

Uso do sensor inteligente na manutenção preditiva do motor de uma extrusora

Flavia Justina Martins e Elton Fabro

Resumo

A inserção das empresas no universo da Indústria 4.0 é necessário para a competitividade e continuidade das mesmas. E uma das áreas onde a tecnologia 4.0 pode ter um impacto relevante é na manutenção, pois o uso de mecanismos inteligentes pode promover uma antecipação de problemas e quebras em equipamentos, impactando em aumentos de performance e redução de custos. Este estudo tem por objetivo avaliar o funcionamento de um sensor inteligente em um equipamento industrial, de modo a identificar, a partir de medições contínuas, o estado de saúde do mesmo, atuando como instrumento de manutenção preditiva. De forma experimental, foi instalado um sensor em um motor de extrusora industrial e os dados foram coletados a partir do uso de *Smartphone* com conexão *Bluetooth* e enviados para a plataforma através de Internet. Foram realizados acompanhamentos através da plataforma e do aplicativo de celular, que possibilitam a visualização *online* da saúde instantânea do motor, bem como uma avaliação histórica do mesmo. Por fim, concluiu-se que o uso do sensor tem vantagens relacionadas à possibilidade de monitorar continuamente o equipamento, principalmente quando tiver seu uso aplicado a equipamentos críticos para o processo.

Palavras chave

Manutenção preditiva; Indústria 4.0; Sensor inteligente; Análise; Disponibilidade de equipamento; Manutenção

Use of intelligent sensor in predictive maintenance of extrusion motor

Abstract

The insertion of companies in the universe of Industry 4.0 is necessary for their competitiveness and continuity. And one of the areas where 4.0 technology can have a significant impact is maintenance, as the use of intelligent mechanisms can anticipate equipment problems and breakdowns, impacting performance increases and reducing costs. This study aims to evaluate the operation of an intelligent sensor in an industrial equipment, in order to identify, from continuous measurements, its health status, acting as a predictive maintenance instrument. Experimentally, a sensor was installed in an industrial motor of extruder, and the data were collected using a smartphone with a Bluetooth connection and sent to the platform through the Internet. Follow-ups were made through the platform and the mobile application, which allow the online visualization of the instant health of the motor, as well as a historical evaluation of the same. Finally, it was concluded that the use of the sensor has advantages related to the possibility of continuously monitoring the equipment, especially when its use is applied to equipment critical to the process.

Key words

Predictive maintenance; Industry 4.0; Smart sensor; Analyze; Availability of equipment; Maintenance

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as empresas vêm buscando desenvolvimento para permanecerem competitivas no mercado. Para isso, é necessário que sejam realizadas mudanças, em função de diversos fatores, que vão desde o aumento de ativos físicos e aquisição de sistemas de equipamentos mais complexos até uma maior exigência de requisitos dos clientes [1]. Um grande fator competitivo é a

busca das empresas em estarem inseridas no mercado como Indústria 4.0. Isso faz com que se busque melhorar a produtividade e a eficiência na fabricação industrial, incorporando os últimos avanços na tecnologia da informação e comunicação (TIC) [2].

A partir desta nova perspectiva de indústria, a função da manutenção de melhorar a disponibilidade da produção da planta, reduzir o tempo de inatividade e aumentar a

Pós-Graduação em Engenharia Industrial - Universidade de Caxias do Sul (UCS)

Emails: flaviajustinacosta@gmail.com, efabro1@ucs.br

Data de envio: 23/12/2019

Data de aceite: 31/03/2020

<http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v8iss2p1>

confiabilidade operacional é cada vez maior [1]. A manutenção é o que mantém a performance das máquinas em um nível aceitável de ocorrência de falhas [3] e a escolha da estratégia adequada de manutenção será essencial para manter o equipamento seguro e confiável, reduzir os custos gerais e ajudar a eliminar os riscos no local de trabalho [4].

Estratégias e ações de manutenção, por sua vez, são alteradas e desenvolvidas mais do que qualquer tecnologia. A mudança e o desenvolvimento da manutenção podem ocorrer em função de muitos fatores, como complexidade dos sistemas e novas tecnologias [4], [5]. Diferentes estratégias de manutenção evoluíram ao longo do tempo, levando a manutenção ao seu estado atual. Esta evolução deveu-se à crescente demanda de confiabilidade na indústria. Atualmente, as fábricas buscam ao máximo evitar paradas, oferecendo segurança, disponibilidade e confiabilidade, reduzindo os custos [6]. Para garantir uma baixa quebra de equipamentos que gere parada de produção, a manutenção preventiva é uma boa estratégia a ser adotada. Ela destina-se a reduzir a probabilidade de falha ou degradação do funcionamento de um item [1]. Dentre as técnicas usadas preventivamente para manutenção, a preditiva garante uma identificação precoce do estado dos equipamentos, permitindo que a manutenção do equipamento se realize quando houver a real necessidade, reduzindo custos de paradas programadas e descarte de peças ainda em boas condições [7].

Em uma indústria de capital intensivo, onde as máquinas e os equipamentos são os principais recursos produtivos e seu uso é contínuo, é necessária essa gestão preventiva da manutenção. A indústria de *Pet Food* vive essa realidade do uso de muitos equipamentos automatizados. Na falta de uma boa manutenção preventiva, principalmente nos equipamentos críticos, como a extrusora, uma quebra irá gerar uma parada na produção e possível não atendimento aos clientes [8]. Para que se possa realizar uma gestão de manutenção preditiva baseada em princípios da indústria 4.0, pode ser estudada uma aplicação de uso de sensores inteligentes de análise preditiva, de modo a substituir os métodos de medição atual. Em muitas empresas, a análise preditiva é realizada por empresas terceirizadas, gerando um custo e não permitindo um monitoramento contínuo dos equipamentos.

A Indústria 4.0 promove a conexão de itens físicos, como sensores, dispositivos e ativos corporativos, entre si e com a Internet. A enorme quantidade de informações coletadas e geradas pelos sistemas e sensores de TIC instalados no chão de fábrica precisa ser apresentada de uma maneira que possa realmente acelerar os processos de produção, permitir uma reação imediata a problemas e deficiências [9]. Dentre as alternativas existentes, que estão preparadas para a Indústria 4.0 e para atender às demandas de manutenção, estão os sensores sem fio. Eles são capazes de coletar informações do equipamento e transmitir para a nuvem através de simples conexão *Bluetooth* [10].

Com base nisso, esse artigo tem por objetivo realizar a instalação de um sensor sem fio em um motor, para realizar, de forma preventiva, a avaliação da saúde do mesmo, bem como realizar a manutenção antes da possível ocasião de quebra do equipamento. O intuito é fornecer dados ao setor de manutenção e abrir as portas para o uso desta tecnologia em

todos os equipamentos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Manutenção Industrial Preventiva

A competitividade entre as empresas tem levado as organizações a buscar novas estratégias de mercado e reduzir seus custos operacionais. A melhoria das atividades de manutenção pode não somente reduzir esses custos, mas proporcionar melhorias na segurança, nas relações com o meio ambiente e no atendimento aos requisitos normativos da empresa [11].

A manutenção preventiva é a execução de tarefas de inspeção e/ou serviço que foram pré planejadas para realização em pontos específicos no tempo, a fim de manter as capacidades funcionais dos equipamentos ou sistemas operacionais. Diferentemente da preventiva, a manutenção corretiva desempenha tarefas de manutenção não planejadas para restaurar os recursos funcionais de equipamentos ou sistemas com falha ou com mau funcionamento.

Sob a estratégia de manutenção corretiva, uma ação de reparo é realizada após a falha do equipamento ou após um severo declínio na produção, enquanto na preventiva se busca um planejamento prévio das paradas; é o elemento chave no desenvolvimento de um modo e cultura de manutenção proativa [12], [13].

Das diferentes estratégias de manutenção que podem ser adotadas como preventivas, encontram-se a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), manutenção preventiva baseada em tempo, manutenção baseada em condições, manutenção preditiva, manutenção baseada em riscos, manutenção oportunista, manutenção de projeto, Manutenção produtiva total, manutenção autônoma, manutenção de classe mundial e rotinas de inspeção [13].

As aplicações de manutenção preventiva são, em muitos casos, insuficientes, e grande parte da tecnologia de técnicas de manutenção preditiva não é efetivamente aplicada nas fábricas. Da mesma forma, atividades de MP, quando aplicadas, são muitas vezes desnecessárias e conservadoras. De forma geral, dentre os principais desafios da manutenção nas empresas, estão selecionar as técnicas mais apropriadas, lidar com cada tipo de processo de falha, ser mais rentável e cumprir com todas as expectativas dos proprietários dos ativos, dos usuários dos ativos e da sociedade como um todo [14].

Nos itens abaixo estão sendo explicados de forma mais abrangente dois tipos de manutenção preventiva, amplamente utilizados no meio industrial.

2.1.1. Manutenção Centrada em Confiabilidade

O principal objetivo da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) é aumentar o tempo de atividade do equipamento e manter o nível de confiabilidade do sistema, em vez de restaurá-lo para uma situação ideal. Isso envolve manter as funções do sistema, identificar modos de falha, priorizar funções, identificar requisitos de manutenção preventiva e selecionar as tarefas de manutenção mais apropriadas [13]. A MCC também busca reduzir o custo de manutenção, concentrando-se nas funções mais importantes

do sistema e evitando ou removendo ações de manutenção que não são estritamente necessárias [15]. É um programa que combina técnicas de engenharia em uma abordagem sistemática a fim de garantir que os equipamentos fabris mantenham suas funções originais, ou seja, determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que se deseja no contexto operacional [5], [11].

O conceito de MCC foi assim denominado para enfatizar o papel que a teoria e a prática da confiabilidade desempenham ao centralizar as atividades de manutenção preventiva na retenção da confiabilidade inerente ao projeto do equipamento [12]. Como o nome indica, a tecnologia de confiabilidade está no centro da filosofia de manutenção e do processo de planejamento [12].

A proposta da Manutenção Centrada em Confiabilidade traz, em resposta a essas necessidades, diversas respostas, sendo algumas delas: maior segurança e proteção ambiental, melhor desempenho operacional, maior efetividade do custo de manutenção, vida útil mais longa de itens caros, banco de dados de manutenção completo, além de maior motivação das pessoas e melhor trabalho em equipe [5].

2.1.2. Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva inclui o uso de métodos modernos de medição e processamento de sinais para prever e diagnosticar com precisão as condições do sistema durante a operação, utilizando informações atuais e prognósticas, ou seja, não se baseia apenas na condição atual ou instantânea do equipamento. Sendo assim, ela difere da manutenção baseada em condições, que usa apenas as informações atuais do estado dos componentes [13].

Sinais ou características operacionais, como vibrações, temperaturas, taxa de desgaste, degradação e contaminação do fluido transportador, geralmente exibem anormalidades antes que ocorra uma falha e, se monitorados continuamente, podem ser usados com muita eficácia na previsão desta falha [7]. Uma indicação ou aviso antecipado de uma falha iminente pode ajudar no gerenciamento da manutenção e na tomada de medidas corretivas eficazes em caso de falha. Na Figura 1 pode-se observar de forma gráfica e visual como o controle de parâmetros permite uma atuação eficaz da manutenção preditiva [7]. Sendo $\mu(t)$ o parâmetro que está sendo avaliado, M o parâmetro de ocasião de falha e M_c o parâmetro crítico, entende-se que o sistema pode entrar em falha quando $\mu(t) > M_c$. Quando este ponto é atingido, a manutenção é solicitada.

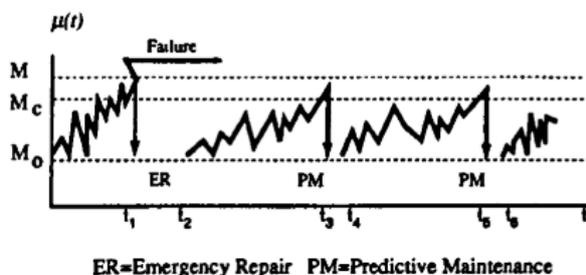


Figura 1: Manutenção preditiva utilizando parâmetros prognósticos [7]

A partir desta, pode-se coletar informações indicativas e alertas precoces sobre a integridade dos componentes de um

sistema por meio de medição e instrumentação apropriadas. Isso é alcançado pelo uso de técnicas de monitoramento de condições, que não especificam o uso de intervalos fixos para manutenção, mas adaptam dinamicamente os intervalos de manutenção à necessidade real de serviço do sistema. Essa estratégia é chamada de manutenção preditiva baseada em condições (CBPM) ou manutenção condicional, em contraste com a manutenção programada com intervalos fixos. Por essa abordagem, informações sobre uma falha incipiente serão obtidas a partir de vários parâmetros prognósticos de um sistema. Esses parâmetros fornecem indicações da condição interna ou do estado do sistema [7].

A manutenção preditiva prevê a integridade do sistema com base na condição atual e define as atividades de manutenção necessárias de acordo. Dessa forma, o sistema só é retirado de serviço se houver evidência direta de que a deterioração realmente ocorreu. Isso, por um lado, aumenta a eficiência de manutenção e a produtividade e, por outro lado, diminui os custos de suporte de manutenção e os custos logísticos [6].

O objetivo da manutenção preditiva baseada em condições é medir essas alterações nas condições da máquina e selecionar um tempo adequado para a ação de manutenção com base nessas condições. De acordo com este procedimento de manutenção, o equipamento é reparado apenas quando os sinais ou observações do sensor indicam uma falha incipiente [7].

Pode-se observar que uma proporção de manutenção pode ser evitada devido a medidas preditivas. Além disso, a manutenção recomendada pode servir para reduzir consideravelmente o custo total da manutenção, impedindo falhas graves. A abordagem de manutenção preditiva, diferentemente da abordagem de diagnóstico, exige o monitoramento contínuo dos dados enviados pelos sensores de bordo [7].

Portanto, a manutenção condicional oferece uma nova estratégia valiosa para sistemas inteligentes de manutenção, especialmente em máquinas e plantas onde a operação contínua é imperativa para garantir segurança, confiabilidade e produtividade. Em resumo, as vantagens da manutenção preditiva baseada em condições podem ser descritas como:

- Geralmente, um intervalo de manutenção muito maior do que com a manutenção periódica programada.
- Proteção mais eficaz contra um desligamento inesperado e danos graves do que a manutenção corretiva.
- As máquinas raramente são paradas para reparos desnecessários, o que é inevitável com manutenção periódica, de modo que a operação contínua pode ser mantida.
- Mais econômico.

Por outro lado, a manutenção preditiva baseada em condições também tem suas dificuldades. Um dos principais problemas é selecionar os parâmetros do sistema que possam refletir a realidade da condição da máquina e indicar uma falha futura. Outra dificuldade é como colocar em prática a ideia e o conceito de manutenção preditiva e como implementar o monitoramento de condições e a manutenção preditiva em um sistema de manutenção real. Esses problemas serão abordados nas duas seções a seguir, respectivamente [7].

Para executar e implementar a manutenção preditiva em sistemas industriais reais, é preciso identificar os componentes críticos, definir os parâmetros físicos para monitorar e escolher os sensores apropriados para coletar dados relevantes e representativos sobre o estado de saúde do sistema. Os dados coletados são então processados para extrair recursos e criar modelos que são usados para avaliar continuamente o estado de integridade do sistema, detectar e antecipar suas falhas e tomar as decisões apropriadas. Assim, a preditiva é composta por diferentes tarefas. Sua implementação em sistemas industriais reais deve ser decidida pelos gerentes e considerada prioritária na empresa, sem a qual seu sucesso não pode ser garantido [6].

2.2. Indústria 4.0

A Indústria 4.0 descreve a quarta revolução industrial, que leva a uma produção inteligente, conectada e descentralizada. Um aspecto central da mesma é a comunicação contínua entre seres humanos, máquinas e produtos durante o processo de produção ativado pelos sistemas de produção física cibernética (CPPS) [16]. Seu intuito também é definir uma metodologia para gerar uma transformação da manufatura dominante da máquina para manufatura digital [17].

O objetivo geral da Indústria 4.0 é aumentar a eficiência de custo e tempo e melhorar a qualidade do produto, o que requer um amplo entendimento das tecnologias facilitadoras, bem como dos métodos e ferramentas [16]. Um desenvolvimento essencial que precisa ser considerado na fábrica física em relação à fábrica inteligente para a realização da Indústria 4.0 é o monitoramento e gerenciamento da integridade das máquinas [18].

Basicamente, o monitoramento estrutural da saúde pode economizar crédito adicional na operação e reduzir o risco potencial devido ao uso severo. Além disso, ele também pode contribuir para o aprimoramento da gestão de toda a fábrica, já que o tempo de inatividade de um único componente / máquina influencia todo o sistema de fabricação. A importância do monitoramento e manutenção da saúde aumenta significativamente à medida que complexidade e incerteza do sistema aumentam [18].

A história revela várias transformações industriais e sociais respectivas. Houve e tem havido esforços de fabricação em pesquisa, desenvolvimento, produção e gerenciamento de processos industriais complexos, utilizando tecnologias de produção inovadoras que surgiram em cada época. A transição da agricultura para a sociedade industrial (indústria 1.0), da indústria 1.0 para 2.0 e depois para 3.0 foi bem reconhecida e aceita pela sociedade. Da mesma forma, a transição do setor 3.0 para o setor 4.0 requer uma análise extensa para entender mudanças irreversíveis. Existem vários elementos dessa mudança que também desencadeiam os efeitos sociais. Internet das Coisas (IoT) é uma delas. Essa tecnologia permite que as máquinas se comuniquem. A segunda motivação importante dessas mudanças é a “autonomia”. Os sistemas estão se tornando cada vez mais auto comportados, e a utilização de sensores e a implantação de sistemas físicos cibernéticos (CPS) podem ser essenciais nesta transformação, ampliando a capacidade de comunicação das máquinas [17].

Com equipes de manutenção cada vez mais enxutas e um

nível de automação cada vez mais elevado, o modelo de gerenciamento que dependa de mais manutenção e mais inspeção não satisfaz a necessidade de alta confiabilidade, disponibilidade e segurança [19].

Usar a moderna tecnologia da informação e inteligência artificial para prever a manutenção é uma das maneiras importantes de reduzir o custo de produção nas indústrias de processo [19]. Programas de manutenção preditiva podem oferecer vantagens significativas em relação à qualidade, segurança, disponibilidade e redução de custos em plantas industriais. O gerenciamento avançado de equipamentos geralmente apresenta características como manutenção proativa, manutenção precisa e tomada de decisão de indicadores quantitativos com base na técnica integrada de avaliação de riscos, monitoramento de condições e avaliação de saúde em tempo real, inteligência artificial e informações [19].

Para o desenvolvimento e implementação de um Sistema de Tomada de Decisões Baseadas em Riscos e Condições, por exemplo, foi utilizada a tecnologia IoT, que integra sistema de monitoramento de condições, MCC, módulo de gerenciamento de desempenho chave, módulo de gerenciamento de arquivos, módulo de gerenciamento de falhas e defeitos e módulo de gerenciamento de manutenção. Os indicadores quantitativos de tomada de decisão são usados para determinar o tempo de manutenção ou intervalo de tempo e conteúdo de manutenção. Um estudo de caso de engenharia mostrou que a tecnologia de otimização de tarefas de manutenção baseada em risco e condição pode ser usada para otimizar o conteúdo de manutenção e período de manutenção, minimizar as deficiências de manutenção e excedente de manutenção e prolongar a vida útil do equipamento [19].

As máquinas em fábricas inteligentes cooperam de maneira mais autônoma e robusta. Elas precisam ser cuidadosamente monitoradas e gerenciadas para minimizar o tempo de inatividade causado pela falha local da máquina ou do componente. Assim, diferentes tipos de medições pelos sensores apropriados capturam o estado de funcionamento das máquinas e monitoram os componentes em tempo real [18].

Os dados coletados são monitorados e analisados pelo centro de controle e as estratégias de manutenção apropriadas são selecionadas e aplicadas para cada máquina e componente [18].

Em fábricas e máquinas modernas, suas estratégias de manutenção estão sendo transformadas das tradicionais práticas de falha e reparo (Diagnóstico) para metodologias de previsão e prevenção (Prognósticos) [18].

2.3. Sensores Inteligentes

Os principais componentes da IoT (*Internet of Things*) são sensores e redes de informação [19]. Os controles inteligentes baseados em sensores sem fio chamam a atenção da indústria por causa da redução de custos, melhor gerenciamento de energia, facilidade de manutenção e implantação sem esforço em áreas remotas e de difícil alcance. Eles foram implantados com sucesso em muitas aplicações industriais, como manutenção, monitoramento, controle e segurança [20].

A IoT percebe e fornece a “informação de forma” da “coisa” para obter comunicação multilateral e compartilhamento de

informações entre “coisa – processo – ambiente – humano”, satisfazendo assim as necessidades de medição remota, coleta remota de dados e monitoramento de processo de fabricação, agendamento de decisões e diagnóstico remoto de falhas [19].

A hierarquia de IoT consiste em camada de detecção, camada de rede e camada de aplicação. A tecnologia IoT nas aplicações de gerenciamento de equipamentos conclui: a camada de detecção atua principalmente como coleta de informações e os sensores do sistema de monitoramento e diagnóstico incluem sensor de deslocamento, sensor de velocidade, acelerômetro, sensor de temperatura, sensor de pressão e sensor de fluxo. A camada de rede se encarrega da entrega de informações (como rede móvel, rede fixa, internet e rede de transmissão), enquanto o sistema de monitoramento e diagnóstico geralmente utiliza a internet (ou intranet) para transmissão de dados; a camada de aplicação realiza a análise e a tomada de decisão, finaliza todas as tarefas da aplicação e, finalmente, realiza a identificação da coisa-coisa e da coisa humana [19].

Com o desenvolvimento da tecnologia de sensores, tecnologia de computação, tecnologia de inteligência artificial, o sistema de monitoramento de condição (a camada de aplicação) gradualmente se torna um sistema aberto que inclui módulo de monitoramento de condição, módulo de avaliação de saúde, módulo de previsão de condição e módulo de tomada de decisão. O sistema monitora, coleta, registra e analisa dinamicamente os parâmetros característicos do equipamento para realizar o diagnóstico de falhas e a previsão de falhas; também realiza a análise das tendências de mudança dos parâmetros de falha para determinar a extensão da degradação e a localização da falta, assim o modo de manutenção apropriado, a localização do problema e a vida útil restante podem ser determinados com base no sistema. O módulo de monitoramento de condições compara os dados de condição coletados com o limite e julga o tempo para gerar um sinal de alarme. O módulo de avaliação de saúde geralmente avalia a condição do equipamento com base em banco de dados dinâmico e ambiente de operação. O módulo de previsão de condição prevê a condição de integridade ou a vida residual do equipamento processando os dados coletados na camada de detecção. O módulo de tomada de decisão formula estratégias de manutenção na camada de aplicação, incluindo se, quando e como manter o equipamento. Várias redes de comunicação com ou sem fio, de longa ou curta distância, são adotadas para obter interconexão de informações; a formulação de políticas de análise e manutenção da informação pode ser formulada no contexto da intranet, rede privada e internet, realizando assim o monitoramento em tempo real, interações alarmantes, agendamento, gerenciamento de pré planejamento, controle remoto e suporte à decisão [19].

Processos de fabricação convencionais foram gerenciados por sistemas de execução de fabricação. No entanto, esse tipo de sistema de vigilância não detecta anormalidades invisíveis e nem notifica o gerente de trabalho responsável [18]. Para lidar com essas questões, os pesquisadores da Universidade de Stuttgart sugeriram a implementação de fluxos de trabalho sensíveis ao contexto para obter um maior nível de inteligência dentro de uma fábrica, como uma forma de

gerenciar falhas de máquinas nas fábricas. Os pesquisadores categorizaram os tipos de “fluxos de trabalho inteligentes” de acordo com diferentes tarefas e propuseram um sistema de fluxo de trabalho ciente do contexto. Quando uma falha é induzida, esses fluxos inteligentes utilizam processos de integração de contexto (CIP) para manipular e abordar adequadamente o ponto de falha em toda a linha de fabricação. Ele reúne todos os registros necessários e relevantes de falhas semelhantes para fazer seu próprio julgamento sobre quais ferramentas e métodos aplicar [18].

Enquanto o diagnóstico é investigado para avaliar e analisar a natureza das condições, ou problemas de falhas, bem como para identificar modos de falha na máquina ou sistema, o prognóstico é conduzido para calcular e prever o status futuro de máquinas ou componentes com a estimativa de Remanescente vida útil (RUL) ou vida útil restante até a falha completa. Geralmente, o prognóstico é para monitorar e detectar as indicações iniciais de degradação de desempenho do componente. Como o diagnóstico é o processo de identificação do relacionamento entre a causa da falha (condições da máquina) e os resultados da falha, o PHM também inclui diagnósticos [18].

Os dados de monitoramento de condições podem ser fornecidos por sensores convencionais (com fio) ou por sensores sem fio. Em algumas aplicações em que o ambiente é severo e as restrições operacionais são fortes (máquinas rotativas, drones, sistemas de grande escala, etc.), a rede de sensores sem fio (WSN) pode ser uma boa alternativa aos sensores convencionais. As redes de sensores sem fio permitem uma diversidade de sensores e reduzem a complexidade da implantação graças à redução de fios. Sua utilização na manutenção preditiva pode ser vantajosa, pois permite cobrir mais componentes e fornecer dados mais úteis. No entanto, para ser usado com eficiência na preditiva, alguns problemas relacionados às redes devem ser resolvidos. Essas questões, abordadas neste documento, dizem respeito à precisão e confiabilidade das informações fornecidas pelos sensores, ao interrogatório dos sensores e ao protocolo de transferência de dados (ou comunicação) [6].

Esses sensores são pequenos, com recursos limitados de processamento e computação e são baratos em comparação aos sensores tradicionais. Esses nós sensores podem detectar, medir e coletar informações do ambiente e, com base em algum processo de decisão local, podem transmitir os dados detectados ao usuário [10].

2.3.1. Smart Sensor WEG Motor Scan

O sensor inteligente fabricado pela marca WEG, lançado no ano de 2018, é um “sistema” que compreende um pacote de produtos e serviços composto por sensor, aplicativo móvel (App) e portal web (WEG IoT Platform). Toda comunicação deste sistema é realizada através da tecnologia *Bluetooth® Low Energy*. Esta tecnologia realiza a comunicação sem fios (*wireless*) que interliga e permite a transmissão de dados entre computadores, telefones celulares e outros dispositivos através de ondas de rádio. Ela foi concebida para minimizar o consumo de energia elétrica.

O sensor é um dispositivo não-invasivo que monitora periodicamente os dados do motor elétrico, como vibração,

temperatura e tempo em funcionamento, diagnosticando eventuais falhas. Futuramente, será possível incorporar novas funcionalidades no mesmo sensor. O sensor não possui fios para conexão, pois, sua alimentação é feita através de uma bateria de Lítio que está incorporada ao dispositivo. A expectativa de vida da bateria é de 3 anos (considerando a operação em temperatura ambiente de 25 °C com 12 aquisições de dados ao dia).

Foi desenvolvido para os motores WEG nas carcaças IEC/ABNT 63 a 450 e, após a instalação no motor, o WEG Motor Scan deve ser configurado por um dispositivo móvel através de aplicativo disponível para as plataformas iOS™ e Android™. Os dados compartilhados entre o sensor e o dispositivo móvel/App são enviados para a nuvem, onde são armazenados e processados na WEG IoT Platform. Em um servidor seguro, os dados são analisados e transformados em relatórios, que podem ser visualizados de qualquer lugar, através do dispositivo móvel/App e na WEG IoT Platform. O processo de aquisição, processamento e análise de dados pode ser visualizado na Figura 2.

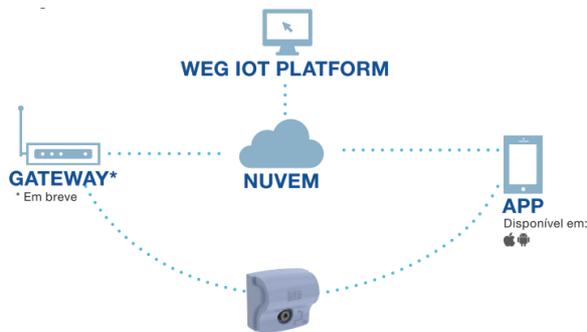


Figura 2: Fluxo de aquisição, processamento e geração de diagnóstico dos dados [21]

Com base nos dados monitorados, é possível tomar decisões mais rápidas e assertivas via análise preditiva, principalmente em torno dos cronogramas de manutenção preventiva, garantindo maior eficiência e vida útil do motor.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho propõe, como procedimento experimental, identificar vibrações mecânicas e variações de temperatura no motor de uma extrusora industrial, através do uso de um sensor inteligente sem fio. Estes dados devem auxiliar a equipe de manutenção, que poderá intervir de forma preventiva, a qualquer sinal de alarme no equipamento. Isso permitirá uma maior segurança para a estabilidade da produção.

O objeto de estudo foi um motor elétrico trifásico, com potência de 185 kW, tensão de 380 V e velocidade de rotação de 1190 rpm. Este motor é utilizado em uma das extrusoras da fábrica de produção de *pet food*, que possui uma capacidade de produção de 6 toneladas por hora. O equipamento pode ser visualizado na Figura 3.

A escolha deste motor deu-se em função da sua criticidade para a operação, pois, em caso de parada não programada deste, sendo a extrusora o equipamento crítico no processo, sua parada gera uma quebra na produção de aproximadamente 120 toneladas de alimento por dia.

Ao motor foi instalado um sensor sem fio, denominado WEG Motor Scan, da marca WEG, série 10*7723262. Na Figura 4 pode-se observar o motor e na Figura 5 é apresentado em maior detalhe o sensor instalado no motor.



Figura 3: Extrusora de *pet food* cujo motor foi o objeto de estudo



Figura 4: Motor WEG 250 cV



Figura 5: Sensor instalado no motor

A coleta de dados foi realizada, com o uso de um *smartphone* Asus_Z017D, versão do Android 8.0.0, a partir do aplicativo de celular WEG Motor Scan versão 1.0.84. Os dados puderam ser visualizados tanto neste aplicativo no *smartphone* quanto na plataforma WEG IoT, oferecida também pela empresa WEG. A plataforma foi acessada via internet em computador Dell Latitude 3470.

Como o sensor utilizado não tem fio, o envio dos dados para a nuvem se dá através do *smartphone*. Através da conexão *Bluetooth*, ao aproximar o *smartphone* do sensor, com a conexão ativada, o sensor envia ao aplicativo WEG Motor Scan as informações, que serão enviadas via WiFi para a nuvem.

Os limites de alarme estabelecidos seguem a recomendação do fabricante, devido a não haver outros valores de experiência com aplicação neste motor. A Figura 6 apresenta a tabela de referência do fabricante. As cores verde, amarelo e vermelho representam, respectivamente, as situações de motor

normal, alerta e crítico.

Velocidade de Vibração RMS [mm/s]	Potência ≤ 300kW Grupo 2 da ISO 10816-3	
	Base Rígida	Base Flexível
$V \leq 2,8$	Verde	Verde
$2,8 < V \leq 5,6$	Amarelo	Verde
$5,6 < V \leq 8,9$	Vermelho	Amarelo
$8,9 < V \leq 13,8$	Vermelho	Vermelho
$V > 13,8$	Vermelho	Vermelho

Figura 6: Limites dos níveis de alerta e dos níveis críticos de vibração – ISO 10816-3

Para a referência de temperatura, inicialmente também foi utilizada a recomendação de 60 °C para nível de alerta e 75 °C para nível crítico. Mas, ao longo da coleta, entendeu-se que os valores deveriam ser redimensionados para 50 °C e 70 °C, em função do histórico que foi sendo observado.

A Figura 7 apresenta o fluxo das etapas realizadas no estudo.

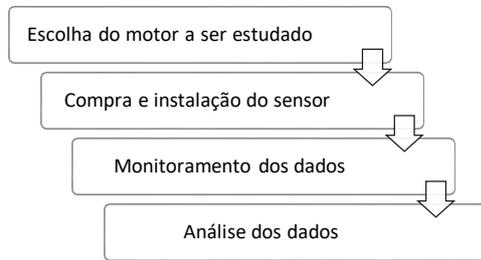


Figura 7: Passo a passo da metodologia utilizada

A Figura 8 representa, de forma esquemática, o processo desde a geração dos dados até a análise dos mesmos.



Figura 8: Esquema do sistema de coleta e análise dos dados

4. RESULTADOS

A instalação de um sensor inteligente para avaliação preditiva de um motor de extrusora, terá seus resultados apresentados avaliando dois principais aspectos: o método de coleta e tratamento dos dados através do sensor e a substituição do método atual.

4.1. Avaliação da coleta e análise dos dados

Conforme apresentado na metodologia, a coleta dos dados do sensor se dá através da conexão *Bluetooth* com o *smartphone*.

O sensor permanece coletando os dados do motor a cada 10 minutos (temperatura) e a cada uma hora (vibrações). Assim que o técnico se aproximar do motor, com o *Bluetooth* do *smartphone* ativado, o aplicativo WEG Motor Scan aberto e uma conexão de internet, os dados já são automaticamente

coletados pelo App e enviados para a WEG IoT Platform. Se o *smartphone* não estiver conectado à internet durante a coleta, os dados serão enviados para a plataforma no momento em que esta conexão for estabelecida. Nas Figura 9 e Figura 10 observam-se imagens da tela do *smartphone*, no momento da aproximação ao sensor, e da coleta dos dados.



Figura 9: Imagem da tela com os dados no momento da coleta

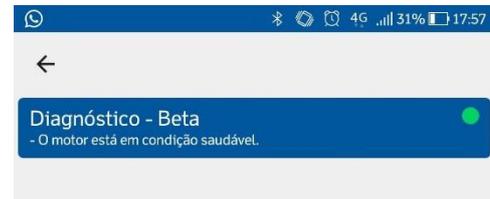


Figura 10: Imagem da tela apresentando o estado do motor

No próprio *smartphone* pode-se acompanhar o histórico dos dados, o que se observa nas Figura 11 e Figura 12.



Figura 11: Histórico dos dados de Temperatura visualizado pelo aplicativo



Figura 12: Histórico dos dados de Vibração Radial - Y visualizado pelo aplicativo

Pela WEG IoT Platform pode-se também observar os dados, conforme Figura 13.

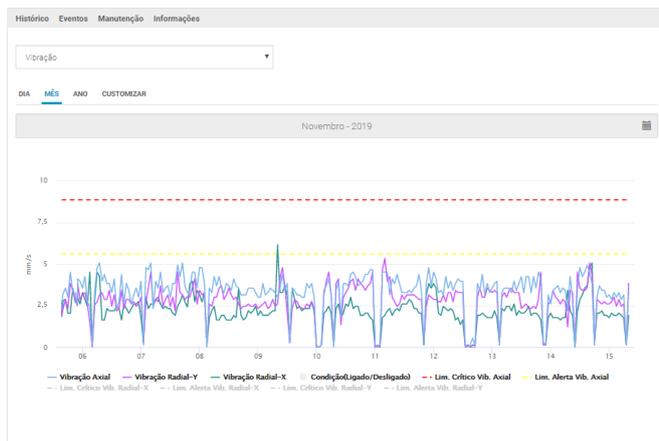


Figura 13: Histórico de vibrações na WEG IoT Platform

Também através da Plataforma ou do aplicativo de celular é possível visualizar eventos ocorridos, como níveis de alerta ou críticos. Também é possível adicionar e programar manutenções para o equipamento ao qual o sensor está instalado.

O mesmo aplicativo e plataforma permitem adicionar mais de um sensor aos mesmos, bem como gerenciar mais de uma planta industrial ao mesmo tempo.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho buscou apresentar o uso de um sensor inteligente, que pudesse ser facilmente instalado e auxiliasse a manutenção preditiva de uma empresa que busca ferramentas para inserir-se na Indústria 4.0.

Com relação ao uso do sistema proposto, o WEG Smart Sensor atendeu às demandas propostas. A coleta dos dados de vibração e temperatura do motor é simples e prática, pois se utiliza apenas de um *smartphone* com conexão *Bluetooth*, possibilitando o seu uso por todos os técnicos da equipe de manutenção. A imediata identificação de um alarme ou nível

crítico do equipamento é detectada também via *smartphone*, o que permite uma atuação rápida na contenção do problema antes da parada ou quebra do equipamento.

A utilização do sensor também garante uma coleta contínua dos dados do motor, o que possibilita a criação de um banco de dados e um conhecimento maior sobre as oscilações naturais e as tendências de operação do motor. Isso apresenta uma grande vantagem com relação ao monitoramento realizado por uma empresa terceirizada, em função do monitoramento contínuo que o sensor permite, ao contrário de um monitoramento mensal dos dados.

Em relação ao gerenciamento da manutenção preditiva, a plataforma WEG IoT Platform permite monitorar diversos sensores e unidades industriais ao mesmo tempo. Isso facilita aos gestores acompanhar *online* o status dos equipamentos críticos das unidades, bem como os alarmes e as manutenções realizadas em cada um os equipamentos.

De forma a melhorar e tornar o sistema ainda mais independente, o uso de um gateway para a coleta e envio dos dados para a plataforma tornaria o sistema ainda mais ágil. Esta proposta já está sendo desenvolvida pelo fabricante do sensor, e este gateway poderá coletar informações de mais de um sensor ao mesmo tempo.

Em relação aos custos de aquisição e instalação do sensor, bem como funcionalidades e facilidades de uso, um estudo comparativo pode ser realizado em outros trabalhos. Existem outros sensores que apresentam esta mesma funcionalidade, como o da empresa ABB. Ela possui soluções semelhantes, como o ABB Ability™ Smart Sensor.

O uso, portanto, de sensores como este, deve ser avaliado para aplicações em equipamentos críticos, para uma maior garantia de estabilidade e disponibilidade destes equipamentos. Isso porque, uma vez que um equipamento crítico gera a parada de produção, o retorno financeiro se dá instantaneamente.

Entende-se que, para uma empresa que busca a competitividade através de aplicação de tecnologia aos seus processos, inserir-se na Indústria 4.0 é uma necessidade vital. Sendo assim, o uso de ferramentas inteligentes, como este sensor na manutenção, é uma forma de iniciar a adequação a esta realidade.

Também é uma tendência que, com o passar do tempo, estas ferramentas e mecanismos inteligentes tenham seus custos reduzidos, possibilitando um maior e mais fácil acesso aos mesmos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. A. Fuentes-Huerta, D. S. González-González, M. Cantú-Sifuentes, and R. J. Praga-Alejo, "RCM implementation on plastic injection molding machine considering correlated failure modes and small size sample," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 95, no. 9–12, pp. 3465–3473, 2018.
- [2] F. Baena, A. Guarín, J. Mora, J. Sauza, and S. Retat, "Learning Factory: The Path to Industry 4.0," *Procedia Manuf.*, vol. 9, pp. 73–80, 2017.
- [3] E. K. A. Elhalim, R. K. Abdel-Magied, I. H. Afefy, and M. F. Aly, "An Efficient Maintenance Plan Using Proposed Framework of RCM Made Simple Approach," *Ind. Eng. Manag. Syst.*, vol. 18, no. 2, pp. 222–233, 2019.
- [4] H. Al Haiany, "Reliability Centered Maintenance Different Implementation Approaches," Luleå University of Technology, 2016. Tese de mestrado.

- [5] J. Moubray, *Reliability-centred maintenance*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997.
- [6] B. O. Gombé, G. Goavec, M. Karla, H. G. J. Friedt, V. Felea, and K. Medjaher, "A SAW wireless sensor network platform for industrial predictive maintenance," *J. Intell. Manuf.*, vol. 30, no. 4, pp. 1617–1628, 2019.
- [7] K. X. Zhu, "Sensor-based Condition Monitoring and Predictive Maintenance-An Integrated Intelligent Management Support System," *Intell. Syst. Accounting, Financ. Manag.*, vol. 5, no. 4, pp. 241–258, 1996.
- [8] C. Herpich and F. S. Fogliatto, "Aplicação de FMECA para Definição de Estratégias de Manutenção em Um Sistema de Controle e Instrumentação de Turbogeneradores," *Iberoam. J. Ind. Eng.*, vol. 5, no. 9, pp. 70–88, 2013.
- [9] K. Sipsas, K. Alexopoulos, V. Xanthakis, and G. Chryssolouris, "Collaborative maintenance in flow-line manufacturing environments: An Industry 4.0 approach," *Procedia CIRP*, vol. 55, pp. 236–241, 2016.
- [10] J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal, "Wireless sensor network survey," *Comput. Networks*, vol. 52, pp. 2292–2330, 2008.
- [11] A. A. Mendes and J. L. D. Ribeiro, "Um estudo do suporte quantitativo necessário para a operacionalização da MCC," *Producao*, vol. 21, no. 4, pp. 583–593, 2011.
- [12] A. M. Smith and G. R. Hinchcliffe, *RCM - Gateway to world class maintenance*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2004.
- [13] M. Shafiee, "Maintenance strategy selection problem: An MCDM overview," *J. Qual. Maint. Eng.*, vol. 21, no. 4, pp. 378–402, 2015.
- [14] V. S. Deshpande and J. P. Modak, "Application of RCM to a medium scale industry," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 77, no. 1, pp. 31–43, 2002.
- [15] M. Rausand, "Reliability centered maintenance," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 60, no. 2, pp. 121–132, 1998.
- [16] A. Albers, B. Gladysz, T. Pinner, V. Butenko, and T. Stürmlinger, "Procedure for defining the system of objectives in the initial phase of an industry 4.0 project focusing on intelligent quality control systems," *Procedia CIRP*, vol. 52, pp. 262–267, 2016.
- [17] E. Oztemel and S. Gursev, "Literature review of Industry 4.0 and related technologies," *J. Intell. Manuf.*, vol. 31, (2020), no. June, pp. 127–182, 2018.
- [18] G. Y. Lee *et al.*, "Machine health management in smart factory: A review," *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 32, no. 3, pp. 987–1009, 2018.
- [19] Q. Wang and J. Gao, "Research and application of risk and condition based maintenance task optimization technology in an oil transfer station," *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 25, no. 6, pp. 1018–1027, 2012.
- [20] H. Ramamurthy, B. S. Prabhu, R. Gadh, and A. M. Madni, "Wireless industrial monitoring and control using a smart sensor platform," *IEEE Sens. J.*, vol. 7, no. 5, pp. 611–617, 2007.
- [21] WEG Motor Scan, "Catálogo WEG Motor Scan," 2019. [Online]. Available: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h9d/h28/WEG-Motor-Scan-50078032-catalogo-pt.pdf>. [Accessed: 24-Oct-2019].