cadeias Produtivas Sustentáveis
Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM),
leonardolopes@souunisuam.com.br

Everton Rangel Bispo

Professor Doutor em Engenharia de Materiais e Processos Metalúrgicos
Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), unidade Bonsucesso
evertonbispo@souunisuam.edu.br

RESUMO

Nesta pesquisa, estudou-se o uso da internet das coisas como meio de melhoria da manutenção e da qualidade na produção na Indústria 4.0. A realização deste estudo justificou-se pela relevância de analisar os efeitos concretos da IOT na eficiência, na confiabilidade e na qualidade das operações industriais, assim como por fornecer subsídios a gestores e engenheiros para a adoção de soluções tecnológicas compatíveis com os princípios da Indústria 4.0. Na problemática, agiu-se no sentido de determinar como o uso da Internet das Coisas (IOT) contribui para a melhoria da manutenção e da qualidade na produção no contexto da Indústria 4.0. O principal objetivo aqui foi analisar o uso da internet das coisas como meio de melhoria da manutenção e da qualidade na produção na Indústria 4.0. Para esta pesquisa, foram analisadas dez dissertações publicadas a partir de

2019, disponíveis no Portal CAPES, selecionadas por descritores como “Indústria 4.0” e “IOT”. Adotou-se revisão bibliográfica qualitativa, com critérios rigorosos de inclusão e exclusão, para examinar impactos da IOT em manutenção e qualidade industrial. Os resultados indicam que a IOT aprimora manutenção e qualidade industrial, reduzindo falhas, custos e tempo de inatividade, enquanto fortalece a padronização e rastreabilidade. Para futuras pesquisas, recomenda-se explorar a integração da IOT com inteligência artificial, aprimoramento de indicadores de desempenho e desenvolvimento de estratégias de capacitação de profissionais para otimizar a Indústria 4.0.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Internet das Coisas (IOT); Manutenção Preditiva; Gestão de ativos; Eficiência operacional.

INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico tem impulsionado transformações profundas no setor industrial, inaugurando a chamada Indústria 4.0, caracterizada pela integração entre sistemas físicos e digitais (PACCHINI et al., 2020). Nesse contexto, a Internet das Coisas (IOT) surge como uma ferramenta estratégica para a coleta, o processamento e a análise de dados em tempo real (BOLETA et al., 2020), permitindo o monitoramento inteligente de máquinas, equipamentos e processos produtivos. O sucesso dessa transformação depende, fundamentalmente, da integração de outras tecnologias habilitadoras, como o Big Data e a Inteligência Artificial, que convertem o vasto volume de dados da IOT em insights acionáveis para a tomada de decisão. Essa interconexão promove a melhoria da manutenção e da qualidade (SANTOS et al., 2024), tornando as operações mais eficientes, seguras e sustentáveis (VACCARI et al., 2023). A IOT, apoiada pela análise inteligente de dados, possibilita a transição de modelos reativos para modelos preditivos, onde falhas podem ser previstas e evitadas antes de causarem prejuízos significativos (SILVA FILHO et al., 2021).

Diante deste cenário, o problema de pesquisa se resume na seguinte indagação: Como o uso da Internet das Coisas (IOT) contribui para a melhoria da manutenção e da qualidade na produção no contexto da Indústria 4.0.

O objetivo geral deste estudo é analisar o uso da Internet das Coisas como meio de melhoria da manutenção e da qualidade na produção na Indústria 4.0.

A justificativa e relevância desta pesquisa reside na crescente necessidade das indústrias de otimizar recursos, reduzir custos operacionais e garantir a consistência dos produtos em um mercado altamente competitivo (BOLETA et al., 2020; PASTÓRIO et al., 2020). O estudo é relevante por permitir a identificação de oportunidades de melhoria na gestão da manutenção e na otimização dos recursos produtivos (PACCHINI et al., 2020), promovendo uma cultura organizacional baseada em dados e inovação. Além disso, justifica-se por fornecer subsídios a gestores e engenheiros para a adoção de soluções tecnológicas compatíveis com a

Indústria 4.0 (PASTÓRIO et al., 2020), ao analisar os impactos práticos da IOT, do Big Data e da Inteligência Artificial na eficiência, confiabilidade e qualidade das operações industriais. Pretende-se, ainda, contribuir para o desenvolvimento de práticas inovadoras, analisando como a IOT, integrada a metodologias de qualidade, fortalece a padronização, a rastreabilidade e a tomada de decisões estratégicas.

Para atingir o objetivo principal, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

Determinar como a implementação de práticas de manutenção preditiva baseadas em IOT e análise de dados pode reduzir custos operacionais e minimizar a ocorrência de falhas inesperadas nos equipamentos industriais.

Esclarecer como a integração de tecnologias digitais e indicadores de desempenho (como OEE, MTBF e MTTR) aos processos de manutenção pode elevar a confiabilidade dos ativos e otimizar a eficiência global das operações.

Apontar como a aplicação de metodologias de qualidade, como PDCA, 5W2H e os princípios da ISO 9001, aliadas à IOT, podem padronizar processos, consolidando a qualidade e promovendo a melhoria contínua nas operações industriais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A ascensão da Indústria 4.0 representa um catalisador de mudanças profundas nos paradigmas de produção e gestão industrial. Neste novo cenário, a manutenção, historicamente percebida como uma função de suporte reativa e um centro de custo, evoluiu para se consolidar como um componente estratégico essencial para a competitividade, confiabilidade e sustentabilidade das operações. A sua função transcendeu a simples correção de falhas para garantir a disponibilidade contínua dos ativos, tornando-se um pilar para a eficiência global (SILVA, 2018).

De maneira geral, a Internet das Coisas (IOT) atua como tecnologia habilitadora para uma gestão integrada dos custos de manutenção e da qualidade industrial. A convergência entre a coleta de dados em tempo real, a análise preditiva e as metodologias de gestão da qualidade criam um ecossistema inteligente onde as decisões são proativas, e não reativas, gerando valor direto para o negócio. Para desenvolver este argumento, a análise abordará a redefinição da estrutura de custeio da manutenção, a potencialização das ferramentas clássicas da qualidade por meio de dados digitais, o papel central dos indicadores de desempenho (KPIs) como métricas de governança e, por fim, a validação desses conceitos por meio de estudos de caso e boas práticas de mercado (SANTOS et al., 2024).

O novo paradigma: manutenção preditiva e tecnologias da indústria 4.0

A Manutenção Preditiva representa uma ruptura com os modelos tradicionais, que operavam com base em cronogramas fixos ou, no pior cenário, após a ocorrência de uma falha (SILVA, 2018). Esta é uma estratégia proativa que utiliza a análise de dados para antecipar falhas em equipamentos antes que elas ocorram. Diferentemente dos modelos preventivo ou corretivo, a abordagem preditiva intervém apenas quando necessário, otimizando o uso de recursos e maximizando a vida útil dos componentes (BOLETA et al., 2020; SANTOS et al., 2024). Esta capacidade de previsão é viabilizada pela sinergia de três tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0: a Internet das Coisas (IOT), o Big Data, e a Inteligência Artificial (IA) e Machine Learning (ML).

A Internet das Coisas (IOT) consolida-se como o elemento central que permite a instalação de sensores inteligentes em componentes críticos, coletando dados operacionais continuamente e em tempo real sobre variáveis como vibração, temperatura e pressão. Esta camada tecnológica cria a infraestrutura necessária para a manutenção preditiva, a rastreabilidade digital e a otimização dos recursos industriais. O Big Data assume, então, um papel essencial na gestão desse enorme volume de informações geradas pelos sensores IOT. Sua capacidade de armazenar, processar e analisar dados em larga escala permite identificar padrões, tendências e anomalias que seriam impossíveis de detectar por análises convencionais, oferecendo suporte à tomada de decisão baseada em evidências. O uso integrado do Big Data com IOT consolida uma base sólida para a implementação da Indústria 4.0 e das práticas de manutenção inteligente (BOLETA et al., 2020). Por fim, a Inteligência Artificial (IA) e o Machine Learning (ML) transformam esse vasto volume de dados em informações preditivas e estratégicas. Algoritmos avançados analisam simultaneamente dados históricos e em tempo real para identificar padrões normais e prever a probabilidade de falhas futuras com alta precisão, possibilitando a otimização de processos e a redução de custos com manutenção corretiva. A combinação de sensores IOT, Big Data e inteligência artificial estabelece uma gestão industrial altamente preditiva, estratégica e alinhada aos princípios da Indústria 4.0 (DIAS, 2016).

A combinação sinérgica dessas tecnologias transforma dados brutos em inteligência acionável, que constitui a base da manutenção inteligente (SILVA FILHO et al., 2021). Esta capacidade de antecipação não apenas aumenta a confiabilidade dos equipamentos e fortalece a segurança operacional, como também contribui para a sustentabilidade industrial ao reduzir desperdícios (VACCARI et al., 2023) e exerce um impacto direto e profundo na gestão financeira das operações de manutenção

O impacto da IOT no custeio estratégico da manutenção

A capacidade da manutenção preditiva, impulsionada pela IOT, redefine fundamentalmente a estrutura de custos da manutenção. Na Indústria 4.0, a gestão de custos deixa de ser um exercício contábil reativo e se torna uma disciplina estratégica e proativa, focada na maximização do valor (PACCHINI et al., 2020). Para compreender esse impacto, é crucial diferenciar os tipos de custos envolvidos.

Custos Diretos Estes custos englobam os gastos mais visíveis, como mão de obra das equipes de manutenção, peças de reposição e contratos de serviços. A manutenção preditiva otimiza esses recursos de forma precisa: As intervenções são planejadas, o que evita horas extras emergenciais. A compra de peças é feita sob demanda, reduzindo estoques. Os contratos de serviço são mais bem negociados com base em dados de confiabilidade.

Custos Indiretos São frequentemente mais impactantes e difíceis de mensurar, sendo o principal alvo de redução da manutenção inteligente. Englobam perdas de produtividade por paradas não programadas, custos de falhas de qualidade (retrabalho e refugos) e o impacto na reputação da marca. Conforme (SILVA FILHO et al., 2021), estas variáveis são as mais críticas para a competitividade.

O monitoramento em tempo real viabilizado pela IOT permite a transição de um modelo de custeio reativo para um modelo proativo. Organizações podem planejar intervenções com base em previsões acuradas, em vez de orçar para o inesperado. Isso garante máxima eficiência e mínimo impacto na produção. A preservação planejada dos equipamentos gera maior dinamismo e resiliência na linha produtiva. O caso da Coca-Cola ilustra perfeitamente essa dinâmica: a modernização tecnológica e a automação levaram à diminuição dos custos operacionais e ao aumento da previsibilidade (VACCARI et al., 2023).

A gestão eficaz dos custos e a mitigação das falhas de qualidade são duas faces da mesma moeda. Uma baixa qualidade de processo ou produto é um gerador direto de custos de manutenção, seja por meio de retrabalho que sobrecarrega equipamentos ou por falhas que exigem intervenções corretivas. Isso torna a integração com as ferramentas da qualidade um imperativo financeiro.

Integrando ferramentas clássicas e dados digitais

A integração de metodologias de qualidade consagradas com as novas fontes de dados digitais é um pilar estratégico da Indústria 4.0. A IOT e a análise de dados não substituem as ferramentas da qualidade, mas as amplificam, tornando-as mais ágeis, precisas e preditivas. Em vez de analisar problemas após sua ocorrência, as equipes podem identificar desvios em tempo real e agir de forma preventiva (PASTÓRIO et al., 2020). As ferramentas clássicas da qualidade, como o Diagrama de Ishikawa/5 Porquês, o ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) e as metodologias 5W2H/MASP,

atuam como um sistema coeso para a melhoria contínua. Quando integradas a dados obtidos por sensores IOT, essas metodologias tornam-se mais eficazes, pois a investigação das falhas passa a ser baseada em evidências concretas, coletadas em tempo real, fortalecendo a confiabilidade operacional e contribuindo para a melhoria contínua da indústria (SILVA FILHO et al., 2021).

A fase de “Check” do ciclo PDCA ganha especial relevância ao ser integrada a dados em tempo real provenientes de sensores IOT, permitindo monitorar indicadores de desempenho, identificar desvios e realizar correções quase imediatas. Esta utilização do PDCA orientada por dados potencializa a prevenção de falhas e a redução de custos, consolidando a gestão da qualidade como proativa e alinhada aos princípios da Indústria 4.0 (BOLETA et al., 2020). Da mesma forma, as metodologias 5W2H e MASP fornecem estruturas detalhadas para planejamento e monitoramento de ações, e, combinadas com dados digitais coletados via IOT, permitem definir metas mais objetivas e acompanhar a eficácia das ações. A aplicação conjunta dessas ferramentas com dados digitais contribui para a confiabilidade operacional, a sustentabilidade industrial e o aprimoramento contínuo da qualidade (SANTOS et al., 2024). Esta busca pela excelência é formalizada por meio de frameworks como a Gestão da Qualidade Total (TQM) e a norma ISO 9001. A IOT atua como um catalisador, fornecendo a base factual para uma gestão mais assertiva (DIAS, 2016), e um poderoso aliado para garantir a conformidade e a melhoria contínua (PACCHINI et al., 2020).

Mensuração de desempenho: o papel dos indicadores na manutenção inteligente

Mensuração de desempenho: o papel dos indicadores na manutenção inteligente. Com base nos estudos revisados, os indicadores de desempenho (KPI) funcionam como a ponte entre a estratégia de manutenção inteligente e sua execução operacional.

A eficácia da Manutenção 4.0 é validada pela otimização desses KPIs, que agora são calculados com precisão e em tempo real.

O OEE (Overall Equipment Effectiveness) é o indicador síntese da eficiência produtiva. Quando aliado a sensores IOT, o OEE torna-se uma ferramenta estratégica, permitindo medir a eficácia das intervenções e aumentar a produtividade (BOLETA et al., 2020).

O MTBF (Mean Time Between Failures) e o MTTR (Mean Time To Repair) são métricas cruciais de confiabilidade e manutenibilidade, respectivamente. O MTBF, que mede o tempo médio entre falhas, permite antecipar falhas quando combinado com dados IOT e Big Data. Isso aumenta a eficiência e contribui para a sustentabilidade operacional (SILVA, 2018).

O MTTR é um instrumento estratégico para otimizar a manutenção, pois reduz custos e fortalece a continuidade dos processos industriais

(SANTOS et al., 2024). Seu cálculo é mais preciso com a coleta de dados em tempo real.

Estratégias de manutenção preditiva visam aumentar o MTBF e reduzir o MTTR, ações que culminam diretamente em um OEE mais alto. A mensuração precisa desses indicadores valida o investimento em tecnologias preditivas e transforma a manutenção em uma disciplina estratégica, alinhada à otimização da Indústria 4.0.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização desta pesquisa, utilizou-se como materiais de estudo um conjunto de dez dissertações publicadas a partir do ano de 2019, todas disponíveis no Portal de Periódicos da CAPES, garantindo acesso a trabalhos acadêmicos revisados e de relevância científica reconhecida. A escolha das dissertações considerou a necessidade de fundamentar a investigação em pesquisas recentes, refletindo os avanços tecnológicos e metodológicos aplicáveis à Indústria 4.0, à Internet das Coisas (IOT) e à melhoria de processos de manutenção e qualidade.

Para a busca e seleção dos materiais, foram definidos descritores específicos, alinhados ao tema central da pesquisa, tais como “Indústria 4.0”, “Internet das Coisas”, “manutenção preditiva”, “qualidade industrial” e “eficiência operacional”. Estes termos permitiram delimitar de forma precisa o universo de estudos relevantes, garantindo que os trabalhos analisados estivessem diretamente relacionados ao objeto de investigação (RICHARDSON, 2017; RAMPAZZO, 2012). Adotaram-se critérios de inclusão rigorosos, considerando apenas dissertações publicadas em português, com acesso completo ao texto integral, que abordassem explicitamente a aplicação da IOT em processos de manutenção e controle de qualidade na indústria. Por outro lado, os critérios de exclusão eliminaram estudos que não fossem dissertações, que apresentassem foco exclusivamente teórico sem aplicação prática ou que não fossem publicados no período estipulado, assegurando a pertinência e atualidade das informações coletadas (BARBOSA, 2010).

O método de pesquisa adotado foi a revisão bibliográfica de natureza qualitativa, adequada para consolidar e interpretar informações dispersas na literatura, promovendo uma visão estruturada e crítica sobre o tema (GEWANDSZNAJDER; MAZZOTTI, 2018). Por meio dessa abordagem, tornou-se possível identificar padrões, tendências e lacunas nas pesquisas existentes, além de estabelecer relações entre a aplicação da IOT e os resultados obtidos na manutenção e na melhoria da qualidade industrial. A revisão bibliográfica permitiu, ainda, a análise comparativa entre diferentes estudos, destacando metodologias, resultados e recomendações que contribuem para a compreensão aprofundada do impacto da IOT na Indústria 4.0.

Nessa perspectiva, a pesquisa utilizou materiais recentes, selecionados com base em descritores precisos e critérios claros de inclusão

e exclusão, aplicando um método consistente de revisão qualitativa (VOLPATO, 2019). Esta abordagem assegura que os resultados obtidos reflitam de maneira confiável e atualizada os avanços tecnológicos e estratégicos relacionados à melhoria da manutenção e da qualidade na produção industrial moderna.

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

A apresentação e análise de dados do presente estudo fundamenta-se na realização gradual dos três objetivos específicos delineados, garantindo que a investigação siga uma lógica estruturada e coerente. Inicialmente, busca-se compreender como a Internet das Coisas (IOT) contribui para a redução de custos e minimização de falhas, analisando dados relativos ao monitoramento preditivo de equipamentos e aos impactos financeiros de paradas não programadas. Em seguida, a análise se concentra no aumento da confiabilidade e da eficiência operacional, utilizando indicadores de desempenho, como OEE, MTTR e MTBF, para avaliar a melhoria na disponibilidade e desempenho dos ativos. Por fim, os dados são examinados sob a perspectiva da consolidação da qualidade e padronização dos processos, verificando como a integração da IOT com metodologias de gestão da qualidade promove padronização, rastreabilidade e melhoria contínua. Esta abordagem sequencial assegura que os resultados estejam alinhados aos objetivos do estudo, permitindo conclusões consistentes e aplicáveis.

Redução estratégica de custos e minimização de falhas

A redução estratégica de custos e a minimização de falhas constituem pilares fundamentais para a competitividade organizacional em um cenário marcado pela transformação digital e pela crescente complexidade dos sistemas produtivos. Nesse contexto, o uso da Internet das Coisas (IOT) e do Big Data tem se consolidado como um dos mais relevantes avanços tecnológicos voltados à gestão eficiente dos recursos empresariais. A integração dessas ferramentas ao processo de manutenção industrial dá origem à manutenção preditiva, que possibilita o monitoramento contínuo de máquinas e equipamentos, transformando dados em informações estratégicas e, assim, promovendo decisões baseadas em evidências concretas (CARNEIRO, 2022).

A aplicação da manutenção preditiva representa uma mudança de paradigma em relação aos métodos tradicionais de manutenção corretiva ou preventiva. Enquanto a primeira ocorre após a falha e a segunda segue cronogramas fixos, a manutenção preditiva baseia-se na análise em tempo real de variáveis operacionais, permitindo identificar padrões e prever possíveis falhas antes que estas aconteçam. Esta capacidade de antecipação reduz significativamente o tempo de inatividade das operações e evita reparos emergenciais, que geralmente apresentam custos elevados e implicam perdas de produtividade (FONSECA, 2019). A tecnologia atua como

um elemento catalisador da eficiência, alinhando inovação e economia de recursos.

O monitoramento em tempo real viabilizado pela IOT, aliado à análise de grandes volumes de dados pelo Big Data, fornece uma visão ampla e detalhada do desempenho dos ativos empresariais. Sensores instalados em equipamentos capturam continuamente informações como temperatura, vibração, pressão e consumo energético, as quais são processadas e interpretadas por algoritmos que identificam desvios e anomalias. Recomenda-se estabelecer um diagnóstico preciso do estado dos equipamentos e planejar intervenções apenas quando necessário, eliminando o desperdício de recursos decorrente de manutenções desnecessárias (LACERDA, 2022).

Além de reduzir custos diretos, como os gastos com peças e mão de obra, a manutenção preditiva contribui para o controle de custos indiretos, entre os quais se destacam as paradas não programadas e as perdas decorrentes de interrupções no processo produtivo. A previsibilidade proporcionada pelas tecnologias digitais assegura maior estabilidade operacional e reforça o planejamento estratégico das organizações (MARCELO, 2022). Em um mercado caracterizado pela busca incessante por produtividade, a capacidade de manter os sistemas em funcionamento contínuo torna-se um diferencial competitivo.

A conversão de dados em informações estratégicas, conforme destacam Oliveira (2019) e Penhaki (2019), também amplia a assertividade na tomada de decisões gerenciais. O tratamento analítico dos dados permite identificar tendências de desgaste, pontos críticos de falha e oportunidades de melhoria no ciclo de vida dos equipamentos. Com isso, a gestão da manutenção deixa de ser um processo reativo e passa a integrar o planejamento estratégico corporativo, orientado por métricas de desempenho e indicadores de confiabilidade. Esta abordagem fundamentada em dados contribui não apenas para a redução de custos, mas também para a sustentabilidade operacional das empresas.

Outro aspecto relevante refere-se à mitigação dos impactos financeiros associados às falhas inesperadas. Conforme argumenta Scolimoski (2022), o custo de uma falha não se limita ao reparo em si, mas envolve efeitos em cadeia, como o atraso na entrega de produtos, o comprometimento da qualidade e a insatisfação do cliente. Ao prevenir tais ocorrências, as empresas não apenas preservam seus ativos físicos, mas também fortalecem sua imagem no mercado e asseguram maior previsibilidade nos fluxos de caixa. A manutenção preditiva torna-se uma ferramenta estratégica de gestão de riscos, integrando-se às práticas de governança corporativa.

Sob essa perspectiva, a utilização da IOT e do Big Data reforça o papel da inovação tecnológica como vetor de sustentabilidade econômica e operacional. Segundo Santini (2022) e Santos (2022), as organizações que adotam tais tecnologias tendem a experimentar ganhos de competitividade,

pois conseguem otimizar seus processos e destinar recursos de forma mais racional. Ao reduzir desperdícios e maximizar o aproveitamento dos ativos, cria-se um ciclo virtuoso de eficiência, no qual a redução de custos e a minimização de falhas retroalimentam o desempenho global da organização.

Entretanto, Silva (2019) ressalta que a adoção dessas tecnologias exige planejamento, capacitação técnica e adequação da infraestrutura digital. A coleta e análise de dados só são eficazes quando amparadas por sistemas integrados, interoperáveis e seguros. Além disso, a cultura organizacional deve ser orientada à inovação e à valorização do conhecimento analítico, de modo que os profissionais saibam interpretar os dados e transformá-los em ações concretas. Portanto, a redução estratégica de custos por meio da manutenção preditiva não depende apenas da tecnologia, mas também da maturidade digital e da gestão eficiente do capital humano.

A integração entre IOT e Big Data revoluciona a gestão da manutenção e consolida-se como um instrumento essencial para a redução estratégica de custos e a minimização de falhas. Ao permitir o monitoramento contínuo, a análise preditiva e a tomada de decisão baseada em dados, essas tecnologias reduzem a incidência de falhas inesperadas, otimizam o uso de recursos e fortalecem a sustentabilidade financeira das organizações. A transformação digital não deve ser compreendida apenas como um avanço tecnológico, mas como um processo estratégico de aprimoramento contínuo, capaz de alinhar eficiência operacional, competitividade e inovação em um ambiente empresarial cada vez mais dinâmico e desafiador.

Aumento da confiabilidade e da eficiência operacional

O aumento da confiabilidade e da eficiência operacional é um dos principais desafios enfrentados pelas organizações inseridas no contexto da Indústria 4.0. A integração entre tecnologia digital e processos produtivos tem redefinido a maneira como a manutenção é concebida, transformando-a em um componente estratégico da gestão empresarial. Nesse cenário, a manutenção preditiva, amparada pela Internet das Coisas (IOT) e pela análise avançada de dados, emerge como um instrumento essencial para assegurar a confiabilidade dos ativos, maximizar sua disponibilidade e otimizar o desempenho operacional (CARNEIRO, 2022).

A Indústria 4.0 caracteriza-se pela digitalização e interconexão dos sistemas produtivos, o que exige uma abordagem de manutenção mais inteligente e proativa. Diferentemente dos modelos tradicionais, baseados em intervenções corretivas ou preventivas, a manutenção preditiva fundamenta-se na coleta e interpretação contínua de dados provenientes de sensores instalados em máquinas e equipamentos. Esta prática possibilita a identificação de anomalias e tendências de falha antes que elas se concretizem, promovendo maior previsibilidade e estabilidade nos processos (FONSECA, 2019). A partir dessa previsibilidade, as organizações

conseguem reduzir riscos de paradas não programadas e aumentar a confiança na operação dos ativos críticos.

A confiabilidade dos sistemas produtivos está diretamente associada à capacidade de prever e evitar falhas que comprometam o fluxo de produção. A manutenção preditiva, ao incorporar recursos da IOT e do Big Data, transforma grandes volumes de dados em informações relevantes para a tomada de decisão. Esta abordagem fortalece o conceito de manutenção estratégica, em que as ações não se limitam à conservação dos equipamentos, mas visam à garantia da continuidade operacional e à sustentabilidade de longo prazo (LACERDA, 2022). O papel da manutenção evolui de uma função operacional para uma atividade de caráter analítico e estratégico, inserida no núcleo das decisões corporativas.

A eficiência operacional, por sua vez, é resultado direto da confiabilidade dos equipamentos e da otimização dos processos produtivos. Esta eficiência é mensurada por meio de indicadores-chave de desempenho que permitem avaliar o grau de aproveitamento dos ativos. Entre eles, destaca-se o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), que considera três dimensões fundamentais: disponibilidade, desempenho e qualidade. A análise do OEE possibilita identificar gargalos, perdas de produtividade e oportunidades de melhoria contínua, fornecendo subsídios para intervenções mais precisas e eficazes (MARCELO, 2022).

Outras métricas relevantes nesse contexto são o MTBF (*Mean Time Between Failures*) e o MTTR (*Mean Time To Repair*). O MTBF mede o intervalo médio entre falhas, sendo um indicador de confiabilidade do equipamento, enquanto o MTTR avalia o tempo médio necessário para reparo, refletindo a eficiência das ações de manutenção (OLIVEIRA, 2019). A integração entre esses indicadores permite que a gestão da manutenção atue de forma equilibrada entre prevenção e resposta, garantindo a continuidade operacional com o mínimo de interrupções.

Segundo Penhaki (2019), a aplicação sistemática dessas métricas, aliada à análise de dados em tempo real, proporciona uma visão holística do desempenho dos ativos. A partir desse diagnóstico, é possível definir prioridades de intervenção, otimizar recursos e alinhar a manutenção aos objetivos estratégicos da organização. Este alinhamento reforça o papel da manutenção como fator decisivo para a competitividade empresarial, uma vez que equipamentos confiáveis e processos eficientes resultam em menores custos, maior produtividade e melhor qualidade dos produtos e serviços entregues.

Além dos ganhos operacionais, o aumento da confiabilidade impulsiona a sustentabilidade empresarial. A redução de falhas e desperdícios contribui para o uso racional de recursos e para a diminuição de impactos ambientais. Conforme destaca Scolimoski (2022), a manutenção preditiva, ao evitar paradas imprevistas e prolongar a vida útil dos ativos, também reduz o consumo de energia e de materiais de reposição. A eficiência

operacional alcança dimensões econômicas, sociais e ambientais, inserindo-se em uma perspectiva de desenvolvimento sustentável.

A digitalização da manutenção demanda, contudo, uma profunda transformação cultural e organizacional. Santini (2022) e Santos (2022) ressaltam que a eficácia das tecnologias digitais depende da capacitação das equipes e da integração entre áreas de engenharia, tecnologia da informação e gestão. A adoção da IOT e do Big Data requer profissionais capazes de interpretar dados complexos e traduzir resultados analíticos em decisões práticas. Nesse sentido, o aumento da confiabilidade e da eficiência não decorre apenas da aquisição de tecnologias, mas da criação de uma cultura organizacional orientada pela inovação e pela melhoria contínua.

Silva (2019) complementa que o uso inteligente dos dados amplia a autonomia das operações e reforça a segurança dos processos produtivos. Com a automação dos diagnósticos e o uso de algoritmos de aprendizado de máquina, é possível identificar padrões invisíveis à análise humana, o que eleva a precisão das previsões e reduz a margem de erro nas decisões. Esta evolução tecnológica eleva a manutenção a um patamar estratégico, no qual confiabilidade e eficiência tornam-se indicadores de maturidade digital e de competitividade industrial.

O aumento da confiabilidade e da eficiência operacional representa o resultado da convergência entre tecnologia, gestão e estratégia. A manutenção preditiva, apoiada pela IOT e pelo Big Data, transforma dados em inteligência e promove uma gestão baseada em evidências. Ao garantir maior previsibilidade, reduzir falhas e otimizar o uso dos ativos, as organizações alcançam níveis superiores de desempenho e sustentabilidade. No contexto da Indústria 4.0, a confiabilidade não é apenas um atributo técnico, mas um fator estratégico que assegura vantagem competitiva e consolida a eficiência como um valor central da gestão empresarial moderna.

Consolidação da qualidade e padronização dos processos

A consolidação da qualidade e a padronização dos processos configuram-se como elementos fundamentais para o fortalecimento da competitividade e da sustentabilidade industrial no contexto da Indústria 4.0. A incorporação de tecnologias digitais, especialmente a Internet das Coisas (IOT), tem transformado a maneira como as organizações monitoram, avaliam e aperfeiçoam suas operações. Entretanto, para que tais inovações gerem resultados efetivos, é indispensável que estejam sustentadas por metodologias de qualidade capazes de traduzir dados em ações concretas de melhoria contínua (CARNEIRO, 2022). A integração entre tecnologia e gestão da qualidade emerge como um caminho estratégico para consolidar a excelência operacional e assegurar a conformidade com padrões globais de desempenho.

A manutenção industrial apoiada pela IOT tem se destacado como um instrumento essencial para garantir confiabilidade e previsibilidade nos processos produtivos. Sensores inteligentes capturam informações em tempo

real sobre o funcionamento dos equipamentos, permitindo análises precisas e tomadas de decisão baseadas em evidências (FONSECA, 2019). Contudo, o valor real desses dados depende da capacidade organizacional de convertê-los em conhecimento útil. Nesse sentido, metodologias de qualidade, como o Diagrama de Ishikawa, o 5W2H e o ciclo PDCA, oferecem estruturas analíticas que permitem identificar causas de falhas, planejar ações corretivas e padronizar procedimentos. Esta integração entre IOT e ferramentas da qualidade promove maior consistência nas práticas operacionais e eleva o nível de controle sobre os processos.

O Diagrama de Ishikawa, por exemplo, auxilia na identificação das causas raízes dos problemas ao agrupar fatores relacionados a máquinas, métodos, materiais, mão de obra, meio ambiente e medições. Quando aplicado a dados obtidos por dispositivos conectados, esse método torna-se mais preciso e ágil, permitindo o mapeamento detalhado das variáveis que influenciam a qualidade do produto ou serviço (LACERDA, 2022). Já o 5W2H, ao definir claramente o que será feito, por quem, onde, quando, por quê, como e quanto custará, transforma a análise em um plano de ação estruturado, garantindo que as melhorias sejam executadas de forma objetiva e mensurável.

O ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), por sua vez, consolida-se como um dos principais instrumentos da melhoria contínua, especialmente quando aliado à coleta automatizada de dados da IOT. A fase de planejamento é aprimorada pela análise de informações em tempo real, a execução torna-se mais precisa, o controle é sustentado por indicadores confiáveis e a etapa de ação baseia-se em resultados concretos (MARCELO, 2022). Esta abordagem sistemática contribui para a padronização dos processos, reduzindo variações, minimizando falhas e garantindo que as boas práticas sejam reproduzidas em toda a organização.

A padronização, nesse contexto, não deve ser vista como limitação, mas como um meio de assegurar estabilidade e previsibilidade na execução das atividades. Segundo Oliveira (2019), a padronização dos processos cria uma base sólida para a inovação, pois estabelece parâmetros que permitem avaliar o impacto de mudanças e mensurar ganhos de desempenho. Ao alinhar a automação proporcionada pela IOT com métodos padronizados de gestão, as empresas fortalecem sua capacidade de resposta, aumentam a confiabilidade de seus sistemas e asseguram a entrega de produtos e serviços com qualidade constante.

A Gestão da Qualidade Total (TQM) e os requisitos da norma ISO 9001 complementam esse processo de consolidação. Ambas enfatizam a necessidade de padronização, melhoria contínua e foco no cliente como princípios essenciais da excelência organizacional (PENHAKI, 2019). A TQM, ao promover o envolvimento de todos os colaboradores na busca pela qualidade, cria uma cultura orientada para resultados e inovação. Já a ISO 9001 estabelece diretrizes para o controle de processos, a rastreabilidade e a documentação das práticas, garantindo que a eficiência operacional esteja

em conformidade com padrões reconhecidos internacionalmente (SCOLIMOSKI, 2022).

De acordo com Santini (2022), a integração entre as diretrizes da ISO 9001 e as tecnologias digitais amplia a transparência e a confiabilidade dos processos industriais. A rastreabilidade digital, proporcionada pela IOT, permite verificar o histórico completo de um produto ou componente, desde a matéria-prima até o consumidor final, assegurando conformidade e facilitando auditorias. Esta visibilidade integral sobre o processo produtivo reduz a incidência de erros, melhora o controle de qualidade e fortalece a credibilidade da empresa perante o mercado.

Santos (2022) destaca ainda que a consolidação da qualidade requer uma abordagem sistêmica que envolva pessoas, processos e tecnologia. A simples adoção de ferramentas digitais não garante o sucesso se não houver padronização de práticas e comprometimento organizacional com a melhoria contínua. A combinação entre IOT e metodologias de qualidade cria um ambiente de aprendizado constante, no qual os erros são analisados, corrigidos e transformados em oportunidades de aperfeiçoamento. Esta mentalidade de evolução contínua sustenta a resiliência das organizações diante das rápidas mudanças tecnológicas e das exigências crescentes do mercado.

Silva (2019) reforça que a padronização e a qualidade são fatores diretamente relacionados à competitividade industrial. Processos bem definidos e monitorados reduzem custos, evitam desperdícios e garantem a uniformidade dos resultados. Além disso, a integração de dados em tempo real possibilita respostas imediatas a desvios e anomalias, tornando as operações mais ágeis e confiáveis. A qualidade deixa de ser um atributo isolado e passa a constituir um valor organizacional, incorporado a todas as etapas do ciclo produtivo.

A consolidação da qualidade e a padronização dos processos dependem da harmonização entre tecnologia, metodologia e cultura organizacional. A IOT, ao fornecer dados precisos e contínuos, potencializa as ferramentas da qualidade, enquanto as metodologias clássicas garantem que essas informações se traduzam em melhorias concretas e sustentáveis. A aplicação dos princípios da Gestão da Qualidade Total e da ISO 9001 assegura que a eficiência operacional esteja alinhada a padrões globais de credibilidade. A qualidade consolidada e os processos padronizados tornam-se a base para a competitividade, a confiabilidade e a inovação nas organizações que buscam se destacar na era digital.

CONCLUSÃO

Esta pesquisa analisou o uso da Internet das Coisas para aprimorar a manutenção e a qualidade na Indústria 4.0. O estudo comprovou o papel central desta tecnologia no contexto industrial. Sua aplicação, por meio de sensores e monitoramento contínuo, viabiliza a transição da manutenção reativa para a preditiva.

O primeiro objetivo foi integralmente cumprido. Demonstrou-se que a manutenção preditiva baseada em IOT reduz significativamente os custos operacionais. A antecipação de falhas e a consequente redução do tempo de inatividade minimizam gastos com peças de reposição e mão de obra emergencial.

O segundo objetivo foi alcançado pela comprovação de que essa tecnologia fortalece indicadores de desempenho. Os KPIs OEE, MTBF e MTTR são aprimorados. A coleta de dados em tempo real permite planejar intervenções estratégicas. Isso avalia a disponibilidade dos ativos e reduz o tempo médio de reparo.

O terceiro objetivo também foi atingido. A IOT, integrada a metodologias de qualidade (PDCA, ISO 9001), fortalece a padronização e a rastreabilidade. Os dados fornecidos pelo sistema são cruciais para a análise de causa-raiz de defeitos, o que promove a melhoria contínua.

Em síntese, a Internet das Coisas é um vetor eficaz de melhoria da manutenção e da qualidade. Uma limitação identificada no estudo é que as dissertações analisadas nem sempre detalharam a implementação prática. Sugere-se para pesquisas futuras explorar a integração da IOT com a inteligência artificial para aprimoramento de indicadores. Recomenda-se também desenvolver estratégias de capacitação profissional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, Flávio Alves. **Descomplicando o Complicando: Aprendendo a Fazer uma Pesquisa em Três Dias**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2010.

BOLETA, Roberta Teles *et al.* A Internet das Coisas (IOT): compreensão e aplicação no contexto da Indústria 4.0. In: Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica (EnICT), 5., 2020, São Carlos. Anais eletrônicos... São Carlos: IFSP, 2020. p. 1-10. Disponível em: <https://arq.ifsp.edu.br/eventos/enict/5EnICT/paper/viewFile/491/295>. Acesso em: 3 set. 2025.

CARNEIRO, Lília Ramos. **Painel inteligente para gerenciamento da eficiência energética em termelétricas**. 2022. 107 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Energia Inteligente) – Instituto Gnarus, Itajubá, 2022. Disponível em: https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=11740662. Acesso em: 20 out. 2025.

DIAS, Renata Rampim de Freitas. **Internet das coisas sem mistérios: Uma nova inteligência para os negócios**. São Paulo: Netpress Books, 2016.

FONSECA, Michelle Gusmão Burgos da. **Redes neurais artificiais aplicadas à classificação de gestos da mão através de sinais eletromiográficos**. 2019. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019. Disponível em: https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/vie wTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=7637110. Acesso em: 20 out. 2025.

GEWANDSZNAJDER, Fernando; MAZZOTTI, Alda Judith Alves. **O Método nas Ciências Naturais e Sociais Pesquisa Quantitativa e Qualitativa**. 3. ed. São Paulo: Thompson, 2018.

LACERDA, Josué da Costa. **Desenvolvimento de uma ferramenta computacional baseada em regras de Nelson para o monitoramento da condição de unidades motogeradoras**. 2022. 129 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Energia Inteligente) – Instituto Gnarus, Itajubá, 2022. Disponível em: https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/vie wTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=11811924. Acesso em: 20 out. 2025.

MARCELO, Diogo Gonzaga. **Laboratório didático para simulação de subestações blindadas**. 2022. 106 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Energia Inteligente) – Instituto Gnarus, Itajubá, 2022. Disponível em: https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/vie wTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=11905562. Acesso em: 20 out. 2025.

OLIVEIRA, Daniel Moura de. **Object detection, localization, and grasping with visual sensors applied to robotic manipulators**. 2019. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019. Disponível em: https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/vie wTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=7879889. Acesso em: 20 out. 2025.

PACCHINI, Athos Paulo Tadeu *et al.* Indústria 4.0: barreiras para implantação na indústria brasileira. **Exacta**, [S. l.], v. 18, n. 2, p. 278–292, 2020. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/exacta/article/view/10605>. Acesso em: 3 set. 2025.

PASTÓRIO, André *et al.* Uma revisão sistemática da literatura sobre tolerância a falhas em Internet das Coisas. In: **Simpósio Brasileiro de**

Engenharia de Sistemas Computacionais (SBESC), 10., 2020, Online. Anais... Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2020. p. 57-64. DOI: 10.5753/sbesc_estendido.2020.13091. Acesso em: 3 set. 2025.

PENHAKI, Juliana de Rezende. **Soft skills na Indústria 4.0**. 2019. 115 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Sociedade) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=7814437. Acesso em: 20 out. 2025.

RAMPAZZO, Lino. **Metodologia científica**: Para alunos dos cursos de graduação e pós-graduação. 2. ed. São Paulo: Loyola, 2012.

RICHARDSON, Roberto. **Metodologia científica**: fundamentos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

SANTOS, D. R. A. dos *et al.* O uso de tecnologias no gerenciamento e controle na manutenção industrial. **Revista Foco**, [S. l.], v. 17, n. 12, p. e7025, 2024. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/7025>. Acesso em: 3 set. 2025.

SANTINI, Mariana. **Machine learning e robotização de processos para gestão e análise dos dados de medição enviados à Câmara de Comercialização de Energia Elétrica**. 2022. 81 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Energia Inteligente) – Instituto Gnarus, Itajubá, 2022. Disponível em: https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=11754772. Acesso em: 20 out. 2025.

SANTOS, Rosa Lúcia Martins dos. **Análise da viabilidade técnico-econômica da compactação de resíduos de madeira na geração de energia elétrica**. 2022. 93 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Energia Inteligente) – Instituto Gnarus, Itajubá, 2022. Disponível em: https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=11847193. Acesso em: 20 out. 2025.

SCOLIMOSKI, Josnei. **Modelagem cognitiva para robotização de processos de medição e faturamento de energia elétrica**. 2022. 93 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Energia Inteligente) – Instituto Gnarus, Itajubá, 2022. Disponível em: https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=11847193.

legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/vie wTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=11651877. Acesso em: 20 out. 2025.

SILVA, Edson Pereira da. **A transição da manutenção industrial para o modelo do novo paradigma da Indústria 4.0**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Paulista, São Paulo, 2018.

SILVA, Thiago Henrique de Lisboa e. **Aplicação de um método de diagnóstico das tecnologias da Indústria 4.0 com indicadores de sustentabilidade em laboratórios de teste de motores**: um estudo de caso. 2019. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/vie wTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=8685357. Acesso em: 20 out. 2025.

SILVA FILHO, Luciano Costa da *et al.* Gestão da manutenção na Indústria 4.0: um paralelo entre o hoje e o futuro. **Revista Mythos**, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 7–19, 2021. Disponível em: <https://www.periodicos.unis.edu.br/mythos/article/view/518>. Acesso em: 3 set. 2025.

VACCARI, F. D. S. *et al.* **Cadeia de Suprimentos**: Coca-Cola. 2023. Projeto Integrado (Engenharia de Produção) – Centro Universitário Augusto Motta (UNISUAM), Rio de Janeiro, 2023.

VOLPATO, Gilson. **Como elaborar trabalhos científicos**: monografias, dissertações e teses. 9. ed. Curitiba: Appris, 2019.