

Manutenção inteligente: tendências e desafios

Matheus Franco Soares (UNIMEP) matheus.soares@scpm.unimep.br

Resumo:

O surgimento da Indústria 4.0 traz consigo uma mudança de paradigma na manufatura, visando tornar os sistemas produtivos inteligentes. Isto afeta diversos setores da indústria, inclusive a manutenção, ocasionando o surgimento do conceito de manufatura inteligente. Este artigo visa apresentar uma sintetização do tema Manutenção Inteligente, que é uma tecnologia derivada da Indústria 4.0 (I4.0) e de uma maneira geral se baseia na internet das coisas (IoT), *Big Data* e sistemas físico-cibernéticos (CPSs). Além disso, tendências e desafios para a implementação da manufatura inteligente serão abordados para apresentar uma visão de como será este novo conceito de manutenção no futuro.

Palavras chave: Manutenção inteligente, Indústria 4.0, IoT, *Big Data*, CPS.

Smart maintenance: trends and challenges

Abstract

The advent of Industry 4.0 brings with it a paradigm shift in manufacturing, aimed at making production systems smart. This affects several industry sectors, including maintenance, leading to the emergence of the concept of smart manufacturing. This article aims to present a synthesis of the theme Smart Maintenance, which is a technology derived from Industry 4.0 (I4.0) and generally based on the Internet of Things (IoT), Big Data and Cyber-Physical Systems (CPSs). In addition, trends and challenges for the implementation of intelligent manufacturing will be addressed to present a vision of how this new maintenance concept will appear to be in the future.

Key-words: Smart Maintenance, Industry 4.0, IoT, Big Data, CPS.

1. Introdução

A manutenção mudou consideravelmente desde o seu surgimento. Em seus primórdios os reparos dos equipamentos eram realizados somente após a falha. Posteriormente, já se levava em consideração o monitoramento da condição dos equipamentos e surgiram os conceitos de confiabilidade e TQM (gestão da qualidade total). Apesar da evolução ao longo dos anos, a manutenção ainda não atingiu seu estado ideal, com isto, espera-se das próximas gerações que sistemas tenham tempo de inatividade zero e que estes possuam capacidade de auto-manutenção e auto cura. (SINGH, et al., 2013).

A chegada da Indústria 4.0 (I4.0), trouxe o conceito “inteligência” para a manufatura, este é caracterizado pela introdução de sensores e capacidade de processamento em recursos individuais, tornando-os sistemas embarcados. Isto afetou diversos setores da indústria, inclusive a manutenção. Em um sistema de manutenção inteligente os técnicos de manutenção podem trabalhar tanto in loco, quanto remotamente. Os técnicos que atuam no local da manutenção, utilizam ferramentas com tecnologia de ponta, como por exemplo a realidade

aumentada. Já os que atuam de maneira remota utilizam equipamentos de TI de última geração que fornecem uma interface dotada de inúmeros recursos. Independentemente da forma de atuação, ambos engenheiros que trabalham remotamente, chão de fábrica e nível gerencial estão interconectados através de sistemas de nuvem baseados na Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*) (CHUKWUEKWE, 2016).

Contudo, ainda existem diversos desafios para estabelecer efetivamente a manufatura inteligente nos diversos setores da indústria. Dentre eles, o desenvolvimento de infraestruturas que suportem comunicação inteligente em tempo real, o desenvolvimento de forças de trabalho multidisciplinares e a próxima geração dos sistemas de TI aptos a trabalhar com tecnologias inteligentes (SMART MANUFACTURING LEADERSHIP COALITION, 2011).

A maioria das estratégias de manutenção atuais são auxiliadas por sistemas de informação que monitoram medições particulares do equipamento na fábrica. Entretanto, estas ainda não possuem a capacidade de descrever, prever e prescrever ações de manutenção específicas em tempo real (O'DONOVAN, et al. 2015).

Neste contexto, o objetivo deste artigo é apresentar uma sintetização do tema manutenção inteligente e abordar as tendências e desafios para a sua implementação, mostrando assim as perspectivas de como será o novo ambiente de manutenção no futuro.

2. Manutenção Inteligente

O desenvolvimento de tecnologias como I4.0 e IoT, traz consigo uma mudança de paradigma, melhorando a habilidade de reparo e substituição de componentes individuais, melhorando o entendimento da condição de um produto e do planejamento de manutenção baseado na disponibilidade de um volume de dados significativamente grande, o chamado *Big Data*. Sistemas dotados de sensores e gerenciamento de dados através da “nuvem” resultaram na migração do monitoramento ao nível do componente para o monitoramento a nível de todo sistema, além disso, também houve a migração do foco da manutenção, do planejamento baseado em recursos para o planejamento e otimização de todo o sistema.

O Sistema Físico-Cibernético, conhecido pela sigla CPS (*Cyber-Physical System*), forma um dos alicerces da I4.0. Em um ambiente CPS, componentes se comunicam de forma autônoma entre si, visando atingir um objetivo global. Este sistema possibilita coletar mais dados em tempo real e quando armazenados formam um *Big Data*, o qual posteriormente é utilizado para análises (ROY, et al. 2016).

A aplicação de CPSs na manufatura tem grande impacto na manutenção, pois estes possuem capacidade de prognose, podem coletar dados em tempo real, executar diagnósticos remotos, otimizar atividades de serviços no local e permitir serviços conduzidos por dados. Com isto, a eficiência e a qualidade da manutenção podem ser melhoradas (HERTERICH, UEBERNICKEL E BRENNER 2015).

A manutenção inteligente baseada na I4.0 requer um amplo uso de dados que tenham formato compatível com a arquitetura de referência da Internet das Coisas Industrial (IIoT – *Industrial Internet of Things*), o grau de abrangência destes dados determina a precisão dos resultados da prognose. Com o progresso tecnológico do monitoramento de dados baseado na condição de equipamentos, a utilização da manutenção preditiva na manutenção inteligente se torna uma estratégia tanto vantajosa quanto exequível (CHUKWUEKWE 2016).

Atualmente, existe um foco em pesquisas para tornar os recursos de monitoramento da condição, diagnóstico e prognóstico cada vez mais inteligentes visando a otimização da manutenção. (UPASANI, et al., 2017).

O centro de pesquisa para Sistemas de Manutenção Inteligente (IMS – *Intelligent Maintenance Systems*), é um contribuinte notável para o desenvolvimento desta tecnologia. Este centro está liderando iniciativas de pesquisa compostas por universidades e parceiros da indústria nos âmbitos de análise de *Big Data* e monitoramento contínuo da condição de equipamentos, visando a criação de sistemas inteligentes, auto conscientes e de auto aprendizagem para reduzir a ocorrência de falhas na manufatura e torna-las o mais próximo possível de zero.

No futuro, quando os recursos se tornarem ainda mais inteligentes, o uso de inteligência artificial pode ser adicionado aos algoritmos para tomada de decisão distribuída e assim otimizar ainda mais a manutenção inteligente (ZHANG, WANG E TIAN 2013) e (UPASANI, et al. 2017).

Já existem muitas técnicas de identificação de problemas disponíveis que podem ser aplicadas a manufatura inteligente. A combinação entre técnicas de identificação de problemas e manufatura inteligente resulta na capacidade de prever problemas com precisão, podendo fornecer tempo produtivo de máquinas e disponibilidade para a cadeia de suprimentos, enquanto também otimiza o consumo de energia e os custos do ciclo de vida do equipamento. (O'DONOVAN, et al. 2015)

Alguns exemplos de técnicas para manutenção inteligente são: (1) Avaliação não destrutiva para avaliação de degradação automatizada; (2) Tecnologias de reparo; (3) Prognose; (4) Manutenção remota; (5) Manutenção, reparo e operação (MRO) digital; (6) *Big Data* e análise de dados e (7) Realidade aumentada para suporte a manutenção e treinamento (ROY, et al. 2016).

Apesar dos avanços tecnológicos na área da manutenção, a maior parte do setor industrial ainda não é capaz de monitorar continuamente a condição de seus componentes críticos, como consequência, isto dificulta a implantação das novas tecnologias de manutenção baseadas na I4.0. Porém isto pode ser contornado, através do uso de sistemas de transição (UPASANI, et al. 2017).

3. Aplicações de manutenção inteligente

Buscando demonstrar aplicações reais das tecnologias abordadas no tópico 2, serão apresentados a seguir dois exemplos da utilização da manufatura inteligente.

A figura 1 ilustra um esquema para o monitoramento de sistemas de engenharia utilizando IoT e computação na nuvem desenvolvido por Xia, et al. (2016). Com a IoT e a nuvem, os dados da condição de vários módulos de um sistema de engenharia distribuído sobre múltiplas localizações podem ser coletados e analisados juntos, utilizando fusão de dados baseado na nuvem e análise de dados. O conhecimento sobre a condição do sistema pode então retroalimentar o time de projeto para obter um processo de *design* em *loop* fechado.

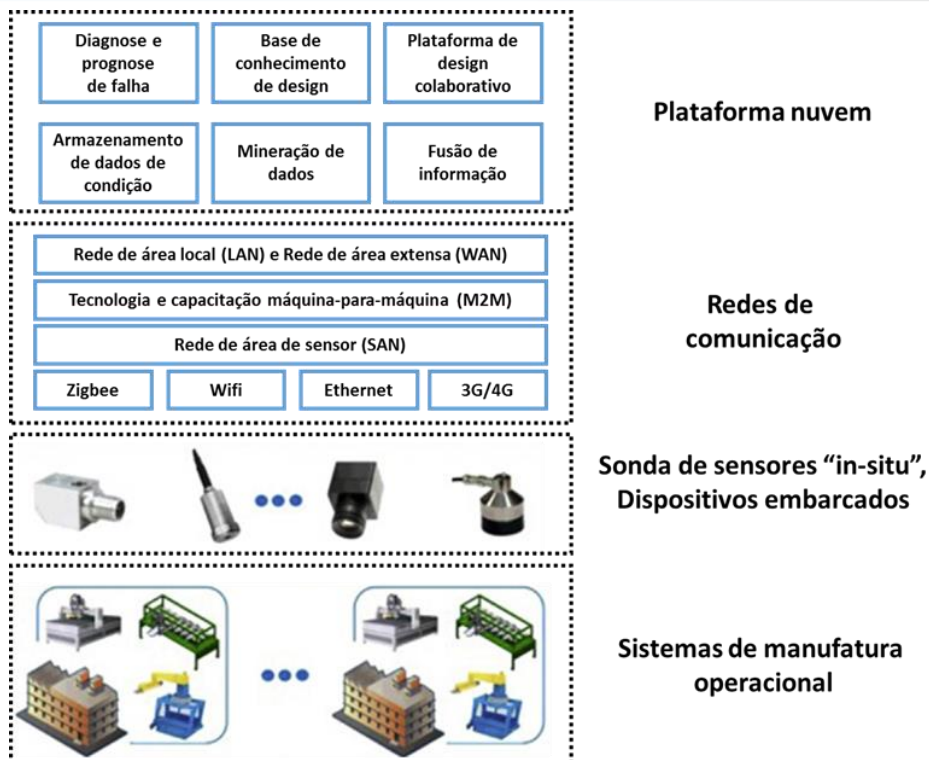


Figura 1 – Um esquema de monitoramento de condição de sistemas de engenharia utilizando IoT e computação na nuvem

Um outro exemplo de aplicação é a auto-manutenção em turbinas eólicas marítimas, que é desafiadora devido à questão de acessibilidade ao local, exposição a condições adversas de clima, transporte e falta de registros de manutenção detalhados e precisos. Em contrapartida os benefícios da aplicação desta técnica são as reduções: da necessidade de acesso ao local, do número de falhas, do tempo de parada e manter o *output* de energia até a próxima visita planejada. A figura 2 ilustra a aplicação de auto-manutenção em turbinas eólicas marítimas.

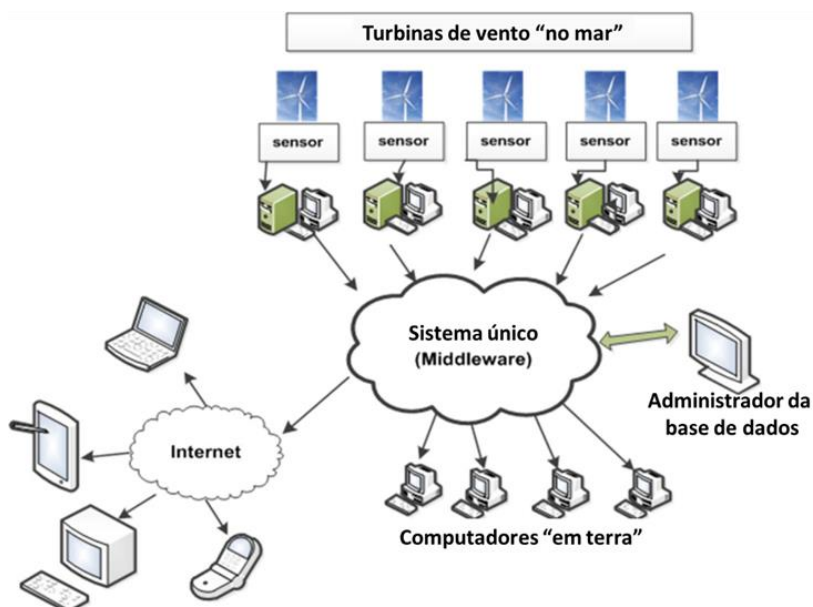


Figura 2 – Arquitetura distribuída do sistema para turbinas eólicas marítimas

4. Tendências

Nos tópicos anteriores, foram abordados alguns conceitos sobre manufatura inteligente e exemplos de aplicações. A partir dos conhecimentos apresentados, serão abordadas neste tópico algumas tecnologias em desenvolvimento, visando apresentar a perspectiva de como será a manutenção no futuro e suas tendências.

Um trabalho realizado por Meier, Roy e Seliger (2010) apresenta algumas tecnologias que estarão entrando em vigor nos próximos anos, como ilustra a tabela 1.

Dentro dos próximos 5 anos	Dentro de 5 a 10 anos
Análise preditiva	Veículos autônomos
Aprendizagem profunda	Sistemas aptos para mudança
Impressão 3D	Indústria 4.0 e servitização
Realidade virtual/aumentada	Materiais multifuncionais
Assistente pessoal virtual inteligente	IoT/loE/Utilizáveis
Manufatura cibernética segura	Manufatura distribuída
Além de 10 anos	
Computadores quânticos	
Predição em tempo real da performance ao longo da vida	
Material para vida longa	
Sistemas de produção auto configuráveis	
Viagem espacial viável	

Fonte: MEIER, ROY E SELIGER (2010)

Tabela 1 – Mudanças tecnológicas que irão afetar a manufatura significativamente

Um outro trabalho, realizado por Roy, et al. (2016) apresenta técnicas chave, já mencionadas anteriormente, que são utilizadas na manutenção inteligente, são elas: (1) Avaliação não destrutiva para avaliação de degradação automatizada; (2) Tecnologias de reparo; (3) Prognose; (4) Manutenção remota; (5) Manutenção, reparo e operação (MRO – *Maintenance, Repair and Operation*) digital; (6) *Big Data* e análise de dados e (7) Realidade aumentada para suporte a manutenção e treinamento.

Das técnicas mencionadas acima, notou-se que os temas ‘*Big Data*’, ‘monitoramento contínuo’ e ‘realidade aumentada’ foram encontrados na bibliografia pesquisada com uma maior frequência. Portanto, estes serão abordados com maior ênfase nos sub tópicos seguintes.

4.1. Big Data

Big Data é o amplo e crescente volume de dados relevantes para análise de dados baseado nas tecnologias da I4.0, IoT e computação na nuvem. A análise do *Big Data* pode gerar um novo conhecimento, que quando aplicado no ambiente de manufatura melhora não só a precisão da predição das condições atuais de máquinas e equipamentos, mas também o agendamento da manutenção do sistema de Planejamento dos Recursos da Empresa (ERP – *Enterprise Resource Planning*). Aproximadamente 90% do *Big Data* é desestruturado, por causa da heterogeneidade e estrutura dos dados, portanto para aprimorar sua utilização torna-se necessário o desenvolvimento de novos algoritmos. Uma possível solução para tal, é o uso da computação quântica, pois esta pode oferecer recursos para redução do tempo de processamento e estabelecer algoritmos para avaliar dados em tempo real. Não só a captura de dados em tempo real, mas também a análise e modelamento do *Big Data* são algumas das habilidades mais importantes para o futuro da manutenção, pois estas visam a melhoria da eficiência dentro de um ambiente de manufatura inteligente e altamente interconectado (ROY, et al. 2016).

Outro aspecto importante além da coleta, é a visualização do grande volume de dados, sendo

este essencial para auxiliar no pensamento analítico humano e nas tomadas de decisão para a manutenção. No âmbito da manutenção baseada em CPS, informações do *status* da máquina e do monitoramento de condição das mesmas são enviadas continuamente para um sistema de armazenamento na nuvem gerando o *Big Data*. Posteriormente, algoritmos de análise do *Big Data* visualizam e analisam todos os dados recebidos. Como consequência, o planejamento e agendamento da manutenção podem ser obtidos com base nos resultados das análises do *Big Data*. Este planejamento é continuamente adaptado de acordo com o *status* atual da máquina e agendamento da produção (DENKANA, et al. 2014).

4.2. Sistemas de monitoramento contínuo

Os sistemas de monitoramento contínuo, também conhecido por CMS (*Condition Monitoring System*) tem sido visto como um elemento da fábrica inteligente interconectada dentro do contexto I4.0. Fabricantes de equipamentos estão se conscientizando cada vez mais sobre a importância do conceito de manutenção preditiva na estratégia de obter a máxima eficiência da máquina e tempo produtivo. O CMS pode auxiliar na coleta de dados relevantes, os quais são medidos por sensores, disponibilizados em tempo real, processados por softwares especiais e subsequentemente analisados por especialistas técnicos na planta se o cliente assim desejar. Exemplos dados que podem ser analisados em máquinas e equipamentos são: vibração, torque, temperatura, umidade do ar, qualidade do óleo, fluxo/vazão de água, consumo de energia, entre outros.

Segundo a Wittmann Bottenfeld: “o segredo é saber o que ouvir, como interpretar e quando colocar este conhecimento em uso”.

As variáveis a serem monitoradas através de sensores e analisadas podem ser definidas em níveis de alarme e aviso prévio, para que o sistema possa enviar alertas automaticamente para técnicos de manutenção.

A figura 3 ilustra uma aplicação de CMS com o uso de um software desenvolvido pela Wittmann Bottenfeld.

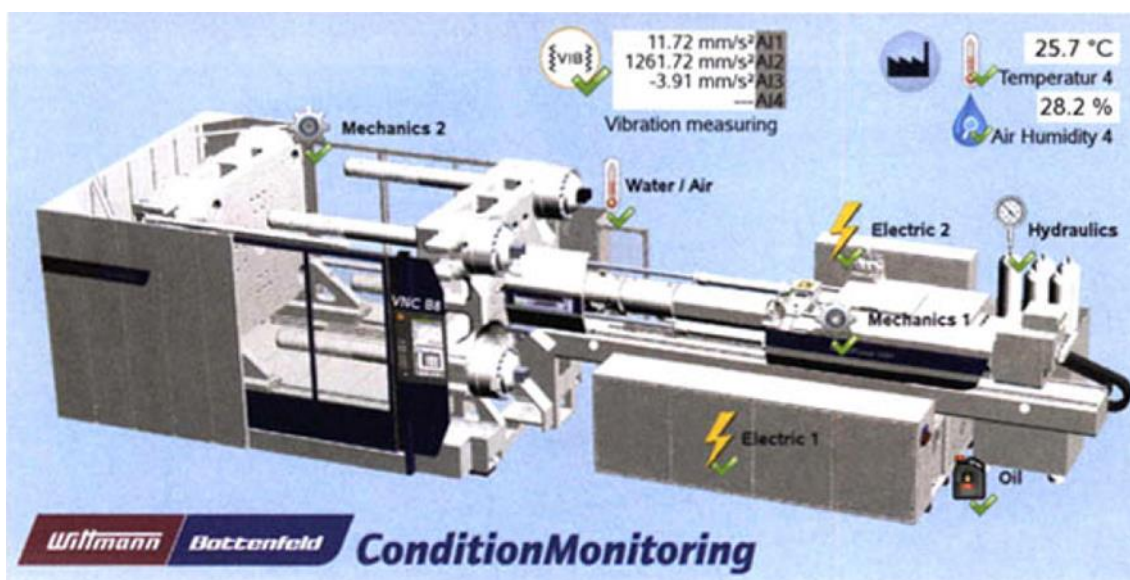


Figura 3 – Aplicação de CMS baseada em software para monitoramento de máquina

4.3. Realidade aumentada

Atualmente, técnicas de realidade aumentada (AR – *Augmented Reality*) já estão sendo

desenvolvidas e aplicadas em vários setores da indústria como projeto do produto, planejamento e controle da produção, manutenção do produto e da planta, entre outros. As aplicações de AR combinam a cena real vista pelo usuário com uma cena virtual gerada por computador, a qual complementa a cena real com dados e informações. Tais aplicações podem ser baseadas em dispositivos móveis, estas permitem a interação dinâmica entre usuário e ambiente real de trabalho através do compartilhamento de informação. De uma maneira geral, aplicações AR visam o aumento de performance das atividades realizadas, reduzindo os tempos de execução e aumentando a qualidade das mesmas.

No âmbito da manutenção, sistemas de AR visam a melhoria do processo de troca de informação e o treinamento de operadores de uma maneira inovadora. Uma contribuição da AR é auxiliar procedimentos de manutenção, de maneira eficiente, em ambientes hostis fornecendo informação remotamente. O objetivo é acelerar o tempo do ciclo de manutenção e propiciar condições mais seguras para a manutenção do equipamento sem fazer contato físico com o objeto em um ambiente indoor (ELIA, GNONI E LANZILOTTO 2016).

Apesar dos avanços na tecnologia AR, ela ainda não está totalmente estabelecida no ambiente industrial. Porém existem diversas pesquisas sendo realizadas atualmente, para auxiliar a estabelecer a AR efetivamente na indústria. Em um estudo atual, uma aplicação para o chão de fábrica está sendo desenvolvida, em que *tablets* são utilizados com o intuito de visualizar informações dos equipamentos em tempo real através de textos projetados em superfícies, como é ilustrado na figura 4 (APPLUS, 2014).

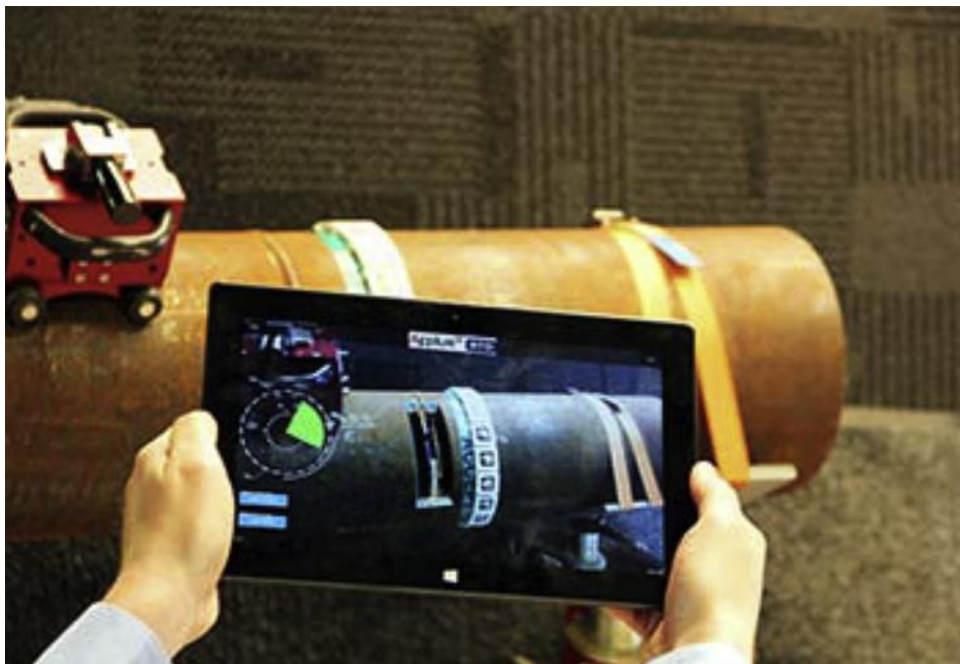


Figura 4 – Realidade aumentada aplicada na manutenção de tubulações

Outros estudos focam na utilização de sistemas AR para o treinamento de técnicos de manutenção. Protótipos inovadores como este proposto por Garza, et al. (2013), visam reduzir o tempo total de treinamento de manutentores substituindo os manuais de treinamento de papel por um ambiente interativo e compartilhado entre os usuários.

No futuro, durante a execução das atividades de manutenção, as informações do armazenadas no *Big Data* auxiliarão os manutentores. Além disso, vídeos e/ou informação em texto relacionados a atividade de manutenção serão fornecidos para o manutentor através de

dispositivos inovadores vestíveis para atender as necessidades da manufatura inteligente baseadas em tecnologias de nuvem (HAO E HELO 2015).

Em troca o manutentor irá retroalimentar continuamente o *Big Data* com os resultados e experiências adquiridas durante o processo de manutenção. Assim, o *Big Data* pode melhorar a precisão do planejamento da manutenção e as informações fornecidas para os manutentores (ROY, et al. 2016).

5. Desafios

As tendências abordadas no tópico 4 apresentam diversos benefícios que a manutenção inteligente baseada na I4.0 pode trazer para indústria. Entretanto, como este ainda é um tema emergente ele apresenta diversos desafios a serem vencidos, os quais serão abordados a seguir.

Das técnicas chave que contribuem para o desenvolvimento da manutenção inteligente citadas por Roy, et al. (2016), existem algumas dificuldades a serem superadas na prognose, como dificuldade de modelamento de leis de degradação, melhoria na robustez, precisão e qualidade dos dados não processados e incerteza de dados de *input*. Tecnologias de auto cura ainda necessitam de amadurecimento antes de serem diretamente eficazes na manutenção autônoma, um exemplo são os microssistemas eletromecânicos (MEMS), que apesar de muito baratos, podem ter impacto significativo na disponibilidade do sistema onde são utilizados.

No cenário atual da manutenção, sempre que problemas ocorrem com máquinas e equipamentos os manutentores tendem a visitar as plantas de clientes para solucionar problemas. Contudo, para alterar esta perspectiva no conceito I4.0, o ideal seria que o fabricante adquirisse o *status* operacional das máquinas dos clientes, para então executar diagnóstico e análise remotamente nas bases dados do cliente através de tecnologias baseadas em nuvem e *Big Data* para conduzir a manutenção em tempo real e online. Porém, uma manutenção remota de sucesso iria demandar interconexão ao longo de toda a companhia.

Outra questão importante, que é apontada por Datta e Roy (2010), está relacionada a maneira de lidar com os dados coletados, considerando que eles podem pertencer ao fabricante e/ou ao cliente (ou usuário) do equipamento, isto ainda é uma questão crítica para o desenvolvimento de modelos de negócio produto-serviço.

É necessário se desenvolver novos processos, métodos e ferramentas para aplicações de MRO para explorar o potencial de tecnologias virtuais para sua otimização na prática. Devido a diversidade de aplicações com MRO, é difícil desenvolver uma solução que atenda a vários pré-requisitos, porém os CMMSs (sistemas de gerenciamento de manutenção computadorizada) podem auxiliar neste quesito, embora esse tipo de sistema seja caro e necessite de treinamento. Os principais desafios tecnológicos e científicos neste âmbito são as soluções tecnológicas necessárias para monitorar, rastrear, determinar e prever o estado do produto para otimizar o agendamento das operações MRO, pois estas tecnologias têm de fornecer dados da condição atual do produto para diversos setores.

Dentre os desafios relacionadas a auto-manutenção estão confiabilidade, adaptabilidade a mudanças frequentes em regime de funcionamento, demanda por novos tipos de sistemas do usuário final e processos e energia necessária para alimentar máquinas e sistemas. O suprimento contínuo de energia em regiões com acessibilidade limitada também é um desafio para os pesquisadores, pois é quase impossível fornecer energia continuamente para sistemas remotos e/ou de difícil acesso (SINGH, et al. 2013).

Os desafios chave para lidar com o grande volume de dados (*Big Data*) são a diversidade em tipos de dados, incerteza dos dados e em alguns casos a velocidade de coleta de dados e tomada de decisão para propósitos de manutenção. Gerenciamento de dados ao longo do ciclo de vida

é um desafio majoritário em termos de administração, armazenamento e colaboração da cadeia de suprimentos. A utilização efetiva da análise do *Big Data* e IoT para manutenção contínua irá exigir a solução dos seguintes desafios:

- a) Conhecimento em “*smart intelligence*”, se faz necessário para controlar a manutenção dos sistemas de engenharia;
- b) Conhecimento para selecionar a melhor estratégia de manutenção para um sistema de engenharia integrado;
- c) *Design* e manufatura para manutenção contínua irá exigir *feedback* regular para os engenheiros da área;
- d) Gerenciamento de dados ao longo do ciclo de vida de um sistema de engenharia é essencial. Deve haver coleta de dados até no nível do componente, para fornecer informações detalhadas sobre seu uso e para monitorar sua degradação;
- e) Melhor integração de máquinas e operadores humanos para soluções de manutenção colaborativa (ROY, et al. 2016).

Um outro desafio importante é conduzir manutenção preventiva/preditiva com sensorização de equipamentos em tempo real durante os processos de manufatura, que possua *feedback* para assegurar a confiabilidade e melhorar a performance econômica de um processo. É importante considerar que sensores trabalhando em condições severas devem ser frequentemente substituídos, pois eles podem não resistir aos seus ambientes de trabalho e isso consequentemente resulta em leituras imprecisas. Além disso, o uso contínuo de sensores antigos, mesmo não apresentando falhas, pode fazer com que os padrões de produção permaneçam inaceitáveis e a longo prazo, isto pode resultar em altos custos de manutenção. A utilização de sensores apresenta um desafio, pois eles são amplamente distribuídos ao longo da fábrica. Durante o procedimento de manutenção, quando não há sensores redundantes disponíveis, a substituição de sensores irá resultar diretamente em perda de dados, podendo causar a diminuição da performance do processo sob operação contínua. Por isto, projetos de sistema de controle que contam com perda de dados sensorizados têm recebido muita atenção ultimamente (LAO, et al. 2015).

No futuro CPSs irão melhorar a habilidade de monitorar sistemas individuais e até componentes para manutenção. Três desafios principais no uso de IoT para a predição de falhas de um grupo de máquinas são: (1) comunicação de dados da rede de sensores da IoT, (2) predição de falhas não estacionárias e não lineares e (3) processamento de dados massivos. Apesar da IoT agir como um facilitador para uma manutenção contínua e mais eficiente, o entendimento de mecanismos de degradação e causas raízes para modelos de falha são fundamentais para garantir que o sistema permaneça operando nas condições estabelecidas (XU, CHEN E MINAMI 2012).

6. Conclusão

Este artigo apresentou uma sintetização do tema manutenção inteligente, que é uma tecnologia derivada da Indústria 4.0 (I4.0) e baseada na internet das coisas (IoT), *Big Data* e na coleta e análise de dados em tempo real. A manutenção inteligente é impulsionada pelos sistemas físico-cibernéticos (CPSs), em que componentes se comunicam autonomamente uns com os outros e uma maior quantidade de dados sobre o estado atual das máquinas é coletada em tempo real por sensores. Estes dados podem ser armazenados e analisados remotamente no *Big Data*, então essa informação se torna conhecimento e é retransmitida como um *feedback* para os responsáveis visando a otimização contínua do processo, tudo isso baseado na IoT e computação na nuvem. Com isto, não só os eventos de manutenção podem ser melhorados, mas

também os seus planejamentos, resultando na redução do risco de falhas não planejadas e aumentando a eficiência das máquinas.

Diversas técnicas favorecem o desenvolvimento da manutenção inteligente, isto auxilia a impulsionar a utilização de CPSs no ambiente produtivo, a coleta de dados por sensores, a utilização de *Big Data* e computação na nuvem, além de estimular o *feedback* de informações visando estabelecer um *loop* para otimização contínua das atividades de manufatura.

O desenvolvimento de novas tecnologias como a I4.0 traz consigo uma mudança de paradigma, por este motivo além de se tornar um grande desafio, demanda um tempo para se estabelecer efetivamente na indústria, pois as companhias necessitam de um período para se adaptar.

Segundo a literatura utilizada, a aplicação de técnicas que envolvem o *Big Data*, as práticas de monitoramento contínuo e a realidade aumentada, apresentam as maiores tendências no âmbito da manutenção inteligente.

Pode-se notar pela tabela 1 que a previsão feita por Roy, et al. (2016) estava correta para as tecnologias que estavam por vir dentro dos próximos 5 anos, pois estão presentes na indústria nos dias de hoje.

É correto afirmar que a manutenção inteligente foi reconhecida como uma tendência para a manufatura pelas vantagens que ela pode trazer. Um dos indícios que podem comprovar essa afirmação é a criação do IMS, um centro de pesquisa especializado neste âmbito, o qual é um contribuinte notável para o desenvolvimento da manufatura inteligente e lidera atividades de P&D (pesquisa e desenvolvimento) neste âmbito. Porém, apesar dos avanços tecnológicos, ainda existe a necessidade de P&D adicionais para lidar com todos os desafios apresentados e tornar a aplicação da manufatura inteligente mais segura, padronizada e rentável.

Além de beneficiar diversas áreas como produção, cadeia de suprimentos, manutenção e diagnóstico, gestão da qualidade e energia a I4.0 favorece a criação de novos modelos de negócio. Um exemplo que favoreceria tanto ao fabricante quanto ao cliente/usuário seria o estabelecimento de um mercado de dados, onde os fabricantes poderiam pagar aos clientes pelo fornecimento do uso de dados, dessa forma o fabricante teria a chance de melhorar não só a qualidade do produto, mas também a qualidade do serviço recebido pelo cliente. Além disso as atividades de manutenção poderiam ser otimizadas, o que resultaria na redução do custo ao longo da vida do equipamento e no aumento da satisfação do cliente.

Um outro fator importante a ser destacado é que a manutenção inteligente, assim como qualquer tecnologia dentro do contexto I4.0 não é um sistema “*plug-in and forget*”, pois tecnologias como esta também demandam esforços rigorosos após sua implementação. Portanto é necessário um acompanhamento contínuo dos sistemas utilizados e como estes são baseados em sensores, IoT, *Big Data* e computação na nuvem, isso demandará uma mudança de perfil dos funcionários assim como uma capacitação rigorosa para trabalhar dentro deste novo ambiente digital.

Os esforços necessários para vencer estes desafios são vantajosos para se obter uma manutenção inteligente com sistemas mais eficientes, que sejam reconfiguráveis, adaptáveis, conduzidos por dados coletados com ótima precisão, que possuam capacidade de predição e operação remota.

Referências

APPLUS. (2014). *Applus RTD Introduces Augmented Reality to NDT*.

CHUKWUEKWE, D. (2016). *Condition Monitoring for Predictive Maintenance: A Tool for Systems Prognosis within the Industrial Internet Applications*. Noruega.

- DATTA, P., & ROY, R. (2010).** *Cost Modelling Techniques for Availability Type Service Support Contracts: A Literature Review and Empirical Study*. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, pp. 142–157.
- DENKENA, B., MÖRKE, T., KRÜGER, M., SCHMIDT, J., BOUJNAH, H., & MEYER, J. (2014).** *Development and First Applications of Gentelligent Components over Their Lifecycle*. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, pp. 139–150.
- ECHAVARRÍA, E. (2009).** *RAMS for offshore wind farm*. Delft University of Technology. Holanda.
- ELIA, V., GNONI, M., & LANZILOTTO, A. (2016).** *Evaluating the application of augmented reality devices in manufacturing from a process point of view: An AHP based model*. Expert Systems with Applications, 187–197.
- GARZA, L., PANTOJA, G., RAMÍREZ, P., RAMÍREZ, H., RODRÍGUEZ, H., GONZÁLEZ, E., PÉREZ, J. (2013).** *Augmented reality application for the maintenance of a flapper valve of a Fuller-Kynion type M pump*. Procedia Computer Science, pp. 154–160.
- HAO, Y., & HELO, P. (2015).** *The Role of Wearable Devices in Meeting the Needs of Cloud Manufacturing: A Case Study*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing.
- HERTERICH, M., UEBERNICKEL, F., & BRENNER, W. (2015).** *The Impact of Cyber-physical Systems on Industrial Services in Manufacturing*. Procedia CIRP, (pp. 323–328).
- LAO, L., ELLIS, M., DURAND, H., & CHRISTOFIDES, P. (2015).** *Real-time preventive sensor maintenance using robust moving horizon estimation and economic model predictive control*. Fonte: Wiley Online Library: <http://www.wileyonlinelibrary.com>
- MEIER, H., ROY, R., & SELIGER, G. (2010).** *Industrial Product-Service Systems-IPS2*. CIRP Annals – Manufacturing Technology, pp. 607–627.
- O'DONOVAN, P., LEAHY, K., BRUTON, K., & O'SULLIVAN, D. (2015).** *An industrial big data pipeline for data driven analytics maintenance applications in large scale smart manufacturing facilities*. Journal of Big Data, 2-25.
- PLASTIC TECHNOLOGY. (2016).** *Another OEM sees predictive maintenance as key to optimum equipment utilization*. Technology and industry news.
- ROY, R., STARK, R., TRACHT, K., TAKATA, S., & MORI, S. (2016).** *Continuous maintenance and the future – Foundations and technological challenges*. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 667-688.
- SINGH, S., GALAR, D., BAGLEE, D., & BJÖRLING, S.-E. (2013).** *Self-maintenance techniques: a smart approach towards self-maintenance system*. The Society for Reliability Engineering, Quality and Operations Management (SREQOM).
- SMART MANUFACTURING LEADERSHIP COALITION. (2011).** *Implementing 21st century smart manufacturing*. In Workshop Summary.
- UPASANI, K., BAKSHI, M., PANDHARE, V., & LAD, B. K. (2017).** *Distributed Maintenance Planning in Manufacturing Industries*. Computers & Industrial Engineering.
- XIA, M., LI, T., ZHANG, Y., & DE SILVA, C. W. (2016).** *Closed-loop Design Evolution of Engineering System Using Condition Monitoring through Internet of Things and Cloud Computing*. Computer Networks.
- XU, X., CHEN, T., & MINAMI, M. (2012).** *Intelligent Fault Prediction System Based on Internet of Things*. Computers & Mathematics with Applications, pp. 833–839.
- ZHANG, L., WANG, Q., & TIAN, B. (2013).** *Security Threats and Measures for the Cyber-Physical System*. Journal of China Universities of Posts and Telecommunications 20, pp. 25-29. ABDEL-AAL, R.E.