

MONITORAMENTO DE ANÁLISE DE ÓLEO POR MEIO DE SENSORES

MONITORING OF OIL ANALYSIS THROUGH SENSORS

Daniel Magalhães Viegas Junior¹

Resumo: Inserir nas empresas o universo da Indústria 4.0 é preciso para a garantia da competitividade e da continuidade delas no mercado. E, uma das áreas em que a indústria 4.0 e suas tecnologias possuem mais destaque é a manutenção, pois, o uso dos mecanismos inteligentes, são capazes de promover a confiabilidade do funcionamento dos sistemas, prevendo falhas e antecipando os problemas e as quebras nos equipamentos, contribuindo assim para o aumento da performance e da redução dos custos agregados. O presente estudo, parte então da ideia de usar a tecnologia Lab-on-chip, para o sistema de monitoramento de fluido hidráulicos e lubrificantes e tem como objetivo verificar a aplicação de Sistemas Microeletromecânicos (MEMS) na manutenção. A partir da revisão literária, foi possível verificar que, os estudos que relacionam o uso de microsensores para o monitoramento de lubrificantes ainda são escassos e a partir disso, sugeriu-se uma pesquisa aplicada com essa finalidade, desenvolvendo um lab-on-chip que seja capaz de substituir análises laboratoriais complexas e de alto custo.

Palavras-chave: Sensores; Indústria 4.0; Microeletromecânicos (MEMS).

Abstract: Inserting the Industry 4.0 universe into companies is necessary to guarantee their competitiveness and continuity in the market. And, one of the areas in which industry 4.0 and its technologies are most prominent is maintenance, as the use of intelligent mechanisms are capable of promoting the reliability of systems functioning, predicting failures and anticipating problems and breakdowns

¹ Engenharia Mecânica, Pós graduado em Engenharia de Manutenção, Pós graduado em Engenharia de Segurança do trabalho, Mestre em Ciências Empresariais, Doutorando em Engenharia Mecânica.

in equipment. , thus contributing to increased performance and reduced aggregate costs. The present study then starts from the idea of using Lab-on-chip technology for the hydraulic fluid and lubricant monitoring system and aims to verify the application of Microelectromechanical Systems (MEMS) in maintenance. From the literary review, it was possible to verify that studies relating the use of microsensors for monitoring lubricants are still scarce and from this, applied research was suggested for this purpose, developing a lab-on-chip that be capable of replacing complex and high-cost laboratory analyses.

Keywords: Sensors; Industry 4.0; Microelectromechanical (MEMS).

Introdução

Com o advento da indústria 4.0 na área de manufatura, as empresas são capazes de usar as tecnologias da internet das coisas pra o monitoramento e para a oteção de uma visão mais profunda sobre as suas operações em tempo real, e é nesse ponto que as fábricas se transformam em fábricas inteligentes.

Desse modo, pode-se verificar que, para que haja a implementação correta e bem-sucedida dos processos de automação são precisos sistemas de monitoramento e controle eficientes, e para isso, o desenvolvimento das tecnologias 4.0, fez com que, o uso de sensores para a área de manutenção se tornasse cada vez mais popular, sobretudo os sensores de MEMS, uma vez que, a maneira com que esse tipo de sensores são fabricados, permitem que tenham um custo relativamente mais baixo quando comparados a sensores tradicionais.

Nesse mesmo contexto, destaca-se o Lab-on-chip, que nada mais é que um dispositivo conhecido também por dispositivo microfluidos ou sistema micro-analítico- total, que é capaz de integrar de forma miniaturizada, funções laboratoriais em um unico microprocessador a partir do uso de pequenos volumes de líquidos, eliminando assim, a necessidade de equipamentos caros e recursos



humanos especializados que na maioria das vezes, não estão disponíveis facilmente.

O presente estudo, parte então da ideia de usar a tecnologia Lab-on-chip, para o sistema de monitoramento de fluido hidráulicos e lubrificantes, uma vez que, a busca por otimizar os custos operacionais e as preocupações ambientais, faz com que os operadores reflitam sobre meios mais eficientes para monitorar as condições e as práticas de manutenção, de modo que, tanto o fluido lubrificante quanto a vida útil dos componentes sejam prolongados.

Referencial Teórico

A indústria 4.0

Conforme indicado por Schwab (2016) a partir do surgimento das tecnologias, foram ocorrendo revoluções e novas formas de perceber o mundo, desencadeando alterações profundas nas estruturas sociais e nos sistemas econômicos. Nesse contexto, a primeira mudança na história, ocorreu entre os anos de 1760 à 1840, e ficou conhecida como a primeira revolução industrial, e foi provocada pela criação das máquinas a vapor, pela construção das ferrovias e foi o ponto de partida para a produção mecânica.

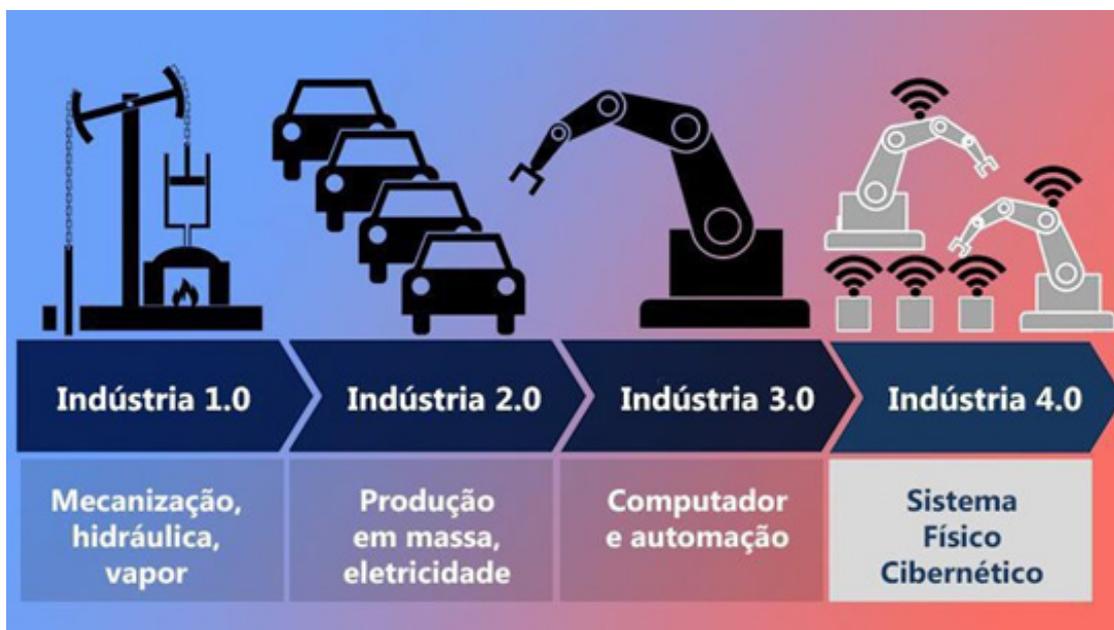
No período entre o final do século XIX ao início do século XX, foi iniciada a segunda Revolução Industrial, que se caracterizou pelo surgimento da eletricidade e das linhas de montagem, o que possibilitou a produção em massa, nos anos de 1960, ainda conforme Schwab (2016) foi iniciada a terceira revolução industrial, a partir do desenvolvimento dos semicondutores e da computação em mainframe, e está se estendendo até o início dos anos 90, quando surgiram os computadores pessoais e a internet começou a se popularizar.

A partir daí, foi dada a partida a uma quarta revolução industrial, e ela se consolidou com maior força a partir da virada do século XXI, e tem se baseado a partir da revolução digital, por meio do surgimento da internet móvel, dos sensores menores e mais potentes, pela inteligência artificial e pela aprendizagem de máquinas. A Figura 1 a seguir, mostra a evolução da indústria até a Indústria



4.0:

Figura 1: Revolução da Industrialização



Fonte: ccaexpress.com.br, 2019.

Conforme Schwab (2016) as tecnologias digitais, se fundamentam a partir dos computadores que causou uma grande ruptura à terceira revolução industrial, e com o passar dos tempos e do avanço tecnológico, estão se tornando cada vez mais integrados e sofisticados, e como consequência, tem transformado a sociedade e toda a economia global.

Isso mostra uma nova e profunda mudança na história, em que o passado passa a ser rejeitado e as inovações tecnológicas se constituem como o ponto de partida para que antigos preceitos sejam rompidos e novos nasçam, como a reformulação de sistemas produtivos, a partir da quarta revolução industrial.

A partir disso, a indústria 4.0 tem sido o foco nos âmbitos acadêmicos, políticos, sociais, econômicos e empresariais, uma vez que isso oferece diversas oportunidades que sejam capazes de moldar o futuro de forma ativa, prevendo as consequências e se preparando para os impactos delas.

A indústria 4.0 se trata de uma estratégia que foi moldada pelo governo alemão no ano de 2013 e é descrita como a quarta revolução industrial. Depois das máquinas à vapor, da eletricidade e da eletrônica, tal revolução implica na implementação da internet das coisas e serviços humanos em que, todos os processos de produção estão inseridos em redes baseadas na internet, transformando fábricas comuns em fábricas inteligentes.

De acordo com Kangermann et al. (2013) o conceito alemão da Indústria 4.0 como um todo, foi formulado a partir do relatório de Recomendações para a iniciativa de implementação de estratégias da indústria 4.0, elaborado por um grupo de trabalho voltado para ela, e a partir disso, diversos conceitos semelhantes surgiram em todos os lugares do mundo. Em relação aos conceitos semelhantes, Wubbeke et al. (2016) aponta que o governo chinês promoveu uma ideia semelhante sob o nome “Made in China 2025”, os japoneses lançaram a Sociedade 5.0.

Enquanto isso, o conceito alemão para a nova revolução industrial, pinta um brilhante quadro para o futuro da indústria, onde os mundos virtuais e físicos se ligam como um todo através da integração de softwares desde a fase do desenvolvimento de produtos.

Conforme indicado por Borlido (2017) o nascimento da indústria 4.0 se deu a partir de quatro razões que impulsionaram a transição a terceira revolução industrial, sendo a primeira delas, a geração do alto volume de dados a partir da computação e da conectividade, o surgimento de novas formas de interação entre os homens e as máquinas, a melhoria de habilidades analíticas e a transferência de dados digitais para algo que possa ser usado materialmente.

Assim, conforme Deloitte (2015) a indústria 4.0 é baseada em um novo modo de desenvolvimento nas organizações e na gestão dos processos da cadeia de valor que estão envolvidos nas indústrias de transformação. Isso porque, além da definição e das características impulsionadoras da indústria 4.0, ela se sustenta em três pilares principais, a internet das coisas (IoT), o big data, e os Sistemas Cyber Físicos (CPS). De acordo com Schwab (2016) a internet das coisas pode ser descrita como a relação que existe entre as coisas e as pessoas, tornando possível a existência de diversas plataformas e tecnologias conectadas.

O Big data por sua vez, de acordo com Coelho (2016) corresponde ao grande volume de dados que são armazenados de forma constante em razão da existência da internet das coisas, gerando dados em tempo real sobre quase todas as coisas que se desejam.

E, por fim, em relação aos sistemas cyber-físicos, são sistemas que integram a computação, as redes de comunicação, os computadores embutidos e os processos físicos que interagem entre si e se influenciam naturalmente. Esses três pilares quanto os sistemas ciber-físicos, segundo Coelho (2016) compreende sistemas que integram a computação, redes de comunicação, computadores embutidos e processos físicos interagindo entre si e influenciando-se mutuamente.

Desse modo, a partir dessa nova revolução industrial, é possível testemunhar diversas e profundas mudanças em todos os setores da sociedade, e é marcada pelo desenvolvimento de novas formas de negócio, por reestruturar a produção, o consumo, o transporte e os sistemas logísticos.

Isso porque, existe na sociedade, uma mudança de paradigmas em curso, e tais mudanças referem-se a não apenas o modo como as pessoas trabalham e se comunicam, mas também na forma como elas se expressam, se informam e se divertem.

E conforme Schwab (2016) aponta que, as mudanças que estão ocorrendo, também implicam na promoção de novos usos para as tecnologias, mudando comportamentos, sistemas de produção e consumo, a partir da formação do potencial de regeneração e preservação do meio ambiente sem a geração de altos custos ocultos na forma de externalidades.

Sistemas Ciber Físicos (CPS)

De acordo com Mayard (2015) os Sistemas Cyber Físicos são a união entre as tecnologias físicas e digitais ao longo da cadeia de valor em uma unidade produtiva, na busca pela transformação de bens e de serviços, ou seja, são a integração da computação com os processos físicos em que, computadores e redes são incorporados para monitorar e controlar os processos físicos.

Figura 2: Sistemas Cyber-Físicos



Fonte: Winter, 2016.

Conforme Baheti e Gill (2011) os Sistemas Cyber Físicos podem ser definidos como tecnologias transformadoras que visam o gerenciamento dos sistemas interconectados entre os ativos físicos e os recursos computacionais, em que, aplicações de Sistemas Cyber Físicos possuem o potencial para ultrapassar a revolução do TI do século XX.

Os Sistemas Cyber Físicos são aplicados a sistemas e dispositivos médicos, a controle de tráfego, a sistemas de automóveis de alta tecnologia, a controles de processos, conservação energética, controle ambiental, de infraestrutura, robótica, dentre outros que envolvem estruturas inteligentes.

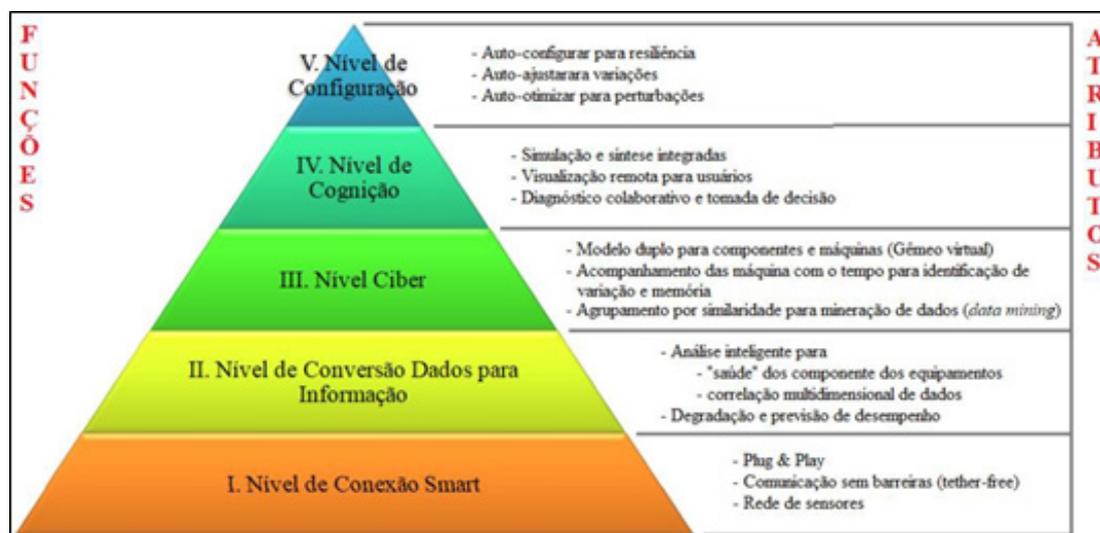
Para Lee (2008) se tratam de uma evolução dos sistemas embarcados que eram provenientes da terceira revolução industrial, isso porque, a integração entre computação e processos físicos não é nova, pois, os sistemas embarcados já têm sido usados a bastante tempo nos sistemas que combinam espaço físico com a computação, sendo que, as aplicações bem-sucedidas incluíam os sistemas de comunicação, o controle aeroespacial, os eletrodomésticos, os automotivos eletrônicos, jogos e brin-

quedos por exemplo.

Desse modo, Lee et al. (2015) considera que geralmente, os Sistemas Cyber Físicos consistem em dois componentes principais, em que o primeiro deles "é a conectividade avançada, garantindo a aquisição de dados em tempo real e o feedback de informações, o segundo dele, trata-se do gerenciamento de dados inteligentes, a partir da análise e da capacidade computacional que é construída pelo cyberspaço.

A partir de tais requerimentos, é proposta uma estrutura de cinco níveis para implantar passo a passo um Sistema Cyber Físico, e pode ser ilustrado na Figura 2 a seguir:

Figura 3: Arquitetura 5C para implementação de um Sistema Cyber Físico



Fonte: Adaptado de Lee et al. (2015).

No nível de conexão smart, há a aquisição de dados confiáveis e precisos de máquinas e componentes, e é o primeiro passo para o desenvolvimento de aplicativos no sistema cibernético. Desse modo, os dados passam a ser medidos diretamente através de sensores ou por meio de sistemas de manufaturas.

No nível de conversão dos dados para a informação, ocorre a introdução de informações

significativas que são obtidas através de sensores ou por meio de sistemas de algoritmos específicos para o gerenciamento da saúde dos componentes e de máquinas.

No nível cyber Lee et al. (2015) atua como um hub central de informações que são enviadas de todas as máquinas para a formação de uma rede de máquinas. Assim, são coletadas informações em massa e são realizadas análises específicas e precisam ser utilizadas para a extração de informações adicionais, fornecendo melhores insights sobre o status de máquinas individuais e entre as frotas, conforme indicado por Lee et al. (2015).

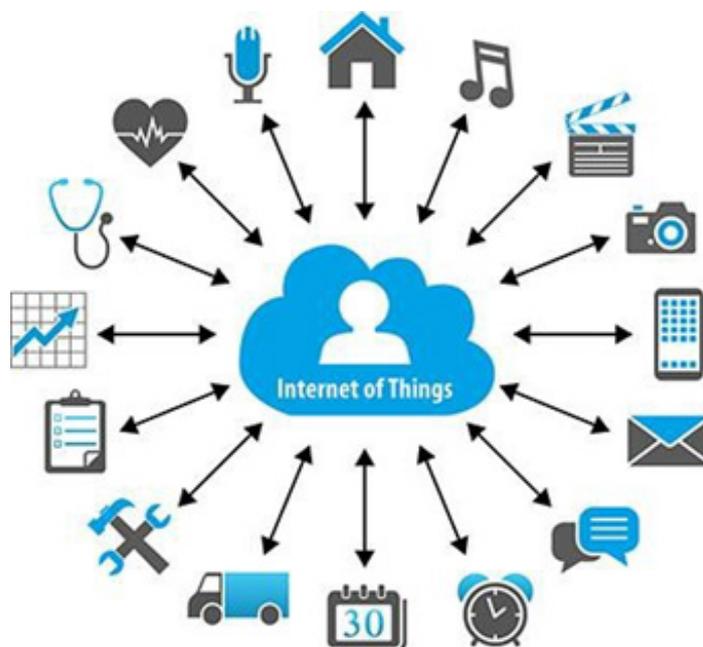
No nível de cognição, ocorre a implementação dos Sistemas Cyber Físicos, gerando o conhecimento profundo dos sistemas de monitoramento, de modo que, a apresentação adequada dos conhecimentos adquiridos para os usuários, é capaz de apoiar decisões de forma mais acertada.

E por fim, no nível de configuração, ocorre a geração de feedbacks do ciberespaço para os espaços físicos, atuando como meio de controlar e supervisionar, tornando as máquinas auto adaptáveis e autoconfiguráveis, de modo que, este nível, atua como um sistema de controle resiliente para que sejam aplicadas decisões preventivas e corretivas.

Internet das Coisas

Conforme indicado por Civerchia et al. (2017) nas últimas décadas, os avanços ocorridos na eletrônica e o desenvolvimento de novos sistemas de comunicação sem fio e de alto desempenho, tem formado a internet das coisas (Internet of Things – IoT).

Figura 4: Internet das Coisas



Fonte: <http://www2.decom.ufop.br/imobilis/iot-coletando-dados/>, 2015.

Civerchia et al. (2017) ainda completam que, a possibilidade de conexão entre vários dispositivos e/ou objetos simultaneamente, é capaz de oferecer a possibilidade de compartilhamento de informações que se relacionam com o ambiente ao redor e a internet das coisas, é um grande passo para a criação dos sistemas cyber físicos mais eficientes, pelo qual o monitoramento e o controle de tarefas podem ser executados. De acordo com Gubbi et al. (2013) as tecnologias sem fio atuam em diversas áreas da vida moderna, oferecendo a capacidade de medição, inferição e compreensão de indicadores ambientais, e completa ainda que, a proliferação de tais dispositivos em uma rede ativa é capaz de criar a internet das coisas, pela qual, sensores e atuadores se combinam no ambiente ao redor onde, as informações são compartilhadas para o desenvolvimento de uma imagem operacional comum.

Assim, pensando no futuro Stankovic (2014) aponta que a internet das coisas tem se tornado tecnologias bastante úteis na criação de conhecimento através de uma grande quantidade de dados, resultando em estilos de vida com diferenciados, isso porque, a internet das coisas tem aberto inúmer-

ras possibilidade e possui um potencial disruptivo enorme.

Os modelos para comunicação em IoT

As empresas de manufatura, precisam estar continuamente em sintonia com todos os seus setores e processos de modo que as informações sejam fornecidas em tempo hábil, gerando dados para decisões e diagnósticos, e a internet das coisas, possibilita às empresas o acesso a registros valiosos.

Conforme Tschofenig et al. (2015) quatro modelos para comunicação em IoT podem ser definidos, e estes são o device-to-device, o device-to-cloud, o device-to- gateway e o back-end data sharing.

No device-to-device existe a comunicação direta entre dois dispositivos que sigam os mesmos protocolos para a padronização da comunicação (GOBBI, 2019). No device-to-cloud, os dispositivos são capazes de se comunicar por meio da internet, ou seja, é o conceito que pode ser denominado como comunicação em nuvem e se trata de um modelo pelo qual os recursos são disponibilizados por meio da internet e podem ser acessados de forma remota, oferecendo assim vantagens como o uso de recursos de modo on-demand (MELL; GRACE, 2011).

O device-to-gateway os dispositivos também enviam os dados para um servidor de forma remota, entretanto, a comunicação atravessa um gateway que é o responsável pela comunicação com a internet, e este, faz o intermédio da troca de mensagens, são dispositivos que não necessitam de comunicação com a internet, mas que usam os gateways para a transmissão de dados para posteriores cálculos estatísticos (GOBI, 2019).

Por fim, tem-se o back-end data sharing, este modelo de comunicação de máquinas conforme Gobi (2019) é capaz de combinar as informações que são enviadas por sensores para o processamento e para a análise junto a demais fontes de dados, tornando assim possível a análise, cruzamento e comparação de dados com outros parâmetros. E, esses modelos de comunicação em IoT, são amplamente

usados para aplicações de manutenção.

Tecnologias de Manutenção 4.0

Do ponto de vista da manutenção, o desenvolvimento de novas tecnologias e os requisitos do usuário final afetaram significativamente as operações de manutenção, o planejamento e a implementação de atividades de manutenção. Assim, no que diz respeito a aplicação de novas tecnologias em máquinas e em dispositivos hoje em dia, é usado o termo máquina inteligente, e implica em uma máquina mais conectada, mais flexível, mais eficiente e segura. São máquinas que podem responder mais rapidamente às novas demandas.

Conforme Porter e Heppelmann (2014) as máquinas inteligentes possuem três componentes principais, são eles: os componentes físicos, os componentes inteligentes e a conectividade dos componentes. Assim, os componentes inteligentes estão diretamente conectados com serviços relacionados às partes físicas, enquanto conectividade permite a troca de informações entre a máquina e seu ambiente e permite que os serviços existam fora da própria máquina física.

Desse modo, a inteligência e a conectividade permitem um sistema inteiramente novo a partir de um conjunto de funções e capacidades de máquinas, e são eles:

- Monitoramento: as máquinas inteligentes, permitem o monitoramento de uma autocondição, operação e ambiente externo por meio de sensores e fontes de dados externas, e podem alertar os usuários ou outras partes interessadas a mudanças nas circunstâncias ou atuação;

- Controle: as máquinas podem ser controladas remotamente com comandos ou algoritmos que são integrados ao dispositivo ou residir na nuvem da máquina;

- Otimização: máquinas conectadas inteligentes podem ser aplicadas algoritmos e análises em uso ou dados históricos para melhorar a produção, a utilização e a eficiência; e

- Autonomia: monitoramento, controle e otimização recursos se combinam para permitir máquinas inteligentes e conectadas para alcançar um nível de autonomia anteriormente inatingível.



De forma mais simples, é possível explicar que, as máquinas autônomas, fazem suas operações usando sensores e softwares em tempo real, de modo que, máquinas mais sofisticadas, são capazes de aprender sobre o seu ambiente, em se autodiagnosticar (aprendizagem de máquina), bem como adaptar-se com as preferências dos seus usuários.

De modo que, a autonomia pode não apenas reduzir a necessidade de operadores, mais também melhorar a segurança dos ambientes perigosos facilitando a operação em ambientes remotos. Assim, a manutenção inteligente permite que sejam incorporadas novas tecnologias para o planejamento, implementação e análise da manutenção tais como: sensores e dispositivos inteligentes, ferramentas de diagnóstico, ferramentas de prognóstico, ferramentas baseadas em nuvem, ferramentas de simulação, entre outras (Zhang, et al., 2017).

Assim, tais tecnologias, são o que definem a próxima geração da manutenção dos equipamentos de produção, ou seja, a manutenção 4.0, ela refere-se a previsão de falhas e em prescrever as medidas preventivas mais eficazes por meio da aplicação de técnicas analíticas em big data para a verificação das condições técnicas de uso, condições de ambiente, histórico de manutenção e equipamentos semelhantes em outros lugares e, qualquer coisa que possa se correlacionar com o desempenho de um ativo.

Nessa perspectiva, uma operação de manutenção que seja moderna deve envolver várias atividades para a tomada de decisão, e isso exige uma enorme quantidade de informações e tecnologias intensivas de computação.

Os sensores inteligentes tem sido amplamente usados nos últimos anos pelas empresas de manufatura para o monitoramento e para o rastreamento em tempo integral da produção, conforme foi verificado em Zhang et al. (2017). Isso porque, embora diversos dados possam ser coletados em diferentes sistemas, ainda não existem métodos eficientes para o processamento e para a análise dos dados que são usados.

E por isso, o grande desafio da indústria 4.0 é o uso do big data em tempo real e com várias

origens durante todo o ciclo de vida para descobrir os conhecimentos ocultos. Foi verificado que diversos artigos dos que foram selecionados abordam as tecnologias que dão capacidades para a manutenção 4.0 voltando-se para uma produção e manufatura sustentáveis.

Artigos como Baglee et al. (2015); Yao et al. (2015); Campos et al. (2016); Roy et al. (2016); Kumar et al. (2017) e Zhang et al. (2017), apontam que a manutenção 4.0 ainda está em sua infância e tem grande potencialidade que precisa ser investigada.

Os microcontroladores

No mercado de microcontroladores atualmente está em expansão, em que continuamente surgem novidades, com dispositivos com menor custos e com maiores capacidades, e conforme Reis (2015) os microcontroladores podem ser definidos como uma CPU de poder computacional e de baixo custo que possuem sub-circuitos capazes de realizar os processamentos de instruções, de gerenciar a entrada e a saída de dados e de sinais, converter sinais, entre outras atividades.

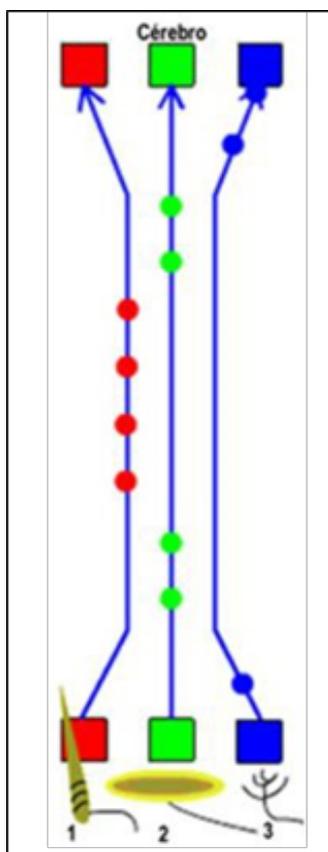
A atuação dos microcontroladores pode ser comparada com os neurônios sensoriais da pele humana, uma vez que, são responsáveis por enviar dados para o cérebro que são processados e voltam em forma de estímulos, que se transformam nas mais diversas sensações, como toque, pressão, temperatura, dor, vibração, entre outras.

Os microcontroladores geralmente são ligados com outros circuitos, em que sua atuação, podem sobretudo fazer parte de um contexto ainda maior, assim como ocorre com os neurônios sensoriais, como por exemplo, a febre, pode ser um indicador de que, existe alguma coisa errada com o corpo, e a elevação da temperatura corporal, indica o alerta para algo que não pode ser visivelmente identificado.

No que diz respeito à internet das coisas, os microcontroladores estão em quase todos os dispositivos e atuam enviando informações, recebendo e executando comandos, na Figura 3 abaixo, é possível verificar a atuação dos receptores cutâneos da pele humana que atuam do mesmo modo que

microcontroladores, de modo a fazer uma analogia bastante simples:

Figura 5: Receptores cutâneos (1-Terminações do Folículo piloso; 2- Corpúsculo de Pacini; 3- Corpúsculo de Merkel)



Fonte: Haines, 2005.

Analisando a Figura 3 acima, pode-se verificar os receptores cutâneos terminações do folículo piloso, Corpúsculo de Pacini e as terminações livres, e, cada um desses receptores sensoriais da pele, possuem um campo de estímulos que variam conforme a região do corpo. De forma simples, sobre os receptores apresentados, é possível dizer que, as terminações dos folículos pilosos, respondem ao estímulo de deslocamento dos pelos da pele, enviando a mensagem do estímulo para o cérebro, que por sua vez, converte o sinal recebido na sensação de movimento e direção (Costa, 2021).

O corpúsculo de Pacini, por sua vez, se trata de um receptor que responde apenas à estímulos passageiros, isso significa dizer que, ele responde apenas quando o estímulo está sendo aplicado, quando ele é removido ou quando é variado, ele é o responsável pelo estímulo de vibração, entre as frequências de 150 a 300 Hz, e são ainda estímulos de adaptação rápida pelo cérebro, ou seja, se tiver uma exposição prolongada a ele, o cérebro passa a compreender como a ausência do mesmo (Haines, 2005).

E por fim, o corpúsculo de Merkel, são os receptores cutâneos que são responsáveis pela sensação de toque e de pressão, estas células, permitem a sensação de toque leve, e permitem sobretudo, a sensação de relacionada a detalhes das superfícies de objetos, e é um receptor de adaptação lenta pelo cérebro, de modo que a sensação provocada com o estímulo, permanecem por longo tempo.

Conforme indicado por Tanenbaun (2007) os carros fabricados em 2007 continham em torno de 50 microcontroladores que eram responsáveis pela execução e pelo gerenciamento de diversos circuitos e funções do automóvel, quase uma década e meia depois, esse número certamente é muito maior.

Desse modo, os microcontroladores e os microprocessadores realizam as leituras, transmissão e recepção de dados, e podem ainda serem considerados como o centro do IoT, de modo que módulos e sensores são essenciais em qualquer projeto ligado as tecnologias 4.0.

Os sensores se trata de dispositivos que em determinado ambiente ou determinada situação, interagem com eles, e extraem informações convertendo-as em sinais que podem ser tanto analógicos como digitais e estas informações, podem vir das mais variadas fontes e detectam temperatura, movimentos, umidade, luminosidade, ruídos, dentre outras aplicações (Souza, 2021).

Podem ser citados então, diversos sensores e suas funcionalidades, como por exemplo os sensores de presença, que são desenvolvidos por tecnologia infravermelha, detectando movimentos, os sensores de temperatura e de umidade, que detectam a umidade e a temperatura capacitiva, transformando os dados coletados em sinais digitais, sensores de gases, que são responsáveis por detectar diversos tipos de gases e fumaças, entre outros.

Os microsensores auxiliando na manutenção 4.0

Assim como o médico é capaz de aferir os batimentos cardíacos apenas colocado o dedo indicador e o médio no pulso do paciente para sentir a sua artéria, um sensor é capaz de medir a eficiência de funcionamento de determinado equipamento ou máquina apenas analisando os sinais que são enviados por ela.

Os sujeitos cegos combinam sentido tátil e propioceptivo, para aprender a ler o alfabeto Braille com o uso das pontas dos dedos tateando os relevos que são foram cunhados superficialmente no papel, e isso pode ser comparado com a atuação da automação industrial, que é capaz de combinar elementos complexos e necessitam de diversos ciclos de realimentação, para se chegar a um objetivo.

Conforme Weles (2019) os sistemas de automação, são compostos por basicamente cinco elementos, o primeiro deles, é o acionamento e refere-se ao sistema de energia que é usado para o atingimento do objetivo, o sensoriamento ou a instrumentação, que refere-se à medição do desempenho dos sistemas ou das características particulares de cada componente, os controles que usam as informações geradas nos sensores para a regulação do acionamento no mesmo, os elementos de decisão, que atuam comparando os valores que estabelecem as decisões de quando atuar nos sistemas e os programas, que permitem a interação entre os componentes automatizados.

Nas plantas de manufatura, o principal pesadelo da linha de produção, é a quebra de uma máquina, pois, isso é capaz de interromper a produção no chão de fábrica, e as paralisações na produção, costumam ser caras, gerando custos que poderiam ser facilmente evitados caso, sejam adotadas tecnologias para a monitorização dos equipamentos e máquinas.

No campo industrial, a IoT permite a detecção de falhas nos equipamentos antes mesmo que eles ocorram por meio da manutenção preditiva, automatizando o chão de fábrica e simplificando a coleta de dados gerados por meio de medidores inteligentes e outros equipamentos que mantenham a fábrica em funcionamento.

Desse modo, a manutenção preditiva é capaz de fornecer para as fábricas e instalações industriais a capacidade de prever quando uma determinada máquina pode falhar com base no monitoramento das vibrações, do consumo de energia, de temperatura, dentre outros meios para a detecção de anomalias nas operações, e por isso, o objetivo principal da manutenção preditiva é a capacidade de antecipar as quebras nos equipamentos, promovendo a redução de gastos com manutenção e economizando tempo (Rghetto, 2020).

Conforme indicado por Delloite (ano) uma fábrica inteligente, se trata daquela que possui em sua operação, tecnologias que permitem a comunicação entre máquinas (M2M – Machine-to-Machine) e a interação entre máquina e homem (M2P – Machine to People), em conjunto com tecnologias tanto analíticas quanto cognitivas para que as decisões sejam tomadas de forma correta e no prazo correto.

Isso porque, detectar anomalias é o objetivo principal da manutenção preditiva (Richter, 2021) e para isso, as tecnologias de inteligência artificial (IA) e de Machine Learning, devem estar envolvidas na internet das coisas por meio de várias técnicas de detecção de falhas e anomalias como por exemplo, pode-se citar o monitoramento de indicadores de pressão, de temperatura, de vibração, entre outros que são amplamente empregados na manutenção preditiva.

Assim, quando se pensa em internet das coisas, primeiramente deve-se pensar em sensores e atuadores inteligentes que ajudam a automatizar a coleta, a entrega e os processamentos de dados referentes não apenas à manutenção, mas a diversos outros parâmetros que sejam importantes para a continuidade dos processos executados pelas plantas industriais, melhorando assim não apenas a produtividade, mas o tempo geral de atividade (Moraes, 2020).

As tecnologias de medição, são capazes de extrair dados que são gerados pelos sensores das máquinas e estão em constante evolução, e tem-se percebido a cada vez mais, uma certa digitalização da manutenção, e isso tem sido cada vez mais importante para que as empresas se mantenham competitivas diante da concorrência, de modo que, os sistemas e as abordagens de manutenção preditiva, estão ficando cada vez mais populares entre as empresas.

Conforme Sacomano et al. (2018) isso se dá em razão de que, cada vez mais, a indústria 4.0 está mais viável para as empresas, tanto no que diz respeito ao uso de sensores quanto ao uso de equipamentos e sistemas para o processamento de dados, dentre esses equipamentos, destacam-se os Sistemas Microeletromecânicos (MEMS), uma vez que são microsensores que podem significar um grande avanço à manutenção tradicional, uma vez que são capazes de ampliar a quantidade de ativos que estão sendo monitorados, permitem a medição e análise de diversos parâmetros ao mesmo tempo, em qualquer momento e em qualquer lugar (Jantunen et al., 2017). Nesse sentido, De acordo com Kardec e Nascif (2009) a manutenção tem como principal função a garantia de proporcionar que equipamentos e instalações estejam disponíveis de modo que sejam capazes de atender aos processos com confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade.

Desse ponto de vista, a confiabilidade, a disponibilidade e a manutenibilidade são conceitos que se integram cotidianamente na manutenção. Desse modo, a confiabilidade é caracterizada como a capacidade que determinado equipamento, máquina ou instalação possui para desempenhar as suas funções sob as condições que se espera do mesmo em um determinado período de tempo

As novas demandas das organizações buscam a máxima redução do tempo inativo de máquinas e equipamentos, a redução de custos de mão-de-obra, e prolongar ao máximo a vida útil dos mesmos, e para isso, as organizações investem em tecnologias da Indústria 4.0 para que esses objetivos sejam atingidos com o uso de ferramentas de internet das coisas.

Os sensores que fazem parte da IoT pode monitorar proativamente os dispositivo e emitir alertas quando o dispositivo se desvia dos parâmetros especificados, por meio da gestão de instalações. Karabegovic et al. (2019) acrescenta que os sensores convertem parâmetros físicos (temperatura, velocidade, umidade) em sinais que podem ser medidos eletronicamente. Assim, o uso de sensores inteligentes na indústria 4.0 é caracterizada também por Schmitt et al. (2018) como os elementos-chave para o conhecimento do atual estado de sistemas.

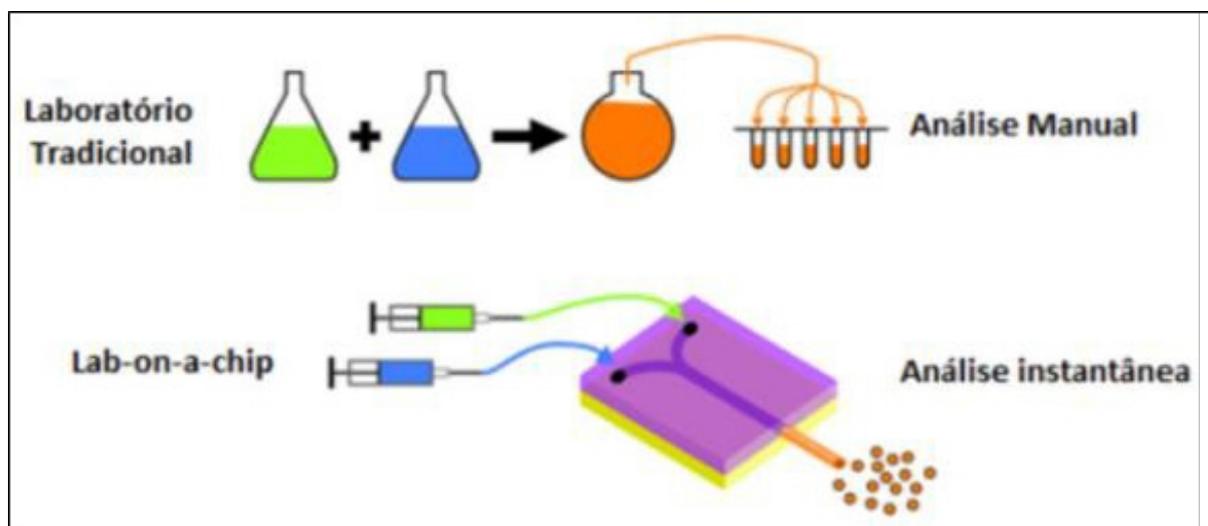
Eifert et al. (2020) define sensores inteligentes como um dispositivo de medição multicomponente que é auto-calibrado, auto-otimizado e fácil de integrar ao ambiente para alta conectividade.

Além disso, os sensores inteligentes também possuem inteligência de processo e podem gerar informações de dados multidimensionais.

Lab-on-a-chip

O Lab-on-a-chip (LOC) são microdispositivos capazes de combinar a tecnologia de microfluidos com funções elétricas e funções mecânicas para a realização de análises em pequenos volumes de fluídos. Sua origem, está relacionada com a microeletrônica, onde, os microcircuitos integrados permitem miniaturizar computadores, são adaptados para a passagem de fluídos, de modo que, um pequeno chip, é capaz de substituir atividades laboratoriais complexas:

Figura 6 - Potencial do Lab-on-a-chip



Fonte: Profissão Biotec, 2021.

É uma tecnologia que consiste em microdispositivos em dimensões pequenas, de ordem que variam entre 2 a 5 cm e em geral, são feitos de silício, de vidro, de quartzo ou mesmo de plásticos, em que são moldados ou gravados canais e câmaras com área transversal de até 50 μ m. Esse processo

esse que, de acordo com Casquilhas e Roussin (2019) deu origem à microfluídica, possibilitando assim a miniaturização das análises químicas e biológicas dos fluídos.

Os LOCs, também são denominados Micro-Sistemas para Análises Totais, (μ TAS) uma vez que, permitem que sejam realizadas diversas etapas dos processos analíticos, como a introdução de amostras, o pré-tratamento, a verificação de reações, a separação e a detecção de diversas propriedades em um dispositivo único, pois permitem a realização das várias etapas do processo analítico, introdução da (Coltro, 2004)

A partir disso, foi possível o aprimoramento de pesquisas direcionadas a diferentes usos aos LOCs, mas, Stavis (2012) enfatiza que esta ainda se trata de uma tecnologia não estabelecida ainda, e por isso, não possui padrões de testes e de fabricação bem definidos, ou seja, os LOCs ainda se trata de uma tecnologia emergente.

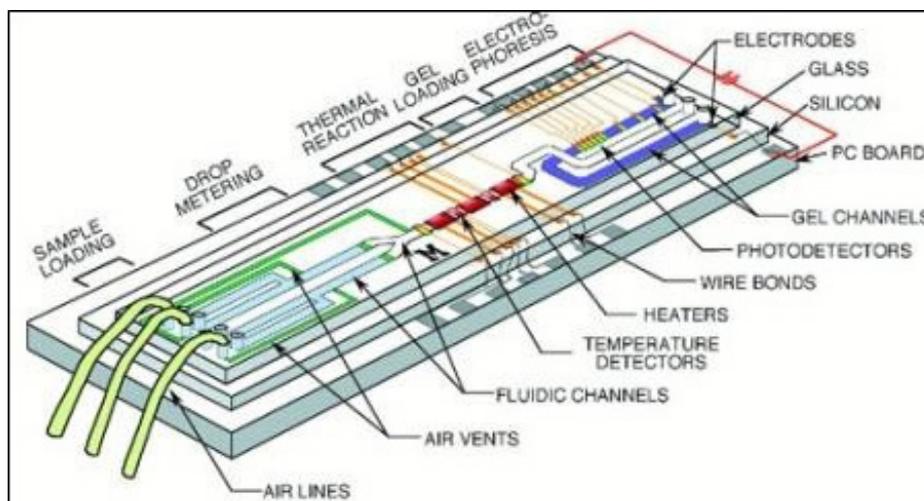
Desse forma, o desenvolvimento dos LOCs depende ainda do desenvolvimento da área microfluídica, biologia molecular, nanotecnologia e biossensores, isso porque, na maior parte da literatura encontrada, os LOCs desenvolvidos referem-se a protótipos em laboratório, provando conceitos teóricos, de modo que, cabe-se afirmar que essa tecnologia emergente, ainda se encontra em seu ciclo inicial de vida.

Para Mark et al. (2010) a área da microfluídica e a principal base para que sejam desenvolvidos os LOCs, pois, permitem que sejam construídos microcanais para transportar os fluidos dentro dos chips, e permite também a adaptação de biossensores para que sejam usados a nível microscópico, viabilizando todo o dispositivo. E, os biossensores por sua vez, conforme Gupta et al. (2016) apontam que são os componentes que trazem as interações bioquímicas em sinais quantificáveis, e são essenciais para o processamento no interior do chip, realizando as leituras microscópicas precisas para que os resultados sejam transmitidos.

Desse modo, os LOCs têm ganhado bastante atenção nos últimos anos, uma vez que são dispositivos capazes de lidar com amostragens, com introdução de reagentes, diminuído a dosagem dos reagentes e dos erros nos protocolos, e ainda evita possíveis contaminações. A Figura 5 abaixo,

apresenta um exemplo de um LOC:

Figura 7: Laboratório-on-a-chip



Fonte: Instrumentação analítica, 2015.

Para Giannitsis (2014) o principal benefício para o uso dos LOCs é o fato de oferecerem a possibilidade de economia de tempo por dispensarem o tempo que seria gasto entre a coleta da amostra, o transporte, a análise laboratorial e a geração e entrega dos resultados, os chips oferecem diagnósticos imediatos.

Felton (2003) eles possibilitam ainda, a economia de tempo para as análises laboratoriais, uma vez que ao lidar com microamostras, a difusão dos reagentes é facilitada, ocorrendo de modo mais rápido, proporcionalmente ao volume que é analisado.

Mas, a maior vantagem em relação à economia de tempo, refere-se ao fato dos chips serem capazes de realizar em um único dispositivo diversos diagnósticos de forma simultânea. Kumar et al. (2004) aponta ainda que, outra vantagem é a redução de custos, uma vez que, enquanto um LOC é capaz de agrupar em um dispositivo pequeno diversas etapas de uma análise laboratorial, os laboratórios convencionais ocupam salas inteiras para a realização dessas mesmas análises.

Kuecuekbalaban et al. (2014) apontam ainda que, de um modo geral, os LOCs no futuro serão capazes de revolucionar o mercado de em referência a análise das propriedades físico-químicas de fluídos, e dentre essas áreas, está a manutenção, com a instrumentação analítica para obter monitoramento de reação de alto rendimento, uma vez que, a análise laboratorial de fluídos hidráulicos e lubrificantes por exemplo, podem se tornar um gargalo na produção devido aos altos custos.

Metodologia

O presente estudo, refere-se a uma pesquisa bibliográfica de caráter exploratório, e abordagem qualitativa com a finalidade de verificar a aplicação de Sistemas Microeletromecânicos (MEMS) na manutenção, especificamente, relacionado com monitoramento de sistemas hidráulicos lubrificantes, e para isso, buscou-se um breve levantamento de estudos relacionados ao tema.

Resultados e Discussão

A busca por estudos sobre o uso dos sistemas microeletromecânicos (MEMS) para o monitoramento e análise de sistemas hidráulicos e lubrificantes, mostrou uma enorme escassez de estudos relacionados ao tema, indicando um nicho específico ainda não explorado, que é o desenvolvimento de sistemas lab-on-chip para esse fim. Conforme Medjaher et al. (2014) os MEMS, em geral, são usados para diferentes aplicações como automotivas, biomédicas, na indústria aeroespacial e nas tecnologias de comunicação, criando funcionalidades novas e contribuindo para a miniaturização de sistemas, reduzindo custos.

Em relação a monitorização de oleos hidráulicos e lubrificantes, é importante salientar que, várias propriedades desses fluidos são importantes para garantia de que eles permaneçam adequados para o uso contínuo. Esses fluídos, dependendo do seu uso, são cada vez mais complexos, o que exige uma maior quantidade de procedimentos laboratoriais para análise de suas propriedades, aumentando

os custos e diminuindo o tempo de resposta para o processo produtivo.

Gerando assim, a necessidade de criação de dispositivos de análises que sejam robustos o suficiente para as mudanças de parâmetros dos óleos e as mudanças ambientais, e sobretudo, que possam ser instalados diretamente nas linhas hidráulicas e lubrificantes, permitindo que as medições possam ser realizadas diretamente na fonte dos dados, fornecendo dados seguros e confiáveis sobre as propriedades dos fluídos de interesse e avaliação contínua.

Nessa linha, Duchowski e Mannebach (2006) realizaram um estudo em laboratório, sobre o uso de um Sensor MEMS multicomponente, os resultados apontaram a eficácia do sensor para detecção do processo de degradação inicial do óleo lubrificante e acelerado por meio de processo de oxidação, o sensor MEMS desenvolvido pelos autores, apresentou quatro elementos de detecção em um único componente, resultado da combinação de sensores convencionais de temperatura e umidade relativa com sensores de viscosidade, que viabilizou o monitoramento das mudanças físico-químicas associadas com os processos de envelhecimento do óleo. A limitação do sensor MEMS de Duchowski e Mannebach (2006) é que ele informa apenas os dados de viscosidade de constante dielétrica, e por isso, precisa ser calibrado de forma separada para cada fluído e para as condições de operação deles, entretanto, mesmo dentro dessas limitações, o sensor se mostrou efetivo no que refere-se a fornecer avaliações confiáveis sobre as condições dos fluídos.

Vogelhuber-Brunnmaier et al. (2021) propuseram uma unidade de medição e monitoramento de fluído lubrificante baseada no monitoramento de viscosidade e densidade de forma simultânea, a proposta de funcionamento do dispositivo, é a monitoração contínua da viscosidade, da densidade e diversos outros parâmetros relacionados ao fluído integrando tudo isso a um controle ativo de temperatura onde, os dados de medição possam ser adquiridos em quaisquer temperaturas de referência, independente portanto das condições de operação da máquina.

Os experimentos de validação da funcionalidade desse sensor, proposto por Vogelhuber-Brunnmaier et al. (2021) foi realizado em software de simulação, e os resultados apontaram que esse modelo de medição simultânea de viscosidade e densidade do fluído, mostrou avanços em relação aos

modelos já existentes que podem viabilizar o seu uso.

Nessa perspectiva, Hong (2020) aponta que, o desenvolvimento das tecnologias, permitiram o desenvolvimento de técnicas de monitoramento de máquinas online, e por isso, a análise de condição de máquina por meio das condições dos óleos lubrificantes está cada vez mais moderna.

Os métodos de medição online, em comparação com os métodos de medição offline, eles permitem uma menor contaminação ou erros humanos, e esse diagnóstico precoce online, pode ser feito diretamente na fonte, com o uso de sensores inteligentes, evitando falhas, e não requer máquinas, processos ou pessoas altamente especializadas para a interpretação dos parâmetros que são gerados.

Conclusão

Verifica-se assim que os sensores integrados na produção, são capazes de permitir uma estratégia mais flexível para a manutenção preditiva e para o controle das operações no chão de fábrica, e os sensores que fazem parte da internet das coisas, são capazes de monitorar continuamente os dispositivos, e quando necessários, emitirem alertas para possíveis desvios de padrões no comportamento deles.

Desse modo, conclui-se que o uso de sensores inteligentes na indústria 4.0 é um dos elementos principais para gerar conhecimentos sobre o estado dos sistemas, principalmente no que diz respeito ao autodiagnóstico e a aprendizagem de máquina, uma vez que os dados gerados podem ser analisados em tempo real.

Em relação ao uso dos sensores de monitoramento e medição das condições de óleos hidráulicos e lubrificantes, verificou-se que, os estudos relacionados ao tema são bastante escassos, de modo que, apenas, três estudos de interesse foram verificados, o que, abre um leque de possibilidades para pesquisas futuras.

A partir disso, sugere-se como pesquisa futura, uma proposta de operacionalização da RCM por meio de dispositivos digitais, com recurso em IoT, para manutenção preditiva em óleos hidráulicos.

cos de uma escavadeira de mineração, de modo que, seja possível verificar a possibilidade da construção de um dispositivo para análise das propriedades do óleo hidráulico em máquinas de mineração, com recurso em IoT.

Referências

Baglee, D., & Marttonen, S. (2015). The need for big data collection and analyses to support the development of an advanced maintenance strategy. In Proceedings of the International Conference on Data Science (ICDATA) (p. 3). The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp).

Baheti, R., & Gill, H. (2011). Cyber-physical systems. The impact of control technology, 12(1), 161-166.

Borlido, D. J. A. (2017). Indústria 4.0: Aplicação a Sistemas de Manutenção. f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade do Porto, Porto.

Campos, J., Sharma, P., Jantunen, E., Baglee, D., & Fumagalli, L. (2016). The challenges of cybersecurity frameworks to protect data required for the development of advanced maintenance. *Procedia Cirp*, 47, 222-227.

Civerchia, F., Bocchino, S., Salvadori, C., Rossi, E., Maggiani, L., & Petracca, M. (2017). Industrial Internet of Things monitoring solution for advanced predictive maintenance applications. *Journal of Industrial Information Integration*, 7, 4-12.

Coltro, W. K. T. (2004). Fabricação e avaliação de microdispositivos para eletroforese com detecção eletroquímica (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Costa, A. C. P. R. D. (2021). Modelo neuromórfico para estimulação transcutânea e otimização dos níveis de percepção sensorial.

Deloitte. (2015). Industry 4.0 Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential Technologies. 2015. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/>

Documents/manufacturing/ch-en- manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>. Acesso em: 12 de set de 2021.

Duchowski, J. K., & Mannebach, H. (2006). A novel approach to predictive maintenance: A portable, multi-component MEMS sensor for on-line monitoring of fluid condition in hydraulic and lubricating systems. *Tribology transactions*, 49(4), 545-553.

Eifert, T., Eisen, K., Maiwald, M., & Herwig, C. (2020). Current and future requirements to industrial analytical infrastructure—part 2: smart sensors. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 412(9), 2037-2045.

Felton, M. J. (2003). Lab on a chip: Poised on the brink. *Analytical Chemistry*, 505– 508.

Giannitsis, A. T. (2011). Microfabrication of biomedical lab-on-chip devices. A review. *Estonian Journal of Engineering*, 17(2), 109.

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29(7), 1645-1660.

Gupta, S., Ramesh, K., Ahmed, S., & Kakkar, V. (2016). Lab-on-chip technology: A review on design trends and future scope in biomedical applications. *Int. J. Bio-Sci. Bio-Technol*, 8, 311-322.

Haines, D.E. (2006). *Neurociência Fundamental: com aplicações básicas e clínicas*. 3a edição. Rio de Janeiro: Elsevier.

Instrumentação Analítica. (2015). Lab-On-Chip (online). Disponível em: <https://ianalitica.wordpress.com/aplicacoes-com-analisadores-insdustriais/lab-on- chip/>. Acessado em: 27 de jan. 2022.

Jantunen, E., Campos, J., Sharma, P., & Baglee, D. (2017). Digitalisation of maintenance. In 2017 2nd International Conference on System Reliability and Safety (ICSRS) (pp. 343-347). IEEE.

Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Acatech–National Academy of Science and Engineering. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE, 4..

Karabegovic, I., Karabegovic, E., Mahmic, M., & Husak, E. (2019). The role of smart sensors in production processes and the implementation of industry 4.0.

Kardec, A., & Nascif, J. (2009). *Manutenção: função estratégica*. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás.

Kraft, K., Krafczyk-Korth, J., Muehlan, H., Schmidt, S., & Hoffmann, W. (2011). An epidemiology of care approach to lab-on-a-chip systems in individualized medicine?. *Personalized medicine*, 8(5), 587-590.

Kuecuekbalaban, P., Schmidt, S., Kraft, K., Hoffmann, W., & Muehlan, H. (2014). Exploring risks and benefits of point-of-care tests for healthcare and self-tests for laypersons: an interview study assessing complementary expert perspectives on diagnostic lab-on-a-chip systems. *Technology and Health Care*, 22(6), 817-833.

Kumar, A., Shankar, R., & Thakur, L. S. (2018). A big data driven sustainable manufacturing framework for condition-based maintenance prediction. *Journal of computational science*, 27, 428-439.

Kumar, S., Bajpai, R. P., & Bharadwaj, L. M. (2004, January). Lab-on-a-chip based on BioMEMS. In *International Conference on Intelligent Sensing and Information Processing, 2004. Proceedings of* (pp. 222-226). IEEE.

Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing letters*, 3, 18-23.

Mark, D., Haeberle, S., Roth, G., Von Stetten, F., & Zengerle, R. (2010). Microfluidic lab-on-a-chip platforms: requirements, characteristics and applications. *Microfluidics based microsystems*, 305-376.

Maynard, A. D. (2015). Navigating the fourth industrial revolution. *Nature nanotechnology*, 10(12), 1005-1006.

Medjaher, K., Skima, H., & Zerhouni, N. (2014). Condition assessment and fault prognostics of micro-electromechanical systems. *Microelectronics Reliability*, 54(1), 143-151.

Moraes, R. B. S (2020). *Indústria 4.0: impactos sociais e profissionais*. Editora Blucher.



Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. *Harvard business review*, 92(11), 64-88.

Profissão Biotec. (2021). Lab-on-a-chip: a biotecnologia na palma da sua mão (online). Disponível em: <https://profissaobiotec.com.br/lab-on-chip-biotecnologia-na-palma-da-sua-mao/>. Acessado em 27 de jan. 2022.

Reis, F. d. (2015). Introdução aos Microcontroladores. Disponível em: <<http://www.bosontreinamentos.com.br/electronica/electronica-geral/introducao-aos-microcontroladores>>. Acesso em: 09 set. 2018.

Richter, J. G. (2021). Manutenção preditiva com sistema de identificação de vibrações em vídeo usando ampliação de movimento (Master's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).

Righetto, S. B. (2020). Manutenção preditiva 4.0: conceito, arquitetura e estratégias de implementação.

Roy, R., Stark, R., Tracht, K., Takata, S., & Mori, M. (2016). Continuous maintenance and the future—Foundations and technological challenges. *Cirp Annals*, 65(2), 667- 688.

Sacomano, J. B., Gonçalves, R. F., Bonilla, S. H., da Silva, M. T., & Sátyro, W. C. (2018). Indústria 4.0. Editora Blucher.

Schmitt, R. H., & Voigtmann, C. (2018). Sensor information as a service—component of networked production. *Journal of Sensors and Sensor Systems*, 7(1), 389-402.

Schwab, K., & Davis, N. (2019). Aplicando a quarta revolução industrial. Edipro.

Souza, E. S. D. (2018). Características e impactos da indústria 4.0: percepção de estudantes de ciências contábeis. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Gestão Industrial, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Coimbra.

Souza, V. D. S. (2021). Digital Twin: Uma proposta de geração de ambientes virtuais baseado em comissionamento virtual utilizando motor gráfico Unity3D.

Stankovic, J. A. (2014). Research directions for the internet of things. *IEEE internet of things journal*, 1(1), 3-9.

Stavis, S. M. (2012). A glowing future for lab on a chip testing standards. *Lab on a Chip*, 12(17), 3008-3011.

Tanenbaum, A. S. (2007). *Organização estruturada de computadores*. São Paulo: Pearson Education, 2007.

Voglhuber-Brunnmaier, T., Jakoby, B., Niedermayer, A., & Feichtinger, F. (2021). C6. 3 advanced fluid models for multi-parameter condition monitoring systems for lubricants and hydraulic fluids. *SMSI 2021-Sensors and Instrumentation*, 216-217.

Weles, E. F. (2019). Protótipo para um sistema de automação de controle patrimonial utilizando tecnologia rfid. *Revista Brasileira de Mecatrônica*, 1(4), 1-10.

Yao, B., Zhou, Z., Xu, W., Fang, Y., Shao, L., Wang, Q., & Liu, A. (2015, June). Service-oriented predictive maintenance for large scale machines based on perception big data. In *International Manufacturing Science and Engineering Conference* (Vol. 56833, p. V002T04A015). American Society of Mechanical Engineers.

Zhang, Y., Ren, S., Liu, Y., & Si, S. (2017). A big data analytics architecture for cleaner manufacturing and maintenance processes of complex products. *Journal of cleaner production*, 142, 626-641.

