



EDILSON PEIXOTO SOBRINHO

PROJETO MANUTENÇÃO PRESCRITIVA
A Manutenção da Indústria 4.0

Campos dos Goytacazes/RJ

2022



INSTITUTO FEDERAL FLUMINENSE
Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia
para a Inovação - PROFNIT

EDILSON PEIXOTO SOBRINHO

PROJETO MANUTENÇÃO PRESCRITIVA
A Manutenção da Indústria 4.0

Trabalho apresentado como requisito de aprovação no programa de Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação do PROFNIT, polo Instituto Federal Fluminense.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Simone Vasconcelos Silva.

Campos dos Goytacazes /RJ

2022

EDILSON PEIXOTO SOBRINHO

PROJETO MANUTENÇÃO PRESCRITIVA

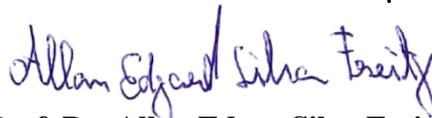
A Manutenção da Indústria 4.0

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação -PROFNIT- Campos dos Goytacazes. Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Manuel Antonio Molina Palma
[PROFNIT - UENF]



Prof. Dr. Allan Edgar Silva Freitas
[PPGESP - IFBA]



Ms. Yago Pacheco Teixeira
[CONSULTOR DO MERCADO]



Profa. Dra. Simone Vasconcelos Silva (Orientadora)
[PROFNIT-IFF]

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que permitiram à concretização dessa etapa na minha vida, primeiramente quero agradecer a Deus por permitir ter saúde e determinação para não desanimar durante a realização deste trabalho. Aos meus pais, Amaro Antônio (Sr. Bazinho) e Zenita (Iaiá) quando vivos me ensinaram a sempre estudar e seguir um caminho certo na vida. Agradeço também aos meus irmãos Elenilson e Eliane, que sempre são exemplos de irmandade e profissionalismo. À minha esposa Heloisa, que sempre está ao meu lado me apoiando e incentivando a não desistir diante das barreiras impostas pela vida. Ao meu filho Guilherme Antônio, pois a sua presença em nossas vidas só fortalece o meu incentivo a estudar e ser um exemplo nos objetivos e nas atitudes que um ser humano deve ter ao longo de sua vida. A todos os professores por procurarem passar seus conhecimentos, principalmente a professora Simone que teve a missão de orientar na execução deste trabalho. Aos colegas que sempre me ajudaram, incentivaram a não desistir pelo caminho. Muito grato a todos.

RESUMO

É um fato que a manutenção é um pilar fundamental para os resultados da indústria, que no decorrer do tempo a manutenção vem evoluindo para atender as necessidades da indústria e da sociedade. Essa evolução das tecnologias acompanha a evolução da indústria e os desejos da humanidade. Vários fatores influenciaram na evolução da manutenção, como o aumento do número e diversidade de itens a serem mantidos, projetos mais complexos, competitividade globalizada, dentre outros. Hoje estamos na era da tecnologia da Indústria 4.0 e por sua vez a manutenção para acompanhar esse tipo de indústria é a Manutenção 4.0. No Brasil as manutenções corretivas e preventivas ainda são as mais utilizadas pelas empresas brasileiras a proposta desse trabalho é proporcionar um plano de projeto que sirva como instrumento norteador para a implantação da Manutenção Prescritiva em processos existentes, ou seja, analisar como o processo de manutenção é realizado e propor um conceito de manutenção 4.0 com a prescritiva. Foi realizada uma análise de um modelo da manutenção convencional utilizado em plataformas por uma empresa petrolífera e depois de um estudo foi idealizado uma proposta de modelagem para a implantação da Manutenção 4.0. Este trabalho possui uma revisão bibliográfica onde serão abordados os conceitos sobre as evoluções industriais e da manutenção, sobre as técnicas e inovações tecnológicas necessárias para estar caracterizada como Indústria 4.0, será abordada também sobre gerência de projeto e modelagem de processos. Na última etapa deste trabalho tem a proposta de uma modelagem para a implantação da Manutenção Prescritiva em processos de manutenção já existentes. Em anexo consta o Manual Didático que tem o objetivo de contribuir na orientação no processo de implantação da manutenção prescritiva em processos existentes.

Palavras-chave: Tecnologias. Indústria 4.0. Manutenção Prescritiva.

ABSTRACT

It is a fact that maintenance is a fundamental pillar for the results of the industry, that over time maintenance has evolved to meet the needs of industry and society. This evolution of technologies follows the evolution of the industry and the desires of humanity. Several factors influenced the evolution of maintenance, such as the increase in the number and diversity of items to be maintained, more complex projects, globalized competitiveness, among others. Today we are in the era of Industry 4.0 technology and in turn the maintenance to accompany this type of industry is Maintenance 4.0. In Brazil, corrective and preventive maintenance are still the most used by Brazilian companies, the proposal of this work is to provide a project plan that serves as a guiding instrument for the implementation of Prescriptive Maintenance in existing processes, that is, to analyze how the maintenance process is carried out and propose a maintenance concept 4.0 with the prescriptive. An analysis of a conventional maintenance model used on platforms by an oil company was carried out and after a study, a modeling proposal was devised for the implementation of Maintenance 4.0. This work has a bibliographic review where the concepts about industrial and maintenance evolutions, about the techniques and technological innovations necessary to be characterized as Industry 4.0, will also be approached about project management and process modeling. In the last stage of this work, there is a proposal for a modeling for the implementation of Prescriptive Maintenance in existing maintenance processes. Attached is the Didactic Manual that aims to help guide the process of implementing prescriptive maintenance in existing processes.

Keywords: Technologies. Industry 4.0. Prescriptive Maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Demonstração da evolução industrial	05
Figura 2. As tecnologias essenciais em uma Indústria 4.0.....	07
Figura 3 – A evolução das técnicas de manutenção ao longo do tempo.....	15
Figura 4 – O esquema gráfico da piscina, das raias e as fases.....	21
Figura 5 – Os principais símbolos usados na notação BPMN.....	22
Figura 6 - Transição de um estado organizacional por meio de um projeto	23
Figura 7 – O Project Model Canvas	24
Figura 8 – Etapas da metodologia de pesquisa	27
Figura 9 – O processo convencional na manutenção	37
Figura 10 – O processo de manutenção após a implantação do projeto prescritivo.....	45
Figura 11 – PM Canvas elaborado de modo a ajudar na implantação do projeto prescritivo.	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Tipos de manutenção usados em cada setor do Brasil.....	01
Gráfico 02 – Ponto de vista dos entrevistados sobre o modelo apresentado.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – As fases, etapas, arquiteturas ou estruturas, para a implantação da manutenção..	34
Tabela 02 – A sequência dos passos para implantar a proposta do projeto.....	43

LISTA DE SIGLAS E TERMOS EM INGLÊS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

ABRAMAN - Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos

AI – Artificial intelligence (Inteligência Artificial)

Big Data – Grandes Dados

BPM – Business Process Model (Modelo de Processo de Negócios)

BPMN – Business Process Model and Notation – BPMN (Notação para Modelagem de Processos de Negócio)

BPMN – Business Process Model and Notation (Modelo de Processo de Negócios e Notação)

Brainstorming – Chuva de ideias (Debate)

CBM – Manutenção Baseada em Condição

Cloud Computing – (Computação em Nuvem)

CPS - Cyber-Physical Systems ou Cyber-Físicos (Física Cibernética)

FMEA – Failure Mode and Effect Analysis (Análise dos Modos e Efeitos de Falha)

IoT – *Internet of Things* (Internet das coisas)

Lanes – Raias

Machine Learning – Aprendizado de Máquina

Maintainability – Manutenibilidade ou mantabilidade (Capacidade de Manutenção)

Maintenance 4.0 ou Upkeep 4.0 ou Keeping 4.0 – Manutenção 4.0

Milestone - Fases

PCM – Planejamento e Controle da Manutenção

PM Canvas – Project Model Canvas (Tela do Modelo do Projeto)

PMI – Project Management Institute (Instituto de Gerenciamento de Projetos)

Pools – Piscina

Prescriptive Maintenance ou Prescriptive Upkeep ou Prescriptive Keeping ou Prescribed Maintenance – Manutenção Prescritiva

RCFA – Root Cause and Failure Analysis (Análise de Falhas da Causa Raiz)

RCM – Reliability Centered Maintenance (Manutenção Centrada na Confiabilidade)

RFID – Radio Frequency IDentification (Identificação por Rádio Frequência)

Smart factory ou Intelephant factory – Fábrica Inteligente

SMS – Segurança, Meio ambiente e Saúde

Swimlanes – Raias de natação

TIC – Tecnologias da Informação e Comunicação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	01
1.1 – Justificativa.....	01
1.2 – Objetivos.....	02
1.3 – Estrutura do trabalho.....	04
2. – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
2.1 – Evoluções e revoluções da indústria.....	04
2.2 – A indústria 4.0 e suas essências.....	06
2.3 – A Evolução da Manutenção para Atender a Indústria 4.0.....	13
2.4 – Tipos de Manutenção.....	16
2.4.1 – Manutenção Corretiva.....	16
2.4.2 – Manutenção Preventiva.....	16
2.4.3 – Manutenção Preditiva.....	17
2.4.4 – Engenharia de Manutenção.....	17
2.5 – As Metas e Benefícios da Manutenção 4.0.....	18
2.6 – Modelagem de processos.....	19
2.7 – Gestão de projeto.....	22
3 METODOLOGIA.....	26
4 TRABALHOS RELACIONADOS.....	28
5 PROCESSO CONVENCIONAL DA MANUTENÇÃO.....	35
5.1 – Seleção da Organização.....	35
5.2. – Análise, Modelagem e Validação do Processo de Manutenção da Organização.....	35
6 PROPOSTA DE MANUTENÇÃO PRESCRITIVA.....	39
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
REFERÊNCIAS.....	48
APÊNDICE A – Manual Didático.....	53

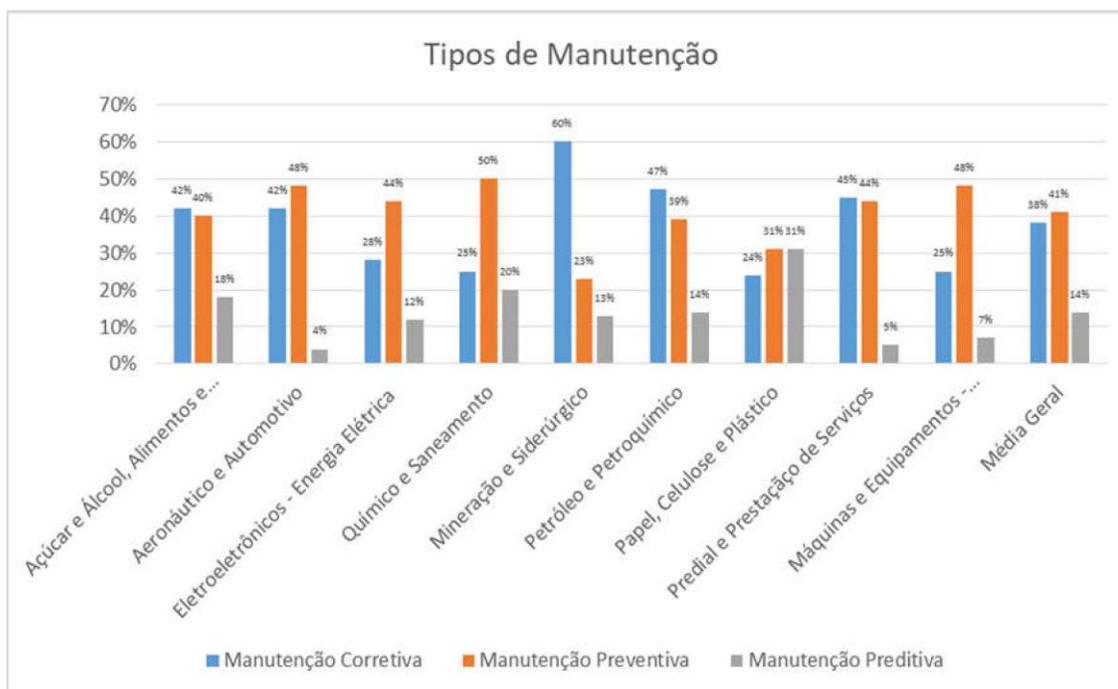
1. INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa

No 32º Congresso Brasileiro de Manutenção e Gestão de Ativos a ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos) apresentou o Documento Nacional 2017, esse documento é o resultado de uma pesquisa que mostra a situação da manutenção no Brasil no ano de 2017 em diversos setores da economia. De acordo com a ABRAMAN (2017), é possível verificar no Gráfico 1 o percentual dos tipos manutenção utilizados pelos setores brasileiros.

Analisando os dados apresentados pode se dizer que as manutenções corretivas e preventivas ainda são as mais utilizadas pelas empresas brasileiras, com exceção do setor de papel, celulose e plástico, onde a manutenção preditiva se equipara com a preventiva. Na trajetória de um ativo com conceito 4.0 a manutenção preditiva é uma grande aliada da manutenção 4.0 que utiliza diversas tecnologias que serão mostradas no decorrer deste trabalho.

Gráfico 1 – Tipos de manutenção usados em cada setor no Brasil



Fonte: Adaptado da ABRAMAN (2017).

É indiscutível dizer sobre a importância que a manutenção tem em todos os processos existentes, podendo atuar em diversos setores da indústria, como também em hospitais, cidades e outros. Uma manutenção eficaz é fundamental para a performance do ativo.

O que justifica esse trabalho é proporcionar um plano de projeto que sirva como instrumento norteador para que a manutenção possa acompanhar a evolução da Indústria 4.0, de modo a atender a necessidade mesma.

1.2. Objetivos

O objetivo geral desse trabalho é propor um projeto para inserir a Manutenção Prescritiva em processos existentes, ou seja, analisar como o processo de manutenção é realizado e propor um conceito de manutenção 4.0 com a manutenção prescritiva. Serão abordados os conceitos das evoluções industriais e da manutenção, as técnicas e inovações tecnológicas necessárias para estar caracterizado como Indústria 4.0 de modo que o ativo consiga alcançar as metas estabelecidas de produção e permaneça competitivo no mercado globalizado.

O objetivo geral pode ser dividido nos seguintes objetivos específicos:

- Analisar o contexto atual da manutenção e propor sua modelagem;
- Analisar as necessidades da manutenção para atender a Indústria 4.0 e propor sua modelagem;
- Elaborar um planejamento de um projeto para a implantação da Manutenção 4.0 e validar o planejamento proposto.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho se divide em sete capítulos:

- 1º Capítulo – É a introdução do trabalho onde é abordada a manutenção e a Indústria 4.0, mostra os objetivos do trabalho e sua justificativa.

- 2º Capítulo – É a revisão bibliográfica que descreve sobre a evolução da indústria até chegar à quarta revolução industrial, relata a abordagem sobre as essências tecnológicas para formar a Indústria 4.0, descreve uma breve história sobre as mudanças do modo de manter no decorrer dos anos até o conceito da manutenção prescritiva, tem uma abordagem sobre gestão projetos e gestão de processos, e finalmente relata uma perspectiva a respeito da manutenção prescritiva.
- 3º Capítulo – Descreve como foi à metodologia aplicada para a elaboração deste trabalho.
- 4º Capítulo – Mostra os trabalhos relacionados encontrados, como foi realizada a pesquisa em artigos e patentes sobre a Indústria 4.0 e a Manutenção Prescritiva.
- 5º Capítulo – Mostra o processo convencional da manutenção, como foi feita a análise, a modelagem e validação do processo de manutenção da organização.
- 6º Capítulo – Descreve a proposta de Manutenção Prescritiva, que visa mostrar um caminho para implementar este tipo de Manutenção.
- 7º Capítulo – Relatam as considerações as finais deste trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Evoluções e revoluções da indústria

A humanidade pela sua história sempre esteve em transmutação, seja na vida pessoal e profissional, sempre em processo de evolução e em busca de novas tecnologias, esse rumo muda a sociedade que está inserida neste contexto, mudando a forma de pensar, de agir, de trabalhar, dos seus anseios. Para poder atender esses anseios, as indústrias também passaram por várias transformações no decorrer dos anos, estas transformações foram divididas em quatro períodos, e cada período foi denominado de uma revolução industrial.

Segundo Schwab; Davis (2019), Hermann; Pentek; Otto (2015), Coutinho (1992) a revolução industrial passou pelas seguintes etapas:

- A Primeira Revolução Industrial conhecida também como o período da Indústria 1.0 que ocorreu na Inglaterra no final do século XVIII início do século XIX, mas foi datada no ano de 1784 quando o inglês *Edmund Cartwright* criou o primeiro tear mecânico, que foi patenteado no ano seguinte. A ciência descobriu a utilidade do carvão como meio de fonte de energia e a partir daí desenvolveram simultaneamente a máquina a vapor e a locomotiva. Com essas duas invenções reviravolta no setor produtivo, como a manufatura do aço e de transportes com o motor a vapor as estradas de ferro. Um dos primeiros ramos industriais a usufruir da nova tecnologia da máquina a vapor foi à produção têxtil, que antes da revolução era desenvolvida de forma artesanal oriundas do esforço humano;

- Considerada como a era da Indústria 2.0 a Segunda Revolução Industrial nasceu com o progresso científico e tecnológico, em um novo ciclo da industrialização, que ocorria na Inglaterra, em alguns países da Europa e nos Estados Unidos, por volta da segunda metade do século XIX. Um marco desta revolução está no uso da energia elétrica, da descoberta e do aproveitamento de outras novas fontes de energia como o petróleo (no motor a combustão), a água (nas usinas hidrelétricas);

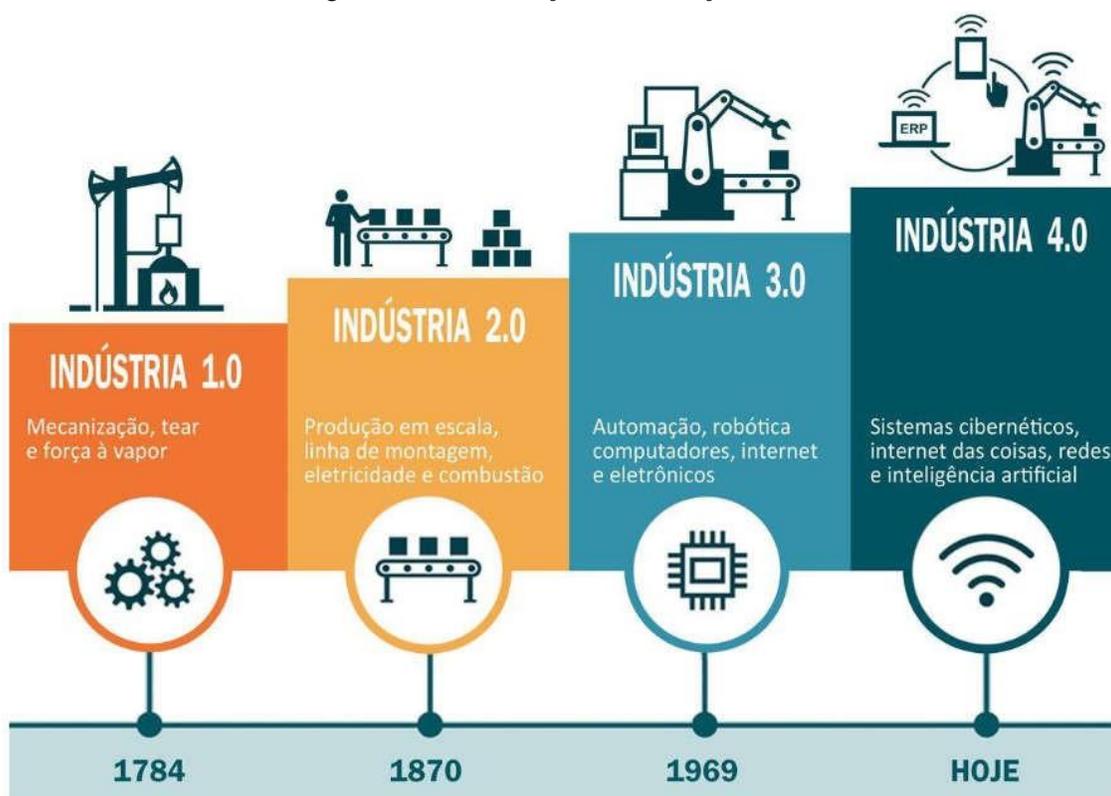
- A chamada Indústria 3.0 está incorporada na Terceira Revolução Industrial iniciaram-se em meados do século XX, nos Estados Unidos e em alguns países europeus no período pós-segunda guerra mundial, essa revolução abrangeu não só o sistema produtivo, mas também o campo científico. Foi à era da revolução digital, ocorreu o aumento do uso dos semicondutores, dos computadores, da automação e do descobrimento da robótica

(empregada na linha de montagem), da informação armazenada e processada de forma digital, das telecomunicações, dos telefones móveis e da internet;

- A Quarta Revolução Industrial foi marcada no ano de 2011 na feira Industrial de Hannover, na Alemanha, onde se introduziu o assunto da revolução 4.0, surgindo então o conceito da Indústria 4.0. O objetivo do governo Federal da Alemanha nesta feira era introduzir o assunto como uma iniciativa estratégica com o propósito de posicionar suas indústrias para a competitividade de modo ficar a frente das tecnologias de ponta que estão surgindo. A Indústria 4.0, cria no processo produtivo um novo conceito de manufatura, o de produzir com os sistemas “Ciber-Físicos”, de modo que os processos governem entre si, ou seja, começam a tomar decisões de quando ligar, desligar ou de quando acelerar ou reduzir a produção com isso surge o conceito da Digitalização da Manufatura.

De uma forma macro é possível visualizar na Figura 1 os principais fatos que ocorreram nas evoluções industriais no decorrer dos anos até chegar aos dias de hoje com a Indústria 4.0.

Figura 1: Demonstração da Evolução industrial.



Fonte: Souza (2019)

2.2 A Indústria 4.0 e suas essências

O termo Indústria 4.0 surge das palavras *smart factory* ou *intelligent factory*, que são termos que descrevem sobre fábricas inteligentes, flexíveis, adaptáveis e dinâmicas, de baixo custo produtivo, sendo também eficiente e lucrativa produzindo produtos personalizados em quantidades menores (WANG et al., 2016).

Estas indústrias abordam um processo de fabricação de modo a utilizar as mais recentes invenções e inovações tecnológicas, principalmente as tecnologias de informação e comunicação, aumentando o grau de automação e digitalização da produção, resultando uma melhor aplicação da tecnológica na organização do produto ou processo. Um dos objetivos deste tipo de indústria é poder gerenciar todo o processo de forma simultânea, com o intuito de melhorar a sua eficiência, aperfeiçoando a fabricação, reduzindo o trabalho desnecessário, o desperdício de recursos e o aumento da disponibilidade do ativo de modo a obter produtos e serviços com uma melhor qualidade, sincronizado com a segurança e a operação de uma forma eficiente, onde todos os processos são executados sem adversidades (HOZDIĆ, 2015).

Um ativo com a filosofia de uma Indústria 4.0, deve ser trabalhada desde a criação, a implementação e a utilização, de uma forma interdisciplinar de modo a relacionar com as outras áreas tecnológicas. Esse ativo deve estar imerso em um ambiente inteligente e interconectado com o mundo através da IoT a (*Internet of Things*) Internet das Coisas, os serviços, as infraestruturas, os fornecedores, os clientes e os setores econômicos, juntos de modo a compartilhar uma característica comum. Essa mudança de pensar, criar e agir conduz ao nascimento de redes inteligentes, construções inteligentes, soluções sustentáveis de mobilidade e logística, do uso das fontes de energias, ou seja, uma cultura de pensamento inteligente em ambientes fabril. O resultado esperado são empresas competitivas, gerando resultados (lucro) aos ativos com processos sem interrupções inesperadas, fabricação com maior eficiência e produtos com maior qualidade e mais atrativo ao cliente. “Em uma fábrica inteligente, pessoas, máquinas e recursos se comunicam tão naturalmente quanto em uma rede social” (BARTODZIEJ, 2017).

Para entender a filosofia de uma Indústria 4.0, é necessário conhecer suas essências, ou seja, conhecer suas bases tecnológicas que juntas incorpora o conceito desta evolução. Essas tecnologias permitem dispositivos, máquinas, produtos e outros mais se comuniquem,

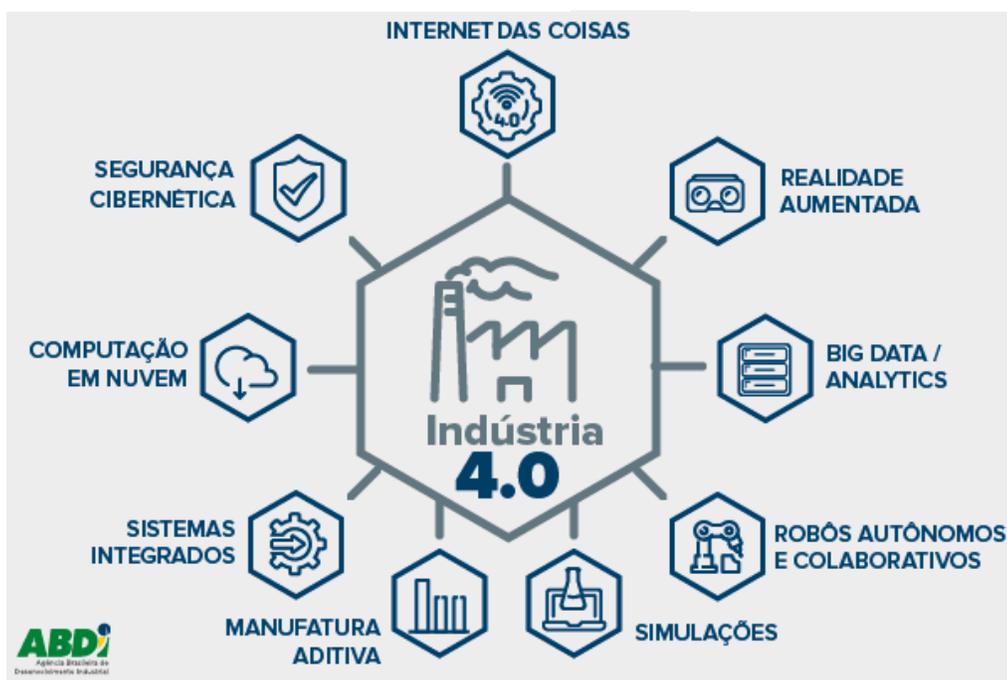
de modo variar seu comportamento em diferentes situações, permitindo assim que os problemas sejam resolvidos, cenários sejam modificados e adaptados para que as decisões a serem tomadas sejam em tempo hábil (ZHONG et al., 2017).

Uma destas tecnologias são as redes sem fio industrial que se comunicam através da Internet das Coisas IoT, com isso os “elementos inteligentes” habilitados com sistemas Ciber-Físicos podem utilizar dados que estão armazenados em um banco de dados virtual o de nuvem, esta Internet das Nuvens possui uma grande escala de armazenamento com capacidade de computação para implementar uma coordenação em todo o sistema redes de sensores sem fio de uma unidade fabril (WANG et al., 2016).

Somados as essas tecnologias mencionadas à quarta revolução industrial promove a união dos recursos físicos e digitais, de modo a criar uma articulação entre as tecnologias para formar os componentes tecnológicos da Indústria 4.0, sendo definidos com os Sistemas Integrados, a Manufatura Aditiva ou inteligente, Simulações, Robôs inteligentes autônomos e colaborativos, Big Data, e a Realidade Aumentada. (CHUKWUEKWE, 2016).

Cada componente tem a sua importância, a Figura 02 mostra essas tecnologias e a seguir a descrição de algumas características que compõem essas tecnologias mencionadas.

Figura 02- As tecnologias essenciais em uma Indústria 4.0



Fonte: Adaptado de Rotta (2017).

Internet das Coisas (IoT)

A Internet das coisas (IoT) do inglês *Internet of Things*, pode ser dizer que é o elemento facilitador, que pode integrar diferentes setores industriais em uma conexão sem fio, conectar dispositivos meio de sensores e softwares inteligentes. A internet tradicional que é usada pela sociedade no dia a dia para comunicação entre as mesmas, não é muito diferente da internet das coisas, os dispositivos através dos sistemas ciber-físicos podem independentemente da localização dos objetos executar uma comunicação (BARTODZIEJ, 2017).

Em um processo de fabricação utilizando a IoT a comunicação, a conexão e a integração é de forma constante, de modo automático, o armazenamento das informações é através do sistema de nuvem sendo possível acessar de onde estiver em tempo real. O compartilhamento das informações de todo o processo de fabricação, como estado das máquinas, a dinâmica real da fabricação, estoque, compras, movimentação de materiais, fluxos de informações para associados e trabalhadores, visibilidade e rastreabilidade das operações e outros mais são interligados, de humano para humano, de humano para máquina, de máquina para máquina são realizadas simultaneamente, através de tecnologias como a RFID e outros padrões de comunicação sem fio (ZHONG et al., 2017).

A Internet das Coisas, permite conectividade entre os diversos dispositivos, um exemplo de como pode ocorrer essa conexão é através da RFID que vem do inglês *Radio Frequency IDentification*, ou, em português, Identificação por Rádio Frequência, esse tipo de tecnologia que permite a identificação de objetos portadores de um tipo de etiqueta eletrônica e essa etiqueta é inidentificável através da rádio frequência. Os dispositivos com a RFID podem comunicar com sensores, atuadores, telefones celulares, máquinas, sistema de transporte, esteiras e outros mais objetos inidentificáveis, cooperando de forma simultânea com seus pares inteligentes para alcançar objetivos comuns, permitindo assim o acesso e o controle em todo o processo onde estão inseridos, aumentando a eficiência e a eficácia na tomada de decisões (HEIDRICH; FACÓ, 2017).

Cibersegurança ou Segurança Cibernética

Nessa quarta revolução industrial maior é a quantidade informações no meio digital, aliada a internet das coisas e do armazenamento em nuvens a Segurança Cibernética, Cibersegurança ou *Cyber-Physical Systems* (CPS) é um elemento fundamental, como os dados e equipamentos estão interligados por sistemas ciber-físicos e processos em rede, é imprescindível ter procedimentos de segurança dos sistemas, de modo a proteger dados, informações, conhecimentos e outros elementos intelectuais. Os CPS são sistemas que integram computação, redes de comunicação e processos físicos que interage entre si de forma respectiva (LIMA; PINTO, 2019).

Os sistemas cibernéticos são tem a capacidade de interagir no mundo físico usando poder computacional, sistemas podem ser rastreados e se comunicar de modo a melhorar seus processos com as ações de decisões mais eficazes o resultado deste processo é a eficiência do ativo (HOZDÍĆ, 2015). Com o CPS é possível obter avisos antecipados de possíveis problemas, de modo a mitigar surpresas, portanto é bastante útil, por exemplo, para obter uma manutenção eficaz (CHUKWUEKWE et al., 2016).

Computação em nuvem

A Computação em Nuvem (*Cloud Computing*) é uma forma de armazenamento de dados que permite aos usuários acessar de qualquer localidade o banco de dados, possui uma imensa capacidade de processar e armazenar informações que podem ser acessadas por meio de recursos computacionais, como por exemplo, redes, servidores, aplicativos e outros. Esse modo de acondicionar informações permite a integração de sistemas e plantas localizados em locais remotos, permitindo captar dados controlar processos conceder suporte de maneira remota, o resultado é a grande redução de custo, tempo e o aumento da eficiência (HEIDRICH; FACÓ, 2017).

Um sistema de Computação em Nuvem possui uma constituição composta pela parte física como servidores, redes armazenamento, computador e outros mais e também de meios abstratos, como softwares, aplicativos e soluções integradas (LIMA; PINTO, 2019).

Sistemas integrados

As Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) possuem uma ampla expertise na ciência da computação e processamento de sinais, como sistemas sem fio e sistemas audiovisuais. No contexto da indústria 4.0 a comunicação tem ligação direta e nas operações de produção e nas decisões do ativo, acrescentando mais autonomia e maior alcance no controle de todos os processos (ZHONG et al., 2017).

Os sistemas de TIC convencionais não são totalmente interligados, os setores operacionais, engenharia, produção, serviços, fornecedores e clientes normalmente não estão interligados. No processo com a filosofia Indústria 4.0 todos estes setores estão interligados, com o objetivo de obter uma comunicação mais integrada do fornecedor de insumos ao cliente final. Os sistemas integrados tem a missão de disponibilizar uma plataforma única onde todos os envolvidos tenham acesso, de modo a obter uma visão clara e abrangente de toda a cadeia produtiva, permitindo uma gestão integralizada onde as informações da produção, as recomendações da engenharia, a situação das ordens de serviço, as alterações de estoque, a situação insumos com os fornecedores, os pedidos dos clientes, ou seja, que todas as informações inerentes ao processo produtivo estejam relacionadas e disponíveis para análise e tomada de decisão. O resultado esperado é que a empresa ajuste seus processos de modo eficiente, atendendo com agilidade as necessidades do seu negócio e do mercado (RÜßMANN et al., 2015).

Manufatura aditiva

A tecnologia de manufatura aditiva é chamada impressão 3D, esse tipo de tecnologia já é utilizada para a produção de protótipos físicos e peças únicas, no conceito da Indústria 4.0 a manufatura aditiva é utilizada para produção de peças personalizadas, neste processo o custo é mais baixo para produzir um quantitativo menor de peças, no processo tradicional envolve altos custos de fabricação. Com o decorrer aprimoramento cada vez mais tecnologia da impressão 3D as indústrias vão criar novas soluções para o emprego peças produzidas, projetando e imprimindo peças com geometrias mais complexas, mais fortes e mais leves, (STOCK; SELIGER, 2016).

Muitos componentes metálicos podem ser fabricados por técnicas de impressão 3D, alguns materiais como o alumínio, titânio, aço inoxidável já são utilizados na confecção de peças (DILBEROGLU et al., 2017).

Simulação Virtual

A Realidade virtual proporciona uma visão do mundo físico, projeta uma situação física em um ambiente virtual, utilizando multimídia interativa e simulação por computador, neste ambiente virtual pode produzir efeitos visuais e sonoros, permitindo o usuário interagir como se estivesse realmente no local. Este tipo de tecnologia pode replicar digitalmente um ambiente, uma montagem, uma planta fabril, uma ferramenta, uma linha de produção, avaliar diferentes layouts, configuração de produtos e outros fins. O resultado esperado é que os processos e produtos possam ser simulados virtualmente, realizando testes e ensaios de modo a reduzir os custos com falhas e otimizar os recursos envolvidos (ROMERO et al., 2016).

Robôs Autônomos e Colaborativos

Os robôs já existem no processo industrial há muitos anos, a diferença dos Robôs Autônomos utilizados no sistema Indústria 4.0 é que estes são capazes de interagir com outras máquinas e com os seres humanos, atuando de modo autônomos, flexíveis e cooperativos. São projetados para trabalhar juntos com ajuste automático de suas operações, portadores de sensores que permite trabalhar de forma colaborativa com os seres humanos (RÜßMANN et al., 2015).

Essa nova forma de atuar dos robôs está relacionada diretamente ao ato de tomar decisões e este fato se deve a inteligência artificial que permite a máquina desempenhar ações autônomas, possuir inteligência interconexão, obter análise inteligente de aprendizagem e decisões inteligentes (ZHONG et al., 2017).

Big Data

Na quarta revolução industrial a *Big Data* é um elemento fundamental, é uma tecnologia que possui sistemas inteligentes com a habilidade de coletar, organizar, analisar e processar uma abundância de dados. Esses sistemas inteligentes podem participar de todas as etapas de um processo fabril, seja para identificar falhas nos processos, economizar energia e insumos, reduzir custos, aprimorar a qualidade dos produtos, ou seja, aumentar a performance em todas as etapas do processo de produção. A *Big Data* utiliza vários recursos como sensores, dispositivos vídeo e áudio, redes, aplicativos e outros meios, de modo a processar os dados coletados de forma precisa e transformar essas informações em conhecimentos necessários, de forma rápida para as organizações envolvidas. Neste ambiente de *Big Data*, as informações trabalhadas são mais complexas e volume dos dados é gigantesco, inviabilizando o uso convencional de análise de dados (ZHONG et al., 2017).

Realidade Aumentada

No contexto da Indústria 4.0, as incertezas de um novo produto no mercado ou um novo processo fabril diminuem de forma extrema, em um cenário com a realidade aumentada é possível verificar nesta nova fábrica uma forma de operar de modo mais eficiente e simular se seus produtos estarão adequados para serem inseridos no mercado. Essa tecnologia permite que o usuário tenha uma visão assertiva de cada momento do processo industrial, nesses ambientes virtuais é possível planejar, projetar, fabricar, testar os produtos, controlar a qualidade, pode também mostrar as os comandos necessários para a realização do processo, só depois destes testes e verificações virtuais é que se iniciam as ações físicas. Os resultados do uso da Realidade Aumentada são a simplificação dos processos, redução das falhas e erros, o aumento de produção, redução de custos, melhor utilização dos insumos e da energia, ou seja, aumento da eficiência do processo fabril (LIMA; PINTO, 2019).

2.3 A Evolução da Manutenção para Atender a Indústria 4.0

A manutenção conforme Kardec e Nascif (2019) tem uma missão que é o de “garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo adequados”. No decorrer dos anos conforme ocorreu com a indústria a manutenção também teve evoluções ou revoluções, essas mudanças de uma forma geral, podem ser divididas em quatro períodos distintos ou gerações.

A Primeira Geração da Manutenção onde é considerada como a Manutenção 1.0, ocorreu aproximadamente até 1950, onde a disponibilidade dos equipamentos e a preocupação pela prevenção das falhas não era prioridade. Os equipamentos eram superdimensionados, os projetos eram simples e o seu reparo de fácil execução sendo, portanto, mais confiáveis. Era da Manutenção Corretiva, ou seja, reparar após a falha, um modelo reativo que reflete altos custos (TELES, 2018).

A Segunda Geração da Manutenção ou a Manutenção 2.0 surgiu após a segunda guerra mundial, no início da década de 1950, onde o pós-guerra gerou crescente demanda por produtos impulsionando a mecanização das indústrias, com máquinas mais complexas, o surgimento dos computadores, que eram grandes e lentos. Profissionais da manutenção começaram a perceber que alguns equipamentos falhavam em intervalos semelhantes, surge então Manutenção Preventiva com planos elaborados com os tempos de parada dos equipamentos produtivos, início do uso da técnica de Planejamento e Controle da Manutenção, surge também conceito que as falhas nos equipamentos podiam ser previstas (KARDEC E NASCIF, 2019).

A Terceira Geração da Manutenção ou Manutenção 3.0 teve início em 1970, impulsionada pela Terceira Revolução Industrial devido à chegada da automação industrial, o surgimento do RCM (*Reliability Centered Maintenance*) que é a manutenção centrada na confiabilidade, com o foco de buscar novas maneiras de maximizar a vida útil dos equipamentos produtivos, passando a existir a preocupação com alta disponibilidade, confiabilidade e com a qualidade, mas também preocupado com o SMS (Segurança, Meio ambiente e Saúde). Neste período surgiram os instrumentos de manutenção preditiva, que reforçou o conceito da manutenção preventiva por condição, do monitoramento contínuo.

Com o avanço da informática os computadores tornaram a serem menores e mais rápidos, com isso foi possível passou a utilizar softwares historiadores e para o planejamento, controle e acompanhamento dos serviços. (MOUBRAY, 1997), (KARDEC; NASCIF, 2019).

Os profissionais também tiveram que evoluir, precisaram adquirir mais expertise, passou a fazer a Análise de Falhas da Causa Raiz a RCFA (*Root Cause and Failure Analysis*), consolidou o PCM (Planejamento e Controle da Manutenção), ou seja, passou a trabalhar com a engenharia de manutenção. Na segunda geração da manutenção o objetivo da manutenção era preservar o equipamento, na terceira o objetivo mudou para preservar as funções dos equipamentos, de modo a proporcionar uma maior disponibilidade com confiabilidade eficaz ao ativo com custo otimizado (KARDEC; NASCIF, 2019), (TELES, 2018).

A Quarta Geração da Manutenção, começa a surgir após o ano 2000, com o objetivo de atender a gestão do ativo, com o aparecimento do termo Indústria 4.0 em 2011 a quarta geração da manutenção começou a ser reconhecida como a Manutenção 4.0. A filosofia deste tipo de manutenção é atender com agilidade, qualidade, confiabilidade, produtividade e redução de custos, e uma das formas de alcançar esse objetivo elevar Manutenibilidade ou manutenibilidade do inglês *maintanability* que é a característica de acessibilidade das ações de manutenção que um projeto, sistema ou equipamento possui. Pode se dizer que um equipamento tem maior ou menor manutenibilidade em função do grau de facilidade em relação ao tempo de realizar os serviços de manutenção, se o equipamento permite um retorno operacional mais rápido após executar a manutenção, significa que tem uma boa manutenibilidade. O crescimento desta característica nos equipamentos por parte dos fabricantes mostra o novo conceito de “Fazer menos, com menos”, ou seja, realizar cada vez menos atividades de manutenção, com recursos cada vez mais otimizados (TELES, 2018), (KARDEC; NASCIF, 2019).

Na Manutenção 4.0 surge o conceito da Manutenção Prescritiva, que trabalha com diversas tecnologias como os sistemas Ciber-Físicos, Robôs Autônomos e Colaborativos, Big Data, Inteligência Artificial (AI), Machine Learning e outras, na finalidade de aumentar a performance do ativo eliminando possíveis falhas. Nessa geração a manutenção preditiva é consolidada, pois as tecnologias mencionadas associadas as técnicas de automatização permitem extrair padrões da análise estatística e computacional do alto volume de dados capturados, o resultado desta análise são prescrições de ações de manutenção a equipamentos

ou sistemas. Na Indústria 4.0 a forma de operar e manter são com uso de tecnologias que torna possível diminuir ou até isentar uma intervenção humana, com isso poder ter uma maior precisão a vida útil de equipamentos, seu risco de falha e os impactos sobre o sistema e sua vizinhança (SENA, 2017).

Cada vez mais novos softwares, sensores e métodos são desenvolvidos a todo o momento, estes sistemas otimizará a utilização dos equipamentos de forma a diminuir o tempo parado e os custos com componentes de reposição. Neste cenário a engenharia de manutenção tem que estar em nível de notoriedade, o profissional de manutenção deve se manter atualizado com as novas tendências e com foco no desenvolvimento de soluções inovadoras para seus produtos e serviços. A Figura 3 mostra a evolução das técnicas de manutenção ao longo do tempo (TELES, 2018).

Figura 3 – A evolução das técnicas de manutenção ao longo do tempo.

1° GERAÇÃO MANUTENÇÃO 1.0		2° GERAÇÃO MANUTENÇÃO 2.0		3° GERAÇÃO MANUTENÇÃO 3.0		4° GERAÇÃO MANUTENÇÃO 4.0	
<ul style="list-style-type: none"> • Conserto após a falha; • Modelo Reativo; • Manutenção Corretiva; • Altos custos. 		<ul style="list-style-type: none"> • Revisões programadas; • Manutenção Preventiva baseada no tempo; • Computadores grandes e lentos; • Início PCM. 		<ul style="list-style-type: none"> • Automação industrial; • Início do RCM; • Vida útil maior; • Foco na Confiabilidade e na Disponibilidade; • SMS • Manutenção Preditiva; • Preventiva baseada na condição; • Monitoramento contínuo; • Comput. menores e rápidos; • Software Historiadores; • Profissionais com maior expertise; SMS • RCFA e consolidação do PCM; • Aplicação da Eng. Manutenção 		<ul style="list-style-type: none"> • Gestão de ativo; • Manutenibilidade • Recursos otimizados • Manutenção Prescritiva • Consolidação Preditiva; • Sistemas Ciber-Físicos; • Robôs Autônomos e Colaborativos; • Big Data; • Machine Learning; • Inteligência Artificial; • Eliminação falhas • Eng. Manutenção em nível de notoriedade; 	
ATÉ 1950		1950 – 1975		1975 – 2000		2000 – ATUALIDADE	
ALTO CUSTO COM BAIXA DISPONIBILIDADE				CUSTOS ACEITÁVEIS COM ALTA DISPONIBILIDADE			

Fonte: Elaboração do autor.

2.4 Tipos Manutenção

Conforme Kardec e Nascif (2019) e Branco Filho (2008), os principais tipos de manutenção são:

- Manutenção Corretiva Não Planejada;
- Manutenção Corretiva Planejada;
- Manutenção Preventiva;
- Manutenção Preditiva;
- Engenharia de Manutenção.

2.4.1 Manutenção Corretiva

Segundo Alan Kardec e Júlio Nascif (2019), a manutenção corretiva é a atuação para a correção da falha ou desempenho menor que o esperado. O principal objetivo da manutenção corretiva é corrigir ou restaurar as condições de funcionamento do equipamento ou sistema. Isto pode ser realizado de duas maneiras:

- **Manutenção corretiva não planejada** – é a correção de uma falha ou um desempenho menor do que esperado. Neste caso não há tempo para preparação do serviço.

- **Manutenção corretiva planejada** – É a correção de uma falha já esperada ou do desempenho menor que o esperado. Esta correção planejada pode ser feita em função do acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar até a falha.

2.4.2 Manutenção Preventiva

Segundo Alan Kardec e Júlio Nascif (2019) é uma manutenção planejada que previne a ocorrência da corretiva, ou seja, procura prevenir a falha antes que ela aconteça. Com a manutenção preventiva, é possível reduzir ou evitar a falha ou queda do desempenho do equipamento ou sistema, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos pré-estabelecidos de tempo, ou baseadas nas condições fornecidas pela preditiva. Na aviação, a manutenção preventiva é imperativa para determinados sistemas ou componentes, pois o fator segurança é primordial.

A manutenção preventiva é aquela que se conduz aos intervalos pré-determinados com o objetivo de reduzir a possibilidade de o equipamento situar-se em uma condição abaixo do nível requerido de aceitação. Esta manutenção pode tomar por base intervalos de tempo pré-determinados e/ou condições preestabelecidas de funcionamento, podendo ainda requerer que, para sua execução o equipamento seja retirado de operação (BRANCO FILHO, 2008)

2.4.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é um tipo de manutenção onde há o monitoramento regular das condições reais dos equipamentos e processos, fornecendo os dados necessários para assegurar o intervalo máximo entre os reparos. Ela também minimizará o número e o custo das paradas não programadas criadas por falhas da máquina, e melhorará a disponibilidade global das plantas operacionais. (KARDEC; NASCIF, 2019; BRANCO FILHO, 2008)

No programa de manutenção preditivo usa monitoramento direto das condições mecânicas, rendimento do sistema e outros indicadores para determinar o tempo médio para falha real ou perda de rendimento para cada máquina e sistema na planta industrial. Destacam-se algumas técnicas preditivas:

- Ensaio não destrutivo (Partículas magnéticas, Ultra-som, Líquidos penetrantes);
- Termografia;
- Análise de vibrações;
- Análise de lubrificantes. (Espectrometria e Ferrografia);
- Análise de parâmetros elétricos em motores e geradores;
- Emissão acústica;
- Captação de ultrassom;
- Boroscopia.

2.4.4 Engenharia de Manutenção

Segundo Kardec e Nascif (2019) a Engenharia de Manutenção é o conjunto de atividades que permite que a confiabilidade seja aumentada e a disponibilidade garantida. É deixar de ficar consertando, convivendo com problemas crônicos, melhorar padrões de

desempenho e sistemáticas, desenvolver a manutenibilidade, procurar a raiz do problema, as causas das falhas, darem feedback ao projeto e interferir tecnicamente nas compras.

A engenharia de manutenção tem o objetivo de perseguir o benchmark (referência de excelência) focalizando na disponibilidade, confiabilidade e em uma boa manutenibilidade a um custo aceitável. Esta visão começa a ser pensada e idealizada no projeto, depois na fabricação, instalação e finalmente na manutenção em si.

2.5 As Metas e Benefícios da Manutenção 4.0

A Manutenção 4.0 é um pilar de grande importância para o sucesso da Indústria 4.0, um dos motivos são suas metas de ter maior agilidade, qualidade, confiabilidade, produtividade e redução de custos nos seus processos produtivos. No Brasil segundo levantamento da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), existe uma estimativa de redução na ordem de 72 bilhões/ano sobre os custos industriais, essa economia se deve a mudança das empresas ao utilizar o conceito da indústria 4.0. A ABDI informa que R\$ 34 bilhões/ano de economia se devem aos ganhos de eficiência, uma redução nos custos com a manutenção na ordem de R\$ 31 bilhões/ano e R\$ 7 bilhões/ano com o consumo de energia. (HUB I4.0, 2018), (SANTOS; MANHÃES; LIMA, 2018).

Na manutenção convencional, quando ocorre falha no equipamento, o setor de operação tem que solicitar ao mantenedor para descobrir a causa e reparar o equipamento para que possa desempenhar a sua função requerida, já com a utilização do conceito da manutenção prescritiva, este mesmo equipamento está sendo analisado por um conjunto de tecnologias como a *IoT*, *Big Data*, *IA*, *Machine Learning* e outras, que tem o objetivo de enviar em tempo real possíveis problemas que possam aparecer em determinado tempo e tomar ações de controle para mitigar possíveis falhas inesperadas (MATYAS et al., 2017), (SANTOS; MANHÃES; LIMA, 2018).

A manutenção preditiva tem a finalidade de verificar as condições dos componentes que compõem as máquinas, a verificação das condições tem o benefício de avaliar a máquina ou sistema, sem que seja preciso parar o processo, caso seja necessário intervir devido a um problema eminente o planejamento poderá ser realizado com uma menor perda produção e

danos ao equipamento. Na indústria 4.0 a preditiva aliada à prescritiva possui processos inovadores, por exemplo, os dados coletados não ficam registrados em uma única central, fica em sistema de “nuvem” onde softwares analíticos com inteligência artificial hábil a executar decisões, processar informações sem a intervenção humana, buscando evitar falhas, de modo a facilitar e agilizar as ações de manutenção (LEVANDOSKI, 2018).

O resultado é a eficiência do processo e produtos de melhor qualidade, é a inovação beneficiando as empresas. Processos com o uso da manutenção prescritiva conseguem encontrar desvios que anteriormente eram sutis demais para serem encontrados, e com a nuvem, é possível acessar e analisar os processos de fábricas em diversas localidades no mundo (HUB I4.0, 2018), (LEVANDOSKI, 2018).

Pode-se citar um exemplo prático desta mudança de paradigma, onde para a manutenção preditiva convencional é necessário enviar especialistas altamente treinados para coletar leituras de análise de vibração em compressores, bombas, motores, caixas de engrenagens e outros equipamentos. Na filosofia da Manutenção 4.0 cada equipamento possui sensor de vibração sem fio conectado a um servidor em nuvem e a uma máquina com IA, o software instalado possui perfil de aprendizado para analisar os padrões complexos e fornecer aconselhamento de serviço automatizado ao especialista ou outro responsável do ativo evitando perda de tempo do especialista em vibrações com a coleta de dados e com análises desnecessárias, quando necessário, a análise de um possível problema será encaminhada para o especialista no assunto. Neste conceito as decisões são “digitalmente assistidas” com uma combinação entre homem e máquina (TERRENCE, 2018).

2.5 Modelagem de processos

A Gestão de processos, *Business Process Model* (BPM), é um conjunto de técnicas associadas que tem o objetivo de gerenciar processos de negócio através de ferramentas tecnológicas. O BPM através do uso de técnicas e ferramentas tem a finalidade de aprimorar os processos de negócios das organizações, modelando, analisando, publicando e controlando os processos de negócios envolvendo os aspectos estratégicos, organizacionais, sistemas aplicativos e humanos (ABPMP, 2020).

Brocke e Rosemann (2013) defende que o BPM é um sistema abrangente de gestão e transformação das operações das instituições, com o foco em aumentar o desempenho organizacional.

A modelagem de processo de negócios é uma ferramenta gerencial e de comunicação, pode mostrar de modo gráfico os processos de uma empresa, esse tipo de ferramenta permite a uma visão do funcionamento dos processos dentro de uma instituição, pode também ajudar na melhoria dos processos existentes ou na implantação de uma nova estrutura. Ter o conhecimento do fluxo dos processos de uma instituição é muito importante para melhorar ou ajustar as ações, inovadoras que contribuam na elaboração do processo e na performance do ativo (COSTA; et al., 2018).

Para que seja utilizada de forma adequada à modelagem de processos precisa passar por um entendimento de alguns conceitos, símbolos e regras padronizadas, o mais indicado deles é a Notação BPMN (*Business Process Model and Notation*), que é uma representação gráfica feita a partir de ícones que simbolizam o fluxo de um processo. O BPMN é uma das notações mais utilizadas atualmente para modelagem de processos, sua principal finalidade é fornecer uma notação compreensível a todos, do analista, aos técnicos e gestores, ou seja, todos os envolvidos que irão desenvolver, implementar, gerenciar e monitorar os processos (JASIULEWICZ-KACZMAREK et al., 2018).

Para que seja utilizada de forma adequada à modelagem de processos precisa passar por um entendimento de alguns conceitos, símbolos e regras padronizadas, o mais indicado deles é a Notação BPMN, que é uma representação gráfica feita a partir de ícones que simbolizam o fluxo de um processo (COSTA; et al., 2018).

A Notação para Modelagem de Processos de Negócio (*Business Process Model and Notation – BPMN*) estabelece uma padronização do modo de representar os processos de modo gráfico. Esse padrão possui um conjunto de conceitos, símbolos e regras padronizadas que permite modelar diferentes fluxos de processos. O BPMN descreve o sentido de cada etapa do processo através de diagramas, com essa modelagem é possível a ter uma visão holística, rápida e direta de todo o processo de negócio, ou seja, ter uma visão de ponta a ponta de um todo. O sistema BPMN podendo alcançar vários níveis de detalhamento, onde pode mostrar o que acontece ou o que pode acontecer dentro do processo (CAVALCANTI, 2017).

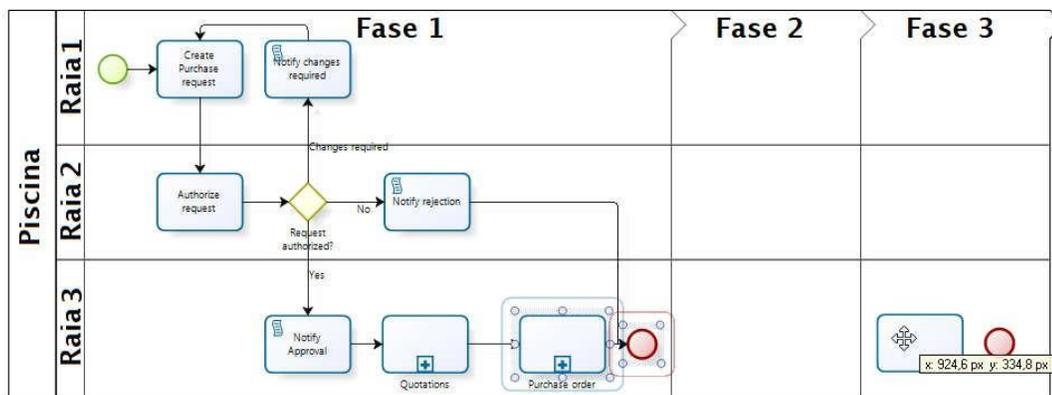
Um software de BPMN muito utilizado é o *Bizagi Modeler*, com esse software as organizações podem criar e documentar processos de negócio para obter uma melhor compreensão de cada passo do processo, identificar oportunidades de melhoria e aumentar a eficiência organizacional (BIZAGI, 2021).

O BPMN tem um conjunto de símbolos e regras, que estão organizados em quatro grupos: *Swimlanes*, Objetos de Fluxo, Artefatos e Objetos de Conexão.

A categoria *Swimlanes* possui divisões denominadas de Piscina (*Pools*), Raia (*Lanes*) e Fases (*Milestone*), com a finalidade de organizar as atividades em categorias visuais separadas, subdividindo o processo de acordo com as etapas envolvidas (THOM; AVILA, 2020). A Figura 4 mostra o esquema gráfico da piscina, das raias e as fases. Para facilitar o entendimento à piscina é toda a área, a raia divide a piscina na horizontal e as fases na vertical.

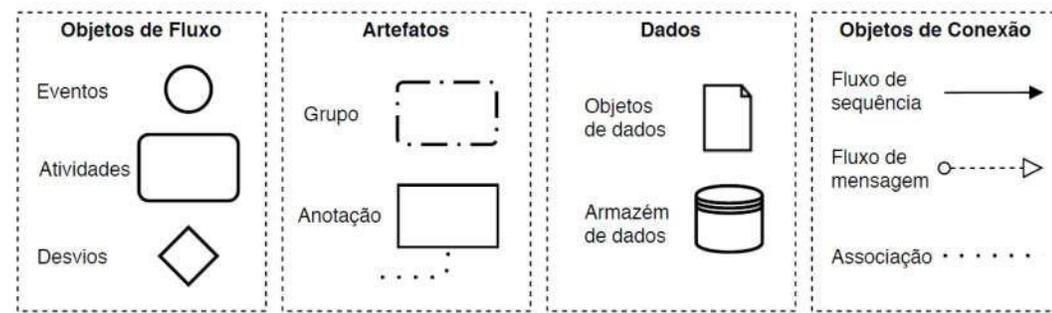
Os objetos de fluxo são os principais elementos gráficos da BPMN, que definem o comportamento do processo através das atividades, eventos e decisores (Figura 5). As Atividades são as tarefas que precisam ser realizadas dentro de um processo os elementos que representam o trabalho que precisa ser executado dentro do processo, podendo ser divididas em subprocessos e tarefas, já os Eventos representam situações que acontece no processo, podem ser de início, intermediários e de fim e os Decisores representam um ponto onde o fluxo precisa ser controlado, onde pode definir a execução de uma atividade seja feita paralelamente ou somente quando uma condição é atendida (COSTA; et al., 2018).

Figura 04 – O esquema gráfico da piscina, das raias e as fases.



Fonte: Bizagi (2020) com adaptações.

Figura 5 – Os principais símbolos usados na notação BPMN



Fonte: Thom e Avila, 2020

Os Artefatos (Figura 5) são utilizados para agregar informações adicionais ao processo que está sendo desenvolvido, que podem ser divididos em Grupos, Anotações e Dados (Objeto de dados ou Armazém de dados). Os objetos de conexão (Figura 5) representam a maneira que os elementos em um fluxo se conectam entre si, que se divide em Fluxo de sequência, Fluxo de mensagens e Associação de artefatos (THOM; AVILA, 2020).

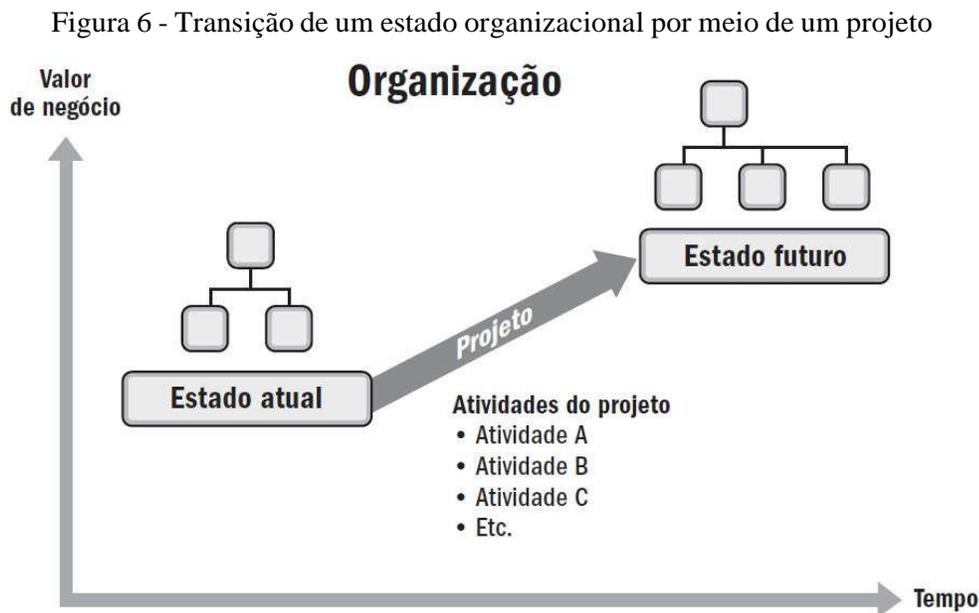
2.6 Gestão de Projeto - *Project Model Canvas*

Kerzner (2017) considera um projeto uma série de atividades que tenham um objetivo específico, com datas de início e fim determinadas, caso seja aplicável ter um limite de custo, um projeto também deve utilizar recursos humanos e materiais como insumos e equipamentos.

Outra definição de projeto é pelo PMI (*Project Management Institute*), o qual define projeto como um esforço temporário empreendido, em todos os níveis organizacionais, para criar um produto, serviço ou resultado único. Um projeto pode envolver um único indivíduo, um grupo, uma organização ou múltiplas unidades organizacionais de múltiplas organizações. Já o gerenciamento de projetos é a aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto a fim de cumprir os seus requisitos (PMI, 2017).

Os projetos têm uma grande importância, pois criam valores de negócios e benefícios para pessoas e organizações, aumenta a probabilidade de sucesso, otimizam melhor o tempo e os recursos. Projetos de uma forma geral tendem a serem empreendimentos temporários com a característica de impulsionar mudanças, mover uma organização de um estado a outro

(Figura 6), de modo a alcançar seus objetivos, deixando o seu legado por meio de suas entregas, que podem ser tangíveis ou intangíveis (PMI, 2017).

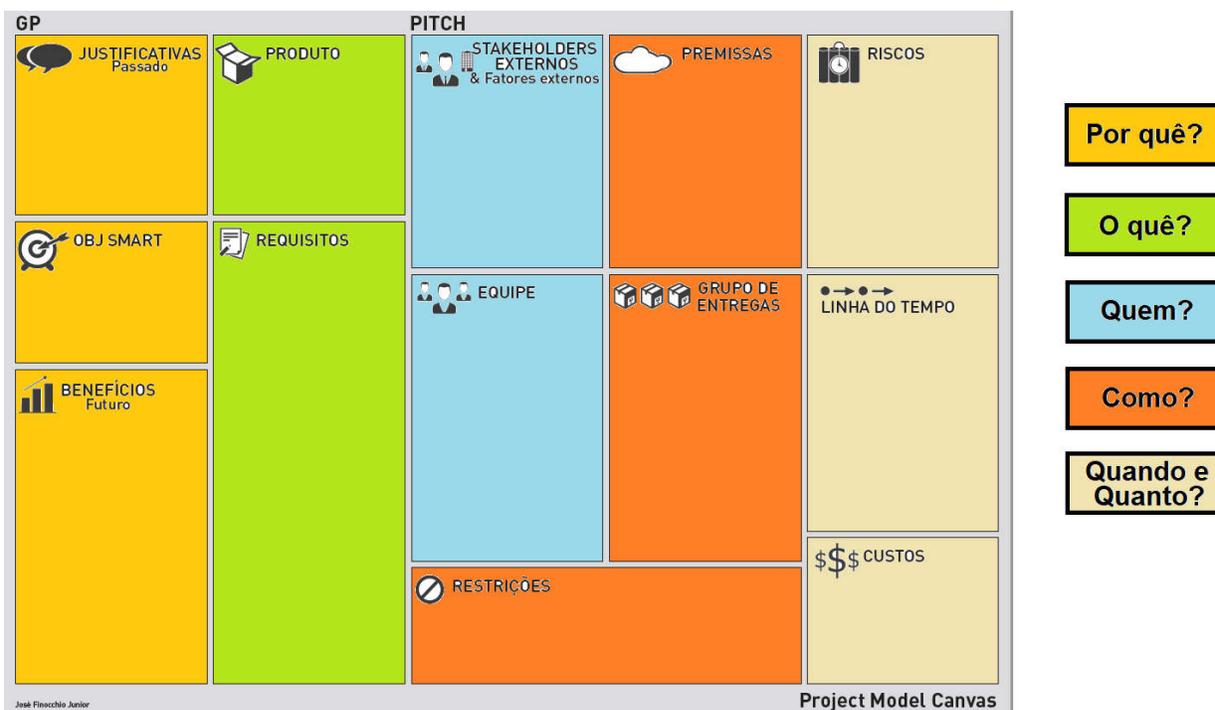


Fonte: PMI (2017)

Para melhor organizar o contexto dos processos no gerenciamento de projetos, o recomendável é utilizar uma ferramenta que possa organizar as ideias, deixar claros os objetivos e suas fases, de modo que o processo fique compreensível de forma rápida aos membros envolvidos e para as pessoas que não estão acostumados com nomenclatura técnica. O *Project Model Canvas* ou PM Canvas tem essa característica, por ser uma metodologia de gerenciamento de projetos que proporciona a visualização e concepção do plano de projeto de uma forma lúdica e eficiente (SANTOS; WERNECK, 2014), (FINOCCHIO, 2013).

O PM Canvas é composto basicamente de a uma folha de papel grande e blocos de notas, onde as pessoas envolvidas no projeto inserem os blocos de notas com as respectivas informações nos seus respectivos campos desta forma os pensamentos e planejamentos são trabalhados de forma visual, tendo assim um entendimento mais rápido do projeto que está sendo criado, reduzindo o tempo na coleta e organização das informações. A Figura 7 mostra as partes que integram o *Project Model Canvas*, onde são organizadas de maneira estratégica (SANTOS; WERNECK, 2014), (FINOCCHIO, 2013).

Figura 7 – O Project Model Canvas



Fonte: Adaptado de Finocchio (2013).

Segundo Finocchio (2013), PMI (2017), Project Builder (2015) as partes que integram do PM Canvas, pode se dividir da seguinte forma:

A região do “Por quê” (amarela) responde o porquê da realização do projeto, tem o objetivo de buscar respostas para o planejamento, analisar o estado atual da instituição, verificar os principais problemas para que seja possível direcionar as necessidades que devem ser atendidas. Para isso é necessário responder os seguintes blocos.

Justificativa – Neste campo informa os problemas que a organização está enfrentando e suas necessidades que precisam ser atendidas.

Objetivo Smart – Informa os objetivos do projeto de uma maneira específica, que tenha uma previsão de tempo e custo, seja realista, de modo a ser possível de ser executado.

Benefícios – Relata qual o benefício que a instituição vai ter após a implantação do projeto.

Na região do “O quê” (verde) devem constar as necessidades serão atendidas, quais serão os produtos, serviços ou resultados entregues ao final do projeto.

Produto – Tem a finalidade de descrever o resultado final do projeto, que pode ser também um serviço ou um resultado.

Requisitos – Informa a qualidade do que será entregue (produto/serviço/resultado).

Na região do “Quem” (azul) devem constar quem participa do projeto (Stakeholders e Equipe).

Stakeholders – Mostra as partes interessadas, informa quem são as pessoas ou as organizações que podem ser afetadas pelo projeto.

Equipe – Neste campo são informados os responsáveis que a missão de realizar o projeto.

Na área do “Como” (laranja) tem a finalidade de responder como o projeto será trabalhado para ser entregue. Informa como o projeto seja realizado de uma maneira organizada, definindo as entregas, premissas e restrições.

Premissas – Informam os eventos ou as circunstâncias do que pode ocorrer na realização do projeto, são fatores externos ao projeto que ainda são incertos ou que dependem de outras partes, que não estão sob o controle da equipe ou do gerente de projeto.

Grupo de Entregas – É o campo onde se especifica o que será entregue pelo projeto, ou seja, é o produto final que pode ser dividido em etapas, fases ou outras formas. Essas informações do que será entregue deverão ser tangíveis, mensuráveis e concretas.

Restrições – Nesse quadro, são descritas as limitações do projeto, são informações oriundas de qualquer natureza que pode impactar no trabalho da equipe e na elaboração do projeto.

Na área do “Quando e Quanto” (bege) são informados os prazos e os custos do projeto. No planejamento do projeto devem ser informados os riscos, a estimativa de custo e o prazo para entrega dos trabalhos.

Riscos – Mostram eventos incertos que podem ocorrer, esses eventos podem ser de natureza positiva ou negativa que irão afetar os objetivos do projeto.

Linha do Tempo – Informa quando vão ocorrer as entregas do Grupo de Entregas.

Custos – Mostra quanto será o custo para realizar o projeto.

3 METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa qualitativa “é definida como aquela que privilegia a análise de microprocessos, através do estudo das ações sociais individuais e grupais, realizando um exame intensivo dos dados” (MARTINS, 2004).

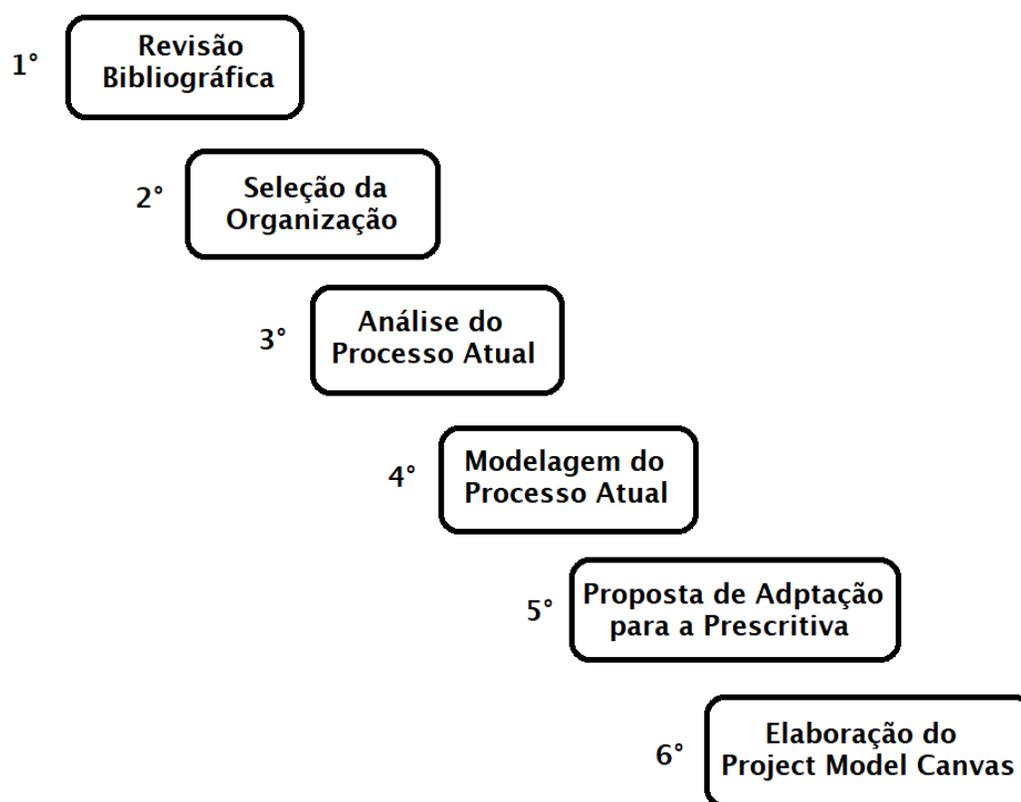
Na pesquisa para a elaboração desse trabalho foi à utilização de vários materiais de pesquisa, como artigos científicos relacionados ao assunto, livros, sites específicos, dados reais coletados no campo e o conhecimento empírico das partes envolvidas. Após a pesquisa foi possível selecionar o material necessário para a confecção do estudo, compondo assim a base bibliográfica. A pesquisa foi realizada seguindo uma linha de abordagem, com conteúdos similares, com o propósito de identificar a perspectiva da manutenção prescritiva que atende a Indústria 4.0.

A metodologia de pesquisa foi dividida em seis etapas (Figura 8), conforme pode ser visto a seguir:

- 1º Etapa – Revisão bibliográfica sobre os seguintes conteúdos: a evolução da indústria até chegar à quarta revolução industrial, uma abordagem sobre as essências tecnológicas para formar a indústria 4.0, uma breve história descrevendo as mudanças no modo de manter no decorrer dos anos até o conceito da manutenção prescritiva, uma abordagem sobre gestão projetos e gestão de processos, e finalmente uma perspectiva a respeito da manutenção prescritiva. E também foi realizada uma pesquisa quantitativa em artigos e patentes sobre a Indústria 4.0 e a manutenção;
- 2º Etapa – Seleção da organização utilizada como estudo empírico;
- 3º Etapa – Análise do processo atual da manutenção da organização selecionada por meio do conhecimento empírico, *brainstorming* (chuva de ideias) e a utilização de questionário com colaboradores que atuam neste processo da organização. Este processo trabalha com as manutenções corretivas, preventivas e preditivas;

- 4º Etapa – Modelagem do processo atual de manutenção e validação da mesma com colaboradores da organização que atual neste processo, utilizando a notação de modelagem de processos de negócios conhecida como BPMN (*Business Process Model and Notation*);
- 5º Etapa – Proposta da adaptação do modelo de manutenção elaborado na quarta etapa de forma que esta atenda os padrões da Manutenção Prescritiva. Esta adaptação corresponde à manutenção prescritiva e a modelagem para este processo foi elaborada a partir da revisão da literatura;
- 6º Etapa – Elaboração de plano de projeto utilizando o Project Model Canvas para implementação da manutenção nos moldes da filosofia da Manutenção Prescritiva, de acordo com a modelagem proposta na quarta etapa.

Figura 8 – Etapas da metodologia de pesquisa



Fonte: Elaboração do Autor

4 TRABALHOS RELACIONADOS

Realizada uma pesquisa em artigos e patentes sobre a Indústria 4.0 e a Manutenção Prescritiva para estabelecer um parâmetro quantitativo de como os assuntos pesquisados estão sendo publicados. A pesquisa foi realizada na base Scopus foram analisados artigos científicos publicados sobre o assunto.

Para localizar na base de dados Scopus os artigos relativos à Manutenção Prescritiva e a Indústria 4.0 a consulta foi realizada da seguinte forma. Para encontrar documentos associados à Manutenção Prescritiva ou Manutenção 4.0 combinou os seguintes tesauros: *"prescriptive maintenance" or " prescriptive upkeep" or " prescriptive keeping" or " prescribed maintenance" or "maintenance 4.0" or "upkeep 4.0" or "keeping 4.0"*.

Para encontrar documentos relacionados com a Indústria 4.0 foi utilizado o seguinte tesauro: *("Industry 4.0" OR "Factory 4.0" OR "Production 4.0" OR "Management 4.0" OR "Lean 4.0") AND "Manufacturing 4.0"*. Com essas combinações de termos foram encontrados, na base Scopus, 16 documentos relacionados ao assunto. Após análise destes documentos, foram selecionados os 10 trabalhos relacionados, conforme segue.

Valamede, Akkari e Cristina (2020)

Para os autores, as atividades de manutenção são essenciais para o bom funcionamento dos equipamentos e conseqüentemente o processo produtivo. A eliminação das falhas e a otimização da produção são dois dos principais pré-requisitos nas indústrias de manufatura. A importância dessas atividades se destaca ainda mais nas fábricas inteligentes, uma vez que a complexidade técnica e a quantidade de artefatos inteligentes são maiores e ações não planejadas resultam prejuízos para a organização. A manutenção nas fábricas 4.0 tem um papel fundamental no resultado da organização, já que as máquinas estão interligadas com sistemas de informação e comunicação na nuvem. Quando ocorre falha em uma das máquinas o próprio sistema envia o fato à operação e aciona a equipe de manutenção, isso resulta em menos falhas, menos tempo de manutenção e conseqüentemente menos danos.

Navas, Sancho e Carpio (2020)

Na fase projetar um produto que possa interagir com a Manutenção 4.0, os autores defendem que são necessárias algumas especificações básicas, pois o sucesso na integração

das novas tecnologias nos processos de manutenção se deve na fase de elaboração produto. Primeiramente o projeto deve minimizar o tempo de manutenções corretivas e preventivas manutenção, em segundo possuir sensores que permitem o monitoramento em tempo real para que seja possível implementar técnicas de manutenção preditiva. Deve possuir também portas de comunicação exclusivas para a manutenção e softwares de testes para as tarefas de manutenção. E finalmente um controle de supervisão e aquisição de dados desenvolvido em configuração de servidor web para facilitar o acesso de qualquer lugar.

A estratégia de manutenção deve ser de ações preditivas com um modelo de tempo adaptativo, ou seja, um plano de manutenção preditiva antecipando a falha funcional, a manutenção preventiva deve ser limitada à limpeza, lubrificação, detecção falhas ocultas e as manutenções legais sujeitas às normas de segurança industrial, já a manutenção corretiva deve ser tratada como um fracasso da manutenção.

Ansari, Glawar e Nemeth (2019)

De acordo com os autores, a tecnologia em ascensão da Indústria 4.0 atua como um propulsor para a mudança do paradigma da manutenção, a mudança da manutenção descritiva para a manutenção prescritiva, que é compreendida de quatro camadas. A primeira camada é o gerenciamento de dados, ferramentas analíticas de dados preditivos, recomendação e suporte à decisão, bem como a camada de aprendizado. A manutenção prescritiva tem o benefício de aprimorar duas capacidades funcionais, a primeira diz respeito ao processamento eficiente de uma grande quantidade de dados e a outra é gerar medidas de apoio à decisão e recomendações para otimizar e aperfeiçoar os planos e ações de manutenção.

A manutenção baseada no conhecimento emprega uma variedade de métodos, incluindo estatísticas, computação em tempo real, algoritmos de aprendizado de máquina dentre outros. Essa manutenção baseada no conhecimento é categorizada em quatro instâncias ou tipos dependendo na maturidade e complexidade de sua capacidade funcional, podendo responder a uma determinada pergunta da seguinte maneira:

(i) Manutenção descritiva (Tipo I, Baixa Complexidade, Baixa maturidade).

Responde a seguinte pergunta: O que aconteceu? Apóia a coleta de informações e análise e procura aumentar o nível de visibilidade da informação.

(ii) Manutenção de Diagnóstico (Tipo II, Médio Complexidade, Baixa Maturidade).

Responde a seguinte pergunta: Por que aconteceu? Analisa as relações de causa e efeito, aumentando o nível de conhecimento.

(iii) Manutenção preditiva (Tipo III, Alta Complexidade, Maturidade média).

Responde a seguinte pergunta: O que vai acontecer e quando? Utiliza os dados do histórico, acompanha os dados em tempo real e prevê eventos futuros.

(iv) Manutenção prescritiva (Tipo IV, Alta Complexidade, Alta maturidade).

Responde a seguinte pergunta: Como podemos controlar a ocorrência de um evento específico? Faz recomendações e melhorias e para os processos de manutenção, visa o autodiagnóstico dos equipamentos e a manutenção auto programada.

Hammami et al. (2019)

Os autores afirmam que para implementar a Manutenção 4.0 são necessárias sete etapas. A primeira e a segunda etapa há a necessidade *selecionar o ativo, classificar o seu valor e realizar o estudo de viabilidade*. Pois, segundo os autores a implementação da Manutenção 4.0 é baseada na criação de valor, ou seja, a Manutenção 4.0 tem que gerar resultados financeiros positivos ao ativo. Uma ação é entender o funcionamento dos equipamentos e dos processos mais críticos do ativo, relacionado a questão prejuízo ao processo produtivo.

Na terceira etapa ocorre a *Modelagem de confiabilidade* que é o estudo de Confiabilidade dos equipamentos e processos, e na sequência na quarta etapa o *Projeto de algoritmos* onde esse projeto é realizado com um modelo matemático e da criação de um algoritmo correspondente.

Já na quinta etapa são realizados os testes de *Monitoramento de desempenho em Tempo real*, as informações obtidas são armazenadas e integradas ao modelo proposto, na sexta etapa que é a *Previsão de falha* os dados coletados são analisados, refinados e confrontados com os intervalos preventivos e no sétimo ocorre a *Prescrição das tarefas preventivas*.

Jasiulewicz-Kaczmarek e Gola (2019)

Para estes autores, a Manutenção 4.0 é sobre prever falhas futuras em ativos e prescrever ações preventivas mais eficazes, utilizando técnicas analíticas em big data, equipamentos semelhantes para diversos ativos e outras ações que possa elevar o desempenho

do ativo. Os autores propõe o conceito para Análise de Manutenção baseado em quatro fases cronológicas interconectadas: (i) Fase é a *Análise Descritiva de Manutenção* nesta fase trabalha com o histórico de manutenção buscando descobrir e descrever o que aconteceu no passado, como por exemplo, o número de falhas; (ii) Fase vem a ser a *Análise de diagnóstico de manutenção* que foca no entendimento porque ocorreu à falha na compreensão, a causa do evento, a identificação da falha; (iii) Fase a *Análise Preditiva de Manutenção* trabalha em estimar o que acontecerá no futuro, analisando os eventos anteriores e as condições atuais das máquinas para calcular a probabilidade de uma máquina ou sistema operar sem que ocorram falhas futuras; (iv) Fase é a *Análise Prescritiva de Manutenção* que aborda o que precisa ser realizado, com base em dados passados e atuais e os transformam em recomendações de manutenção.

A perspectiva de uma Manutenção 4.0 é com a expectativa de futuro para prever possivelmente vai acontecer. Esse tipo de manutenção diminui o tempo total de inatividade de 30% a 50% e prolonga a vida útil da operação de 20% a 40%.

Poór, Basl e Zenisek (2019)

Na perspectiva da Indústria 4.0, os gerentes de manutenção precisam ser capazes de gerenciar processos de manutenção, de modo a não impactar outros setores do ativo, mantendo a eficiência, a qualidade e segurança. Os autores descrevem que existem duas novas tendências para manutenção atender a Indústria 4.0 a primeira é a capacidade de analisar a enorme quantidade de dados que ativos e máquinas produzem e a capacidade de analisar as necessidades das partes interessadas. Novas tecnologias para o diagnóstico de falhas e a condição de manutenção com ativos aplicados nas máquinas, sensores e conectividade a todo o processo, os produtos industriais serão enriquecidos com serviços individuais, como manutenção.

Câmara, Mamede e Santos (2019)

Um dos principais componentes de uma "Fábrica Inteligente" são os sistemas Ciber-Físicos, que são capazes de se comunicar com outros componentes equipados com a mesma tecnologia de comunicação. De acordo com os autores, o modelo padrão de arquitetura de sistema para Manutenção baseada em condições é compreendido de seis blocos funcionais que são: (i) aquisição de dados por meio da coleta dos dados; (ii) manipulação de dados através de algoritmos definidos; (iii) detecção de estado com o monitoramento de condição;

(iv) avaliação de saúde, considerando os históricos de operação e de manutenção; (v) avaliação prognóstica, onde faz previsão dos ativos no futuro; (vi) geração de consultoria, com a finalidade de fornecer recomendações relacionadas à manutenção.

Cachada et al. (2018)

Defendem a utilização de tecnologias alinhadas com os princípios da Indústria 4.0, essas tecnologias estão interligadas a Internet das Coisas (IoT), como a computação em nuvem, análise de dados avançada e realidade aumentada, onde a análise avançada e online dos dados coletados para a detecção antecipada da ocorrência de possíveis falhas em equipamento e sistemas, oferecendo suporte orientado aos técnicos nas ações de manutenção. Essas ações permitem realizar um melhor planejamento da manutenção, reduz ou eliminar inspeções desnecessárias e diminuir as ações de manutenção preventiva. Um tipo de software com algoritmos de aprendizado de máquina tem a capacidade de orientar os profissionais da manutenção.

Os autores descrevem que as técnicas de manutenção baseada em condição (CBM) utiliza seis fases genéricas para atingir um sistema bem construído: (i) *Aquisição de dados* – coletar os dados; (ii) *Manipulação de dados* – analisar os dados; (iii) *Detecção de estado*; monitora as condições operacionais, limites, indicadores de condições; (iv) *Avaliação de Saúde* – Avalia como todo do sistema, se tem degradação, tendências, status operacional e histórico de manutenção; (v) *Avaliação de prognósticos* – projeta o estado de saúde atual do ativo no futuro; (vi) *Geração de Consultoria* – recomenda ações de manutenção.

Matyas et al. (2017)

De acordo com os autores, a manutenção prescritiva é muito mais do que a previsão de falhas, através da integração dos dados históricos e dos dados em tempo real, aciona medidas necessárias de manutenção, ou seja, prescreve as ações de manutenção. E um dos maiores desafios de implantar e trabalhar com a manutenção prescritiva é a coleta e gestão de dados, um grande problema neste aspecto é a falta de estruturas de dados formalizados.

Conforme os autores, para implantar uma proposta prescritiva o planejamento de manutenção deve ter quatro elementos principais: (i) aquisição e pré-processamento de dados; (ii) análise e simulação de dados; (iii) modelo de reação (iv) sistema de apoio à decisão de manutenção prescritiva.

No primeiro elemento, os dados expressivos sobre manutenção são coletados, classificados e estruturados, em seguida faz as análises dos dados identificando correlações nos dados pré-estruturados. No terceiro elemento é determinado conjunto de regras e realizada a modelagem, onde é previsto a condição com base em falhas de máquina e revela desvios de qualidade em tempo real. Já no o quarto elemento prevê as falhas do sistema e sugere medidas de manutenção prescritivas com base nesta lógica.

Kans, Galar e Thaduri (2015)

Estes autores afirmam que a Manutenção 4.0 fornecerá benefícios como o crescimento socioeconômico, melhorando a capacidade de infraestrutura, segurança e meio ambientes impactos ambientais. Irá possuir materiais e processos inteligentes, às metodologias de manutenção visando a automanutenção e o autorreparo, aumentando a performance dos ativos reduzindo as paradas não planejadas.

Alguns autores recomendam diferentes fases, etapas, arquiteturas ou estruturas, para a implantação da Manutenção 4.0, conforme a Tabela 1.

Jasiulewicz-Kaczmarek e Gola (2019) propõem o conceito para a análise de manutenção baseado em quatro fases cronológicas interconectadas, no entanto Hammami, Ahmed et al. (2019) defendem que a implementação deve passar por sete etapas.

Já Cachada et al. (2018) descrevem que a implementação da manutenção utilizando as tecnologias alinhadas com os princípios da Indústria 4.0 deve passar por seis fases genéricas para atingir um sistema bem construído.

Contudo, Matyas et al. (2017) demonstram que para implantar uma proposta prescritiva o planejamento de manutenção deve ter quatro elementos principais, e de acordo com Câmara, Mamede e Santos (2019) o modelo padrão de arquitetura de sistema para Manutenção baseada em condições deve ser compreendido em seis blocos funcionais.

Tabela 1 – As fases, etapas, arquiteturas ou estruturas, para a implantação da manutenção

	Jasiulewicz-Kaczmarek e Gola (2019)	Hammami, Ahmed et al. (2019)	Cachada, Ana et al. (2018)	Matyas et al (2017)	Câmara, Mamede e Santos (2019)
1°	Análise Descritiva de Manutenção	Selecionar o ativo, classificar o seu valor.	Aquisição de dados	Aquisição e pré-processamento de dados	Aquisição de dados
2°	Análise de diagnóstico de manutenção	Realizar o estudo de viabilidade.	Manipulação de dados	Análise e simulação de dados	Manipulação de dados
3°	Análise Preditiva de Manutenção	Modelagem de confiabilidade	Deteção de estado	Modelo de reação	Deteção de estado
4°	Análise Prescritiva de Manutenção	Projeto de algoritmos	Avaliação de Saúde	Sistema de apoio à decisão de manutenção prescritiva	Avaliação de saúde
5°		Monitoramento de desempenho em Tempo real,	Avaliação de prognósticos		Avaliação prognóstica
6°		Previsão de falha	Avaliação de prognósticos		Geração de Consultoria
7°		Prescrição das tarefas preventivas.			

Fonte: Elaboração do Autor

5 O PROCESSO CONVENCIONAL DA MANUTENÇÃO NA ORGANIZAÇÃO

5.1. Seleção da Organização

Por meio de um estudo empírico, o processo de manutenção convencional descrito foi baseado em um dos vários processos de trabalho utilizado por uma empresa petrolífera, localizada na bacia de Campos, no estado do Rio de Janeiro, que precisa de ações de manutenção para operacionalizar o seu negócio, que é a produção e o transporte de petróleo e seus derivados.

5.2. Análise, Modelagem e Validação do Processo de Manutenção da Organização

Toda demanda de manutenção tem uma origem oriunda de necessidades pré-determinadas ou de necessidades no decorrer do processo. Quando se visualiza o processo de manutenção alguns pontos devem ser analisados, o primeiro é como as solicitações de manutenção são geradas, o segundo como são trabalhadas e em terceiro como são registradas e finalizadas.

Para atender as demandas de manutenção (corretiva, preventiva e preditiva) o processo de manutenção convencional inicia-se pela solicitação de serviço que podem ser realizadas pela área operacional, inspeção ou manutenção, esses serviços podem ser planejados ou não planejados. Podem ser não planejados que é uma característica dos serviços corretivos, que podem ser emergenciais ou não. Os serviços de manutenção podem ser gerados também por um plano de manutenção pré-elaborado, que atende um plano de manutenção preventiva e preditiva. Atualmente a maioria das empresas trabalha com sistemas informatizados para manutenção, que são softwares que auxiliam no planejamento, controle e organização da manutenção.

Ao gerar uma nova solicitação de manutenção alguns pontos devem ser conferidos como verificar se existe uma solicitação para o mesmo serviço, se é realmente necessário, qual o setor responsável em realizar a tarefa (onde será atribuído o custo) e outros pontos necessários de acordo com tipo de serviço. Após checar os pontos que antecede a abertura da solicitação deve-se informar a prioridade (normal, urgência, emergência e outros) na sequência a mesma recebe uma identificação (um número ou um código alfanumérico) e é encaminhada ao setor responsável em gerenciar (tratar e executar) a solicitação.

No setor responsável em gerenciar a realização da solicitação gerada tem como primeira etapa o planejamento, onde serão definidos alguns pontos como os recursos necessários (material, mão obra, equipamentos de apoio e outros), se vai haver necessidade de contratar serviços externos, aluguel ou compra de ferramentas, compra de material adicional, faz o detalhamento do serviço, ou seja, as tarefas que serão necessárias para realizar o serviço e outros.

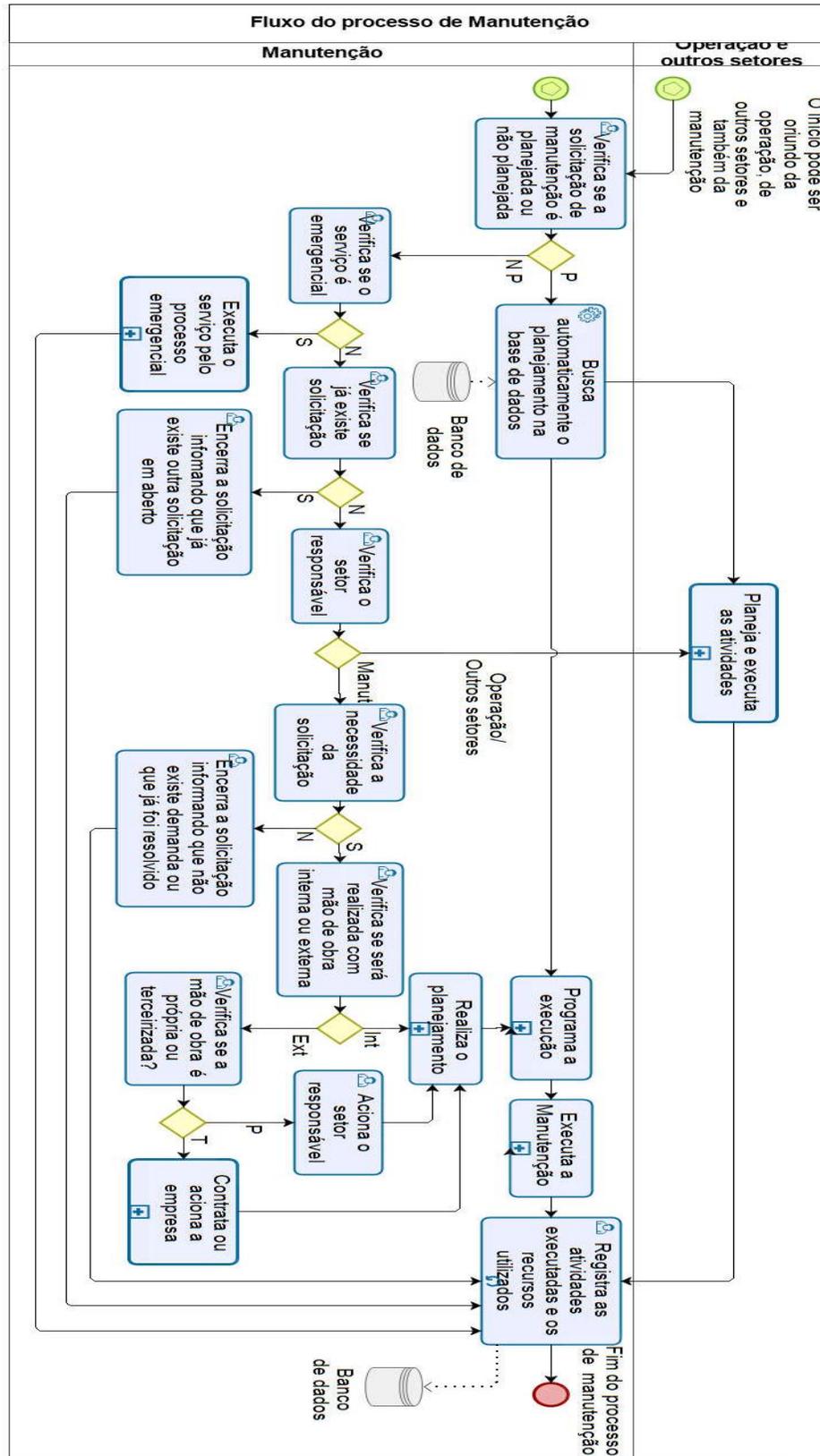
Com o planejamento realizado (todos os recursos disponíveis para a realização da atividade) ocorre à programação para executar o trabalho, nessa etapa é definida a ordem de execução dos serviços em função de sua prioridade, a data de abertura e a disponibilidade de liberação pela operação do equipamento ou do sistema a ser mantido.

Com a tarefa realizada ou durante a execução da tarefa (quando leva mais de um dia) são apropriados os recursos que foram utilizados como pessoal (h/h), materiais que foram aplicados, se houve custos com serviços de terceiros e outros. Após a execução da atividade é a etapa de registrar as informações necessárias para encerrar a ordem de serviço, caso seja necessário realizar outra atividade correlacionada a que estava sendo realizada pode adicionar os itens que foram realizados ou cria outra solicitação para atender a demanda encontrada.

As informações registradas desde a abertura até o encerramento de uma solicitação de manutenção são importantes para o gerenciamento da manutenção, pois os dados armazenados em um banco de dados que irá constar o histórico de manutenção dos equipamentos e os custos. Com esses dados é possível avaliar a questão de problemas recorrentes, tempo de máquina parada entre outros, ou seja, são informações que podem ser utilizadas tanto para a área técnica como para a área de gestão.

Dependendo da estrutura organizacional da empresa o gerenciamento da manutenção pode mudar, a operação e a manutenção podem estar na mesma gerência ou em gerências separadas. Pode haver a distinção que determinados serviços que são atribuídos a uma gerência e outros tipos de serviço a outra gerência, o setor de compras e controle de materiais pode estar interligado ou separado. O fato concreto é há a necessidade de gerenciar a manutenção e cada instituição procede da melhor maneira que acredita. A Figura 9 mostra a modelagem do processo convencional da manutenção.

Figura 9 – O processo convencional na manutenção



A validação do processo convencional da manutenção foi através de uma pesquisa com profissionais da área de manutenção utilizando questionário online. Neste método de pesquisa foi mostrado o fluxo convencional da manutenção e realizados algumas perguntas com base no entendimento dos entrevistados.

Esse questionário foi respondido por 30 profissionais da área de manutenção, onde 26 (86,7%) deles responderam que estava familiarizado com o processo de manutenção representado pelo modelo.

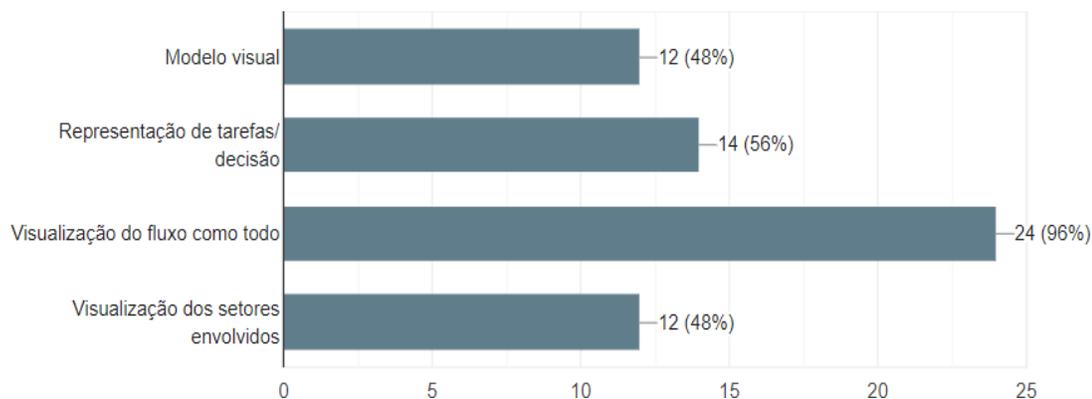
Quando o entrevistado foi questionado se concordava com as tarefas que estavam representadas no modelo, a resposta foi que 100% concordaram.

Em relação às quatro perguntas a seguir 25 (96,2%) dos entrevistados concordam que o modelo representa o processo de manutenção.

- *Você concorda com os setores (operação, outros e manutenção) que as raias (linhas) estão representando?*
- *Você concorda com as decisões representadas no modelo?*
- *Você concorda com os fluxos entre as tarefas representadas no modelo?*
- *Para você esse modelo ajuda na compreensão do processo de manutenção?*

O entrevistado ao ser questionado, por quais motivos ele concorda que o modelo apresentado ajuda na compreensão do processo de manutenção, a porcentagem das respostas está representada no Gráfico 02.

Gráfico 02 – Ponto de vista dos entrevistados sobre o modelo apresentado.



Fonte: Elaboração do Autor

6 PROPOSTA DE MANUTENÇÃO PRESCRITIVA

Como foi mencionado no Processo Convencional da Manutenção, toda demanda de manutenção tem que ter uma origem, podendo ser de necessidades pré-determinadas ou de necessidades no decorrer do processo, ou seja, podem ser planejadas ou não planejadas.

A proposta de Manutenção Prescritiva visa mostrar um caminho para implementar este tipo de Manutenção, ou seja, uma forma de implementar a filosofia de Manutenção 4.0 nos ativos, possibilitado que os ativos tenham a capacidade de prever futuras falhas e prescrever ações de manutenção mais eficazes, de modo aumentar o desempenho.

Para esta proposta será desenvolvida a modelagem do processo de manutenção prescritivo, assim como, um plano inicial para o projeto de implementação deste tipo de manutenção. Os resultados esperados desta proposta são promissores, a expectativa é atuar de modo a evitar a falha, ter a capacidade de mostrar um horizonte operacional e prescrever ações de manutenção, trazer ao ativo resultado de desempenho viável ao seu investimento. De acordo com Jasiulewicz-Kaczmarek e Gola, (2019) essa forma de trabalhar reduz o tempo total de inatividade do processo em trono de 30% a 50% e prolonga a vida útil do ativo entre 20% a 40%.

Com base nos autores dos trabalhos relacionados apresentados no Capítulo 4, no estudo e conhecimentos empíricos esta proposta deve inicialmente considerar o estágio atual da manutenção do ativo, pois se o processo de manutenção estiver somente no modelo corretivo ou preventivo a trajetória é mais longa, mas se o modelo de manutenção já atua de forma preventiva baseada em condição e preditiva então a mudança terá uma trajetória de menor complexidade. O segundo ponto a ser analisado é a existência dos historiadores, ou seja, um sistema ou programa de manutenção e operação que possui um banco de dados com os históricos dos eventos e ações.

A instituição que optar em implementar esta proposta deve preferencialmente atender alguns requisitos:

- Possuir ações de manutenção preventivas e preditivas;
- Dispor de um banco de dados com informações sobre os eventos de máquinas, ou seja, ter o histórico dos eventos das falhas das máquinas;

- Possuir também um banco de dados de manutenção, como o histórico de manutenção, os planos de manutenção preventivos e os preditivos;

- Outro ponto fundamental é a questão da instrumentação dos equipamentos e do processo, ambos precisam possuir instrumentos de monitoramento e de proteção, ou seja, devem existir formas de monitoramento online das variáveis dos equipamentos como, vibração, temperatura, rendimento, dentre outros, e as variáveis de processo como pressão, vazão, temperatura, nível, ponto de operação e outras. Caso o equipamento ou processo não possua instrumentos necessários, será preciso elaborar ações para a instalação dos instrumentos de monitoramento e proteção.

Nesse primeiro passo para a implantação da proposta é necessário analisar a viabilidade econômica, analisar se esse tipo de mudança irá gerar resultados financeiros positivos ao ativo. Em seu trabalho Hammami, Ahmed et al. (2019) destaca que é necessário classificar o valor do ativo e realizar o estudo de viabilidade, pois os autores defendem que uma implementação deve ser baseada na criação de valor, ou seja, a Manutenção 4.0 tem que gerar resultados financeiros positivos ao ativo. Uma opção com melhor viabilidade econômica é selecionar os processos mais críticos e iniciar a proposta por estes.

Se a viabilidade financeira da proposta for positiva, o próximo passo é o estudo de um Padrão de Confiabilidade dos equipamentos e processos a ser seguido, nessa etapa são utilizadas as técnicas de Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM – *Reliability-centered Maintenance*) definida por Kardec e Nascif (2019), utilizadas nas indústrias de um modo geral.

O início deste processo de RCM é pela seleção dos equipamentos que serão contemplados pelo projeto, em seguida selecionar as funções individuais e coletivas, ou seja, qual a atribuição de cada equipamento dentro do processo. Em seguida começa o estudo das falhas, a fase de identificar as falhas que impeçam o equipamento desempenhar a sua função conforme estabelecido, é criada uma lista onde mostra quais são os acontecimentos que, se ocorrerem, pode provocar a paralização do processo.

Na sequência é a etapa da Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA), onde se analisa as condições que podem causar falhas e as relacionam as consequências correspondentes. Com base no estudo realizado cria uma lista estratégica de sobressalentes, a

elaboração de planos e ações de manutenção com foco em eliminar ou minimizar os riscos de paradas de produção.

O terceiro passo é a verificação e adequação dos equipamentos e do processo de produção com tecnologias capazes de transmitir informações, variáveis de processo e outros dados necessários para serem utilizados em passo mais adiante. Os sistemas como um todo deve possuir instrumentos capazes de transmitir as variáveis em tempo real, os equipamentos devem estar aptos a transmitir seus sintomas, de modo que software que irá receber essas informações seja capaz de realizar o tratamento dos dados coletados, em seguida gerar ações operacionais e de manutenção, de modo a evitar primeiramente as falhas potenciais e no segundo momento combater as falhas funcionais. Em conjunto também deve verificar e adequar à infraestrutura de tecnologia de informação (TI) de modo a suportar a transmissão das informações necessárias.

É importante ressaltar que essa tarefa está interligada as duas anteriores, já que o custo desta empreitada tem que ser contabilizado no estudo de viabilidade econômica e também devem estar conectadas as ações de confiabilidade elaboradas. Essas tecnologias conforme Cachada, Ana et al. (2018) deve ser alinhadas com os princípios da Indústria 4.0, como a Internet das Coisas (IoT), computação em nuvem, análise de dados avançados, realidade aumentada e outras, onde a análise online dos dados coletados pode projetar a detecção de possíveis falhas futuras em equipamento e sistemas, oferecendo suporte orientado aos técnicos nas ações de manutenção.

O quarto passo é o Modelo de Dados, onde se trabalha o modo de utilização e processamento dos dados, nesta fase é necessário elaborar o modo de aquisição, estruturas dos dados existentes e dos novos dados que serão coletados e trabalhados por um modelo matemático. É necessário desenvolver um projeto de algoritmos, ou seja, desenvolver um conjunto de regras matemáticas para resolução de problemas, que seja capaz de autoaprendizagem, onde através dos dados históricos de manutenção e operação esse algoritmo possa detectar padrões e relacioná-los com possíveis falhas. Com a detecção desses padrões, o algoritmo irá prever uma maior probabilidade de falha e gerar notificações e recomendar ações de operação e de manutenção.

Apesar dos dados serem direcionados para os softwares capazes de enxergar e processar esses dados, é necessário definir uma padronização de coleta, classificação e estruturar o armazenamento desses dados, de modo que seja possível ser utilizado no futuro. Nesta etapa são utilizados os históricos de operação e de manutenção, que buscam descobrir e descrever o que aconteceu no passado, como por exemplo, o número e modo de falhas de equipamentos e sistemas. Apesar da proposta recomendar uma sequência de passos, alguns destes devem ser pensados e executados em paralelo.

Do primeiro ao quarto passo representa a fase de preparação para que seja possível iniciar o trabalho de monitoramento dos dados gerados pelos equipamentos e sistemas em funcionamento. No quinto passo é o Trabalho Preditivo, ou seja, um planejamento do futuro, analisando os acontecimentos atuais e projetando o que pode vir a ocorrer.

Com base no histórico dos eventos anteriores e nas condições atuais é possível calcular a probabilidade de uma máquina ou sistema operar sem que ocorram falhas inesperadas, onde ocorre o monitoramento das informações geradas simultaneamente, onde se constata o estado atual de todos os sistemas previstos para serem monitorados e começa a realizar prognósticos do futuro desses sistemas, ou seja, utiliza os dados já estruturados na etapa anterior somados aos dados em tempo real é possível saber o estado de saúde atual dos equipamentos e sistemas, e qual a probabilidade de funcionamento futura.

Nesta fase ocorre o trabalho preditivo, começa a realizar a análise de diagnóstico de manutenção, onde busca o entendimento porque ocorreu a falha, trabalha na compreensão do evento, na causa raiz da falha, ou seja, identificar o que realmente aconteceu para o equipamento ou sistema a falhar.

O sexto passo é Prescrição das Ações de Manutenção, após o trabalho preditivo será analisado o que precisa ser realizado em termos de recomendações e ações na operação e de manutenção. O software com capacidade de aprendizado de máquina que foi elaborado com o projeto com algoritmos, alimentado com os dados históricos e do momento atual, mais informações geradas no padrão de Confiabilidade proposto terá a capacidade de orientar os profissionais da manutenção.

Matyas et al. (2017) relata que a manutenção prescritiva é muito mais do que a previsão de falhas, tem a capacidade necessária prescrever as ações de manutenção. Apesar de alguns autores descreverem que a manutenção prescritiva tem o ato de prescrever ações de manutenção essa proposta pode também prever recomendações e ações sobre a operação. Isso porque ambas estão interligadas, pois uma operação assertiva reduz os atos de manutenção e aumenta longevidade do ativo, já uma manutenção eficaz contribui na redução das falhas, o reduz o tempo de manutenção, com isso aumenta a disponibilidade e a confiabilidade dos equipamentos. A Tabela 2 mostra a sequência dos passos para implantar a proposta.

Tabela 02 – A sequência dos passos para implantar a proposta do projeto

Passos para Implantação da proposta do projeto	
1°	Análise de viabilidade econômica
2°	Criação do Padrão de Confiabilidade
3°	Adequação dos equipamentos e processos para a transmissão de dados
4°	Modelo de Dados com o Projeto de Algoritmos
5°	Trabalho Preditivo
6°	Análise e Prescrição das Tarefas de Manutenção.

Fonte: Elaboração do Autor

Após a implantação dessa proposta o processo de manutenção não irá apresentar grandes modificações em seu fluxo, o que vai mudar é a redução no tempo dos diagnósticos, na execução dos serviços de manutenção e nas falhas não previstas. Em contrapartida há o aumento da performance do ativo e na redução dos custos com manutenção, ou seja, no decorrer do tempo o ativo terá menos ações de manutenção corretiva e preventiva e a disponibilidade dos equipamentos e sistemas será maior proporcionando maior produtividade e confiabilidade ao ativo. Os resultados após a implantação da proposta irão depender da instituição em que está realizando, isso porque existe o processo de maturidade dos envolvidos, para muitos é uma inovação e como toda a nova ferramenta existe um tempo de adaptação.

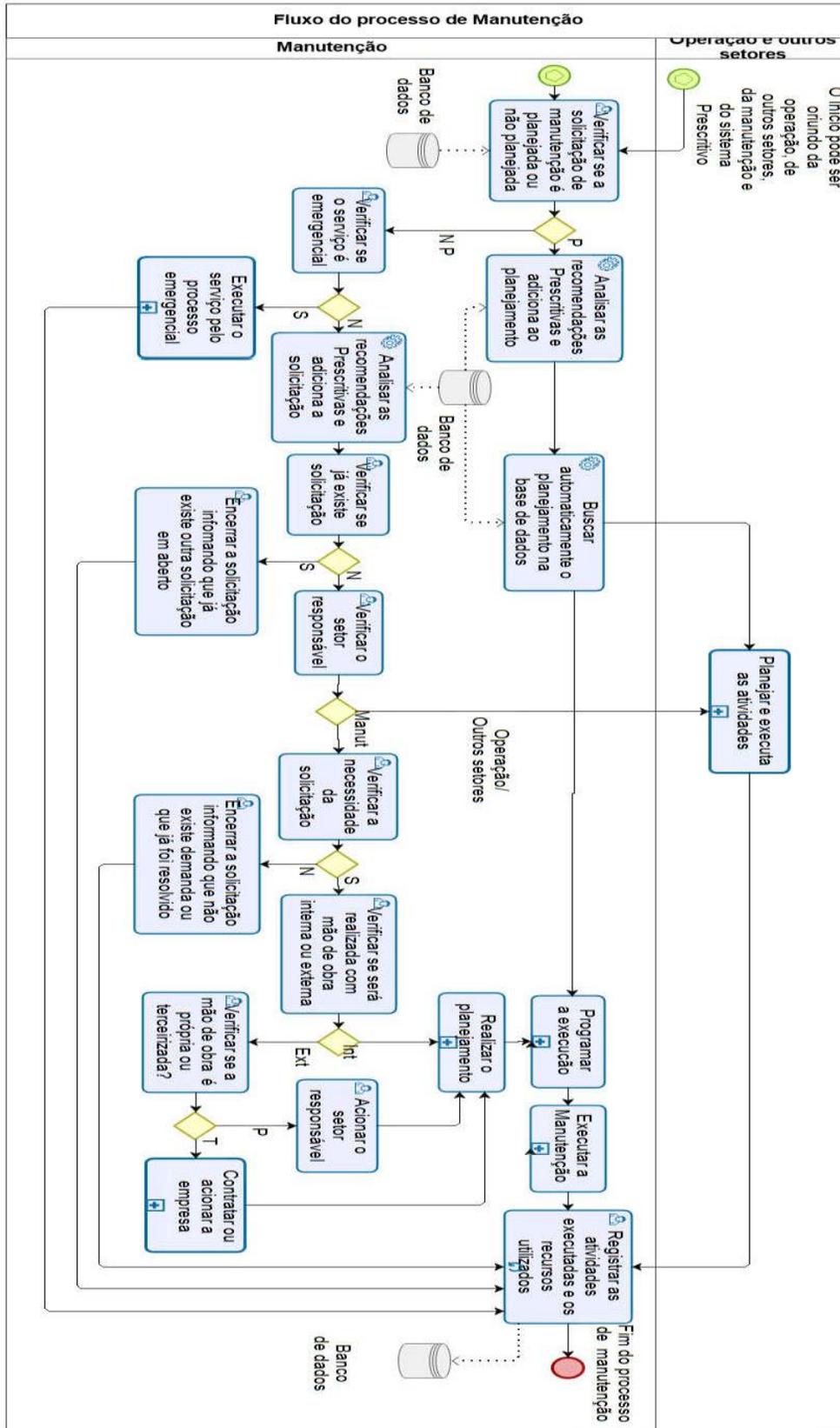
Comparando com o processo convencional de manutenção é possível identificar algumas mudanças no fluxo da manutenção. A primeira é a origem dos serviços, que no

processo convencional o início pode ser através da operação, inspeção ou manutenção, independente se são demandas planejadas ou não planejadas. Com a implantação da Manutenção Prescritiva a origem dos serviços de manutenção irá originar também do sistema prescritivo, ou seja, baseada na condição dos equipamentos e sistemas o próprio sistema irá prescrever ações e recomendações de manutenção. Em um sistema planejado convencional as ações de manutenção são baseadas no tempo de operação, ou depende de ações de manutenção preditivas em seguida realizar a análise do problema, só depois é gerado as recomendações e ações preventivas ou corretivas para resolver problema.

A segunda mudança que pode ser visualizada é a inclusão de uma tarefa de checagem das recomendações prescritivas, desta forma todas as demandas de manutenção (corretiva, preventiva e preditiva) serão necessárias verificar se existem recomendações geradas pelo sistema prescritivo. A Figura 10 mostra o processo de manutenção após a implantação da proposta.

Para melhor organizar o contexto da implantação essa proposta é recomendável é utilizar o PM Canvas, que irá proporcionar uma visualização e concepção essa proposta de uma forma visual e eficiente. A Figura 11 mostra o PM Canvas elaborado de forma estratégica para ajudar na implantação do projeto prescritivo.

Figura 10 – O processo de manutenção após a implantação do projeto prescritivo



Fonte: Elaboração do ator

Figura 11 – PM Canvas elaborado de modo a ajudar na implantação do projeto prescritivo

JUSTIFICATIVAS Necessidade de adaptar o processo atual de manutenção de forma que o mesmo atenda Indústria 4.0	PRODUTO Processo de manutenção Prescritivo	STAKEHOLDERS EXTERNOS - Os Ativos - Clientes - Diretores - Fornecedores	PREMISSAS Possuir os recursos tecnológicos necessários	RISCOS Não ser compreendido pelos profissionais da área
OBJ SMART Criar um processo padrão para implantação da manutenção Prescritiva	REQUISITOS - Atividades - Decisões - Artefatos - Fluxo da manutenção	EQUIPE Membros envolvidos na manutenção	GRUPO DE ENTREGAS 1. Analisar do processo de manutenção atual 2. Analisar a literatura da I 4.0 3. Elaborar o processo para manutenção Prescritiva	LINHA DO TEMPO 1. 03 Meses 2. 03 Meses 3. 06 Meses
BENEFÍCIOS - Aumento da disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos e sistemas - Melhoria na qualidade dos produtos - Redução nos custos aplicados a manutenção - Redução de HH na manutenção		RESTRICÇÕES O projeto deve ser elaborado no prazo de 12 meses	CUSTOS Consultoria	

Fonte: Adaptado de Finocchio (2013).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que a modelagem proposta para a implementação do processo de manutenção prescritivo em processos já existentes pode ser aplicada se houver retorno viável ao seu investimento, que será possível reduzir o tempo total de inatividade do processo em torno de 30% a 50% e prolongar a vida útil do ativo entre 20% a 40%, também será a expectativa aumentar a disponibilidade e a confiabilidade do processo, a segurança dos equipamentos, das pessoas e do meio ambiente.

Pode concluir também que a implantação do processo para trabalhar com a manutenção prescritiva terá uma melhor organização com a utilização o Project Model Canvas, pois irá proporcionar uma visualização e concepção da proposta de uma forma visual e eficiente.

Após esse estudo, com o material exposto e o manual didático apresentado espera-se alcançar o resultado no sentido de contribuir com mais uma literatura específica sobre o tema, de modo que este trabalho possa contribuir aos futuros e atuais profissionais da área que trabalham ou desejam trabalhar com a manutenção prescritiva.

Uma recomendação para quem gostaria de se aprofundar sobre os temas abordados neste trabalho é descrever sobre o aprendizado dos profissionais que vão atuar ou já atuam em construção de projetos, de forma a desenvolver o conhecimento que todo equipamento precisa de manutenção, pensar em manutenibilidade, ou seja, o acesso, o tempo, a segurança para executar as atividades de manutenção. De modo avaliar o projeto desde o início, avaliar as condições esperadas de operação e manutenção do sistema, do processo e dos equipamentos.

Este trabalho apresenta como produto de entrega um Manual Didático, que tem como objetivo geral contribuir na orientação e aprendizado de profissionais, estudantes, gestores de ativos e outros interessando sobre o assunto de modo, a gerar um norte no processo de implantar e trabalhar com a manutenção prescritiva. O manual busca explicar de uma forma macro as etapas que são necessárias para a implementação da Manutenção Prescritiva em processos de manutenção já existentes.

REFERÊNCIAS

ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos. Documento Nacional de 2017. 32º Congresso Brasileiro de Manutenção e Gestão de Ativos, Curitiba, 2017.

ABPMP - Association of Business Process Management Professionals International. BPM CBOK Version 4.0 - Portuguese Version. Independently Published. 2020

ANSARI, Fazel; GLAWAR, Robert; NEMETH, Tanja. PriMa: a prescriptive maintenance model for cyber-physical production systems. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, v. 32, n. 4-5, p. 482-503, 2019.

BARTODZIEJ, Christoph Jan. The concept industry 4.0. *The concept industry 4.0*, 2017, 27-50.

BIZAGI BPMN Process Modeler. Disponível em: <<https://www.bizagi.com/pt/plataforma/modeler>> Acessado em 07.10.2021.

CACHADA, Ana et al. Maintenance 4.0: Intelligent and predictive maintenance system architecture. In: 2018 IEEE 23rd international conference on emerging technologies and factory automation (ETFA). IEEE, 2018. p. 139-146.

CÂMARA, Rafael Albuquerque; SÃO MAMEDE, Henrique; DOS SANTOS, Vitor Duarte. Predictive Industrial Maintenance with a Viable Systems Model and Maintenance 4.0. In: 2019 8th International Conference On Software Process Improvement (CIMPS). IEEE, 2019. p. 1-8.

CAVALCANTI, Rubens. Modelagem de processos de negócios: Roteiro para realização de projetos de modelagem de processos de negócios. Brasport, 2017.

CHUKWUEKWE, Douglas Okafor et al. Reliable, robust and resilient systems: towards development of a predictive maintenance concept within the industry 4.0 environment. In: EFNMS Euro maintenance conference. 2016.

COSTA, Márcio de Souza, Adryelle Sampaio Dias, and Kellyane dos Santos Couto, coordenadores. Manual de gestão por processo. Instituto Federal de Sergipe, 52 p. : il, 2018.

COUTINHO, Luciano. A terceira revolução industrial e tecnológica. As grandes tendências das mudanças. Economia e sociedade, v. 1, n. 1, p. 69-87, 1992.

DILBEROGLU, Ugur M. et al. The role of additive manufacturing in the era of industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, v. 11, p. 545-554, 2017.

FINOCCHIO, José Junior. Project Model Canvas. Disponível em: <<http://pmcanvas.com.br/>>. Acessado em 27.07.2020.

HAMMAMI, Ahmed et al. Maintenance 4.0 of Wind Turbine. In: International Conference Mechatronics. Springer, Cham, 2019. p. 1-10.

HEIDRICH, FELIPE; FACÓ, JÚLIO FRANCISCO BLUMETTI; REIS, C. F. B. O impacto competitivo na indústria brasileira com a aplicação dos conceitos da indústria 4.0. 2017.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design principles for Industrie 4.0 scenarios: a literature review. Technische Universität Dortmund, Dortmund, 2015.

HOZDIĆ, Elvis. Smart factory for industry 4.0: A review. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 2015, 7.1: 28-35.

HUB I4.0. A manufatura e a Indústria 4.0 (2018) Disponível em: <<https://www.hubi40.com.br/a-manufatura-e-a-industria-4-0/>> Acessado em 30.05.2019

JASIULEWICZ-KACZMAREK, M. et al. Implementing BPMN in Maintenance Process Modeling. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS ARCHITECTURE AND TECHNOLOGY. Polônia, 2018.

JASIULEWICZ-KACZMAREK, Małgorzata; GOLA, Arkadiusz. Maintenance 4.0 technologies for sustainable manufacturing-an overview. *IFAC-PapersOnLine*, v. 52, n. 10, p. 91-96, 2019.

KANS, Mirka; GALAR, Diego; THADURI, Adithya. Maintenance 4.0 in railway transportation industry. In: Proceedings of the 10th world congress on engineering asset management (WCEAM 2015). Springer, Cham, 2016. p. 317-331.

KARDEC, Alan Kardec Pinto e NASCIF, Júlio Nascif Xavier. Manutenção Função Estratégica, 4ª. ed. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark Petrobras, 2019.

KERZNER, Harold. *Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling*. John Wiley & Sons, 2017

LEVANDOSKI, Michel Alexandre Levandoski Manutenção na Indústria 4.0 por Michel Levandoski, 2018. Disponível em: <<https://qualityway.wordpress.com/2018/05/24/manutencao-na-industria-4-0-por-michel-levandoski/>> Acessado em 27.06.2019

LIMA, Alison Gustavo de; PINTO, Giuliano Scombatti. INDÚSTRIA 4.0. Revista Interface Tecnológica, v. 16, n. 2, p. 299-311, 2019.

MARTINS, Heloísa Helena T. Metodologia qualitativa de pesquisa. *Educação e pesquisa*, 2004, 30: 289-300.

MATYAS, Kurt et al. A procedural approach for realizing prescriptive maintenance planning in manufacturing industries. *CIRP Annals*, v. 66, n. 1, p. 461-464, 2017.

MOUBRAY, J. Reliability-centered maintenance: second edition. 2ª. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

NAVAS, Miguel Angel; SANCHO, Carlos; CARPIO, Jose. Disruptive maintenance engineering 4.0. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2020.

POÓR, Peter; BASL, Josef; ZENISEK, D. Predictive Maintenance 4.0 as next evolution step in industrial maintenance development. In: 2019 International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering (SCSE). IEEE, 2019. p. 245-253.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE - PMI. Project Management Body of Knowledge (PMBOK) 6. ed. Newtown Square: Project Management Institute, 2017

PROJECT BUILDER. Guia Definitivo do Project Model Canvas. Disponível em: <<https://www.projectbuilder.com.br/Downloads/Guida-Definitivo-do-Project-Model-Canvas.pdf>>. Acessado em 21.03.2022

ROMERO, David et al. The operator 4.0: human cyber-physical systems & adaptive automation towards human-automation symbiosis work systems. In: IFIP international conference on advances in production management systems. Springer, Cham, 2016. p. 677-686.

ROTTA, Fernando. Indústria 4.0 pode economizar R\$ 73 bilhões ao ano para o Brasil. Disponível em: <https://www.abdi.com.br/postagem/industria-4-0-pode-economizar-r-73-bilhoes-ao-ano-para-o-brasil.>, 2017. Acessado em 20.07.2020.

RÜßMANN, Michael et al. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. Boston Consulting Group, v. 9, n. 1, p. 54-89, 2015.

SAGE. Como a indústria 4.0 vai transformar a manufatura. Disponível em: <<https://blog.sage.com.br/como-a-industria-4-0-vai-transformar-a-manufatura-2/>> Acessado em 29.05.2019.

SANTOS, E.; WERNECK, M. Um estudo de caso de estruturação da gestão de portfólios com base no portfólio Model Canvas. XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2014.

SANTOS, Marcos; MANHÃES, Aline Martins; LIMA, Angélica Rodrigues. Indústria 4.0: desafios e oportunidades para o Brasil. Anais do X SIMPROD, 2018.

SCHWAB, Klaus. A quarta revolução industrial. Edipro, 2019.

SCHWAB, Klaus; DAVIS, Nicholas. Aplicando a quarta revolução industrial. Edipro, 2019.

SENA, Eduardo Bonifácio de Sena Disponível em: <<https://wellelaser.com/manutencao-4-0-os-aspectos-da-quarta-revolucao-industrial-sob-a-perspectiva-da-manutencao/>> Acessado em 27.06.2019

STOCK, Tim; SELIGER, Günther. Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. *Procedia Cirp*, v. 40, p. 536-541, 2016

TELES, Jhonata Teles. O Planejamento e Controle da Manutenção na Indústria 4.0, 2018. Disponível em: <<https://engeteles.com.br/pcm-na-industria-4-0/>> Acessado em 27.06.2019.

TERRENCE, Terrence O'Hanlon. What is Maintenance 4.0, 2018. Disponível em <<https://www.linkedin.com/pulse/what-maintenance-40-terrence-ohanlon>> Acessado em 28.06.2019

THOM, Lucineia Heloisa; AVILA, Diego. Introdução à Modelagem de Processos de Negócio em BPMN 2.0 e à Automação em BPMS. Sociedade Brasileira de Computação, 2020

VALAMEDE, Luana Sposito; AKKARI, Alessandra Cristina Santos. Lean 4.0: A new holistic approach for the integration of lean manufacturing tools and digital technologies. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, v. 5, n. 5, p. 851-868, 2020.

VOM BROCKE, Jan; ROSEMANN, Michael. Manual de BPM: gestão de processos de negócio. Bookman editora, 2013.

WANG, Shiyong, et al. Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2016, 12.1: 3159805.

ZHONG, Ray Y. et al. Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. *Engineering*, v. 3, n. 5, p. 616-630, 2017.

APÊNDICE A – MANUAL DIDÁTICO

MANUAL DIDÁTICO



Por: Edilson Peixoto Sobrinho

Campos dos Goytacazes/RJ

2022

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
1.1 – Apresentação	01
1.2 – Objetivos.	02
1.3 – Manutenções e as Tecnologias da Indústria 4.0	02
2. AS ETAPAS PARA A IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO PRESCRITIVA.....	05
2.1 Condições iniciais para implementação	05
2.2 Análise de viabilidade econômica.....	06
2.3 Criação do Padrão de Confiabilidade.....	06
2.4 Adequação dos equipamentos e processos para a transmissão de dados.....	07
2.5 Modelo de Dados com o Projeto de Algoritmos	09
2.6 Trabalho Preditivo.....	10
2.7 Análise e Prescrição das Tarefas de Manutenção	11
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	20
REFERÊNCIAS.....	21

INTRODUÇÃO

APRESENTAÇÃO

Nos últimos 70 anos a manutenção tem passado por grandes mudanças devido a vários fatores como o aumento do número e diversidade de itens, aumento da instrumentação e automação, com projetos mais complexos e a importância da manutenção para os resultados da indústria. Para as empresas serem competitivas e vencedoras, a manutenção tem que um papel fundamental, para uma empresa ser competitiva a qualidade e o custo do produto final têm que ser adequado às necessidades da sociedade. Quando ocorre uma parada no processo ou na linha de produção de modo inesperado, por falha de um equipamento ou de um sistema, significa nos dias de hoje que, ocorreu falha da manutenção. (KARDEC e NASCIF, 2019).

Com quarta revolução industrial surge o termo Indústria 4.0, que basicamente tem a missão de realizar todos os processos industriais utilizando novas tecnologias interligadas a internet, onde é possível coletar e processar dados de fabricação em tempo real de forma rápida e interativa. Para conseguir atender esse modelo de indústria o profissional mantenedor precisa de um perfil diferenciado, pois ao falar da Manutenção 4.0 significa ter, por exemplo, uma visão em tempo real dos ativos, dos equipamentos, da qualidade dos processos e dos recursos da empresa, pois de forma instantânea é possível visualizar todo o processo digitalmente e tomar ações com maior rapidez (SAGE, 2018).

A Indústria 4.0 tem no seu processo de manter a filosofia da Manutenção 4.0, que se caracteriza o crescimento e o aprimoramento do uso da manutenção preditiva, surgindo nesse contexto o termo Manutenção Prescritiva. Essa nova técnica de manter tem o objetivo de eliminar as falhas, e para conseguir os resultados esperados são utilizadas tecnologias associadas com a Inteligência Artificial, com o aprendizado de máquina (*Machine Learning*) e com o conceito de *big data*, onde é possível armazenar e processar uma grande quantidade de dados. Outro objetivo é o de eliminar o desperdício, “Fazer menos, com menos”, ou seja, realizar menos atividades de manutenção com menos recursos. Esta filosofia tem o foco em buscar maior disponibilidade dos equipamentos combinado com a confiabilidade, de modo a manter o processo produtivo do ativo competitivo, com segurança e respeito às pessoas e ao meio ambiente (KARDEC E NASCIF, 2019).

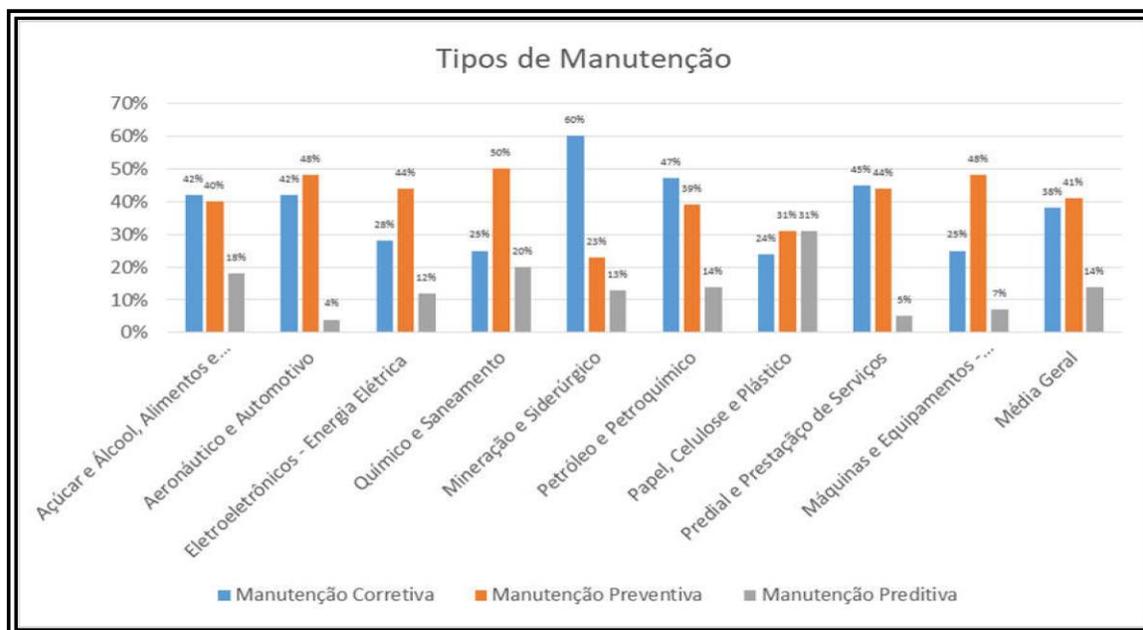
OBJETIVOS

O objetivo geral desse manual é contribuir na orientação e aprendizado de profissionais, estudantes, gestores de ativos e outros interessando sobre o assunto de modo, a gerar um norte no processo de implantar e trabalhar com a manutenção prescritiva. Este manual busca explicar de uma forma macro as etapas que são necessárias para a implementação da Manutenção Prescritiva em processos de manutenção já existentes, ou seja, ajuda no processo de análise do processo de manutenção convencional que é realizado e contribui na elaboração de uma proposta com conceito de manutenção 4.0.

MANUTENÇÃO E AS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0

No 32º Congresso Brasileiro de Manutenção e Gestão de Ativos a ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos) foi apresentado o Documento Nacional 2017, que mostra o resultado de uma pesquisa da situação da manutenção no Brasil no ano de 2017 em diversos setores da economia, com base nesses dados foi elaborado o Gráfico 1 que mostra o percentual dos tipos manutenção utilizados pelos setores brasileiros.

Gráfico 1 – Tipos de manutenção usados em cada setor no Brasil



Fonte: Adaptado da ABRAMAN (2017).

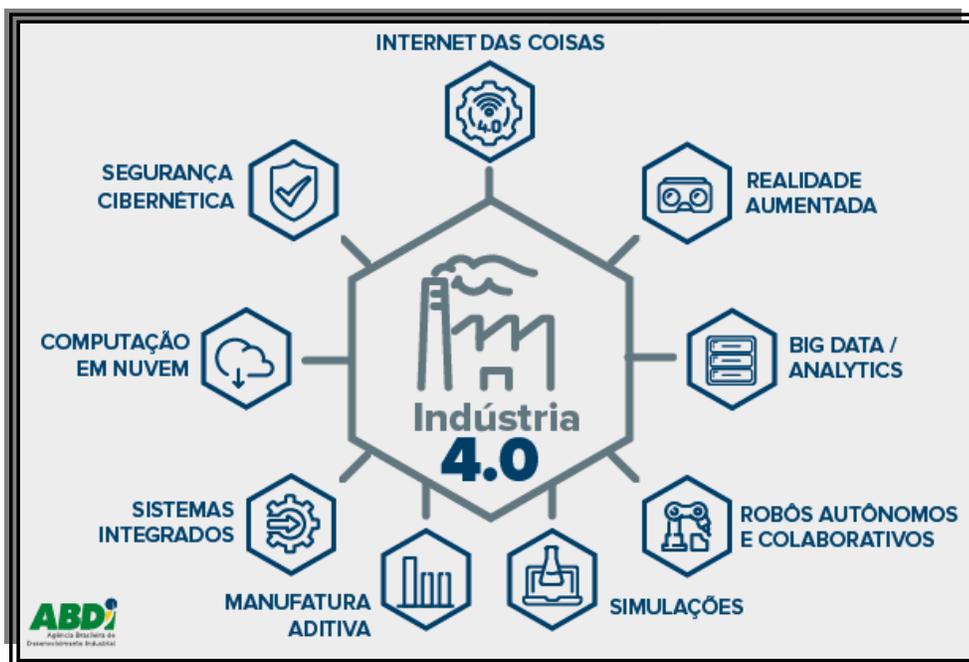
Analisando os dados apresentados pode se dizer que as manutenções corretivas e preventivas ainda são as mais utilizadas pelas empresas brasileiras, com exceção do setor de papel, celulose e plástico, onde a manutenção preditiva se equipara com a preventiva. Na trajetória de um ativo com conceito 4.0 a manutenção preditiva é uma grande aliada da manutenção 4.0 que é denominada de Manutenção Prescritiva, que utiliza diversas tecnologias utilizadas na Indústria 4.0. O termo Indústria 4.0 surge das palavras *smart factory* ou *intelligent factory*, que são termos que descrevem sobre fábricas inteligentes, flexíveis, adaptáveis e dinâmicas, de baixo custo produtivo, sendo também eficiente e lucrativa produzindo produtos personalizados em quantidades menores (WANG et al., 2016).

Para entender a filosofia de uma Indústria 4.0, é necessário conhecer suas essências, ou seja, conhecer suas bases tecnológicas que juntas incorpora o conceito desta evolução. Essas tecnologias permitem dispositivos, máquinas, produtos e outros mais se comuniquem, de modo variar seu comportamento em diferentes situações, permitindo assim que os problemas sejam resolvidos, cenários sejam modificados e adaptados para que as decisões a serem tomadas sejam em tempo hábil (ZHONG et al., 2017).

Uma destas tecnologias são as redes sem fio industrial que se comunicam através da Internet das Coisas IoT, com isso os “elementos inteligentes” habilitados com sistemas Ciber-Físicos podem utilizar dados que estão armazenados em um banco de dados virtual o de nuvem, esta Internet das Nuvens possui uma grande escala de armazenamento com capacidade de computação para implementar uma coordenação em todo o sistema redes de sensores sem fio de uma unidade fabril (WANG et al., 2016).

Somados as essas tecnologias mencionadas à quarta revolução industrial promove a união dos recursos físicos e digitais, de modo a criar uma articulação entre as tecnologias para formar os componentes tecnológicos da Indústria 4.0, sendo definidos com os Sistemas Integrados, a Manufatura Aditiva ou inteligente, Simulações, Robôs inteligentes autônomos e colaborativos, Big Data, e a Realidade Aumentada. (CHUKWUEKWE, 2016). A Figura 01 mostra essas tecnologias.

Figura 01- As tecnologias essenciais em uma Indústria 4.0



Fonte: Adaptado de Rotta (2017).

Na manutenção convencional, quando ocorre falha no equipamento, o setor de operação tem que solicitar ao mantenedor para descobrir a causa e reparar o equipamento para que possa desempenhar a sua função requerida, já com a utilização do conceito da manutenção prescritiva, este mesmo equipamento está sendo analisado por um conjunto de tecnologias como a *IoT*, *Big Data*, *IA*, *Machine Learning* e outras, que tem o objetivo de enviar em tempo real possíveis problemas que possam aparecer em determinado tempo e tomar ações de controle para mitigar possíveis falhas inesperadas (MATYAS et al., 2017), (SANTOS; MANHÃES; LIMA, 2018).

A Manutenção 4.0 é um pilar de grande importância para o sucesso da Indústria 4.0, um dos motivos são suas metas de ter maior agilidade, qualidade, confiabilidade, produtividade e redução de custos nos seus processos produtivos. No Brasil segundo levantamento da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), existe uma estimativa de redução na ordem de 72 bilhões/ano sobre os custos industriais, essa economia se deve a mudança das empresas ao utilizar o conceito da indústria 4.0. A ABDI informa que R\$ 34 bilhões/ano de economia se devem aos ganhos de eficiência, uma redução nos custos com a manutenção na ordem de R\$ 31 bilhões/ano e R\$ 7 bilhões/ano com o consumo de energia. (HUB I4.0, 2018), (SANTOS; MANHÃES; LIMA, 2018).

ETAPAS PARA A IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO PRESCRITIVA

CONDIÇÕES INICIAIS PARA IMPLEMENTAÇÃO

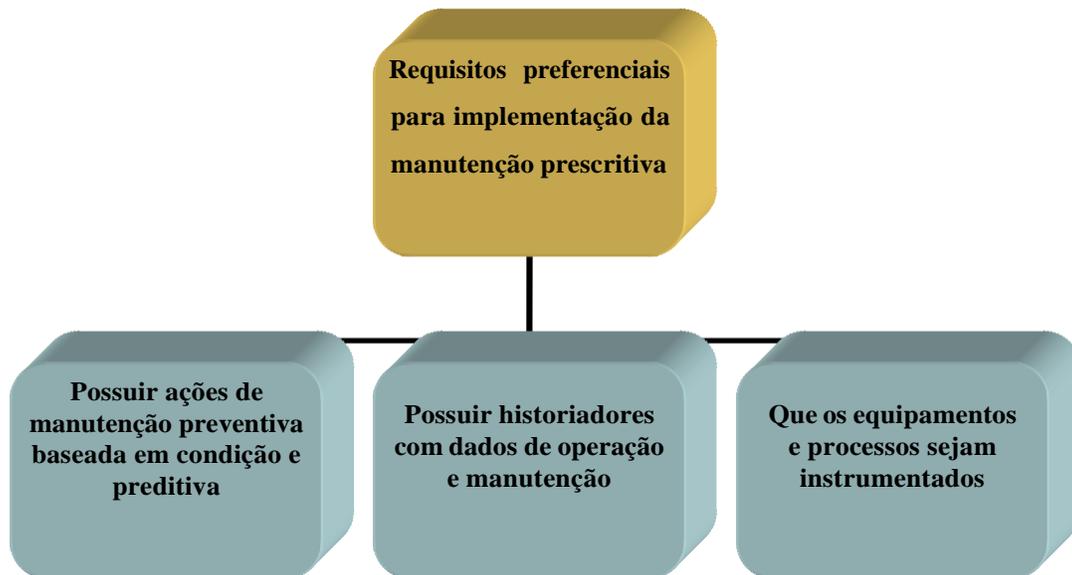
A proposta de implantação da Manutenção Prescritiva deve inicialmente considerar o estágio atual da manutenção do ativo, pois se o processo de manutenção estiver somente no modelo corretivo ou preventivo a trajetória é mais longa, mas se o modelo de manutenção já atua de forma preventiva baseada em condição e preditiva então a mudança terá uma trajetória de menor complexidade. O segundo ponto a ser analisado é a existência dos historiadores, ou seja, um sistema ou programa de manutenção e operação que possui um banco de dados com os históricos dos eventos e das ações realizadas.

A instituição que deseja implementar a manutenção prescritiva deve preferencialmente atender alguns requisitos (Figura 02):

- ❖ Possuir ações de manutenção preventivas e preditivas;
- ❖ Dispor de um banco de dados com informações sobre os eventos de máquinas, ou seja, ter o histórico dos eventos das falhas das máquinas;
- ❖ Possuir também um banco de dados de manutenção, como o histórico de manutenção, os planos de manutenção preventivos e os preditivos;
- ❖ Outro ponto fundamental é a questão da instrumentação dos equipamentos e do processo, ambos precisam possuir instrumentos de monitoramento e de proteção, ou seja, devem existir formas de monitoramento online das variáveis dos equipamentos como, vibração, temperatura, rendimento, dentre outros, e as variáveis de processo como pressão, vazão, temperatura, nível, ponto de operação e outras. Caso o equipamento ou processo não possua instrumentos necessários, será preciso orçar as ações para a instalação dos instrumentos de monitoramento e proteção.

Esses requisitos citados devem ser analisados já na primeira etapa (Análise de viabilidade econômica) de modo a prever os custos e as ações necessárias para que seja possível avaliar a viabilidade técnica e econômica da implantação.

Figura 02 – Fluxograma com requisitos preferenciais para implementação da manutenção prescritiva.



Fonte: Elaborado pelo autor.

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Nessa primeira etapa para a implantação da Manutenção Prescritiva é necessário analisar a viabilidade econômica, analisar se esse tipo de mudança irá gerar resultados financeiros positivos ao ativo. Em seu trabalho Hammami, Ahmed et al. (2019) destaca que é necessário classificar o valor do ativo e realizar o estudo de viabilidade, pois os autores defendem que uma implementação deve ser baseada na criação de valor, ou seja, a Manutenção 4.0 tem que gerar resultados financeiros positivos ao ativo. Uma opção com melhor viabilidade econômica é selecionar os processos mais críticos e iniciar a proposta por estes.

Essa análise de viabilidade começa pelo processo atual manutenção que deve ser feita por uma equipe multidisciplinar, onde deve ser composta por membros da área técnica, financeira, administrativa, jurídica dentre outras que forem necessárias ao negócio que será analisado. Essa análise da viabilidade econômica não será abordada nesse manual.

CRIAÇÃO DO PADRÃO DE CONFIABILIDADE

Após ser aprovado pelo estudo da viabilidade econômica, o próximo passo é o estudo de um Padrão de Confiabilidade dos equipamentos e processos a ser seguido, nessa etapa são utilizadas as técnicas de RCM já utilizadas nas indústrias de um modo geral e descritas por Kardec e Nascif (2019).

Esse estudo de confiabilidade deve seguir os seguintes passos:

PASSO 1 – Primeiramente o processo de RCM começa pela seleção dos equipamentos que serão contemplados pelo projeto, em seguida deve selecionar as funções individuais e coletivas, ou seja, quais são as atribuições de cada equipamento dentro do processo.

PASSO 2 – Em seguida realiza o estudo das falhas, ou seja, identifica as falhas que impeçam o equipamento desempenhar a sua função predeterminada, deve-se criar uma seleção eventos que podem diminuir a performance do processo ou provocar sua paralização.

PASSO 3 – Realizar a Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA – Failure Mode and Effect Analysis) de todos os equipamentos e sistemas selecionados, onde se analisa as condições que podem causar falhas e as relacionam as consequências correspondentes.

A FMEA é uma abordagem que tem a finalidade de ajudar a identificar e priorizar falhas potenciais em equipamentos, sistemas ou processos, tem a característica de ser um sistema lógico que hierarquiza falhas potenciais e fornece as recomendações para ações preventivas ou preditivas ou ambas. Os principais conceitos necessários para realizar uma análise de FMEA é identificar a causa, ou seja, identificar o meio ou processo pelo qual um elemento resulta em um Modo de Falha, a identificar a gravidade da falha indicando como a falha afeta o usuário, determinar a detectabilidade e a frequência destas falhas (KARDEC E NASCIF, 2019).

PASSO 4 – Realizar um levantamento do histórico de manutenção e de operação e interligar com o trabalho de FMEA. Esta etapa deve também analisar a documentação técnica de modo a revisar e atualizar o que for necessário.

PASSO 5 – Com base no estudo realizado elabora os planos de manutenção (corretivo planejado, preventivo, preditivo e prescritivo) associada a uma lista estratégica de sobressalentes com foco em eliminar ou minimizar os riscos de paradas de produção. Quando a parada é inevitável deve elaborar maneiras de retornar em um tempo reduzido.

ADEQUAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E PROCESSOS PARA A TRANSMISSÃO DE DADOS

A adequação dos equipamentos e do processo de produção deverá ser com tecnologias capazes de transmitir informações, variáveis de processo e outros dados necessários para serem utilizados. Os sistemas como um todo deve possuir instrumentos capazes de transmitir as variáveis em tempo real, os equipamentos devem estar aptos a transmitir seus sintomas, de modo que software que irá receber essas informações seja capaz de realizar o tratamento dos dados coletados, em seguida gerar ações operacionais e de manutenção, de modo a evitar primeiramente as falhas potenciais e no segundo momento combater as falhas funcionais.

Em conjunto também deve verificar e adequar à infraestrutura de tecnologia de informação (TI) de modo a suportar a transmissão das informações necessárias. É importante ressaltar que essa tarefa está interligada as duas anteriores, já que o custo desta empreitada tem que está contabilizada no estudo de viabilidade econômica e também devem estar conectadas as ações de confiabilidade elaboradas.

Essas tecnologias conforme Cachada, Ana et al. (2018) deve ser alinhadas com os princípios da Indústria 4.0, como a Internet das Coisas (IoT), computação em nuvem, análise de dados avançados, realidade aumentada e outras, onde a análise online dos dados coletados pode projetar a detecção de possíveis falhas futuras em equipamento e sistemas, oferecendo suporte orientado aos técnicos nas ações de manutenção.

Os equipamentos e os processos que vão precisar ser adequar para transmitir os dados já foram previstos de forma macro na etapa análise de viabilidade econômica, analisados de maneira mais detalhada na etapa de criação do padrão de confiabilidade e relacionados para serem adequados nesta etapa. Para executar esta etapa recomenda-se seguir a seguinte sequência:

PASSO 1 – Determinar a equipe que será responsável em realizar as adequações;

PASSO 2 – Analisar a relação elaborada e definir as ações e quais serão os equipamentos ou processos prioritários, ou seja, quais serão os primeiros e serem adequados a ter a capacidade de transmitir os dados conforme a necessidade do sistema estabelecido. Em conjunto também deve verificar o que será necessário adequar a infraestrutura de tecnologia de informação (TI) de modo a suportar a transmissão das informações necessárias;

PASSO 3 – Realizar o levantamento de material necessário para realizar as adequações;

PASSO 4 – De posse do material, realizar as modificações e os testes de operacionalidade;

PASSO 5 – Atualizar a documentação com as modificações realizadas e treinar a equipe de operação e manutenção sobre as mudanças.

MODELO DE DADOS COM O PROJETO DE ALGORITMOS

A quarta etapa é o Modelo de Dados com o Projeto de Algoritmos, onde se trabalha o modo de utilização e processamento dos dados, nesta fase de é necessário elaborar o modo de aquisição, estruturas dos dados existentes e dos novos dados que serão coletados e como esses dados serão trabalhadas por um modelo matemático. É necessário desenvolver um projeto de algoritmos, ou seja, desenvolver um conjunto de regras matemáticas capazes de resolver problemas, que seja capaz de autoaprendizagem, onde através dos dados históricos de

manutenção e operação esse algoritmo possa detectar padrões e relacioná-los com possíveis falhas. Com a detecção desses padrões, o algoritmo irá prever uma maior probabilidade de falha e gerar notificações e recomendar ações de operação e de manutenção.

Apesar dos dados serem direcionados para os softwares capazes de enxergar e processar esses dados, é necessário definir uma padronização de coleta, de classificação dentro da organização e a arrumação de armazenamento desses dados, de modo que seja possível ser utilizado no futuro. Nesta etapa são utilizados os históricos de operação e de manutenção que busca descobrir e descrever o que aconteceu no passado, como por exemplo, o número e modo de falhas de equipamentos e sistemas.

Normalmente as empresas não possui o domínio desse tipo de tecnologia e nem pessoal com conhecimento para elaborar o projeto de algoritmos necessário para trabalhar com a prescritiva. O recomendável é contratar uma empresa que já trabalha com essa tecnologia, que já possuam softwares destinados a processar os dados necessários para cada instituição. A empresa que possui o software ou sistema necessários para processar a gama de dados operacionais e de manutenção deve prevista na etapa na viabilidade econômica e contratada para trabalhar em conjunto já nas outras etapas da implantação.

A realização desta etapa pode seguir da seguinte forma:

PASSO 1 – Contratar a empresa ou determinar a equipe para elaborar o modelo de dados com o projeto de algoritmos (Deve ser feito em paralelo com a segunda etapa);

PASSO 2 – Realizar o levantamento de material necessário para realizar as adequações (Deve ser feito em paralelo com a terceira etapa);

PASSO 3 – Definir a padronização de coleta, classificação dentro da organização e a arrumação do armazenamento dos dados;

PASSO 4 – De posse do material, com modelo de dados definido e com o projeto de algoritmos elaborado, realizar as modificações e os testes necessários (Pode ser feito em paralelo com a terceira etapa);

PASSO 5 – Atualizar a documentação com as modificações realizadas e treinar a equipe de operação e manutenção sobre as mudanças.

TRABALHO PREDITIVO

Da primeira a quarta etapa é a fase de preparação para que seja possível iniciar o trabalho de monitoramento dos dados gerados em pelos equipamentos e sistemas em funcionamento. Na quinta etapa é o Trabalho Preditivo que visa prever o amanhã, busca analisar o que está acontecendo hoje e projetar o que pode ocorrer no futuro. Com base no histórico dos eventos anteriores e as condições atuais é possível calcular a probabilidade de uma máquina ou sistema operar sem que ocorram falhas inesperadas.

Com o monitoramento das informações geradas no momento que elas ocorrem é possível compreender o estado atual dos sistemas que estão sendo monitorados, com isso é possível realizar prognósticos do futuro desses sistemas, ou seja, utiliza os dados já estruturados na etapa anterior somados aos dados em tempo real é possível saber o estado de saúde atual dos equipamentos e sistemas, e qual a probabilidade de funcionamento futura.

Nesta quinta etapa o sistema prescritivo já deve estar funcionando, com isso a realização desta etapa pode seguir da seguinte forma:

PASSO 1 – O sistema prescritivo com o auxílio da inteligência artificial irá monitorar as variáveis em tempo real, com base nos padrões estabelecidos, no histórico e nas variáveis coletadas irá informar ou recomendar ações de operação ou manutenção caso seja necessário;

PASSO 2 – Se houver recomendações pelo sistema prescritivo, devem-se realizar uma análise prévia dessas recomendações e decidir se prossegue para a próxima etapa, que é a Análise e Prescrição das Tarefas de Manutenção;

PASSO 3 – Enviar para o setor de direito as recomendações de manutenção, isso ocorre porque dependendo da complexidade da planta ou do processo o encaminhamento das recomendações pode seguir para diferentes setores.

ANÁLISE E PRESCRIÇÃO DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO

A sexta etapa é a Análise e Prescrição das Ações de Manutenção, após o trabalho preditivo será analisado o que precisa ser realizado em termos de recomendações e ações de

operação e manutenção. O software com capacidade de aprendizado de máquina que foi alimentado com o projeto de algoritmos, com os dados do histórico e os dados atuais, somadas as informações geradas no padrão de Confiabilidade que foi proposto terá a capacidade de orientar os profissionais da manutenção. Matyas, et al. (2017) relata que a manutenção prescritiva é muito mais do que a previsão de falhas, tem a capacidade necessária prescrever as ações de manutenção.

Apesar de alguns autores descreverem que a manutenção prescritiva tem o ato de prescrever ações de manutenção esse projeto pode também prever recomendações e ações sobre a operação, isso porque ambas estão interligadas, pois uma operação assertiva reduz os atos de manutenção e aumenta longevidade do ativo, já uma manutenção eficaz contribui na redução das falhas, o reduz o tempo de manutenção, com isso aumenta a disponibilidade e a confiabilidade dos equipamentos.

Esta etapa só é acionada quando as recomendações geradas pelo sistema prescritivo são encaminhadas para o setor responsável, são realizadas as análises sobre as ações de manutenção ou de operação.

A realização desta etapa pode seguir da seguinte forma:

PASSO 1 – O setor responsável recebe as recomendações geradas pelo sistema prescritivo. Esse setor tem a responsabilidade de realizar uma análise do porque da recomendação, analisar se ocorreu falha, o motivo que levou a falha. É a etapa de trabalhar na compreensão do evento, buscar a causa raiz da falha, ou seja, identificar o que realmente levou o equipamento ou sistema a falhar ou perder desempenho;

PASSO 2 – Com o diagnostico confirmando prossegue para a execução das recomendações, ou seja, é a parte de executar a manutenção em si;

A Tabela 01 mostra resumidamente a sequência das etapas para implantação da Manutenção Prescritiva.

Tabela 01 – Sequência das etapas para implantar a Manutenção Prescritiva

Etapas para Implantação da Manutenção Prescritiva	
1°	Análise de viabilidade econômica
2°	Criação do Padrão de Confiabilidade
3°	Adequação dos equipamentos e processos para a transmissão de dados
4°	Modelo de Dados com o Projeto de Algoritmos
5°	Trabalho Preditivo
6°	Análise e Prescrição das Tarefas de Manutenção.

Fonte: Elaboração do autor

Os resultados esperados com a implantação do projeto são promissores, a expectativa de atuar de modo a evitar que a falha ocorra, ter a capacidade de mostrar um horizonte operacional e prescrever ações de manutenção, traz ao ativo resultados de desempenho viáveis ao seu investimento. De acordo com Jasiulewicz-Kaczmarek e Gola, (2019) essa forma de trabalhar reduz o tempo total de inatividade do processo em trono de 30% a 50% e prolonga a vida útil do ativo entre 20% a 40%.

Após a implantação o processo de manutenção não irá apresentar grandes modificações em seu fluxo, o que vai mudar é a redução no tempo dos diagnósticos, na execução dos serviços de manutenção e nas falhas não previstas. Em contrapartida se as ferramentas forem usadas de forma correta haverá o aumento da performance do ativo e redução dos custos com manutenção, ou seja, no decorrer do tempo o ativo terá menos ações de manutenção corretiva e preventiva e a disponibilidade dos equipamentos e sistemas será maior, proporcionando maior produtividade e confiabilidade ao ativo.

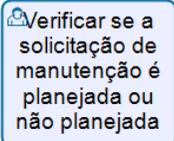
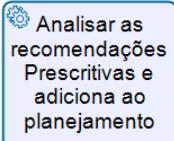
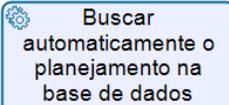
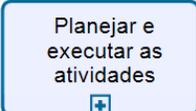
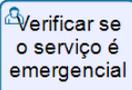
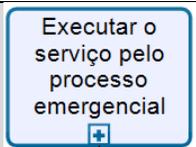
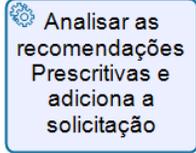
Os resultados após a implantação da proposta irão depender da instituição em que está realizando, isso porque existe o processo de maturidade dos envolvidos, para muitos é uma inovação e como toda a nova ferramenta existe um tempo de aprendizado e adaptação. Diante deste fato foi elaborado esse manual de modo a contribuir na orientação de profissionais, estudantes, gestores de ativos e outros interessando sobre o assunto a gerar um norte, para implantar e trabalhar com a manutenção prescritiva.

A Figura 03 mostra um exemplo de um processo de manutenção com a prescritiva, e o primeiro ponto a ser detectado é a origem dos serviços que é representado por um objeto de eventos (círculo em verde), que no processo convencional o início pode ser através da operação, inspeção ou manutenção, independente se são demandas planejadas ou não planejadas. Com a implantação da Manutenção Prescritiva a origem dos serviços de manutenção irá originar também do sistema prescritivo, ou seja, baseada na condição dos equipamentos e sistemas o próprio sistema irá prescrever ações e recomendações de manutenção.

A segunda mudança está após o primeiro desvio (quadrado amarelo), onde o fluxo poderá seguir por dois caminhos, dependendo da resposta prossegue por uma direção e em todas as direções há a inclusão de uma tarefa de checagem das recomendações prescritivas, (retângulo azul) desta forma todas as demandas de manutenção (corretiva, preventiva e preditiva) serão necessárias verificar se existem recomendações geradas pelo sistema prescritivo. Depois desta atividade o processo percorre o mesmo caminho da manutenção convencional até chegar ao final do processo representada por um objeto de eventos (círculo vermelho), onde mostra o fim do processo de manutenção.

A Tabela 02 mostra o resumo da função de cada atividade no processo de manutenção após a implantação da Manutenção Prescritiva.

Tabela 02 – Resumo da função de cada atividade no processo de manutenção

Símbolo	Descrição
	Representa o Início do processo que pode ser oriundo da operação, de outros setores, da manutenção e do sistema Prescritivo.
	Nesta tarefa é verificado a origem da solicitação, se uma solicitação de manutenção é planejada, ou seja, uma manutenção preventiva, preditiva ou corretiva planejada ou é uma solicitação de manutenção corretiva não planejada.
	Representa o sistema de manutenção com as informações de um Banco de dados.
	Esse objeto de fluxo representa o Desvio, que mostra dois caminhos que devem ser percorridos após a conclusão de uma tarefa.
	Essa atividade é de extrema importância no processo prescritivo, pois analisa as recomendações geradas pelo sistema prescritivo e adiciona ao planejamento da manutenção a ser realizada, auxiliado o executor a enxergar qual é a causa do problema e o que precisa ser realizado.
	Nesta tarefa tem a finalidade de buscar de forma automática o planejamento que já foi realizado anteriormente na base de dados.
	É realizado o planejamento das atividades para ser executada as as atividades no tempo estabelecido pela programação.
	Quando é constatado que o serviço é emergencial, tem prioridade de execução, liberação de horas extras, e outros trâmites que for necessário para a realização.
	A execução do serviço pelos trâmites emergenciais.
	Essa atividade é de extrema importância no processo prescritivo, pois analisa as recomendações geradas pelo sistema prescritivo e adiciona a solicitação do serviços de manutenção a ser realizada, auxiliado o executor a enxergar qual é a causa do problema e o que precisa ser realizado.

Símbolo	Descrição
 Verificar se já existe solicitação	Verifica se já existe alguma outra solicitação que contempla o mesmo serviço.
 Encerrar a solicitação informando que já existe outra solicitação em aberto	Encerrar a solicitação informando que já existe outra solicitação em aberto
 Verificar o setor responsável	Verifica qual é o setor responsável para executar a manutenção.
 Verificar a necessidade da solicitação	Verifica se o serviço que está sendo solicitado realmente precisa ser realizado, ou se precisa ser feito de uma outra maneira.
 Encerrar a solicitação informando que não existe demanda ou que já foi resolvido	Após constatado que não há necessidade de realizar o serviço encerra a solicitação informando que não existe demanda ou que o problema já foi resolvido por outros meios.
 Verificar se será realizada com mão de obra interna ou externa	Nessa verificação constata se possível realizar o serviço com equipe própria ou será necessário solicitar serviços externos.
 Verificar se a mão de obra é própria ou terceirizada?	É verificado se a equipe que irá realizar o serviço é da própria empresa ou de outra empresa.
Contratar ou acionar a empresa 	Como o serviço será realizado por outra empresa, verifica se existe contrato e encaminha o serviço ou contrata uma empresa para fazer.
Realizar o planejamento 	Realiza o planejamento dos serviços a serem realizados.
 Acionar o setor responsável	Quando o serviço é realizado com mão de obra própria é acionado o setor responsável fazer.
Programar a execução 	Após o planejamento é feita a programação para a execução do serviço.
Executar a Manutenção 	Executa a Manutenção

Símbolo	Descrição
 Registrar as atividades executadas e os recursos utilizados	Registra as atividades executadas e os recursos que foram utilizados.
	Mostra o fim do processo de manutenção.

Para a implantação do projeto é recomendável é utilizar o PM Canvas, que irá proporcionar uma visualização e concepção da proposta de uma forma lúdica e eficiente. O PM Canvas elaborado (Figura 04) para a implantação do projeto foi construído de uma de forma estratégica em função dos seus setores ou áreas. A área amarela do PM Canvas foi necessária realizar as perguntas (Por quê?).

A justificativa é à necessidade de adaptar o processo atual de manutenção de forma que o mesmo atenda Indústria 4.0.

O objetivo (*OBJ SMART*) é criar um processo padrão para implantação da manutenção Prescritiva.

Os benefícios são:

- ❖ Aumento da disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos e sistemas;
- ❖ Melhoria na qualidade dos produtos;
- ❖ Redução nos custos aplicados a manutenção;
- ❖ Redução de HH na manutenção.

Na área verde vêm as perguntas sobre o que será entregue, qual será o produto a ser entregue. Neste caso, o Produto será o Processo de manutenção Prescritivo e os requisitos serão as Atividades, as Decisões, os Artefatos e o Fluxo da manutenção.

Na área azul pergunta-se quem serão o público alvo, os interessados (*stakeholders*) que neste caso serão os Ativos, Clientes, Diretores e Fornecedores e quem será a equipe a realizar o projeto que este caso é os membros envolvidos na manutenção.

Figura 04 – PM Canvas elaborado para ajudar na implantação da Manutenção Prescritiva.

JUSTIFICATIVAS Necessidade de adaptar o processo atual de manutenção de forma que o mesmo atenda Indústria 4.0	PRODUTO Processo de manutenção Prescritivo	STAKEHOLDERS EXTERNOS Os Ativos Clientes Diretores Fornecedores	PREMISSAS Possuir os recursos tecnológicos necessários	RISCOS Não ser compreendido pelos profissionais da área
OBJ SMART Criar um processo padrão para implantação da manutenção Prescritiva	REQUISITOS Atividades Decisões Artefatos Fluxo da manutenção	EQUIPE Membros envolvidos na manutenção	GRUPO DE ENTREGAS 1. Analisar do processo de manutenção atual 2. Analisar a literatura da I 4.0 3. Elaborar o processo para manutenção Prescritiva	LINHA DO TEMPO 4. Três Meses 5. Três Meses 6. Seis Meses
BENEFÍCIOS - Aumento da disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos e sistemas - Melhoria no na qualidade dos produtos - Redução nos custos aplicados a manutenção - Redução de HH na manutenção		RESTRICÇÕES O projeto deve ser elaborado no prazo de 12 meses		CUSTOS Consultoria

Fonte: Adaptado de Finocchio (2013).

Na área laranja é a fase do como fazer, quais são as premissas para que seja possível realizar o projeto, neste caso é necessário possuir os recursos tecnológicos, depois analisa as restrições para elaboração do projeto que é o prazo de elaboração de 12 meses e como será elaborada a proposta do grupo de entregas, para esse projeto serão três etapas:

- ❖ Analisar do processo de manutenção atual;
- ❖ Analisar a literatura da I 4.0;

- ❖ Elaborar o processo para manutenção Prescritiva.

Na área bege estão as etapas dos questionamentos (quando e quanto), primeiramente se questiona os riscos envolvidos no PMP que é não ser compreendido pelos profissionais da área, os custos envolvidos na implantação que neste projeto são os custos de consultoria e o tempo sobre o grupo de entregas que pode ser realizado da seguinte maneira:

- ❖ Três Meses para a análise do processo de manutenção atual;
- ❖ Três Meses para análise e estudo da literatura sobre a Indústria 4.0 e a Manutenção Prescritiva;
- ❖ Seis Meses para elaborar o processo para a implantação da manutenção Prescritiva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelo conteúdo apresentado nesse manual, considera que o objetivo de contribuir com conhecimento aos interessados sobre o assunto (profissionais, estudantes, gestores de ativos e outros) sobre a implantação da manutenção prescritiva em processos de manutenção já existentes foi alcançado.

Após esse estudo e com o material exposto espera-se alcançar o resultado no sentido de contribuir com mais uma literatura específica sobre o tema, de modo que este trabalho possa contribuir aos atuais e futuros profissionais da área que trabalham ou desejam trabalhar com a manutenção prescritiva.

Uma recomendação para quem gostaria de se aprofundar sobre os temas abordados neste trabalho é descrever sobre o aprendizado dos profissionais que vão atuar ou já atuam em construção de projetos, de forma a desenvolver o conhecimento que todo equipamento precisa de manutenção, pensar em manutenibilidade, ou seja, o acesso, o tempo, a segurança para executar as atividades de manutenção. De modo avaliar o projeto desde o início, avaliar as condições esperadas de operação e manutenção do sistema, do processo e dos equipamentos.

REFERÊNCIAS

ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos. Documento Nacional de 2017. 32º Congresso Brasileiro de Manutenção e Gestão de Ativos, Curitiba, 2017.

ABPMP - Association of Business Process Management Professionals International. BPM CBOK Version 4.0 - Portuguese Version. Independently Published. 2020

BIZAGI BPMN Process Modeler. Disponível em: <<https://www.bizagi.com/pt/plataforma/modeler>> Acessado em 07.10.2021.

BRANCO FILHO, Gil. **A organização, o planejamento eo controle da manutenção.** Ciência Moderna, 2008.

CACHADA, Ana et al. Maintenance 4.0: Intelligent and predictive maintenance system architecture. In: 2018 IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). IEEE, 2018. p. 139-146.

CHUKWUEKWE, Douglas Okafor et al. Reliable, robust and resilient systems: towards development of a predictive maintenance concept within the industry 4.0 environment. In: EFNMS Euro maintenance conference. 2016.

HAMMAMI, Ahmed et al. Maintenance 4.0 of Wind Turbine. In: International Conference Mechatronics. Springer, Cham, 2019. p. 1-10.

HUB I4.0. A manufatura e a Indústria 4.0 (2018) Disponível em: <<https://www.hubi40.com.br/a-manufatura-e-a-industria-4-0/>> Acessado em 30.05.2019

KARDEC, Alan Kardec Pinto e NASCIF, Júlio Nascif Xavier. Manutenção Função Estratégica, 4ª. ed. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark Petrobras, 2019.

JASIULEWICZ-KACZMAREK, M. et al. Implementing BPMN in Maintenance Process Modeling. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS ARCHITECTURE AND TECHNOLOGY. Polônia, 2018.

MATYAS, Kurt et al. A procedural approach for realizing prescriptive maintenance planning in manufacturing industries. *CIRP Annals*, v. 66, n. 1, p. 461-464, 2017.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE - PMI. Project Management Body of Knowledge (PMBOK) 6. ed. Newtown Square: Project Management Institute, 2017

ROTTA, Fernando. Indústria 4.0 pode economizar R\$ 73 bilhões ao ano para o Brasil. Disponível em: <https://www.abdi.com.br/postagem/industria-4-0-pode-economizar-r-73-bilhoes-ao-ano-para-o-brasil.>, 2017. Acessado em 20.07.2020.

SAGE. Como a indústria 4.0 vai transformar a manufatura. Disponível em: <https://blog.sage.com.br/como-a-industria-4-0-vai-transformar-a-manufatura-2/> Acessado em 29.05.2019.

SANTOS, Marcos; MANHÃES, Aline Martins; LIMA, Angélica Rodrigues. Indústria 4.0: desafios e oportunidades para o Brasil. *Anais do X SIMPROD*, 2018.

WANG, Shiyong, et al. Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2016, 12.1: 3159805.

ZHONG, Ray Y. et al. Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. *Engineering*, v. 3, n. 5, p. 616-630, 2017.