



# **SISTEMA DE MONITORAMENTO DE MÁQUINA INDUSTRIAL PARA MANUTENÇÃO PREDITIVA UTILIZANDO INTERNET DAS COISAS**

**Joyce de Fátima Medeiros Oliveira**  
**joyce.oliveira@aedb.br**  
**AEDB**

**Karoline de Oliveira Barbosa Florenzano**  
**karoline.florenzano@aedb.br**  
**AEDB**

**Melissa Christine da Silva Antunes**  
**melissa.antunes@aedb.br**  
**AEDB**

**FARNEY COUTINHO MOREIRA**  
**farney.coutinho@aedb.br**  
**AEDB**

**Resumo:** Este estudo tem como objetivo abordar o desenvolvimento de um sistema para monitorar o estado de operação de máquinas industriais em tempo real, com intuito de prever possíveis falhas e realizar manutenção preditiva sem gerar prejuízos a produção. Uma rede de sensores sem fio faz a leitura da corrente elétrica de um específico equipamento e, através de um Sistema, os dados são coletados, processados e enviados para uma plataforma de IoT (Internet das Coisas), que por sua vez realiza a identificação de possíveis falhas na máquina. Através da detecção de anormalidades o sistema gera alarmes que são enviados para os responsáveis do equipamento, que, de forma planejada, irão proceder com a realização da manutenção do equipamento sem prejudicar o processo produtivo. Esse sistema para manutenção preditiva reforça a nova tendência da Indústria 4.0, através do uso de IoT.

**Palavras Chave:** Internet das Coisas - Manutenção Preditiva - Indústria 4.0 - -



## 1. INTRODUÇÃO

As indústrias possuem diversos tipos de máquinas e equipamentos, sendo alguns desses dispostos em linhas de produção. Esses equipamentos e máquinas estão sempre sujeitos a falhas. Quando não há um monitoramento correto, a ocorrência de falhas resulta, na maioria dos casos, na interrupção da produção, ocasionando um impacto econômico e operacional, ocorrendo gastos com mão de obra, peças de reposição e até mesmo a parada de produção.

Muitas empresas adotam a manutenção preventiva em seus equipamentos, essa manutenção é realizada periodicamente e de forma planejada, seguindo as especificações dos fabricantes descritas no manual de cada equipamento. Ainda assim, esse tipo de metodologia não é muito eficiente para evitar a parada de produção por causa de falhas, que ocorrem entre procedimentos de manutenção preventiva. Para evitar este problema, é necessária uma atenção maior com cada equipamento, monitorando de forma contínua e em tempo real a fim de visualizar e detectar alterações no comportamento das máquinas e equipamentos, sendo possível realizar a correlação dessas alterações com possíveis falhas que possam ocorrer. Com isso a manutenção necessária do equipamento pode ser realizada em um momento apropriado, sem que haja um impacto na produção. Para a realização desse monitoramento é necessária a implementação de sensores, que são capazes de medir determinadas grandezas para o acompanhamento das perfeitas funcionalidades dos equipamentos, como por exemplo, vibração, ruídos, temperaturas, pressão e entre outros aspectos de uma máquina.

Neste trabalho, consta um estudo de caso que será realizado em um equipamento elétrico de uma linha de produção no setor automotivo. Esse equipamento será monitorado através do seu consumo de corrente, fato este que é analisado por uma técnica conhecida como análise de assinatura de corrente, que por sinal é muito utilizada na previsão de falhas de motores elétricos. Com isso, quando o equipamento sofrer alguma alteração fora do padrão pré-estabelecido de consumo de corrente, os devidos responsáveis da área serão alertados, para que possam tomar as devidas medidas de manutenção preditiva e assim evitar a parada inesperada do equipamento. Os pontos positivos dessa implementação serão as reduções das paradas de produção, o aumento da vida útil desse equipamento e a eliminação das falhas inesperadas.

A manutenção preditiva utiliza de modo frequente a técnica de análise de assinatura da corrente do motor ou *Motor Current Signal Analysis* (MCSA), conforme o padrão de consumo de corrente de determinado motor elétrico. Para que possa ser detectado anomalias nas assinaturas de corrente nos itens monitorados e gerar os alertas e relatórios para o setor de manutenção, se enquadrando no contexto de Indústria 4.0 através da utilização da Internet das Coisas, faz-se necessário o uso de sensores de corrente juntamente associado a uma rede de sensores sem fio, sendo esta que permite a captura de dados remotamente e posteriormente realiza o processamento em um módulo onde se concentra os dados.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 INTERNET OF THINGS (IoT)

O modelo da Indústria 4.0 é marcado pelo avanço da tecnologia e a integração dos processos. Com isso, os sistemas de produção ficaram cada vez mais inteligentes, sendo capazes de identificar as necessidades com a produção, com as matérias-primas sendo elas digitais ou físicas e as necessidades com o fornecimento de suprimentos, ou seja, há uma

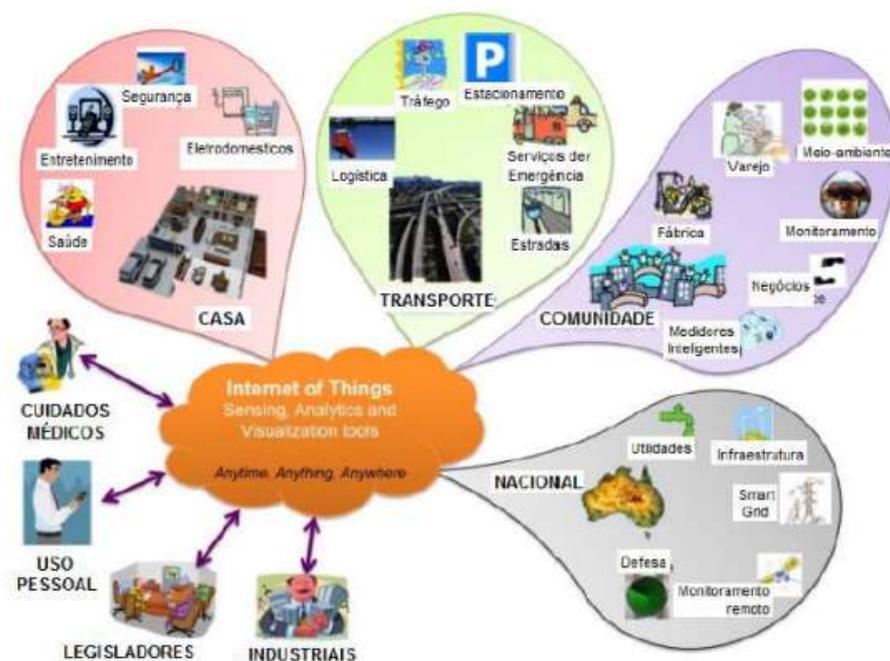
integração de todas as etapas de desenvolvimento de um determinado produto ou processo. Segundo (ALMEIDA, 2019) isso trouxe um impacto muito positivo, traduzido em maiores produtividade e eficiência.

No contexto de revolução 4.0 é evidenciada algumas bases tecnológicas como, por exemplo, Internet das coisas (Internet of Things - IoT), Cloud Computing (Computação em nuvem), Acompanhamento em tempo real, Cibersegurança.

De acordo com Santos *et al.* (2016), conectar objetos à Internet significa criar a IoT, ou seja, a IoT é um sistema onde há a conexão entre a rede de objetos físicos, ambientes, veículos e máquinas via internet através de dispositivos eletrônicos, permitindo a coleta e troca de informações.

A IoT representa a ligação de tecnologias que são conectadas por uma rede conhecida como IP (Internet Protocol) esta rede é uma das bases do crescimento digital. Com o crescimento desse sistema e a aplicação à Indústria 4.0, ocorrerá um crescimento de dispositivos conectados por intermédio de padrões tecnológicos, possibilitando que dispositivos em ação se comuniquem e interajam uns com os outros como controladores mais centralizados (ALMEIDA, 2019).

Pode ser notado IOT sendo aplicado em diversas áreas e serviços, como, por exemplo, em instalações em fabricação, monitoramento na área de saúde, segurança, entretenimento e entre outros. Como esse sistema está sendo conectado à Internet, pode ser controlado e monitorado de qualquer lugar, desde que você tenha acesso à Internet. Na Figura 1, observa-se várias áreas onde é aplicado o IoT, onde pode ser notado usuários simples e até mesmo de nível internacional.



**Figura 1:** Áreas de Aplicações da IoT  
**Fonte:** Traduzido de GUBBI, 2013

Para os serviços de armazenamento de dados que são aplicados na IoT, são utilizadas algumas plataformas específicas, há diversos tipos de plataformas disponíveis, cada uma



oferecem determinados serviços. A plataforma TagoIO é um exemplo, onde possui um ambiente de gerenciamento e monitoramento de dados, de forma online. Essa plataforma possui simplicidade no uso, além disso possui suporte técnico, prestados pelos desenvolvedores. A TagoIO disponibiliza ferramentas de análise e emissão de alertas, que podem ser modificadas pelos usuários de acordo com a necessidade das atividades.

## 2.2 MANUTENÇÃO BASEADA EM CONDIÇÃO

Simeón (2008) aponta que a Manutenção Baseada em Condição (MBC), também conhecida como Manutenção Preditiva, é um método que utiliza as técnicas de monitoramento de condição em uma máquina, mesmo em funcionamento, para determinar quando a mesma irá precisar de manutenção para que não ocorra a não disponibilização do equipamento.

Conforme NBR 5462 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993), a manutenção preditiva consiste na garantia de uma qualidade do serviço através de um monitoramento sistemático das condições mecânicas, eletroeletrônicas, eletropneumáticas e eletro hidráulicas das máquinas, equipamentos e instalações, com o objetivo de reduzir a manutenção preventiva e as intervenções corretivas. Já para Souza (2011), manutenção preditiva é a indicação das condições reais de funcionamento das máquinas e equipamentos através dos dados que informam os seus processos de desgastes e degradações.

O principal objetivo da manutenção preditiva é prever as falhas nas máquinas ou sistemas através do acompanhamento de diversos parâmetros, possibilitando a operação contínua pelo maior tempo possível. Dessa forma, a manutenção preditiva aumenta a disponibilidade do equipamento ou sistema, já que não necessita de parada das máquinas para a realização das intervenções (OTANI; MACHADO, 2008).

A manutenção baseada em condição pode ser dividida em três etapas principais:

- Aquisição de dados: utilizam-se sensores para monitorar valores e mudanças que possam revelar falhas antes de se tornarem trágicas. A escolha do sensor adequado depende do método de monitoramento e dos mecanismos da máquina. Feito isso, o primeiro método a ser realizado é a filtragem e identificação dos dados providos pelos sensores e, se necessário, realizar alguma conversão. Esses dados são registrados e enviados para alguma memória por meio de comunicação (interna ou externa) (FABRÍCIO, 2018, 19).
- Processamento de dados: nessa etapa são realizadas análises dos dados que são comparadas às características específicas do equipamento ou de um modelo. Assim se realiza a avaliação da saúde da máquina baseada em seus dados históricos (TONACO, 2008, 12).
- Tomada de decisão de manutenção: o último passo se baseia em tomar decisão de acordo com a necessidade de manutenção que precisa ser realizada. Este passo pode ser automatizado com a ajuda de sistemas (SIMEÓN, 2008).

## 2.3 REDE DE SENSORES

Segundo Loureiro *et al.* (2003) os novos materiais de sensoriamento (sistemas micro eletromecânicos estimulou o desenvolvimento de sensores inteligentes, que são controlados por uma lógica de circuito integrado, com uma interface de comunicação sem fio. Além disso, os sensores têm a capacidade de processamento e comunicação de dados.



A rede de sensores sem fio segundo Barbosa e Silva (2020), pode ser definida como um conjunto de sensores que coletam dados de ambientes internos e externos, esses dispositivos são capazes de detectar propriedades do ambiente como dados físicos ou químicos. E podem estar ligados à uma rede e geralmente operam para realizar alguma coleta específica. A vantagem das redes de sensores sem fio é a sua facilidade de instalação, já que não precisam de cabeamento.

#### 2.4 MOTOR CURRENT SIGNAL ANALYSIS (MCSA)

De acordo com Penrose (2008), análise da assinatura de corrente elétrica de motor, ou *Motor Current Signal Analysis* (MCSA), é definida como a avaliação da forma de onda da corrente através da demodulação e análise FFT (Transformada Rápida de Fourier).

A MCSA monitora continuamente, de forma não intrusiva, a condição de um motor de indução. Então, uma grande vantagem dessa técnica é que não há a necessidade de acesso ao equipamento, basta ter acesso apenas à sua corrente e/ou tensão, disponíveis, geralmente, em um painel elétrico. Assim, motores inacessíveis, em locais de difícil acesso e/ou em locais inseguros, também podem ser monitorados (BOLNADI, 2006).

O método MCSA consiste na medição de corrente elétrica em tempo real e seu processamento no domínio da frequência (FABRICIO, 2018). Sendo assim, através da alteração da assinatura de corrente no decorrer do tempo, é possível realizar o acompanhamento da evolução de um motor e realizar o diagnóstico antecipado da ocorrência de uma anomalia futura ou desgaste no equipamento.

Dessa forma, através da técnica de análise de assinatura de corrente elétrica é possível diagnosticar avarias no circuito de alimentação, no motor, na carga e na transmissão. Além disso, é possível fornecer informações a respeito do desempenho da máquina. Com isso, de acordo com Fabrício (2018), torna-se possível desenvolver uma sistemática de manutenção baseada na condição, com a realização de programações de eventos de manutenção de forma que não interfira no ritmo do processo produtivo.

### 3. ESTUDO DE CASO

Foi escolhida, como objeto de estudo, uma máquina da linha de produção de uma empresa do setor automotivo, situada em Itatiaia- RJ. O equipamento é conhecido como Gravadora Vin Laser, que tem como função realizar a gravação do Código VIN (Vehicle Identification Number) em dois modelos de carro que são produzidos na empresa.

A estação de trabalho dessa máquina possui um painel elétrico independente. Dessa forma, se torna mais fácil o acesso aos dados de consumo de corrente elétrica de forma a não necessitar de paradas da máquina para a implementação do sistema, pré-requisito principal para a escolha do equipamento de estudo. Então, tendo a certeza que as ações realizadas do projeto não irão interferir no processo produtivo, o sistema de monitoramento de corrente elétrica será montado nesse painel.



### 3.1 METODOLOGIA

A primeira fase deste projeto é realizar a leitura da assinatura das correntes da máquina para detectar normalidades e anormalidades. Para isso, será necessário consultar o padrão de normalidade do equipamento para então realizar a análise pós coleta de dados.

Inicialmente serão instalados sensores de corrente de monitoramento nos painéis elétricos de alimentação do equipamento para monitorar o consumo de suas correntes elétricas. Estes sensores irão realizar a comunicação dos dados capturados através da plataforma IoT implementada por uma arquitetura de RSSF (Redes de Sensores Sem Fio), que permitirá avaliar a assinatura da corrente elétrica. Através desses dados será realizada a análise de assinatura da corrente elétrica e será identificada a pré falha ou a falha do equipamento.

Como elemento de processamento de dados, será utilizado um Arduíno Uno com objetivo de capturar o sinal analógico das correntes elétricas e convertê-los em dados digitais, ligado a um sensor de corrente. Serão utilizados 3 sensores de corrente alternada em 3 correntes de fase. Através da própria plataforma Arduíno será desenvolvido um software na linguagem C++ para capturar os valores analógicos de tensão correspondente a corrente trifásica consumida pelo equipamento e medida pelos sensores.

Então, a partir dessa detecção de eventos, caso sejam anormais, serão enviados alertas para os responsáveis pelo equipamento para a realização de análises na máquina antes que a mesma falhe, visando a manutenção preditiva, evitando-se, então, a parada do equipamento. Dessa forma pode ser sanada alguma anormalidade da máquina sem impactar na qualidade de seu processo.

Nesse projeto, os dados serão coletados durante 20 dias, tempo de implementação na linha de produção, pelos sensores e no final será plotado um gráfico no Excel com os dados coletados, afim de realizar uma análise da operação da máquina nesse período.

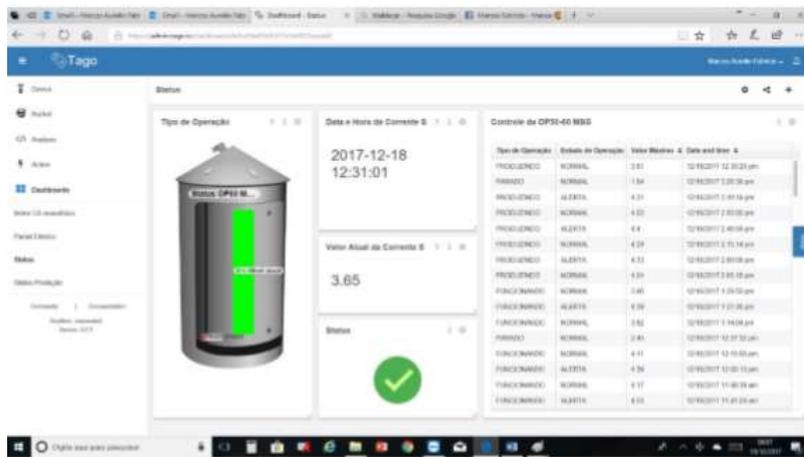
### 3.2 RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se como resultado um sistema capaz de realizar o monitoramento de equipamentos elétricos, em tempo real, com o objetivo de contribuir com dados para a realização de manutenção preditiva, através da detecção precoce de falhas. Para isso, com a implantação do sistema na linha de produção por 20 dias, os resultados de coleta de dados do consumo de corrente RMS trifásico serão apresentados.

Dessa forma, o sistema de monitoramento será capaz de realizar medições trifásicas no painel de controle do equipamento de estudo, de forma não invasiva, em que os dados serão capturados e tratados num computador local dedicado à aplicação, funcionando como um módulo concentrador de dados. A comunicação será via internet a uma plataforma de IoT, de forma a permitir o acesso em tempo real pelos responsáveis envolvidos no contexto da aplicação e responsáveis pela gestão das informações. Assim, os dados serão tratados num servidor exclusivo e conectados a aplicativos que permitam a gestão das informações para fins de manutenção preditiva.

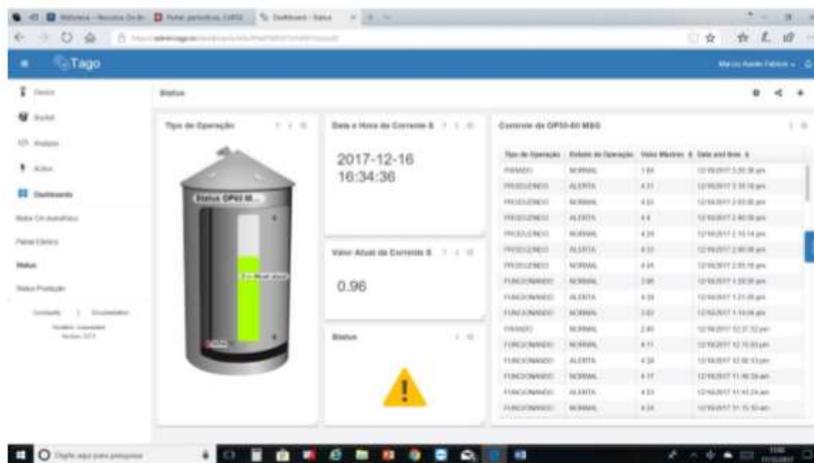
Nas figuras 2, 3 e 4, são apresentadas as formas de visualização que serão desenvolvidas através de painéis na plataforma TagoIO e que estarão disponíveis aos usuários.

Observa-se na figura 2 a representação no painel de visualização da plataforma quando o equipamento estiver funcionando em estado normal.



**Figura 2:** Painel de controle indicando máquina funcionando em estado normal  
**Fonte:** Fabrício, 2018

A Figura 3 representa a visualização no painel de controle de um caso onde se identifica que a máquina está parada. Essa condição pode estar justificada pela ausência do operador (horários de descanso, pausa, refeições ou parada programada), por falta de matéria prima ou pela interrupção de operação da linha de produção devido a outros fatores.



**Figura 3:** Painel de controle indicando máquina parada em estado normal  
**Fonte:** Fabrício, 2018

A situação apresentada na figura 4 representa uma situação de emergência que o sistema de monitoramento irá indicar quando se faz necessário uma parada do equipamento, seja pelo risco de acidente ou pelo simples fato de economia de energia.

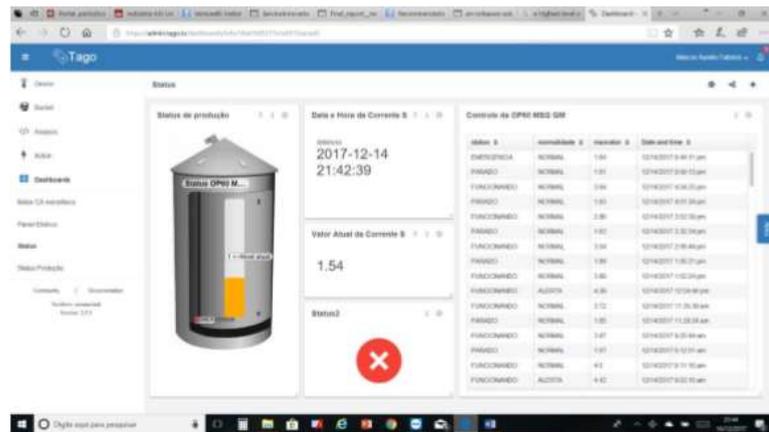


Figura 4: Painel de controle indicando máquina em estado de emergência

Fonte 1: Fabrício, 2018

#### 4. CONCLUSÃO

O presente estudo contribuiu para a apresentação de uma proposta de um sistema de monitoramento de equipamentos elétricos de uma linha de produção, visando a execução da manutenção preditiva através da detecção de falhas inesperadas. Esse sistema será baseado em uma arquitetura de rede de sensores sem fio (RSSF), para que possa ter a possibilidade de transportar os dados obtidos para aplicativos acessíveis através da internet.

Esta proposta será implementada em uma linha de produção real, onde o equipamento elétrico que é conhecido como Gravadora Vin Laser, terá o seu consumo de corrente monitorada em tempo real. Os dados serão obtidos e analisados através da técnica de análise de assinatura de corrente a fim de visualizar e detectar anomalias que possam ocorrer devido a processos degenerativos, resultando em falhas.

Esta implementação estará contribuindo diretamente para o avanço da quarta revolução industrial. As indústrias que possuem características da terceira revolução industrial geralmente possuem algumas máquinas que são modernas e automatizadas, mas também possuem outras antigas e robustas que estão atuando com mais de 25 anos, necessitando de atenção e monitoramento de suas atividades operacionais. Portanto, essa proposta irá contribuir para automatizar as máquinas antigas possibilitando também o monitoramento independente, separadamente e de forma não invasiva em equipamentos que contam com o sistema supervisório moderno.

#### 5. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. S. Indústria 4.0: Princípios Básicos, Aplicabilidade e Implantação na Área Industrial. 1º. ed. São Paulo: Érica, 2019. 136 p. ISBN 978-85-365-3045-1.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1993.

BARBOSA, Arthur M.; SILVA, Rodrigo César Fonseca da. Aplicações de redes de sensores sem fio. Departamento de Física, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Patos –Paraíba, 2020.

BONALDI, E. L. Diagnóstico Preditivo de Avarias em Motores de Indução Trifásicos com MCSA e Teoria de Conjuntos Aproximados. Tese de Doutorado, Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, 2006.

FABRÍCIO, M. A. Monitoramento de equipamentos elétricos industriais utilizando IoT. 2018. 73 p. Dissertação (Mestrado em Gestão de redes em telecomunicações - programa de pós graduação em engenharia elétrica) — Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

LOUREIRO, Antonio AF et al. Redes de sensores sem fio. In: Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC). sn, 2003. p. 179-226.



**OTANI, M.; MACHADO, W. V.** A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca de excelência ou classe mundial. *Revista Gestão Industrial*, v. 4, n. 2, p. 2 – 8, 2008.

**PENROSE, H. W.** *Electrical Motor Diagnostics*. Old Saybrook: Success by Design. 2ed. Connecticut, USA, 2008.

**SIMEÓN, E. J. A.** Aplicação de técnicas de inteligência artificial no desenvolvimento de um sistema de manutenção baseada em condição. 2008. 172 p. Dissertação (Sistemas mecatrônicos) — Universidade de Brasília. Faculdade de tecnologia.

**SANTOS, Bruno P. et al.** Internet das coisas: da teoria à prática. *Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, v. 31, 2016.

**SOUZA, V. C. de.** *Organização e Gerenciamento da Manutenção: Programa e Controle de Manutenção*. 4ª. ed. São Paulo: All Printe Editora, 2011.

**TONACO, R. P.** Metodologia para desenvolvimento de base de conhecimento aplicada à manutenção baseada em condições de usinas Hidrelétricas. 2008. 167 p. Dissertação (Sistemas mecatrônicos) — Universidade de Brasília. Faculdade de tecnologia.