

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ  
ESCOLA POLITÉCNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E  
SISTEMAS**

**GUILHERME LOURO BREZINSKI**

**PROPOSTA DE UM FRAMEWORK DE ARQUITETURA ORGANIZACIONAL  
PARA IMPLEMENTAÇÃO DOS CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR DE  
MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**

**CURITIBA**

**2019**

**GUILHERME LOURO BREZINSKI**

**PROPOSTA DE UM FRAMEWORK DE ARQUITETURA ORGANIZACIONAL  
PARA IMPLEMENTAÇÃO DOS CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR DE  
MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Área de concentração: Modelagem, Controle e Automação de Sistemas, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Deschamps  
Coorientador: Prof. Dr. Eduardo de Freitas Rocha Loures

**CURITIBA**

**2019**

Dados da Catalogação na Publicação  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná  
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR  
Biblioteca Central  
Edilene de Oliveira dos Santos CRB-9/1636

Brezinski, Guilherme Louro

B848p Proposta de um framework de arquitetura organizacional para implementação dos  
2019 conceitos da indústria 4.0 no setor de manutenção industrial / Guilherme Louro  
Brezinski ; orientador, Fernando Deschamps ; coorientador, Eduardo de Freitas  
Rocha Loures. -- 2019  
105 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná,  
Curitiba, 2019.

Bibliografia: f. 91-97

1. Máquinas – Indústria. 2. Manutenção. 3. Automação industrial. 4. Projetos de  
engenharia. 5. Desenvolvimento organizacional. I. Deschamps, Fernando. II.  
Loures, Eduardo de Freitas Rocha. III. Pontifícia Universidade Católica do Paraná.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. IV. Título

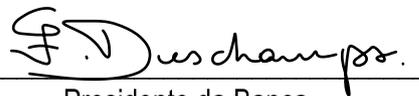
CDD. 20. ed. – 621.16

# TERMO DE APROVAÇÃO

## Guilherme Louro Brezinski

### PROPOSTA DE UM FRAMEWORK DE ARQUITETURA ORGANIZACIONAL PARA IMPLEMENTAÇÃO DOS CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0 NO SETOR DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL.

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, pela seguinte banca examinadora:



Presidente da Banca  
Prof. Dr. Fernando Deschamps



Prof. Dr. Eduardo de Freitas Rocha Loures  
(Membro Interno)



Prof. Dr. Eduardo Alves Portela Santos  
(Membro Interno)



Prof. Dr. Max Mauro Dias Santos  
(Membro Externo / PPGEE UTFPR-PG)

Curitiba, 07 de outubro de 2019.

## **AGRADECIMENTOS**

A todas as pessoas que dedicaram algum tipo de esforço em prol de mais este objetivo, deixo aqui meus mais sinceros agradecimentos.

A minha esposa, Antonielle, pelo apoio incondicional e por ser minha maior fonte de inspiração e de força. Por todo amor e todo esforço. Sem você eu não conseguiria.

A minha mãe, Rose, pelo exemplo. Por me ensinar, desde muito cedo, a correr atrás dos meus objetivos e ser forte e dedicado.

Ao meu pai e aos meus irmãos pelo apoio e pela paciência.

A minha sogra e segunda mãe, Luzia, por sua visão de futuro que me inspira, e por nos apoiar independentemente da situação. E ao meu sogro, que está sempre presente e também nos apoia incondicionalmente.

Aos meus orientadores, Fernando e Eduardo, por desmedida dedicação e por tanto auxílio nos momentos mais difíceis.

A PUCPR e ao PPGEPS e todos seus professores e colaboradores.

A Wert Solutions e todos seus sócios e colaboradores por acreditar neste projeto e nos dar totais condições de desenvolvê-los.

E por último, mas não menos importante, ao meu colega e amigo André Venâncio, que é a segunda pessoa que mais conhece esta pesquisa, pela parceria durante todos estes anos e por todos os trabalhos que ainda desenvolveremos juntos.

*"Not all those who wander are lost"-*

J. R. R. Tolkien

## RESUMO

Atualmente, os conceitos e tecnologias associados à Indústria 4.0 estão passando por um crescimento exponencial na aplicação para o desenvolvimento de sistemas de produção mais colaborativos, conectados e inteligentes. A proposta da quarta revolução industrial é simples, porém abrangente: conectar máquinas, sistemas e pessoas ao processo produtivo, para assim permitir melhorar a logística da produção, a utilização de recursos, diminuir a margem de erro e o uso de matérias primas. O fluxo de informação surge como principal motor desta revolução industrial, e seu ativo mais importante. O setor de manutenção também se baseia em seus fluxos de informação e, portanto, aparece como uma das áreas com maior potencial de impacto para a aplicação de tais conceitos e tecnologias. Nos dias de hoje, a manutenção desempenha um papel crítico na sustentação das operações de uma organização e, levando isso em consideração, o gerenciamento de manutenção requer uma abordagem multidisciplinar com uma perspectiva mais voltada a negócios. Uma boa estratégia para alinhar a perspectiva de negócios com a tecnologia da informação (TI) é a Arquitetura Organizacional ou *Enterprise Architecture*- EA. A EA é empregada pelas empresas para fornecer um ambiente integrado para apoiar o alinhamento dos negócios e TI da empresa. Uma abordagem para usar a EA é um *framework*, ou seja, um modelo que permite analisar os conceitos essenciais e as partes constituintes de uma metodologia de arquitetura organizacional. A proposta deste trabalho é a criação de um *framework* de arquitetura organizacional que possibilite a modelagem do fluxo de trabalho da manutenção com a implementação das tecnologias e conceitos da indústria 4.0, a fim de facilitar este processo e indicar as melhores práticas de funcionamento com a inserção dessas novas tecnologias. Os resultados mostram que, se aplicado em uma organização, o *framework* tem potencial para auxiliar a transformação dos processos dos setores de manutenção e, por consequência, de toda a organização, e integrar estes conceitos e tecnologias na busca pelo aumento da produtividade.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0, Manutenção, Arquitetura Organizacional, *Frameworks*.

## **ABSTRACT**

Currently, the concepts and technologies associated with Industry 4.0 are experiencing exponential growth in the application to the development of more collaborative, connected and intelligent production systems. The proposal of the fourth industrial revolution is simple but powerful: connecting machines, systems and people to the production process, to improve the logistics of production, use of the resources, reduce the margin of error and the use of raw materials. The flow of information emerges as the main driver of this industrial revolution, and its most important asset. The maintenance sector also depends on its information flows and, therefore, it appears as one of the areas with greater potential of impact for the application of such concepts and technologies. Today, maintenance plays a critical role in sustaining an organization's operations and, considering those, maintenance management requires a multidisciplinary approach with a business perspective. A good strategy for aligning the business perspective with information technology (IT) is the Enterprise Architecture (EA). EA is used by companies to provide an integrated environment to support the alignment of the company's business and IT. An approach to using EA is a framework, a model that allows analyzing the essential concepts and constituent parts of an organizational architecture methodology. The proposal of this work is the creation of an organizational architecture framework that enables the maintenance workflow modeling with the implementation of the technologies and concepts of industry 4.0, in order to facilitate this process and indicate the best working practices with the insertion of these new technologies. The results show that, if applied in an organization, the framework has the potential to assist the transformation of the maintenance sector processes and, consequently, the whole organization, and to integrate these concepts and technologies in the search for increased productivity.

**Keywords:** Industry 4.0, Maintenance, Enterprise Architecture, Frameworks.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Abordagem metodológica de pesquisa. ....	20
Figura 2- Objetivo da manutenção. ....	21
Figura 3- Objetivo da introdução das tecnologias da I4.0.....	22
Figura 4- - Processo de avaliação das tecnologias e conceitos da I4.0. ....	23
Figura 5- Processos (baseado em Giachetti-2010). ....	24
Figura 6- Pilares referenciais do M4.0EAF.....	26
Figura 7- Mind map da revisão bibliográfica.....	28
Figura 8- Linha do tempo das revoluções industriais. ....	31
Figura 9- Framework da Indústria 4.0 (Bechtold, Lauenstein, Kern and Bernhofer, 2014). ....	32
Figura 10- Arquitetura do RAMI 4.0 (ZVEI, 2015). ....	35
Figura 11- Arquitetura 5C (Lee, Bagheri e Kao, 2015). ....	36
Figura 12- Overview diferentes tipos de manutenção (baseado em BS EN 13306:2010). ....	40
Figura 13- Ciclo de vida dos sistemas organizacionais (baseado em Daft, 2012). ...	47
Figura 14- Zachman Framework. ....	49
Figura 15- Razões de adoção do ArchiMate (visual paradigm.com/guide/archimate/what-is-archimate/). ....	52
Figura 16- Estrutura do Archimate (visual-paradigm.com/guide/archimate/what-is-archimate/). ....	53
Figura 17 - Aspectos da estrutura Archimate (visual-paradigm.com/guide/archimate/what-is-archimate/). ....	54
Figura 18- -Camadas do Archimate (visual-paradigm.com) ....	54
Figura 19- Framework completo do Archimate (visual-paradigm.com/guide/archimate/what-is-archimate/). ....	55
Figura 20- Tela de utilização software Archi.....	56
Figura 21- Paleta de itens software Archi.....	56
Figura 22- Modelo conceitual dos fluxos de informação.....	59
Figura 23- Nível de motivação do modelo proposto. ....	61
Figura 24- Nível de motivação do modelo com nível estratégico. ....	62
Figura 25 - Nível de motivação do modelo com nível estratégico. ....	63
Figura 26- Exemplo de aplicação: solicitação de serviço. ....	66

Figura 27- Exemplo de aplicação: monitoramento em tempo real. ....	67
Figura 28- Exemplo de negócios: ações de manutenção.....	69
Figura 29- Exemplo de negócios: link com curso de ação. ....	70
Figura 30- Overview do M4.0EAF .....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Oito pilares do TPM.....	42
Tabela 2- Componentes do OEE.....	45
Tabela 3- Seis grandes perdas do TPM.....	46
Tabela 4- Cursos de ação.....	61
Tabela 5- Perfil dos entrevistados.....	77
Tabela 6- Análise de situação atual A e B.....	78
Tabela 7- Análise de situação atual C.....	78
Tabela 8- Análise de situação atual D.....	79
Tabela 9- Análise de situação atual E.....	80
Tabela 10- Análise de utilidade-factibilidade.....	80
Tabela 11- Análise de utilidade 1.....	81
Tabela 12- Análise de utilidade 2.....	81
Tabela 13- Análise de utilidade 3.....	81
Tabela 14- Análise de utilidade 4.....	82
Tabela 15- Análise de utilidade 5.....	82
Tabela 16- Análise de utilidade 6.....	83

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

M4.0EAF	<i>Maintenance 4.0 Enterprise Architecture Framework</i>
I4.0	<i>Industria 4.0</i>
TI	<i>Tecnologia da informação</i>
EA	<i>Enterprise Architecture</i>
EAF	Enterprise Architecture Framework
TPM	Total Productive Maintenance
CMMS	<i>Computadorized Maintenance Management System</i>
PDCA	<i>Plan, Do, Check and Action</i>
RAMI 4.0	<i>Reference Architectural Model Industrie 4.0</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
CPS	<i>Cyber Physical Systems</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
EE	<i>Enterprise Engineering</i>
CAS	<i>Complex Adaptive System</i>
EAIM	<i>Enterprise Architecture Implementation Methodology</i>
TQM	<i>Total Quality Management</i>
JIT	<i>Just in Time</i>
IPv4	<i>Internet Protocol version 4</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA.....	16
1.2	OBJETIVOS.....	16
1.2.1	Objetivo Geral.....	16
1.2.2	Objetivos Específicos.....	17
1.3	JUSTIFICATIVA DE PESQUISA .....	17
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	18
<b>2</b>	<b>ABORDAGEM METODOLÓGICA .....</b>	<b>19</b>
2.1	PESQUISA EXPLORATÓRIA.....	20
2.2	PESQUISA EXPERIMENTAL.....	23
2.3	ESTUDO APLICADO.....	25
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>27</b>
3.1	INDÚSTRIA 4.0 .....	29
3.1.1	Sistemas ciber-físicos.....	35
3.2	MANUTENÇÃO .....	38
3.2.1	Manutenção Produtiva Total.....	41
3.3	ARQUITETURA ORGANIZACIONAL .....	47
3.4	SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	49
<b>4</b>	<b>MODELAGEM.....</b>	<b>51</b>
4.1	CMMS.....	51
4.2	FERRAMENTAS.....	51
4.2.1	Archimate.....	51
4.2.1.1	O Core do Framework ArchiMate .....	53
4.2.1.2	Software Archi .....	55
4.3	EXECUÇÃO.....	57
4.3.1	Modelagem do Fluxo de Informação.....	57
4.3.2	Modelagem do Framework .....	60
4.3.2.1	Motivação .....	60
4.3.2.2	Nível Tecnológico .....	62
4.3.2.3	Nível de Aplicação .....	63
4.3.2.4	Nível de negócios .....	67
4.3.2.5	Comportamento.....	70

<b>5</b>	<b>AVALIAÇÃO.....</b>	<b>72</b>
5.1	ROTEIRO .....	72
5.1.1	Sensibilização.....	72
5.1.2	Análise de situação atual .....	73
5.1.3	Análise de utilidade.....	75
5.1.3.1	Factibilidade.....	75
5.1.3.2	Utilidade.....	75
5.2	PERFIL DOS ENTREVISTADOS .....	76
5.3	RESULTADOS .....	78
5.3.1	Análise de situação atual .....	78
5.3.2	Análise de utilidade- factibilidade.....	80
5.3.3	Análise de utilidade.....	81
5.4	SÍNTESE .....	83
5.4.1	Análise de situação atual .....	83
5.4.2	Análise de utilidade- factibilidade.....	85
5.4.3	Análise de utilidade.....	85
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>87</b>
6.1	OBJETIVOS DE PESQUISA .....	88
6.2	RECOMENDAÇÕES .....	89
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>91</b>
	<b>APÊNDICE.....</b>	<b>98</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A proposta da quarta revolução industrial é simples, porém poderosa: conectar máquinas, sistemas e pessoas ao processo produtivo, para assim permitir melhorar a logística da produção, a utilização de recursos, menor margem de erro e de uso de matérias primas. Combinando a força das indústrias tradicionais com as tecnologias de ponta da internet temos a Indústria 4.0. Ela abrange um conjunto de tecnologias que permitem produtos inteligentes integrados em um processo digital interligado (Schmidt, R. *et al.* 2015). Os avanços na computação e na comunicação estão tomando forma sob a Internet das Coisas, tecnologia Máquina-a-Máquina e Sistemas Ciber-Físicos (CPS). O impacto na engenharia de tais sistemas é um novo paradigma técnico baseado em conjuntos de sistemas de software embarcados (Mosterman, P. J.; Zander, J. 2015).

O momento tecnológico da Manufatura Avançada, ou *Advanced Manufacturing*, termo mais utilizado nos EUA para definir a quarta revolução industrial (Rafael, Jackson, Shirley e Liveris, 2014) é fruto da integração de máquinas e dispositivos físicos complexos com sensores e software em rede, usados para prever, controlar e planejar melhores resultados empresariais e sociais (Consortium II, 2013). O avanço contínuo da capacidade dos computadores, da digitalização da informação e das novas estratégias de inovação são terreno fértil para o desenvolvimento do conceito.

A Indústria 4.0 é um termo que agrega tecnologias e conceitos da cadeia de valor. Nas fábricas inteligentes, estruturadas e modulares, o CPS monitora os processos físicos, cria uma cópia virtual do mundo físico e toma decisões descentralizadas. Com a Internet das coisas, o CPS se comunica e coopera com os seres humanos em tempo real. Por meio da Internet of Services (IoS), os serviços internos e entre organizações são oferecidos e utilizados pelos participantes desta cadeia de valor (Hermann, Pentek e Otto, 2015).

A promessa é eficaz: um aumento na produtividade, aumento de inteligência e linhas de produção altamente eficientes com capacidade crescente de computação e recursos dependentes de informações. A informação é o principal motor desta revolução, e *seu ativo mais importante*.

Não é somente a quarta revolução industrial que se baseia no fluxo de informação para otimizar seus processos e funções. Na verdade, os setores de manutenção das indústrias e de outros segmentos empresariais utilizam a informação como ativo principal há muito tempo.

Atualmente, a manutenção é um processo de gestão complexo que associa diversos processos organizacionais, como produção, qualidade, meio ambiente, análise de risco e segurança, e desempenha um papel crítico na sustentação das operações. O setor de manutenção tende a se beneficiar muito com a implementação das tecnologias ligadas a I4.0, porém existem alguns desafios específicos a serem considerados antes que isso aconteça. Segundo Bokrantz, J. *et al.* (2017), os desafios específicos para manutenção no contexto da indústria 4.0 incluem, por exemplo: planejamento de manutenção no nível do sistema; interoperabilidade; Segurança de TI; gerenciamento de dados de longa duração ao longo da vida; propriedade de dados; e colaboração homem-máquina. Além dos desafios tecnológicos, Pellegrino, C.; Faleschini, F. (2016) reconhecem que a força de trabalho de manutenção da próxima geração precisará de novas habilidades para efetivamente utilizar a tecnologia moderna e gerenciar sistemas altamente automatizados e complexos. Isso requer educação e treinamento em vários níveis. Roy *et al.* (2016) mencionam com frequência como a nova tecnologia pode reduzir os erros humanos e apoiar as capacidades humanas de maneira colaborativa. Em suma, estes estudos recentes ampliam o foco rigoroso sobre os desafios tecnológicos da manutenção futura, mas também reconhecem gradualmente os desafios sociais que são consistentemente destacados em relação à fabricação digitalizada. Levando isso em consideração, o gerenciamento de manutenção requer uma abordagem multidisciplinar com uma perspectiva de negócios.

Segundo Azevedo *et. al.* (2015), uma boa estratégia para alinhar a perspectiva de negócios com a tecnologia da informação (TI) é a Arquitetura Organizacional (*Enterprise Architecture- EA*). A EA é empregada pelas empresas para fornecer um ambiente integrado para apoiar o alinhamento dos negócios e TI da empresa. Uma abordagem para usar o EA é um framework. Segundo Rouhani, B.D. *et al.* (2015), um *Enterprise Architecture Framework* (EAF) representa a estrutura para modelar os negócios e as entidades de TI da empresa. Existem vários modelos para diferentes perspectivas no EAF, cada um com diferentes escopos e atividades. As saídas do

EAF são artefatos da EA que consistem em modelos, diagramas, documentos e relatórios.

Por ser tendência mundial, a transformação digital, que por definição relaciona a transformação da economia e da sociedade mediante o sistemático uso de tecnologias de comunicação e informação impactando diretamente nas áreas de negócios e na produtividade do trabalhador (VDI, 2017), acaba despertando a curiosidade dos players do mercado industrial. Apesar disso, ainda existe muita dúvida quanto a utilização dessas novas tecnologias. Qual o melhor momento de implementação, em quais tecnologias deve-se investir e quais processos oferecerão uma melhor adaptação a esses requisitos são alguns dos problemas mais recorrentes. Tendo em vista que, dentro do processo estratégico da maioria das empresas hoje, a manutenção é peça chave e uma das atividades principais do ciclo de vida da produção, representando de 60 a 70% de seus custos totais (Mourtzis et al., 2016). Atualmente este setor está intimamente relacionado com a tecnologia da informação, além de ser uma das áreas com maior potencial de impacto para aplicação dos conceitos e tecnologias da I4.0 por duas razões principais: (i) a manutenção desempenha um papel crítico na sustentação das operações; (ii) criticamente dependente da troca de informações (Brezinski 2017).

Com base nos estudos de (Dunn, R.L. 1987) os custos de manutenção representam de 15% a 40% dos custos totais de produção. Somando isso ao fato de que os processos de manutenção são relativamente mais dependentes de TI que outros processos do ambiente fabril, é fácil identificar certa vantagem em iniciar as implementações da transformação digital dentro de uma empresa por meio do setor de manutenção.

Segundo o relatório da Fraunhofer RAMI 4.0 (2015), esta nova revolução vai beneficiar o sistema produtivo com mais qualidade, flexibilidade, produtividade, padronização, velocidade e melhoria contínua, trazendo ao mundo novas oportunidades de mercado, de modelos de negócios e uma competição globalizada nunca vista. Apesar de tantas vantagens, o relatório “Indústria 4.0” da consultoria McKinsey (2016) aponta que em comparação com a 3ª revolução industrial, a 4ª revolução terá um impacto relativamente alto comparativamente com pouca substituição de equipamento (a efeito de comparação, foi necessário substituir de 80% a 90% dos equipamentos entre a 2ª e a 3ª revolução industrial, contra 40% a 50% entre a 3ª e a 4ª revolução).

Apesar disso, ainda existe ruído quanto ao tamanho desta revolução e o impacto financeiro e tecnológico que será causado. A ampla oferta de tecnologias no escopo da Indústria 4.0 dificulta a identificação, por parte dos usuários, das formas mais eficientes para atender suas necessidades. Além disso, os complexos modos de funcionamento exigem elevado grau de conhecimento para que os usuários consigam empregar as tecnologias de forma eficiente.

Torna-se então clara a necessidade do sistema produtivo de recorrer a um agente que possa transformar a metodologia científica que engloba os conceitos da transformação digital em um sistema de utilização prática, para auxiliar as empresas na busca pelo estado da arte 4.0. Sendo assim, este trabalho visa auxiliar a transformação digital em um dos setores mais atingidos por essas transformações, o setor de manutenção, com a criação de um *framework* que envolve também conceitos de arquitetura organizacional, que ajudam a utilizar os recursos de forma eficiente, responder rapidamente a mudanças no ambiente e realizar melhoria contínua.

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Considerando o contexto apresentado, o problema de pesquisa é o seguinte:  
**Como as novas tecnologias associadas a indústria 4.0 podem ser aplicadas para dar suporte à função manutenção em sistemas de produção?**

## 1.2 OBJETIVOS

Para solucionar o problema de pesquisa, o seguinte objetivo geral foi proposto, levando em consideração todo o *background* apresentado anteriormente.

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é propor um *Framework* de Arquitetura Organizacional (EAF) que oriente o processo de implementação dos conceitos e das tecnologias da indústria 4.0 para dar suporte à função manutenção em sistemas de produção. Este *framework*, que será chamado de M4.0EAF (*Maintenance 4.0 Enterprise Architecture Framework*) deve alinhar estratégias com os recursos e processos necessários para implementação e permitir a integração necessária de elementos que podem agir juntos em um ambiente de negócios dinâmico.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

1. Identificar os principais requisitos e critérios para o funcionamento da função de manutenção, com foco na coleta de informações, armazenamento, troca e processamento;
2. Identificar tecnologias e conceitos da indústria 4.0 que poderiam ser aplicados para melhorar o funcionamento da função de manutenção, respeitando esses requisitos e critérios;
3. Propor uma Arquitetura Organizacional envolvendo as tecnologias e os conceitos para o desenvolvimento de funções de manutenção mais colaborativas, conectadas e inteligentes;
4. Avaliar a aplicabilidade desta arquitetura em diferentes contextos de manutenção.

### 1.3 JUSTIFICATIVA DE PESQUISA

Este trabalho possui quatro objetivos específicos. Inicialmente, é realizada uma delimitação da temática envolvida, identificando os critérios para o funcionamento da função manutenção, e então definida toda a metodologia teórica.

Após isso, é realizada a pesquisa exploratória, primeiramente abordando todos os elementos pertinentes da quarta revolução industrial, seus principais conceitos e as tecnologias utilizadas. Depois, ainda nesta etapa, serão abordadas as funções de manutenção que serão contextualizadas, e, finalmente, os critérios de arquitetura organizacional utilizados durante o desenvolvimento do trabalho.

Na terceira parte do trabalho, os conceitos a serem utilizados serão definidos em ordem e depois descritos por meio do procedimento metodológico. Nesta etapa, será realizada a pesquisa experimental e, portanto, será modelado primeiramente o fluxo de informação e após isso, elaborado o modelo final e proposta a arquitetura organizacional relacionada no objetivo específico número 3.

Na avaliação do modelo serão realizados testes de factibilidade e usabilidade do modelo proposto. Será o estudo aplicado da ferramenta e partirá de uma sensibilização das partes interessadas e de um breve diagnóstico da situação atual.

Após a finalização dos objetivos específicos, será possível orientar o processo de implementação dos conceitos e das tecnologias da indústria 4.0 para dar suporte

à função manutenção em sistemas de produção por meio do *framework* resultante deste trabalho. Espera-se que este *framework* possa contribuir positivamente com o alinhamento estratégico dos processos da organização.

#### 1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura do documento foi desenvolvida com base na abordagem metodológica descrita na Figura 1. O capítulo 01 trata da problemática envolvida, o universo de atuação do trabalho, os objetivos gerais e específicos, a relevância e sua justificativa.

O Capítulo 02 irá estruturar a solução para o problema identificado no Capítulo 01, e assim estabelecer uma metodologia sólida para aplicação dos conceitos que serão fundamentados no Capítulo 03

O Capítulo 03 fará a apresentação da Revisão de Literatura realizada no desenvolvimento do trabalho, focando esforços nos três conceitos principais utilizados para o desenvolvimento do modelo: Indústria 4.0, Manutenção e Arquitetura organizacional.

O Capítulo 04 abordará a modelagem do framework de arquitetura organizacional. Neste capítulo, serão expostas as ferramentas utilizadas para criação do modelo, os conceitos contidos, o fluxo de informação do modelo, as tecnologias empregadas e as metas estabelecidas.

O Capítulo 05 trará a avaliação prática do modelo proposto, destacando como foi realizada a sensibilização das partes interessadas, o diagnóstico atual, a factibilidade e a usabilidade do modelo.

Finalmente, o Capítulo 06 fará as considerações finais do trabalho, como a análise dos pontos fortes e fracos do modelo, a proposição de trabalhos futuros relacionados e a contribuição científica do modelo.

## 2 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Segundo Howell (2013), uma metodologia é a estratégia geral de pesquisa que descreve a maneira pela qual a pesquisa deve ser realizada e fornece a base teórica para entender qual método, conjunto de métodos ou melhores práticas podem ser aplicados a um caso específico.

Tendo como motivação a problemática descrita na seção 1.1, são definidos 3 métodos para alcançar o objetivo proposto. São eles:

1. Pesquisa exploratória: Quais são as tecnologias e os conceitos pertinentes para o desenvolvimento do estudo e como eles se encaixam;
2. Pesquisa experimental: De que maneira é possível desenvolver o referencial teórico a ponto de transformar o estudo em uma contribuição científica;
3. Estudo aplicado: Como os processos do contexto de manutenção passarão a funcionar com a inserção dessas novas tecnologias e quais são as vantagens e desvantagens do modelo desenvolvido.

Com esta divisão, é possível definir um corpo de regras e diligências estabelecidas para realizar esta pesquisa, ou seja, uma metodologia.

A Figura 01 representa as principais etapas da pesquisa, os métodos utilizados em cada etapa e a relação destes métodos e destas etapas com o objetivo do trabalho.



Figura 1- Abordagem metodológica de pesquisa.

## 2.1 PESQUISA EXPLORATÓRIA

O principal objetivo deste trabalho é encontrar uma forma mapear e organizar os fluxos para um setor de manutenção que incluam as novas tecnologias e conceitos da indústria 4.0. É importante frisar que, em vez de considerar o setor de manutenção como o universo de estudo, este é apenas uma unidade de um universo maior (que neste caso, seria a organização completa) e, portanto, é inerente que os resultados sejam analisados não apenas do ponto de vista da manutenção, e sim do ponto de vista da organização como detentora de todos os processos, incluindo o da manutenção. Partindo deste princípio, podemos definir o objetivo do setor de manutenção, visto a partir de uma visão holística da organização, como visto na Figura 2.



Figura 2- Objetivo da manutenção.

É visível que o setor de manutenção corresponde a uma pequena, porém crucial, parcela de uma organização. Se seu principal objetivo é manter os processos desta organização ativos, sua principal motivação então deve, conseqüentemente, estar alinhada com as motivações e os anseios da organização como um todo. Por isso a importância de uma ferramenta que trate de todo o setor de manutenção sem desprezar sua importância para o resto do universo de estudo.

Descendo um nível neste posicionamento objetivo, podemos ter uma visão holística do setor de manutenção, que será repensado para que possa absorver as tecnologias e conceitos da indústria 4.0, e, assim, ficar mais próximo de seu “estado da arte”, que apesar das mudanças com os novos cenários criados pelas novas tecnologias, não perdeu sua essência e seu principal objetivo ao longo do tempo, que é impedir ou prevenir a ocorrência de falhas, como na Figura 3.

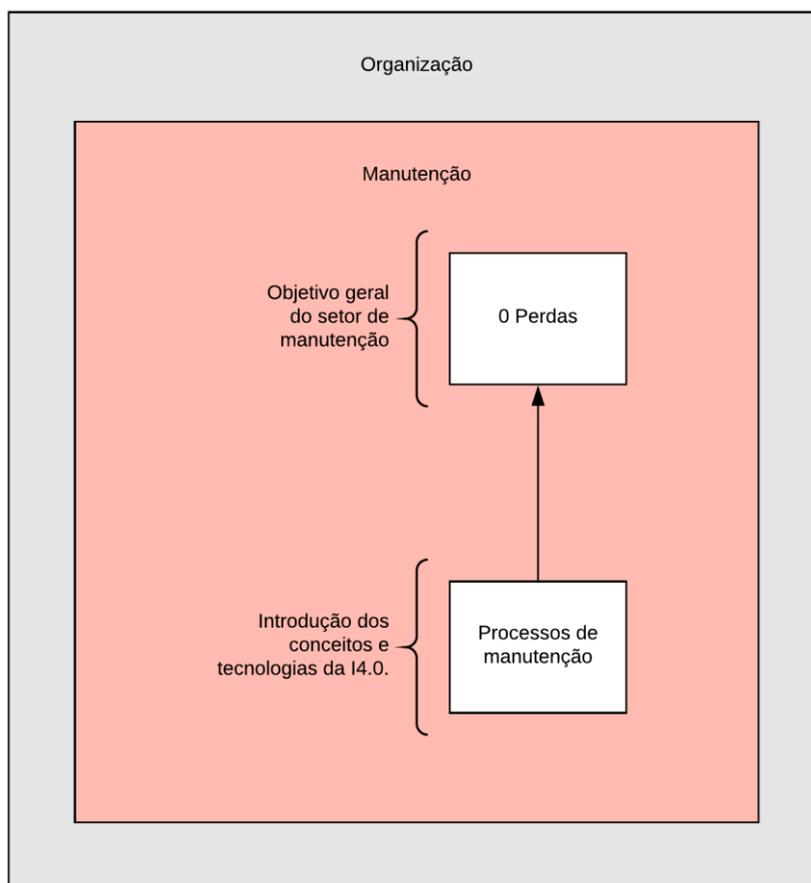


Figura 3- Objetivo da introdução das tecnologias da I4.0.

Também é necessário descrever o método utilizado para analisar a inserção das tecnologias e dos conceitos da indústria 4.0 nos processos de manutenção. Na subseção 4.2.2, este trabalho apresentará mais a fundo a razão pela qual cada uma das 7 tecnologias selecionadas para fazer parte do modelo foi escolhida, porém no geral, foram avaliadas aderência ao modelo proposto, utilização comprovada em modelos de manutenção na literatura científica, objetivos alinhados a metodologia proposta e relevância. A Figura 4 mostra o processo de avaliação.

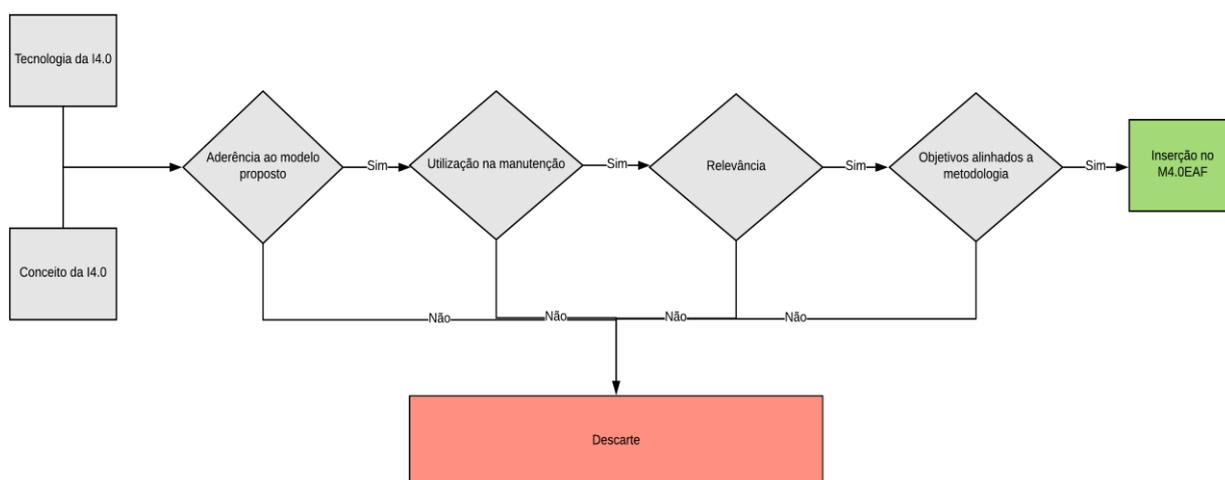


Figura 4- - Processo de avaliação das tecnologias e conceitos da I4.0.

## 2.2 PESQUISA EXPERIMENTAL

Os fluxos de trabalho do setor de manutenção têm impacto direto em todos os processos da organização e, portanto, devem estar alinhados com os objetivos da organização a fim de mantê-los ativos. Via de regra, a manutenção impede que os processos da organização parem de funcionar ou tenham seu rendimento diminuído em virtude de problemas com os ativos envolvidos nestes processos. Para que os fluxos de trabalho da manutenção não atrapalhem ou impeçam que os fluxos de trabalho do resto da organização mantenham se funcionando, é necessário desenvolver um modelo a partir de uma visão holística da organização para que tudo funcione em sincronia. Nos conceitos de arquitetura organizacional, isso é chamado de projeto de engenharia. Segundo Giachetti (2010), o projeto de engenharia é um processo sistemático e inteligente no qual os projetistas geram, avaliam e especificam conceitos para sistemas cuja forma e função atinjam os objetivos das partes interessadas enquanto satisfazem um conjunto específico de restrições.

Uma boa arquitetura organizacional pode evitar que os fluxos de trabalho da manutenção entrem em conflito com o resto dos fluxos da empresa. Ainda segundo Giachetti (2010) a arquitetura organizacional é um projeto de alto nível da empresa, e especifica uma visão corporativa dos processos, informações e organização da empresa e como as três visões são integradas. A Figura 5 é baseada em Giachetti (2010) e exemplifica um fluxo de processos.

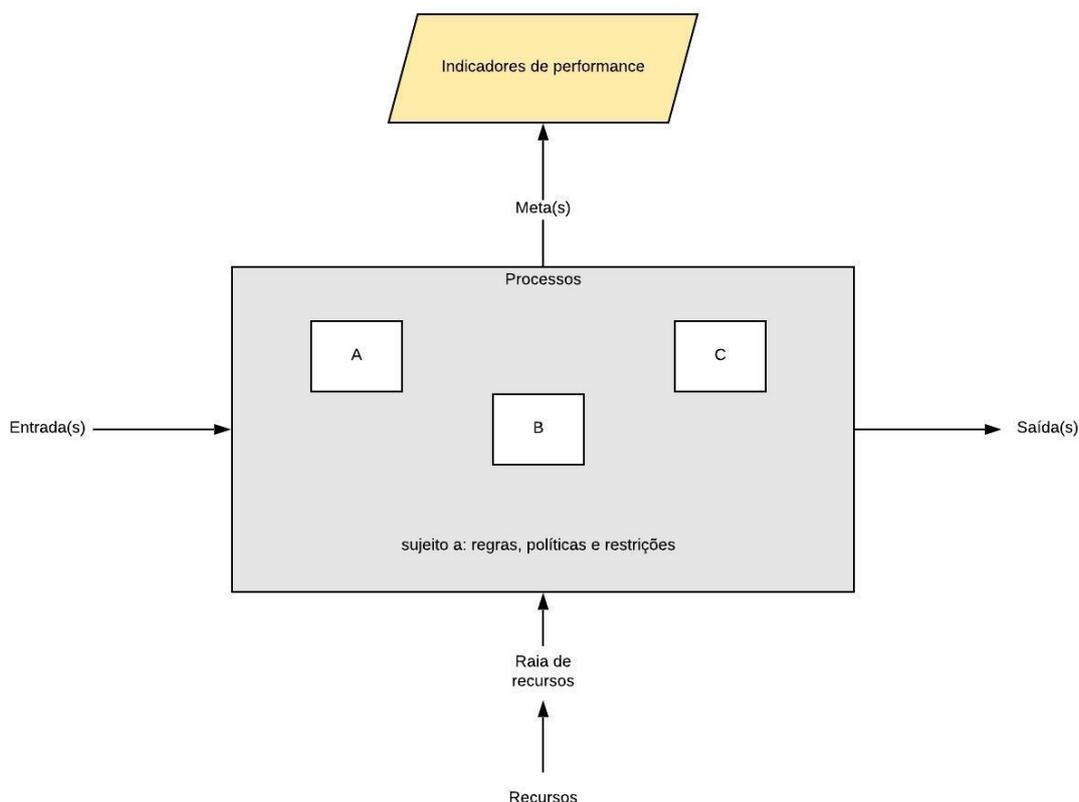


Figura 5- Processos (baseado em Giachetti-2010).

Após definir as ferramentas e os métodos utilizados para a confecção do modelo, será mostrado todo o processo de criação dele. A criação foi dividida em duas partes. Primeiramente, a confecção de um modelo conceitual, que não atende os requisitos de framework de arquitetura organizacional, porém é necessário para definição do fluxo de informação presente. O fluxo da informação é a parte mais importante do modelo porque, afinal, concentra toda a informação trocada dentro da manutenção, que é o principal ativo do framework e objeto de estudo deste trabalho. Após apresentar o modelo conceitual do fluxo de informação pertinente do setor de manutenção já mesclado com os conceitos e as tecnologias da indústria 4.0, será apresentado o M4.0EAF em si, assim como todos os passos necessários para desenvolvê-lo.

## 2.3 ESTUDO APLICADO

Tendo como base a problemática do estudo e seus objetivos específicos, será possível traçar uma estratégia de desenvolvimento alinhando a inserção de novas tecnologias da Indústria 4.0 nos fluxos de trabalho do setor de manutenção de uma organização mantendo seus processos ativos e sem mudanças significativas. Para que esses objetivos sejam alcançados é imprescindível se basear na literatura e em conceitos já validados que estejam alinhados com as necessidades geradas pela problemática encontrada.

Para realizar uma boa revisão da literatura existente, foram definidos três pilares conceituais (ou pilares referenciais) que vão nortear este estudo. Estes pilares- Indústria 4.0, Manutenção e Arquitetura Organizacional se completam e dão razão a todos os conceitos existentes aqui, paralelamente ao desenvolvimento do modelo, os pilares serão definidos para que não exista margem de entendimento quanto as suas funções dentro do M4.0EAF e para que se possa explicar as ligações entre eles. Aliás, a escolha de cada um deles se dá, principalmente, pela facilidade com que eles se encaixam entre si, formando conceitos adjacentes que também são importantes para a criação do Framework. Tanto a definição dos pilares, que são mostrados na Figura 6, quanto de todos os conceitos que os intercalam, serão mostrados no Capítulo 03.

A avaliação do modelo será apresentada no Capítulo 04, acompanhada dos feedbacks dos entrevistados, ressaltando pontos positivos e negativos da implementação do M4.0EAF em suas organizações.

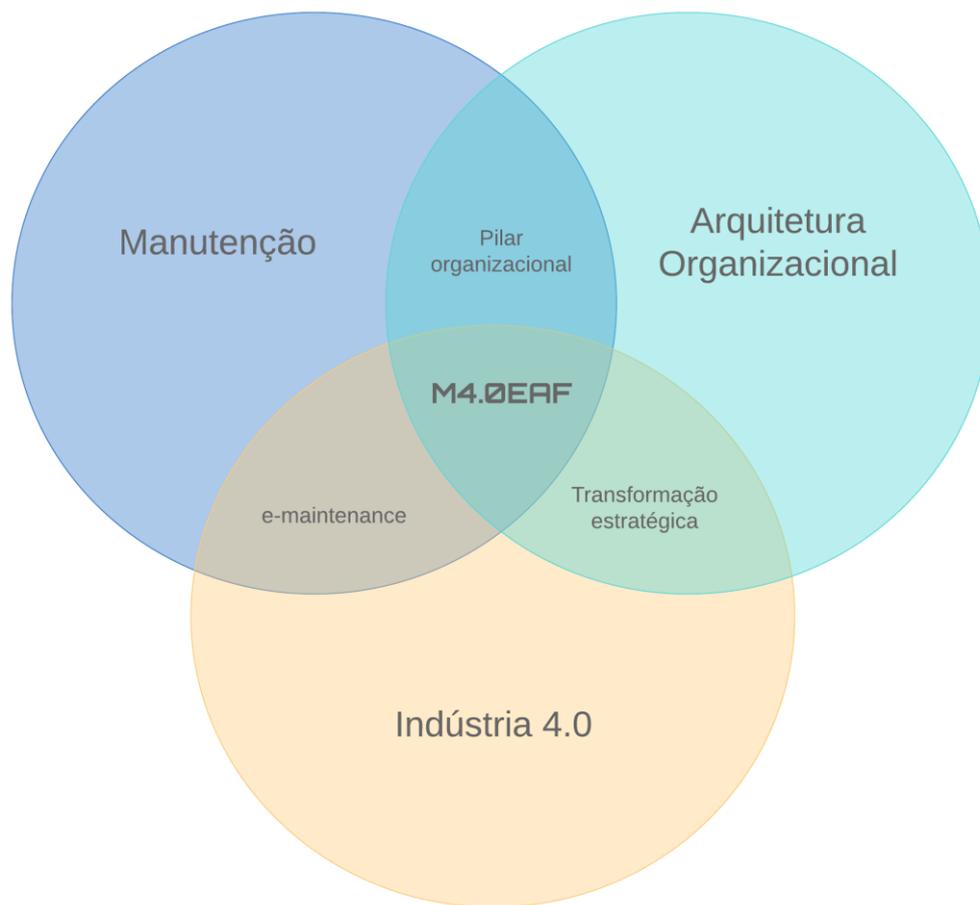


Figura 6- Pilares referenciais do M4.0EAF.

Para modelagem do M4.0EAF, o trabalho será dividido em quatro passos principais. São eles:

- Passo 1- Motivação: Definição, por meio da literatura, de uma motivação para o trabalho. Qual será o objetivo do modelo? Onde o fluxo de trabalho levará? Quais os cursos de ação a serem tomados?
- Passo 2- Nível Tecnológico: Quais tecnologias estarão presentes no modelo?
- Passo 3- Nível de Aplicação: Quais aplicações de manutenção precisam ser definidas no modelo?
- Passo 4- Comportamento: Como o modelo se comportará, isto é, qual fluxo deve seguir, como e quando.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Tão importante quanto a geração do modelo proposto é uma base robusta de conhecimento científico. Neste capítulo, é realizada uma revisão de literatura acerca dos pilares referenciais que formarão a identidade do *framework* proposto, levantando características essenciais de funcionamento e definição de cada um deles.

Toda revisão de literatura relevante para montagem do M4.0EAF foi compilada em um *mind map* para fácil absorção dos conceitos envolvidos, este *mind map* pode ser visto na Figura 7.

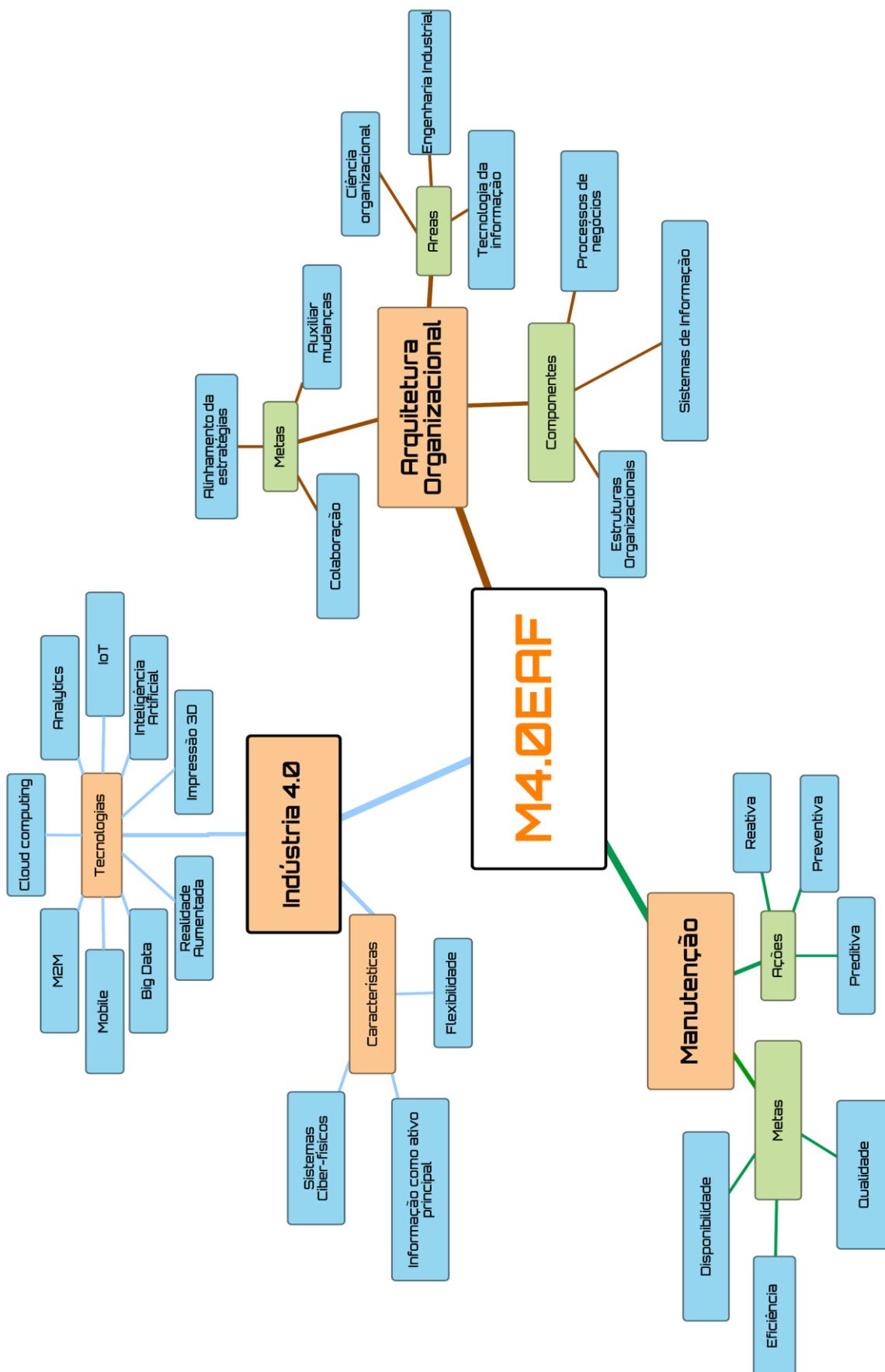


Figura 7- Mind map da revisão bibliográfica.

Esta seção do trabalho irá discutir mais a fundo cada um dos pilares anteriormente apresentados (Indústria 4.0, Manutenção e Arquitetura Organizacional) assim como suas vertentes mais importantes para o framework proposto. Na sequência, será realizada uma síntese com as principais definições utilizadas para a modelagem do framework.

A grande motivação deste trabalho é a tendência da digitalização industrial e suas implicações no dia a dia das organizações afetadas, portanto, a quarta revolução industrial é tida como o principal pilar referencial do M4.0EAF. Na seção 3.1, será mostrada toda a história da indústria 4.0, seus motivadores, principais conceitos, pilares, *frameworks* e as tecnologias relevantes. Além disso, na subseção 3.1.1 o trabalho apresentará mais a fundo o principal conceito da I4.0, os sistemas ciber-físicos (do inglês *cyber physical systems* ou CPS).

Na seção 3.2 serão apresentadas as principais ações de manutenção- reativa, preventiva e preditiva, e como essas ações serão impactadas pela introdução dos conceitos da indústria 4.0. Serão apresentadas também as principais metas dos setores de manutenção dentro de uma organização a partir da visão das mais avançadas metodologias existentes para se atingir o almejado “estado da arte” da manutenção, como, por exemplo, a Manutenção Produtiva Total (do inglês *Total Productive Maintenance*- TPM) que será apresentada na subseção 3.2.1

A seção 3.3 destacará os principais conceitos da arquitetura organizacional como sendo a área que engloba o conhecimento, princípios e práticas para projetar organizações como sistemas adaptativos complexos, e, portanto, a sua contribuição para a criação de um modelo que seja capaz de alinhar os processos de negócios e as estratégias organizacionais.

Por fim, a seção 3.4 faz uma síntese de todos os conceitos discutidos e a maneira com a qual eles se inter-relacionam.

### 3.1 INDÚSTRIA 4.0

O termo Indústria 4.0 surgiu em meados de 2011, durante a feira tecnológica de Hannover (*Hannover Messe*). Em 2012, um grupo de trabalho foi criado pela Academia Alemã de Ciência e Engenharia (ACATECH) para a realização de um relatório de recomendações para implementação da Indústria 4.0 junto ao governo alemão. Este grupo, presidido por Henning Kagermann E Siegfried Dais apresentou

em 2013 seu conjunto final de recomendações- o “*Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*” tido até hoje como grande precursor teórico da quarta revolução industrial.

Para se entender o conceito da indústria 4.0, é necessário primeiramente revisar quais já foram os avanços que de certa forma causaram uma ruptura no modo de produção, e assim compreender mais profundamente, sob a ótica do passado, qual o tamanho das mudanças pelas quais a tecnologia industrial estará sujeita nos próximos anos. São elas:

A Primeira Revolução Industrial ocorreu na Inglaterra em meados do século 18 e foi potencializada pela invenção do motor a vapor. Durante a segunda metade do século XIX, a Segunda Revolução Industrial surgiu na Europa e nos EUA. Essa revolução foi caracterizada pela produção em massa e pela substituição do vapor por energia química e elétrica. Para atender à crescente demanda, diversas tecnologias na indústria e mecanização foram desenvolvidas, como a linha de montagem com operações automáticas, permitindo o aumento da produtividade. A invenção do circuito integrado (microchip) foi o avanço tecnológico que desencadeou a Terceira Revolução Industrial. O uso de eletrônicos e tecnologia da informação, a fim de obter mais automação na produção, é a principal característica dessa revolução que surgiu nos últimos anos do século XX em muitos países industrializados ao redor do mundo (Pereira, Romero, 2017). A Figura 8 apresenta uma linha do tempo das sucessivas revoluções até os dias de hoje.



Figura 8- Linha do tempo das revoluções industriais.

Com o início da utilização da automação e da Internet das Coisas (do inglês *Internet of Things*- IoT) no ambiente da manufatura, é possível prever um futuro a curto e médio prazo onde, segundo Kagermann, H. *et al.* (2013) as empresas estabelecerão redes globais que incorporarão suas máquinas, sistemas de armazenamento e instalações na forma de sistemas ciber-físicos (CPS). Os sistemas ciber-físicos (CPS), que são frequentemente usados para definir a indústria 4.0, representam um dos avanços mais significativos em ciência da computação e desenvolvimento de tecnologias da informação. Esses sistemas consistem na interação entre o ambiente físico e o virtual, integrando, controlando e coordenando processos e operações e, simultaneamente, fornecendo e utilizando acesso e processamento de dados (Neugebauer, Hipmann, 2016). Geralmente, o CPS pode ser definido como tecnologias inovadoras que permitem o gerenciamento de sistemas interconectados através da integração de seus ambientes físico e computacional (Lee, Bagheri, Kao, 2015). Os sistemas ciber-físicos são a raiz dos conceitos de indústria 4.0 deste trabalho, e serão mais bem abordados na sub-seção 3.1.1.

Ainda segundo Kagermann, H. *et al.* (2013) para se ter sucesso na implementação da I4.0, algumas características são mandatórias. São elas:

- Integração horizontal através da cadeia de valor;

- Integração digital de ponta a ponta da engenharia em toda a cadeia de valor;
- Integração vertical e sistemas de manufatura em rede.

O relatório da consultoria Capgemini (*Industry 4.0 - The Capgemini Consulting View*) lançado em 2017 atenta para 4 pilares fundamentais da nova revolução industrial: Fábrica inteligente, Cadeia de fornecimento inteligente, soluções inteligentes e inovação inteligente. Este mesmo relatório ainda define 7 tecnologias que são consideradas “habilitadores tecnológicos” da I4.0. São elas:

- Tecnologia móvel (*Mobile*);
- Armazenamento na nuvem (*Cloud*);
- Análise e mineração de dados (*Analytics*);
- Comunicação máquina-máquina (*M2M*);
- Plataformas comunitárias (*Community*);
- Impressão 3D (*3D Printing*);
- Robótica avançada (*Robotics*);

O framework da Indústria 4.0, segundo a consultoria Capgemini, pode ser visto na Figura 9.

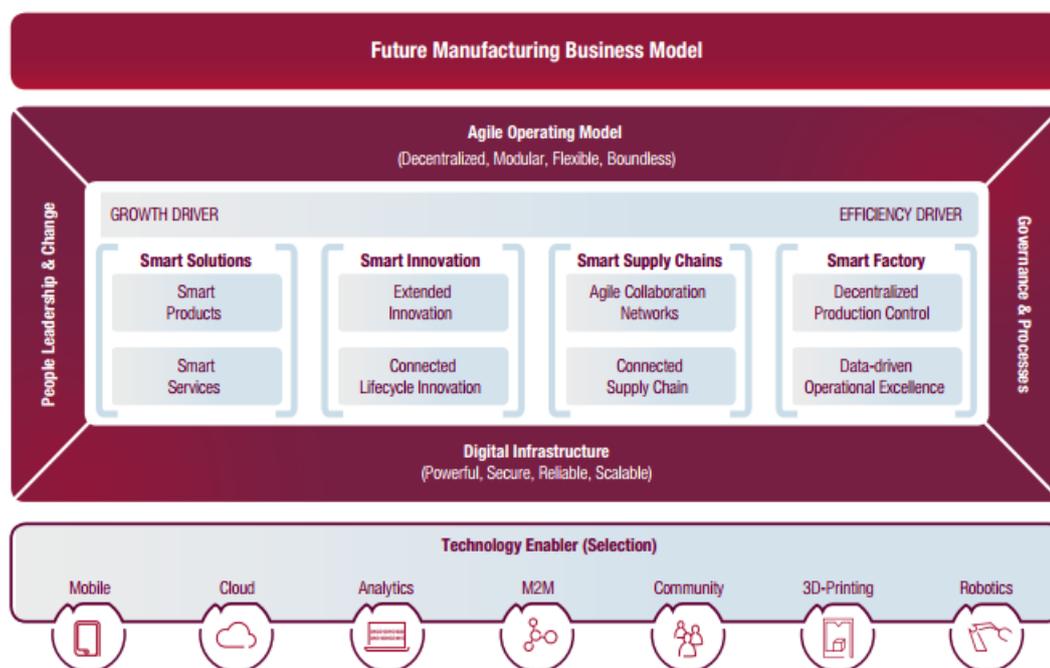


Figura 9- Framework da Indústria 4.0 (Bechtold, Lauenstein, Kern and Bernhofer, 2014).

Os habilitadores tecnológicos do framework da Capgemini se mostraram extremamente robustos e são citados em inúmeros trabalhos. Eles foram também

base para as tecnologias escolhidas para compor o M4.0EAF, como pode ser visto no capítulo de modelagem.

Atualmente, a fabricação digitalizada tornou-se uma prioridade máxima para centros de pesquisa, universidades e empresas. Do ponto de vista científico, espera-se que os futuros sistemas de fabricação sejam robustos e eficientes e exibam, por exemplo, diagnóstico remoto, controle em tempo real e previsibilidade (Monostori et al., 2016). Espera-se que as futuras infraestruturas industriais sejam um Sistema de Sistemas (SoS) complexo (Colombo et. al., 2013; Engell et. al., 2015; Jamshidi, 2008) que capacite uma nova geração de aplicativos e serviços que dificilmente são realizáveis hoje ou são caros demais para serem alcançados.

Outro benefício da Indústria 4.0 é reduzir os custos operacionais internos por meio da integração ponta a ponta digital (Man, Strandhagen, 2017). Em relação à cadeia de suprimentos, a transformação digital e o uso de sistemas inteligentes e cooperativos tornarão a cadeia de suprimentos mais transparente e eficiente em todas as etapas. Barreto, Amaral e Pereira (2017) explicam que haverá um foco particular em novos modelos que estarão mais próximos das necessidades individuais dos clientes, promovendo um aumento significativo da qualidade da tomada de decisões e tornando-se mais flexíveis e eficientes no futuro próximo.

Segundo McKinsey (2016) as tecnologias disruptivas da indústria 4.0, como a fabricação habilitada por TI e o aumento da capacidade de computação, mantêm a promessa de fábricas inteligentes altamente eficientes e cada vez mais integradas aos dados. Os dados são o principal impulsionador: os líderes de todos os setores estão aproveitando dados e análises para obter uma mudança na criação de valor. Uma abordagem de *big data / analytics* avançada pode resultar em um aumento de 20% a 25% no volume de produção e em até 45% de redução no tempo de inatividade.

Outro estudo relevante sobre o assunto parte da Plattform Industrie 4.0 e ZVEI (2015). Segundo eles, a Indústria 4.0 irá mesclar conceitos da produção com informações e tecnologias de comunicação e dos dados dos clientes com os elementos oriundos das máquinas. Componentes e equipamentos gerenciarão, de forma autônoma, a manufatura permitindo que se torne mais flexível, eficiente e que resulte da economia de recursos. Além disso, os institutos apontam que a I4.0 trará muitos benefícios dentre eles o aumento da produtividade, padronização no desenvolvimento de novos produtos, aprimoramento de processos e contínuo benchmarking e competição global entre áreas de negócios significativas. De forma a

reunir todos os elementos citados, a Plattform Industrie 4.0 e a ZVEI construíram o framework RAMI 4.0. O RAMI 4.0 é uma arquitetura orientada a serviços. Ela combina todos os elementos e componentes de TI em uma camada e em um modelo de ciclo de vida do produto. O framework distribui os processos complexos em etapas de fácil compreensão incluindo a privacidade dos dados e a segurança de TI (Ramos, L.F.P. 2018).

Conforme mostra a Figura 10, a arquitetura do RAMI 4.0 é definido a partir de camadas que vão dos ativos ou *assets* que são os elementos físicos (sensores, atuadores, etc) que compõem o mundo real, passa pelo nível de Integração (*Integration*) que é a forma que esses dados serão transmitidos do mundo real para o mundo digital, ou seja, são protocolos e interfaces de comunicação, depois pela camada de Comunicação (*Communication*) que é o local onde as informações estarão disponíveis para serem acessadas da forma como são coletadas no ambiente físico. A camada de Informação (*Information*) é a estruturação dos dados adquiridos que permite que esses dados se tornem mais claros aos usuários. O nível Funcional (*Functional*) detém o conjunto de elementos que compõem as funções dos ativos possibilitando que todo o chão de fábrica seja integrado e suas informações compartilhadas garantindo a integração completa do processo. E por fim, a camada de Business, que avalia todos os dados gerados para que seja tomada decisões importantes para aprimoramento da produção onde diversas áreas de negócios estão diretamente envolvidas (Ramos, L.F.P. 2018).



Figura 10- Arquitetura do RAMI 4.0 (ZVEI, 2015).

A arquitetura do framework RAMI 4.0 pode ser considerada um exemplo de caminho ou rota que a informação coletada nos meios físicos segue até que possa ser efetivamente utilizada para gerar conhecimento e auxiliar a tomada de decisão dos responsáveis pelas unidades em questão. Esta rota ou caminho é base para o fluxo de informação do modelo proposto por este trabalho, já que todo o framework é baseado na coleta, armazenamento e utilização de dados. Além disso, serve como base para o estudo das arquiteturas de outro conceito fundamental da indústria 4.0: Os sistemas ciber-físicos.

### 3.1.1 Sistemas ciber-físicos

O termo sistemas ciber-físicos (CPS) define os sistemas em que aplicações naturais e idealizadas para o mundo físico estão intimamente integradas com sistemas computacionais, de comunicação e de controle (mundo digital ou cibernético) (Bagheri *et al.*, 2015). A evolução dos CPS é resultado da interação entre os avanços destas tecnologias e seus potenciais econômicos e sociais.

Os sistemas ciber-físicos são o produto do desenvolvimento contínuo e da utilização integrada de dois principais campos de inovação: sistemas de software embarcado e redes de dados globais como a internet, com sistemas de aplicativos distribuídos e interativos. Estes são capacitados por uma infraestrutura composta por sensores, atuadores e redes de comunicação que são empregados por empresas que

atuam e cooperam em nível global (ACATECH, 2011). Considerando avanços recentes e a ampla implementação de sensores, sistemas de aquisição de dados, redes de computadores e computação em nuvem tem preparado a infraestrutura para desenvolvimento e implementação de sistemas ciber-físicos. Por outro lado, a vasta utilização destes sensores e sistemas de controle na indústria gera uma quantidade imensa de dados. O gerenciamento de um volume tão grande de dados, que é chamado de Big Data, requer consideração específica (Lee, J. *et al.*, 2013). Neste ambiente, é importante ter uma forma sistemática de adquirir, gerenciar e administrar os dados para se obter as informações desejadas. Os CPS podem ser utilizados para solucionar este problema nas indústrias atuais trazendo controle autônomo e capacidades de autogerenciamento a máquinas industriais (National Institute of S. and Technology, 2013).

Baseando-se na ideia dos CPS, Lee, J.; Bagheri, B.; Kao, H (2015) criaram a arquitetura 5C, que define claramente, através de uma maneira sequencial de fluxo de trabalho, como construir um sistema desde a aquisição inicial de dados, passando pela análise, até a criação final de valor. A arquitetura pode ser vista na Figura 6.

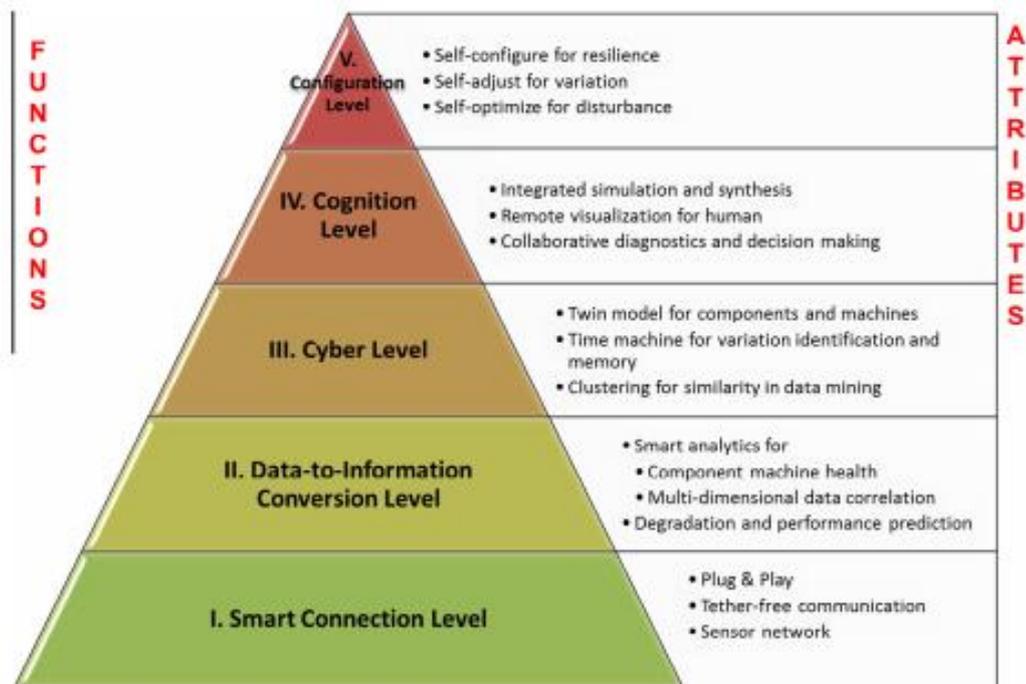


Figura 11- Arquitetura 5C (Lee, Bagheri e Kao, 2015).

O principal objetivo da arquitetura 5C é fornecer um diretriz passo a passo para desenvolver e implantar um CPS para aplicações de manufatura. Os níveis 5C são

explicados abaixo. De acordo com Sandengen, O.C. *et. al.* (2016), as propriedades lógicas dos computadores melhorarão as funções de manutenção de uma empresa e controlarão melhor as condições técnicas dos ativos físicos.

- Nível 1 - Nível de conexão: é o nível de captura de dados digitais. Pode ocorrer de duas formas principais: captura de dados em tempo real a partir de sensores ou registro manual de dados em sistemas como o Sistema de Gerenciamento de Manutenção Computadorizado (em inglês *Computerized Maintenance Management System* ou CMMS).
- Nível 2 - Nível de conversão: este nível converte os dados capturados no nível 1 em informações significativas. Essas informações significativas podem ser, por exemplo, rastreamento de inventário de peças de reposição, cálculo do consumo de energia de uma máquina ou, em um CMMS, a estruturação de informações de um ativo.
- Nível 3 - Nível cibernético: este nível atua como um centro de informações centrais nessa arquitetura. Ele reúne todas as informações disponíveis do sistema e extrai informações adicionais de análises, que fornecem melhores informações. Nesse nível, a previsão de manutenção pode ser feita e avaliada, bem como a sincronização do plano de manutenção com o plano de produção.
- Nível 4 - Nível de cognição: é o nível monitorado. Nesse nível, todas as informações tratadas são reunidas e transformadas em painéis, para serem vistas em monitores, computadores e dispositivos móveis, e ajudam na tomada de decisões e na avaliação por especialistas.
- Nível 5 - Nível de configuração: é o nível de decisão. Neste nível, uma inteligência artificial fornece conselhos para implementações e mudanças, ou a função de manutenção é controlada automaticamente.

Os conceitos de CPS, aliados a estrutura da pirâmide 5C, definirão a base para o fluxo do modelo que é objeto de estudo deste trabalho. Toda a parte tecnológica do M4.0EAF pode ser embasada por estes conceitos. Para dar continuidade, é necessário embasar os fluxos dos próximos níveis do modelo, como mostrado na próxima seção, manutenção.

## 3.2 MANUTENÇÃO

Segundo (Lopes, I. *et. al.*, 2016) a manutenção industrial tem sido reconhecida como uma função com impacto significativo nos resultados globais das empresas industriais e cuja eficiência costuma ter um alto potencial de melhoria. Nos dias atuais, algumas empresas já entenderam a importância de investir em manutenção devido ao impacto que causa em todo o desempenho dos negócios (Weyenbergh, G.; Pintelon, L. 2004). Segundo Dunn, R.L. (1987), os custos de manutenção representam entre 15% e 40% dos custos de produção. No passado, a manutenção chegou a ser descrita por Tsang, A.H.C. (1995) como um “mal necessário”, porém atualmente é vista como um processo de gestão complexo que associa diversos processos organizacionais, como produção, qualidade, meio ambiente, análise de risco e segurança. Tendo em vista que a gestão da manutenção é hoje peça chave na composição organizacional, é de extrema importância manter seus processos em conformidade com a estratégia da empresa.

Sistemas avançados de fabricação introduziram o uso de técnicas de monitoramento para fins de manutenção, a fim de obter conhecimento das condições do equipamento e identificar falhas com antecedência (Mori, Fujishima, Komatsu, Zhao, Liu, 2008). No entanto, o vínculo real entre soluções de manutenção e técnicas de monitoramento atuais ainda é pequeno (Takata *et. al.*, 2004). O monitoramento em tempo real de máquinas e equipamentos, juntamente com a visualização e a análise de dados, e a colaboração entre os dois sistemas, pode levar a técnicas de manutenção baseadas em condições. Além disso, a manutenção baseada em condições utiliza medições de condições para agendar adequadamente as atividades de manutenção sem interromper as operações normais da máquina (Gao *et. al.*, 2015).

O conceito de manutenção pode ser dividido em três ações, grupos, tipos ou funções principais. Estas ações vão nortear o fluxo das aplicações de manutenção dentro do framework, definindo prioridades e operações. São eles: Manutenção Reativa ou Corretiva, Manutenção Preventiva e Manutenção Preditiva. As definições abaixo são baseadas no documento da British Standards- BS EN 13306:2010.

A manutenção Reativa ou Corretiva diz respeito a atuação para correção de falha ou do desempenho menor que o esperado. Ela pode ser dividida em duas classes:

Não planejada: correção da falha de maneira aleatória, ou seja, é a correção da falha ou desempenho menor que o esperado após a ocorrência do fato. Esse tipo de manutenção implica em altos custos pois causa perdas de produção; a extensão dos danos aos equipamentos é maior.

Planejada: é a correção que se faz em função de um acompanhamento preditivo, detectivo, ou até pela decisão gerencial de se operar até a falha. Esse tipo de manutenção é planejado e, portanto, mais barata, segura e rápida.

Na implementação dos conceitos da indústria 4.0, pouco ou quase nada se fala sobre este tipo de manutenção. Com o advento de sensores cada vez mais conectados e inteligentes, na verdade, a tendência (e esperança) é de que este tipo de manutenção seja cada vez menos utilizado, e sirva apenas para emergências ou atividades não previstas (urgências).

A manutenção Preventiva, segundo Rastegari, S.; Hingston, P.; Lam, C. (2015) pode ser uma manutenção predeterminada (periódica) ou uma manutenção baseada na condição. É a atuação realizada para reduzir ou evitar falhas ou queda no desempenho, obedecendo a um planejamento baseado em intervalos definidos de tempo. A Figura 12 mostra um fluxograma da diferença entre as manutenções Corretiva e Preventiva.

Na indústria 4.0, a manutenção preventiva continuará sendo importante, apesar de perder um pouco de seu espaço para a manutenção preditiva que será mostrada na sequência. Isso acontecerá aos poucos, a medida que a definição dos períodos de realização da manutenção preventiva for sendo definida cada vez mais a partir de ferramentas de gestão inteligentes e conectadas, traçando um perfil crítico para os indicadores.

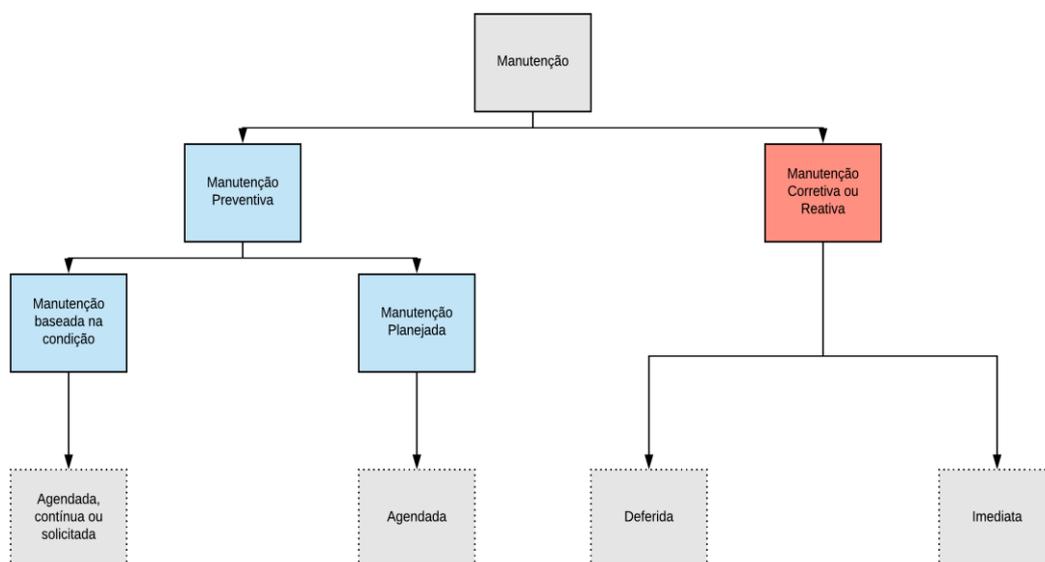


Figura 12- Overview diferentes tipos de manutenção (baseado em BS EN 13306:2010).

A manutenção Preditiva é um conjunto de atividades de acompanhamento das variáveis ou parâmetros que indicam a performance ou desempenho dos equipamentos, de modo sistemático, visando definir a necessidade ou não de intervenção. Para isso, é utilizado qualquer recurso de predição (Ex.: Vibração, Ultrassom, termografia etc.).

Na manutenção, uma figura muito importante é a da pessoa responsável pela tomada de decisão. O tomador de decisão (ou seja, proprietário do sistema ou agente de serviço) deve decidir sobre a estratégia de manutenção mais apropriada para o equipamento, dentre um conjunto de alternativas possíveis, como manutenção com base na falha, no tempo, no risco, na condição, manutenção produtiva total etc. (Shafiee, 2015). No M4.0EAF o responsável pela tomada de decisão tem papel crucial, estando presente em todos os fluxos de retorno da informação.

Segundo Sipsas (2016), a manutenção insuficiente afeta tanto o desempenho do processo de produção quanto a qualidade do produto acabado. Um nível adequado de instruções detalhadas de manutenção deve ser fornecido ao pessoal de manutenção, de acordo com seu nível de conhecimento. Uma estratégia de manutenção apropriada não apenas reduz a probabilidade de falha do equipamento, mas também melhora a condição de trabalho dos ativos, resultando em menores custos de manutenção e / ou maior qualidade do produto. Por outro lado, uma seleção inadequada de estratégias pode afetar adversamente o orçamento de manutenção e,

assim, reduzir a produtividade e a lucratividade. De acordo com uma pesquisa da Comissão Europeia sobre a eficácia da manutenção, quase um terço do orçamento anual de manutenção é desperdiçado como resultado de atividades de manutenção desnecessárias ou ineficientes (Vaisnys et al., 2006).

O fluxo de dados é, inclusive, o principal ativo da quarta revolução industrial. Como coloca (Lopes, I. et al., 2016), ao longo da evolução industrial, um dos recursos mais importantes que se revelam determinantes para desenvolver a função de manutenção é a informação. A informação pode ser definida como uma coleção de dados que é transmitida a um receptor que a utiliza para tomar decisões. A informação aparece nas organizações como um recurso estratégico, essencial para uma melhor operacionalidade e coordenação entre todos os atores.

Vários conceitos foram desenvolvidos para aumentar a eficácia da manutenção e focar nas atividades de manutenção. Um dos conceitos mais utilizados nas organizações ao redor do mundo é a Manutenção Produtiva Total (do inglês *Total Productive Maintenance*- TPM). O TPM será utilizado como grande ator da motivação do modelo M4.0EAF pela sua aplicabilidade e praticabilidade.

### **3.2.1 Manutenção Produtiva Total**

O TPM é um conceito japonês para manutenção. De acordo com (Nakajima, S. 1998), que introduziu o conceito que pode ser definido como "Manutenção produtiva envolvendo total participação". Segundo (Kodali, R.; Mishra, R.; Anand, G. et. al., 2009) o reconhecimento do papel do equipamento no sucesso da organização exigiu o desenvolvimento de um conceito abrangente de reparo, manutenção e manutenção de equipamentos. Ele está intimamente ligado ao JIT (Just in Time) e ao TQM (Total Quality Management) e é extensão do PM (Manutenção Preventiva), onde as máquinas trabalham com alta produtividade e eficiência, e onde a manutenção é responsabilidade dos funcionários e foco para prevenir o problema antes que possa ocorrer. (Bamber, C., 1998) apresenta cinco pontos principais: Utilização do equipamento de forma mais eficiente; Estabelecimento um sistema total de manutenção preventiva; Participação total de todos os departamentos; Envolvimento de todos no chão de fábrica da empresa; Promoção e implementação da manutenção preventiva com base em atividades autônomas de pequenos grupos.

Em suma, o TPM é uma abordagem holística para manutenção de equipamentos que tem como objetivos:

- Nenhuma Avaria;
- Não há pequenas paradas ou funcionamento lento;
- Sem defeitos;

Além disso, valoriza um ambiente de trabalho seguro:

- Sem acidentes

O TPM enfatiza a manutenção proativa e preventiva para maximizar a eficiência operacional do equipamento. Desfoca a distinção entre os papéis de produção e manutenção, colocando uma forte ênfase no empoderamento dos operadores para ajudar a manter seus equipamentos.

As perdas de produção, em conjunto com os custos indiretos e ocultos, constituem a maior parte do custo de produção total (Nakajima, 1988; Ericsson, 1997).

A implementação de um programa de TPM cria uma responsabilidade compartilhada pelo equipamento que incentiva um maior envolvimento dos trabalhadores do chão de fábrica. No ambiente certo, isso pode ser muito eficaz para melhorar a produtividade (aumentando o tempo de produção, reduzindo os tempos de ciclo e eliminando defeitos). Os oito pilares do TPM são focados em técnicas proativas e preventivas para melhorar a confiabilidade do equipamento, como visto na Tabela 1.

**Tabela 1- Oito pilares do TPM.**

<b>Pilar</b>	<b>O que é?</b>	<b>Como ajuda?</b>
<b>Manutenção Autônoma</b>	Coloca a responsabilidade pela manutenção de rotina, como limpeza, lubrificação e inspeção, nas mãos dos operadores.	-Dá aos operadores maior “propriedade” de seus equipamentos; -Aumenta o conhecimento dos operadores sobre seus equipamentos; -Garante que o equipamento esteja bem limpo e lubrificado; -Identifica questões emergentes antes que elas se tornem falhas; -Libera o pessoal de manutenção para tarefas de nível superior.
<b>Manutenção Planejada</b>	Programa tarefas de manutenção com base em taxas de falhas previstas ou medidas.	-Reduz significativamente instâncias de tempo de parada não planejado; -Permite que a maior parte da manutenção seja planejada para horários em que o

		<p>equipamento não está programado para produção;</p> <p>-Reduz o inventário através de um melhor controle de peças propensas a desgaste e propensas a falhas.</p>
<b>Manutenção de Qualidade</b>	<p>-Projetar detecção e prevenção de erros nos processos de produção;</p> <p>-Aplicar análise de causa raiz para eliminar fontes recorrentes de defeitos de qualidade.</p>	<p>-Especificamente, direciona os problemas de qualidade com projetos de melhoria focados na remoção de fontes-raiz de defeitos;</p> <p>-Reduz o número de defeitos;</p>
<b>Melhoria Focada</b>	<p>Faz com que pequenos grupos de funcionários trabalhem juntos de forma proativa para obter melhorias regulares e incrementais na operação do equipamento.</p>	<p>-Problemas recorrentes são identificados e resolvidos por equipes multifuncionais;</p> <p>-Combina os talentos coletivos de uma empresa para criar um mecanismo para melhoria contínua.</p>
<b>Gerenciamento Antecipado de Equipamentos</b>	<p>Direciona o conhecimento prático e a compreensão do equipamento de fabricação obtido através do TPM para melhorar o design de novos equipamentos.</p>	<p>-O novo equipamento atinge níveis de desempenho planejados muito mais rapidamente devido a menos problemas de inicialização;</p> <p>-A manutenção é mais simples e mais robusta devido à revisão prática e ao envolvimento dos funcionários antes da instalação.</p>
<b>Treinamento e Educação</b>	<p>Preenche as lacunas de conhecimento necessárias para atingir as metas do TPM. Aplica-se a operadores, pessoal de manutenção e gerentes.</p>	<p>-Os operadores desenvolvem habilidades para manter rotineiramente equipamentos e identificar problemas emergentes;</p> <p>-O pessoal de manutenção aprende técnicas para manutenção proativa e preventiva;</p> <p>-Os gerentes são treinados nos princípios do TPM, bem como no treinamento e desenvolvimento de funcionários.</p>
<b>Segurança, Saúde, Meio Ambiente</b>	<p>Mantem um ambiente de trabalho seguro e saudável.</p>	<p>-Elimina potenciais riscos de saúde e segurança, resultando em um local de trabalho mais seguro;</p> <p>-Especificamente tem como objetivo de um local de trabalho livre de acidentes.</p>

<p style="text-align: center;"><b>TPM em Administração</b></p>	<p>Aplica técnicas de TPM a funções administrativas.</p>	<p>-Estende os benefícios do TPM para além do chão-de-fábrica, abordando o desperdício em funções administrativas; -Suporta a produção por meio de operações administrativas aprimoradas (por exemplo, processamento de pedidos, suprimento e programação).</p>
--	--	---

Fonte: Adaptado de <https://www.leanproduction.com/tpm.html>

O OEE (*Overall Equipment Effectiveness* ou Eficácia geral do equipamento) é uma métrica que identifica a porcentagem do tempo de produção planejado que é verdadeiramente produtivo. Ele foi desenvolvido para apoiar as iniciativas de TPM, rastreando com precisão o progresso em direção à obtenção de “produção perfeita”.

O uso de OEE pode ser visto como uma tentativa de revelar os custos ocultos de produção (Nakajima, 1988). O OEE consiste em três componentes subjacentes, onde cada um dos quais mapeia um dos objetivos do TPM estabelecidos no início desta seção, e cada um deles leva em conta um tipo diferente de perda de produtividade, como observado na Tabela 2.

Sherwin (2000), propôs o uso do OEE como ferramenta para medir a performance de um processo completo, já Nachiappan e Anantharam (2006), utilizaram as métricas OEE para a análise de desempenho de uma linha contínua de manufatura. Ainda dentro da ideia da ampliação do uso das métricas OEE, Garza-Reyes (2008) e Garza-Reyes et al. (2008), passam a considerar a eficiência do material empregado, bem como a variação dos custos de material e processos, e Raouf (1994) formulou uma nova métrica por meio da alocação de pesos aos diferentes fatores que afetam o resultado do OEE.

Tabela 2- Componentes do OEE.

<b>Componente</b>	<b>Meta do TPM</b>	<b>Tipo de Perda de Produtividade</b>
<b>Disponibilidade</b>	Sem paradas	A disponibilidade leva em consideração a Perda de Disponibilidade, que inclui todos os eventos que interrompem a produção planejada por um período apreciável (geralmente vários minutos ou mais). Exemplos incluem paradas não planejadas (como paralisações e outros eventos inativos) e paradas planejadas (como trocas).
<b>Performance</b>	Não há pequenas paradas ou funcionamento lento	O desempenho leva em consideração a Perda de Desempenho, que inclui todos os fatores que fazem com que a produção opere a uma velocidade menor que a máxima possível durante a execução. Exemplos incluem ciclos lentos e pequenas paradas.
<b>Qualidade</b>	Sem defeitos	A qualidade leva em consideração a Perda de Qualidade, que separa peças fabricadas que não atendem aos padrões de qualidade, incluindo peças que exigem retrabalho. Exemplos incluem Rejeições de Produção e Redução de Rendimento na inicialização.
<b>OEE</b>	Produção perfeita	OEE leva em conta todas as perdas (perda de disponibilidade, perda de desempenho e perda de qualidade), resultando em uma medida de tempo de produção verdadeiramente produtivo.

Fonte: Adaptado de <https://www.leanproduction.com/tpm.html>

As categorias de perda de OEE (Perda de Disponibilidade, Perda de Desempenho e Perda de Qualidade) podem ser subdivididas no que é comumente chamado de Seis Grandes Perdas - as causas mais comuns de perda de produtividade na fabricação. As Seis Grandes Perdas são extremamente importantes porque são quase universais na aplicação para manufatura discreta, e fornecem uma ótima estrutura inicial para identificar e diminuir o desperdício. As seis grandes perdas do TPM podem ser observadas na Tabela 3.

Tabela 3- Seis grandes perdas do TPM.

<b>Seis Grandes Perdas</b>	<b>Categoria do OEE</b>	<b>Exemplos</b>	<b>Comentários</b>
<b>Paradas não planejadas</b>	Perda de Disponibilidade	Falha de Ferramental, Manutenção Não Planejada, Rolamento Superaquecido, Falha do Motor	Há flexibilidade sobre onde definir o limite entre uma Parada Não Planejada (Perda de Disponibilidade) e uma Parada Pequena (Perda de Desempenho).
<b>Configuração e Ajustes</b>	Perda de Disponibilidade	Setup / Changeover, Falta de Material, Falta de Operador, Ajuste Principal, Tempo de Aquecimento	Esta perda é frequentemente resolvida através de programas de redução do tempo de configuração.
<b>Pequenas paradas</b>	Perda de Desempenho	Congestionamento de Componentes, Ajuste Menor, Sensor Bloqueado, Entrega Bloqueada, Limpeza / Verificação	Normalmente, inclui apenas paradas com menos de cinco minutos e que não exigem pessoal de manutenção.
<b>Funcionamento lento</b>	Perda de Desempenho	Configuração Incorreta, Desgaste de Equipamento, Problema de Alinhamento	Qualquer coisa que mantenha o equipamento funcionando em sua velocidade máxima teórica.
<b>Defeito de produção</b>	Perda de Qualidade	Sucata, retrabalho	Rejeita durante a produção em estado estacionário.
<b>Rendimento reduzido</b>	Perda de Qualidade	Sucata, retrabalho	Rejeita durante o aquecimento, inicialização ou outra produção inicial.

Fonte: Adaptado de <https://www.leanproduction.com/tpm.html>

As seis grandes perdas do TPM são muito importantes para o contexto geral deste trabalho, pois serão elas que irão nortear os objetivos principais do modelo de *framework* proposto.

### 3.3 ARQUITETURA ORGANIZACIONAL

Neste trabalho, a arquitetura organizacional tem a função de integrar os conceitos. É a partir da arquitetura organizacional que o M4.0EAF vai interagir com os conceitos de CPS e Manutenção em prol de uma integração total com os processos da organização em questão.

Antes de definir a Arquitetura Organizacional, é necessário alinhar as definições de organização. Uma organização pode ser definida como um sistema adaptativo complexo, que se caracteriza por ser criado a partir da ação humana, faz uso de recursos como pessoas, materiais, equipamentos, informações e conhecimento, tem um objetivo que pode ser alcançado através de diferentes meios, interaja com o ambiente e evolui com o tempo, e realiza um produto, um serviço ou ambos, que tenham valor para um cliente. As organizações, entre outras coisas, devem evoluir continuamente, responder rapidamente as mudanças ambientais e utilizar os recursos de maneira eficiente (Daft, 2012). Para isso, uma boa prática é utilizar o ciclo de vida dos sistemas organizacionais, como proposto na Figura 13.

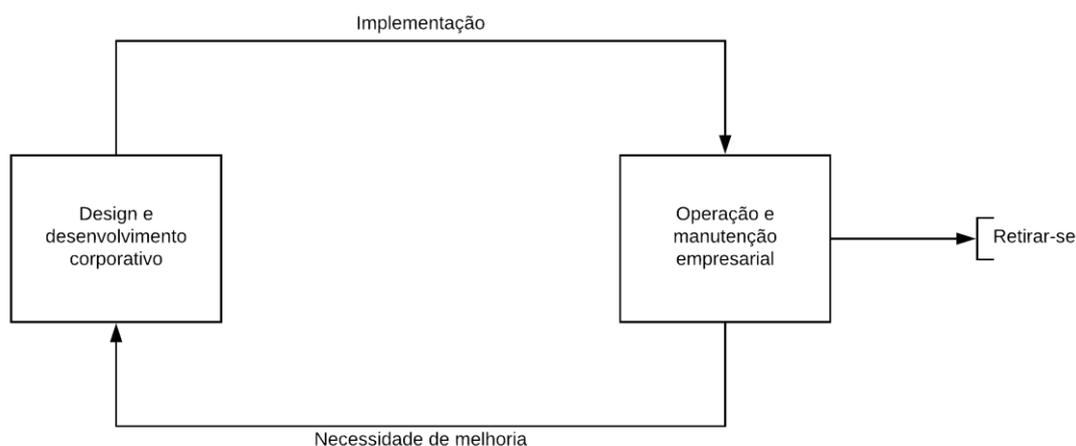


Figura 13- Ciclo de vida dos sistemas organizacionais (baseado em Daft, 2012).

A partir das definições organizacionais, é possível definir uma estratégia para alinhar negócios e Tecnologia da Informação (TI) dentro de uma empresa- a Arquitetura Organizacional (Giachetti, 2010).

A Arquitetura Organizacional refere-se a uma descrição abrangente de todos os elementos e relacionamentos principais que compõem uma organização (Harmon, 2003). Em outras palavras, pensa-se no plano corporativo que sistematiza as

unidades constituintes de uma empresa, como processos de negócios, organizações, dados e tecnologias da informação. A Arquitetura Organizacional permite que os membros corporativos entendam a estrutura detalhada e os componentes da empresa e como eles trabalham juntos. Brown afirma seis valores comuns da Arquitetura Organizacional da seguinte forma (Brown, 2004):

- Documentação prontamente disponível da empresa;
- Capacidade de unificar e integrar os processos de negócios em toda a empresa;
- Capacidade de unificar e integrar dados em toda a empresa e vincular-se a parceiros externos;
- Maior agilidade, diminuindo a barreira da complexidade;
- Redução do tempo de entrega da solução e custos de desenvolvimento, maximizando a reutilização do modelo corporativo;
- Capacidade de criar e manter uma visão comum do futuro compartilhada pelas comunidades de negócios e de TI, conduzindo o alinhamento contínuo de negócios / TI.

Segundo Lapalme et. al. (2016) os sistemas de informações corporativas são um componente essencial da arquitetura de uma empresa. Implementar e alterar um sistema de informações corporativas envolve mudanças em sua arquitetura. Por outro lado, qualquer alteração na arquitetura de uma empresa terá repercussões em seus sistemas de informação. Consequentemente, os sistemas de informação empresarial da próxima geração devem ser vistos no contexto dessas novas realidades.

Um projeto de EA consiste em duas abordagens principais: *Enterprise Architecture Framework* (EAF) ou Framework de Arquitetura Organizacional, e *Enterprise Architecture Implementation Methodology* (EAIM) ou Metodologia de Implementação de Arquitetura Organizacional. Essas abordagens destinam-se a suportar a implementação da EA, fornecendo planejamento para o projeto, modelando os artefatos da EA, gerenciando e mantendo a implementação da EA e suportando a governança da EA. Enquanto a estrutura da EA tenta capturar informações dos negócios e da TI da empresa e modelá-las, a EAIM tenta utilizar modelos para desenvolver e Infraestrutura de TI apropriada para a empresa (Wegmann et. al., 2005). O EAF representa a estrutura para modelar os negócios e as entidades de TI da empresa. Existem vários modelos para diferentes perspectivas no EAF, cada um

com diferentes escopos e atividades. As saídas do EAF são artefatos da EA que consistem em modelos, diagramas, documentos e relatórios (Goethals et. al., 2006).

Entre os EAF existentes, destaca-se o *Zachman framework* (Zachman, 1987; *Zachman Institute for Framework Advancement*). A estrutura do Zachman é criada por John Zachman e é tida como a estrutura inicial e padrão da Arquitetura Organizacional. O *framework Zachman* categoriza os componentes das empresas de acordo com cinco perspectivas e seis abstrações, como mostrado na Figura 14. Cada célula que é a interseção da linha de perspectiva e da coluna de abstração é composta de produtos de Arquitetura Organizacional, como documentos, modelos e assim por diante.

		← Abstractions (Columns) →					
The Zachman Framework		DATA <i>What</i> <i>(Things)</i>	FUNCTION <i>How</i> <i>(Process)</i>	NETWORK <i>Where</i> <i>(Location)</i>	PEOPLE <i>Who</i> <i>(People)</i>	TIME <i>When</i> <i>(Time)</i>	MOTIVATION <i>Why</i> <i>(Motivation)</i>
Perspectives (Rows)	<b>SCOPE</b> (Contextual) <i>Planner</i>	List of things important to the business <i>Ent = Class of business thing</i>	List of processes the business performs <i>Function = Class of business process</i>	List of Locations in which the business operates <i>Note = Major business location</i>	List of Organizations Important to the Business <i>People = Major organizations</i>	List of Events Significant to the Business <i>Time = Major business event</i>	List of Business Goals/Strategies <i>Ends/Mean = Major bus. goal/Critical success factor</i>
	<b>BUSINESS MODEL</b> (Conceptual) <i>Owner</i>	Semantic Model <i>Ent = Business entity</i> <i>Rein = Business relationship</i>	Business Process Model <i>Proc = Business process</i> <i>I/O = Business resources</i>	Business Logistics System <i>Node = Business location</i> <i>Link = Business linkage</i>	Work Flow Model <i>People = Organization unit</i> <i>Work = Work product</i>	Master Schedule <i>Time = Business event</i> <i>Cycle = Business cycle</i>	Business Plan <i>End = Business objective</i> <i>Means = Business strategy</i>
	<b>SYSTEM MODEL</b> (Logical) <i>Designer</i>	Logical Data Model <i>Ent = Data entity</i> <i>Rein = Data relationship</i>	Application Architecture <i>Proc = Application function</i> <i>I/O = User views</i>	Distributed System Architecture <i>Node = I/S function</i> <i>(Processor, Storage, etc.)</i> <i>Link = Line characteristics</i>	Human Interface Architecture <i>People = Role</i> <i>Work = Deliverable</i>	Processing Structure <i>Time = System event</i> <i>Cycle = Processing cycle</i>	Business Rule Model <i>End = Structural assertion</i> <i>Means = Action assertion</i>
	<b>TECHNOLOGY MODEL</b> (Physical) <i>Builder</i>	Physical Data Model <i>Ent = Segment/Table, etc.</i> <i>Rein = Pointer/Key</i>	System Design <i>Proc = Computer function</i> <i>I/O = Data elements/sets</i>	Technology Architecture <i>Node = Hardware/ System software</i> <i>Link = Line specifications</i>	Presentation Architecture <i>People = User</i> <i>Work = Screen format</i>	Control Structure <i>Time = Execute</i> <i>Cycle = Component cycle</i>	Rule Design <i>End = Condition</i> <i>Means = Action</i>
	<b>DETAILED REPRESENTATIONS</b> (Out-of-Context) <i>Sub-Contractor</i>	Data Definition <i>Ent = Filed</i> <i>Rein = Address</i>	Program <i>Proc = Language statement</i> <i>I/O = Control block</i>	Network Architecture <i>Node = Addresses</i> <i>Link = Protocols</i>	Security Architecture <i>People = Identity</i> <i>Work = Job</i>	Timing Definition <i>Time = Interrupt</i> <i>Cycle = Machine cycle</i>	Rule Specification <i>End = Sub-condition</i> <i>Means = Step</i>
	<b>FUNCTIONING ENTERPRISE</b>	Actual Business Data	Actual Application Code	Actual Physical Networks	Actual Business Organization	Actual Business Schedule	Actual Business Strategy

Figura 14- Zachman Framework.

### 3.4 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Na conclusão deste capítulo, é possível identificar quais conceitos são utilizados para dar forma e justificativa ao framework proposto. Tendo como base os

pilares conceituais definidos no início do capítulo, é necessário agora encontrar uma relação de integração entre eles. Além disso, é possível embasar o trabalho do ponto de vista metodológico a partir das definições deste capítulo.

A partir dos conceitos da Indústria 4.0, tendo como base a estrutura do CPS, é factível imaginar um corpo tecnológico capaz de dar vazão ao fluxo de informação gerada a partir das novas tecnologias da manufatura avançada e necessárias para otimizar os processos de manutenção. Essa informação é baseada nas aplicações dos setores de manutenção e tem como motivação, ou objetivo, acabar com as 6 perdas do OEE. Tudo isso é integrado à organização a partir dos conceitos de arquitetura organizacional. Para integrar estes conceitos, no próximo capítulo, será realizada a modelagem do framework.

Sua utilização servirá para dar perspectiva aos setores de manutenção das organizações a partir da implementação das tecnologias e conceitos da indústria 4.0 que são pertinentes a manutenção, considerando sempre as principais características deste pilar conceitual, respeitando a flexibilidade desejada, tendo sempre a informação como ativo principal e construindo os sistemas a partir da estratégia de Sistemas Ciber-Físicos (CPS). As tecnologias utilizadas foram escolhidas respeitando os limites de atuação de um setor de manutenção, relevando sua utilização.

Dentro do pilar conceitual da manutenção, foram prezadas as metas estabelecidas, dentro dos conceitos do TPM, utilizando seus 8 pilares, as técnicas trazidas pelo OEE e buscando sempre manter o foco na disponibilidade, eficiência e qualidade dos ativos e equipamentos. As ações de manutenção foram definidas conforme bibliografia atual, respeitando a utilização em ambientes 4.0, com as ações reativa e preventiva ainda sendo utilizadas conforme seus propósitos, mas prezando pela evolução das funções da manutenção preditiva e de seu importante papel dentro de um setor de manutenção alinhado com as expectativas da quarta revolução industrial.

O pilar conceitual da arquitetura organizacional traz ao estudo a possibilidade de alinhar as tendências aqui consideradas às estratégias da organização. As mudanças serão mais bem absorvidas pela empresa se forem implementadas seguindo este padrão, contando com a colaboração de todos os atores envolvidos, sendo puxadas pela área de tecnologia da informação e trazendo consigo estruturas bem definidas de evolução e dos novos processos de negócios.

## 4 MODELAGEM

Durante esta fase do trabalho o modelo propriamente dito foi desenvolvido. Como modelo de Arquitetura Organizacional, o M4.0EAF precisa seguir algumas regras de construção para se tornar relevante, visto que a padronização deste tipo de trabalho é estritamente necessária para que haja entendimento por parte de todos os interessados, além de tornar o modelo escalável e repetível, podendo ser utilizado em organizações de quase todos os tamanhos e tipos. Azevedo et. al. (2015) define que recursos e capacidades organizacionais são fatores-chave para o sucesso organizacional. Sendo o objetivo da EA permitir que os modeladores capturem recursos e competências em uma linguagem de modelagem de arquitetura corporativa.

### 4.1 CMMS

Para a modelagem deste framework, foi utilizada uma plataforma digital de gestão de ativos. Com atuação em mais de 10 países e mais de 15 anos de *know-how* na área de manutenção, serve hoje como guia para definição das aplicações de manutenção em várias organizações espalhadas pelo mundo. Pelo fato de a literatura científica não generalizar conceitos para aplicações práticas de manutenção, tendo em vista que elas variam muito de organização para organização, este CMMS foi escolhido como ferramenta para definir este eixo do M4.0EAF. Por ser uma fonte validada comercialmente, esta plataforma acaba sendo muito confiável na definição das aplicações no terceiro nível do *framework*.

### 4.2 FERRAMENTAS

#### 4.2.1 Archimate

O Archimate (originalmente *Architecture-animate*) é uma linguagem de modelagem de arquitetura corporativa aberta e independente para suportar a descrição, análise e visualização da arquitetura dentro e entre domínios de negócios de uma maneira inequívoca (archimate.org, 2007). É considerado um padrão técnico pertencente ao *The Open Group* e baseado nos padrões da norma IEEE1471, que se distingue de outras linguagens como *Unified Modeling Language* (UML) e *Business*

*Process Modeling and Notation* (BPMN) pelo seu escopo de modelagem corporativa. Segundo endereço eletrônico da *Visual Paradigm*, o ArchiMate oferece uma linguagem comum para descrever a construção e operação de:

- Processos empresariais;
- Estruturas Organizacionais;
- Fluxos de informação;
- Sistemas de TI;
- Infraestrutura técnica.

Essa percepção ajuda as partes interessadas a projetar, avaliar e comunicar as consequências de decisões e alterações dentro e entre esses domínios de negócios.

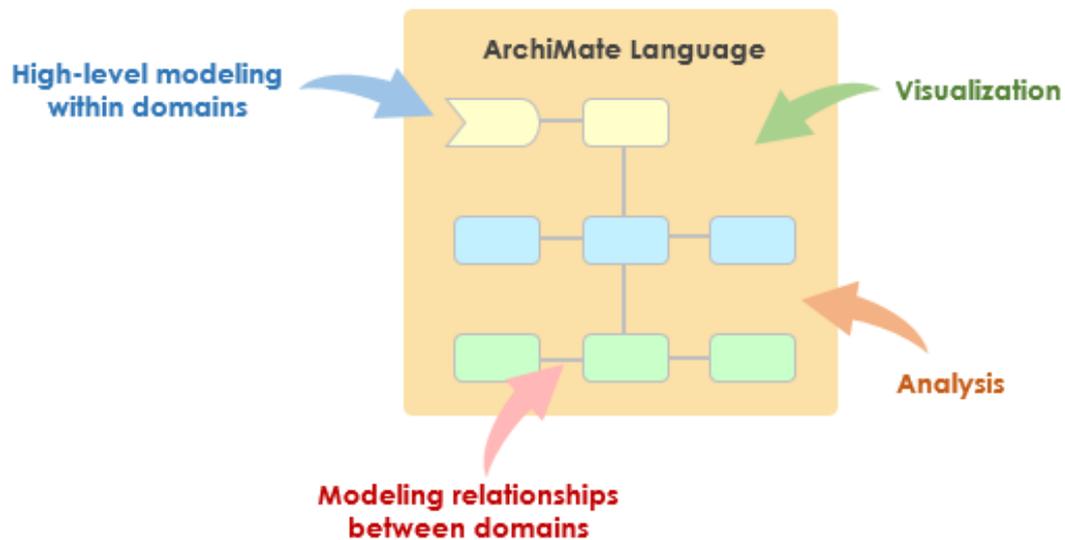


Figura 15- Razões de adoção do ArchiMate ([visual-paradigm.com/guide/archimate/what-is-archimate/](http://visual-paradigm.com/guide/archimate/what-is-archimate/)).

Conforme mostrado na Figura 15, as principais razões para o arquiteto corporativo adotar o ArchiMate são as seguintes:

- Capturar as preocupações das partes interessadas;
- Abordar preocupações identificando e refinando requisitos;
- Criação de modelos de EA;
- Criação de visões do modelo para as partes interessadas;
- Avaliar como as preocupações e os requisitos serão abordados;
- Avaliar trade-offs decorrentes de preocupações conflitantes.

#### 4.2.1.1 O Core do Framework ArchiMate

Os aspectos e camadas do núcleo, definidos pelos elementos de negócios, aplicações e tecnologia, podem ser organizados como uma estrutura de nove células, conforme ilustrado na Figura 16.

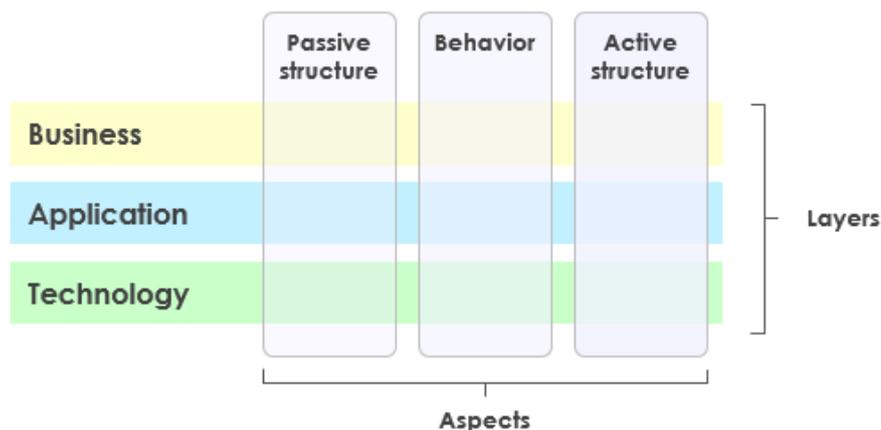


Figura 16-Estrutura do Archimate ([visual-paradigm.com/guide/archimate/what-is-archimate/](http://visual-paradigm.com/guide/archimate/what-is-archimate/)).

Em cada camada, três aspectos são considerados: elementos ativos que exibem comportamento (por exemplo, Processo e Função), uma estrutura interna e elementos que definem o uso ou comunicam informações.

O aspecto da estrutura ativa representa os conceitos estruturais (os agentes de negócios, os componentes de aplicativos e os dispositivos que exibem o comportamento real, ou seja, os “sujeitos” da atividade).

O aspecto do comportamento representa o comportamento (processos, funções, eventos e serviços) realizado pelos atores. Conceitos comportamentais são atribuídos a conceitos estruturais, para mostrar quem ou o que exibe o comportamento.

O aspecto da estrutura passiva (informação) representa os objetos sobre os quais o comportamento é executado. Esses são geralmente objetos de informações na camada de negócios e objetos de dados na camada de aplicativo, mas também podem ser usados para representar objetos físicos, como mostra a Figura 17.

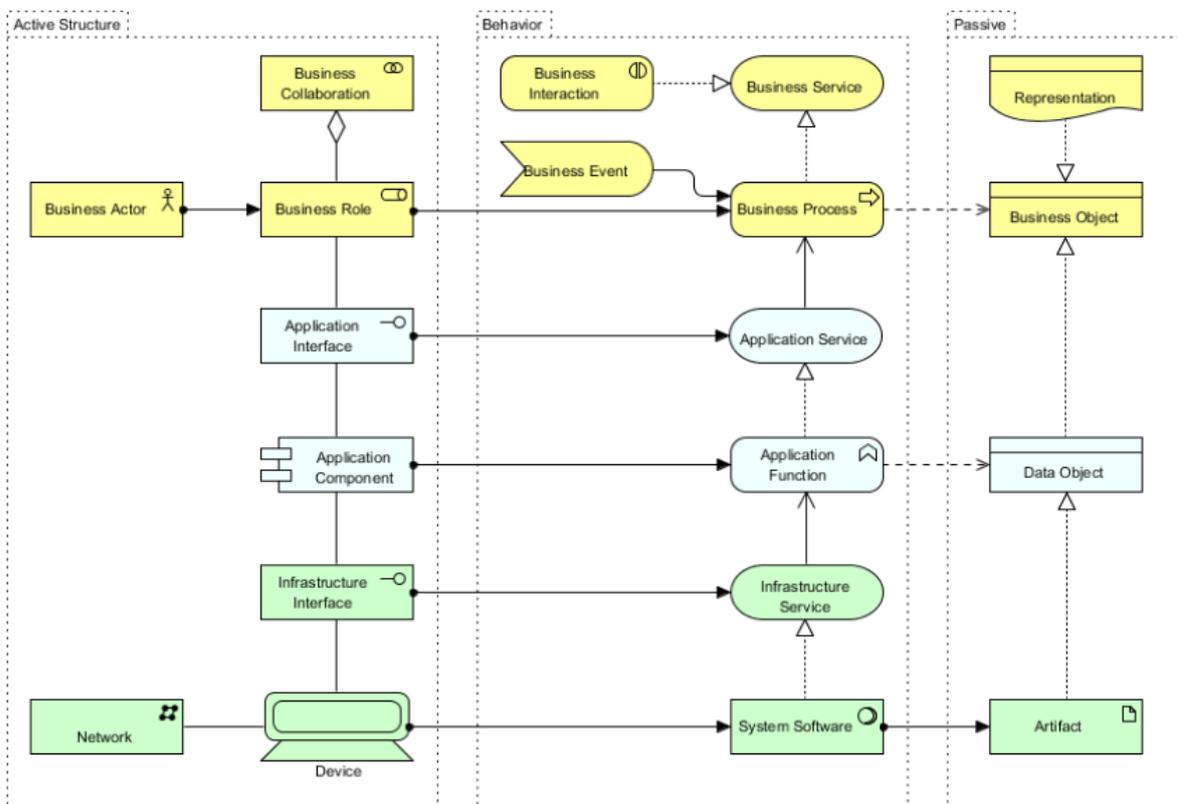


Figura 17 - Aspectos da estrutura Archimate ([visual-paradigm.com/guide/archimate/what-is-archimate/](http://visual-paradigm.com/guide/archimate/what-is-archimate/)).

Ainda segundo a *Visual Paradigm*, camadas mais altas usam serviços fornecidos por camadas inferiores. A camada de negócios oferece produtos e serviços para clientes externos que são realizados por processos de negócios executados por atores comerciais. A camada de aplicativo suporta a camada de negócios com serviços de aplicativos que são realizados por aplicativos (*software*). A camada de tecnologia oferece serviços de infraestrutura (por exemplo, serviços de processamento, armazenamento e comunicação) necessários para executar aplicativos, realizados por hardware de computador e de comunicação e software de sistema (Figura 18).

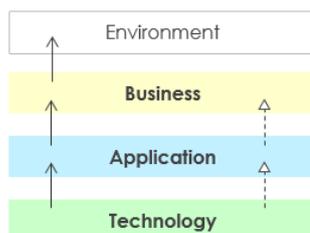


Figura 18- -Camadas do Archimate ([visual-paradigm.com](http://visual-paradigm.com))

A linguagem Archimate completa adiciona várias camadas e um aspecto ao *framework* principal. Os elementos físicos são adicionados à camada Tecnologia para modelar instalações físicas e equipamentos, redes de distribuição e materiais. Além disso, um aspecto de motivação adicional e os elementos de implementação e migração são adicionados. A estrutura completa do Archimate resultante é a Figura 19.

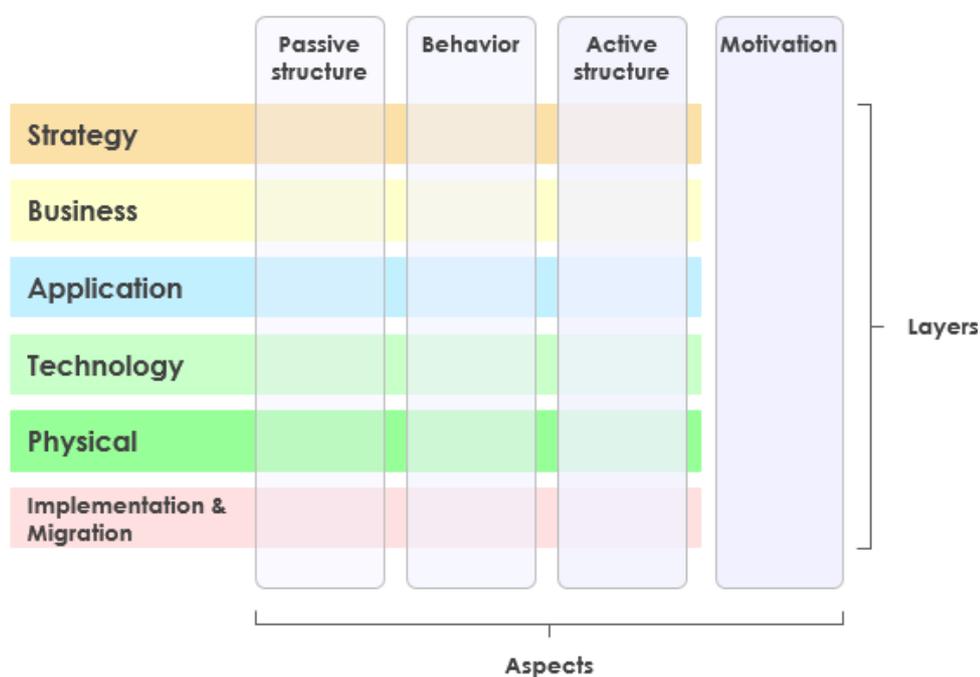


Figura 19- Framework completo do Archimate ([visual-paradigm.com/guide/archimate/what-is-archimate/](http://visual-paradigm.com/guide/archimate/what-is-archimate/)).

#### 4.2.1.2 Software Archi

O Archi ([archimatetool.com](http://archimatetool.com)) foi o *software* escolhido para realizar a modelagem do M4.0EAF. O Archi é gratuito e de código aberto e é usado por milhares de arquitetos em todo o mundo. O trabalho de desenvolvimento é não remunerado e voluntário, e é mantido através de doações online. Na Figura 20, é possível ver a tela principal do *software*. Na Figura 21, um exemplo da paleta de itens do *software*.

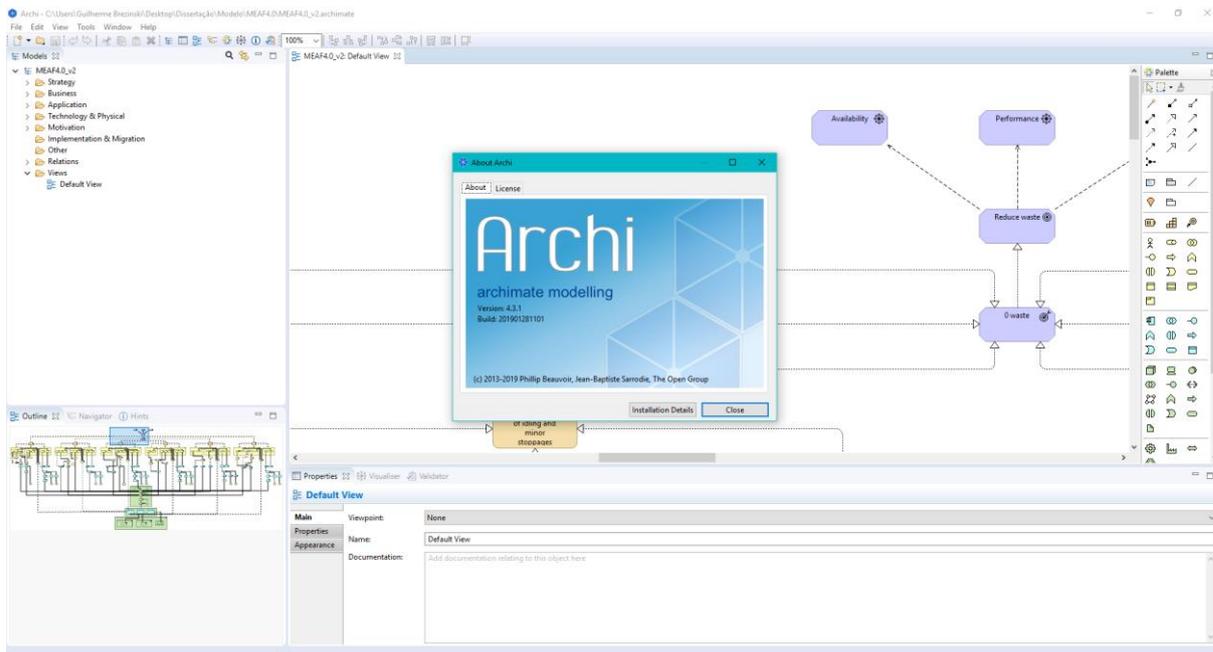


Figura 20- Tela de utilização software Archi.

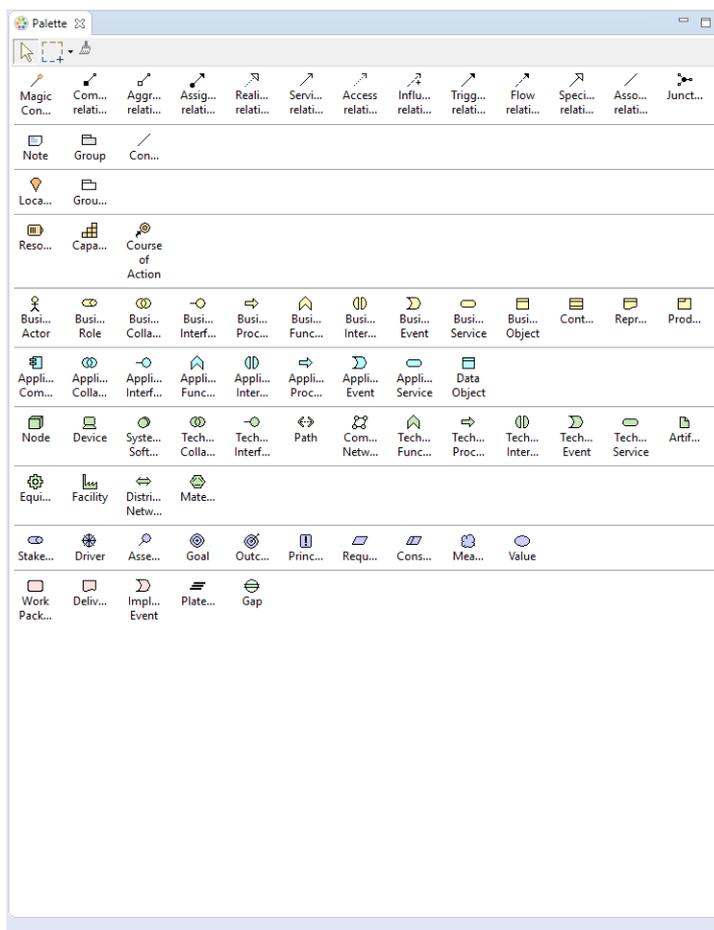


Figura 21- Paleta de itens software Archi.

## 4.3 EXECUÇÃO

### 4.3.1 Modelagem do Fluxo de Informação

Como os dados são peça-chave para ocupar os pontos de controle ao longo da cadeia de valor, as empresas precisam entender e gerenciar os dados como um de seus ativos mais importantes. Em particular, de acordo com Hermann, Pentek e Otto (2015), é necessário seguir as duas abordagens a seguir:

- Desenvolver os dados como um ativo: é importante tratar os dados como um ativo comercial central. Gerenciar dados em seu ciclo de vida e definir padrões, melhores práticas e políticas agregará valor ao negócio. O gerenciamento de dados também deve ser totalmente integrado ao processo principal;
- Gerenciar dados estrategicamente: as decisões referentes a dados crescerão em importância estratégica. Com a crescente importância dos dados, as vantagens competitivas dependerão ainda mais disso.

Para modelar um *Enterprise Architecture Framework* (EAF) baseado na troca de informações, é importante primeiro visualizar o caminho que a informação viaja através do processo ideal de manutenção. Este processo baseia-se inteiramente na troca de informações e manutenção preditiva.

O modelo conceitual e fluxo de dados foi dividido em dois níveis, como visto na figura 21: o nível físico, que engloba o setor de planejamento estratégico e o setor operacional; e o nível digital, no qual ocorrem trocas e processamento de informações. (Brezinski, G.L. *et al.*, 2018) define que o fluxo começa no chão de fábrica, onde as informações são obtidas de sensores no maquinário e informações registradas manualmente em um CMMS. Essas informações são carregadas na nuvem do setor, que organiza e processa os dados por meio de algoritmos de mineração e análise. A partir da nuvem, esta informação é enviada para uma IHM (Interface Homem-máquina), que neste modelo é representada por computadores no setor de planejamento e por dispositivos móveis (*tablets e smartphones*) no setor de produção, responsáveis por amostrar os dados através de *dashboards* e algoritmos de inteligência artificial, que irão lidar com informações pertinentes que ajudarão a equipe de suporte e planejamento. Essas informações serão, então, distribuídas aos interessados e serão usadas para fornecer feedback ao CMMS, auxiliando no

planejamento e na tomada de decisões, que afetarão diretamente a política de custos de manutenção. A comunicação digital e troca de informações é feita através do protocolo Ethernet, mais precisamente o IPv4 (*Inthernet Protocol version 4* ou Protocolo de Internet versão 4), que apesar de amplamente utilizado e validado em ambientes industriais, seria idealmente melhor substituído pelo IPv6. Como observado por Saturno, M. *et al.* (2017), a migração para o IPv6 será necessária devido à necessidade de suportar mais dispositivos. Novos equipamentos já estão habilitados para IPv6, devido à escassez de endereços disponíveis no protocolo IPv4.

Outros detalhes para se atentar durante consulta ao modelo conceitual é que ele não possui ainda nenhuma relação com a Arquitetura Organizacional, sendo um modelo tecnológico. Também não possui todas as tecnologias e conceitos selecionados como cruciais para o setor de manutenção, pois sendo um modelo de fluxo de informação, possui apenas aquelas que são pertinentes para a troca de informações. Quase nenhuma ligação com os processos de manutenção também é vista no modelo conceitual pois, como comentado anteriormente, trata-se de um framework tecnológico apenas.

O modelo conceitual do fluxo de dados pode ser visto na Figura 22.

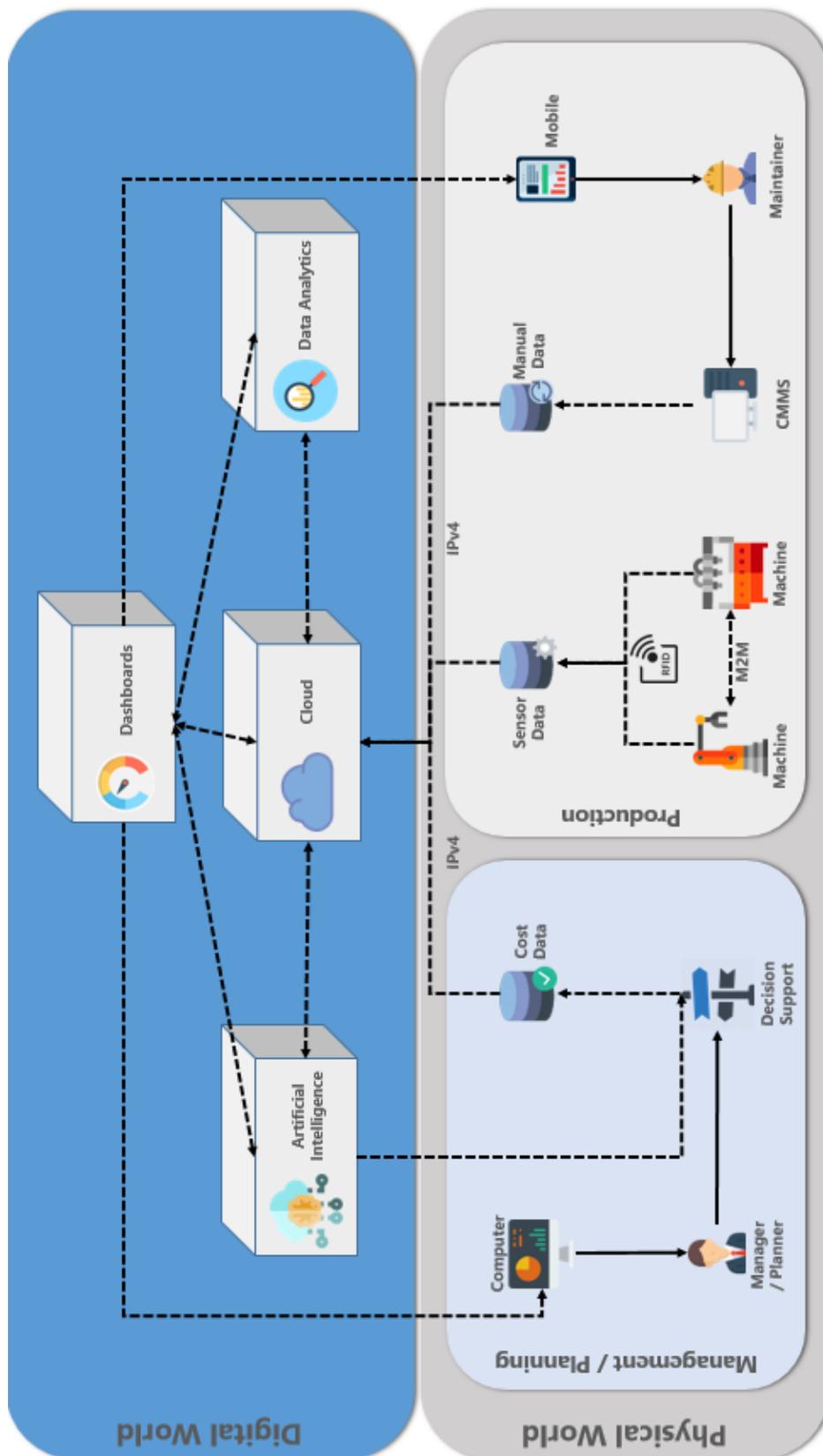


Figura 22- Modelo conceitual dos fluxos de informação.

### 4.3.2 Modelagem do Framework

Para modelagem do M4.0EAF, o trabalho foi dividido em quatro passos principais. Estes passos foram colocados nesta ordem para respeitar o metamodelo da ferramenta escolhida (archimate). As subseções desta seção dão uma ideia melhor sobre o que será incorporado em cada passo. São eles:

- Passo 1- Motivação;
- Passo 2- Nível Tecnológico;
- Passo 3- Nível de Aplicação;
- Passo 4- Comportamento.

Estes passos foram divididos em subseções. Ao final da análise, será apresentado o M4.0EAF completo.

#### 4.3.2.1 Motivação

A motivação diz respeito ao objetivo principal do *framework* de EA, ou seja, o último nível do fluxo. Dentro da motivação ficam os Drivers do modelo (itens que direcionam o objeto de estudo), *Courses of action* (cursos de ação tomados), *Goals* (metas) e *Outcomes* (saídas).

Para a motivação do M4.0EAF, as definições utilizadas são as do TPM (seção 3.1.2.1) que atualmente são amplamente utilizadas para definir objetivos estratégicos da área de manutenção.

Inicialmente, foram definidos os *Drivers* do estudo como sendo os componentes do OEE- Disponibilidade, Performance e Qualidade.

Após isso, se faz necessário definir uma meta para o modelo. Com a utilização dos conceitos de TPM, fica claro que a meta deve ser a principal meta dos sistemas de manutenção: Redução do desperdício. Para atingir essa meta, a saída do modelo deverá ser: Zero desperdício.

Sendo assim, o topo do modelo e indicador motivacional ficará como na Figura 23.

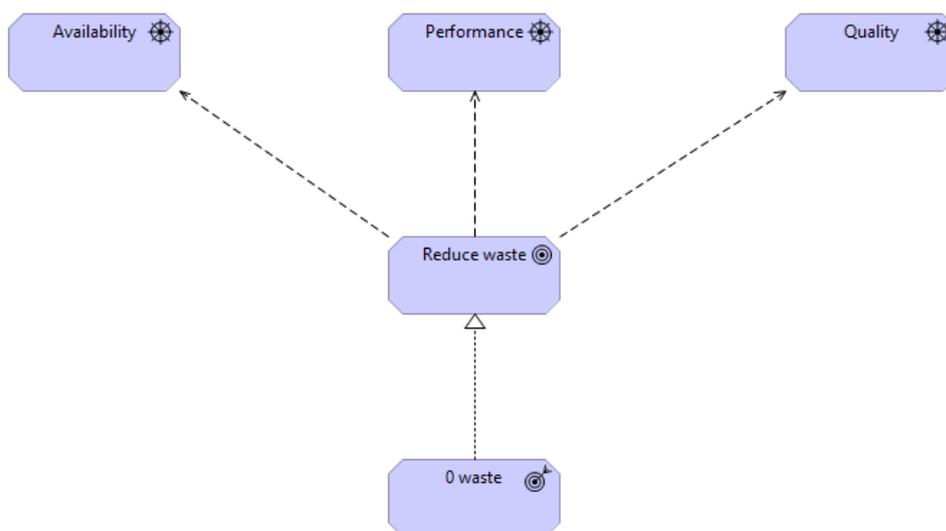


Figura 23- Nível de motivação do modelo proposto.

Abaixo da saída, é preciso definir os cursos de ação do modelo. Estes cursos serão definidos a partir das seis grandes perdas do TPM pois, afinal, são os fatores que são necessários evitar. Para utilização, foram criadas definições a partir das perdas, como mostra a Tabela 4.

**Tabela 4- Cursos de ação.**

<b>Perda do TPM</b>	<b>Curso de ação</b>
Paradas não planejadas	Prevenir ou corrigir falhas e paradas ( <i>Prevent or correct failures and breakdowns</i> )
Configuração e Ajustes	Configurações e ajustes rápidos e programados ( <i>Faster and programmed set-up and adjustments</i> )
Pequenas paradas	Quantidade menor de pequenas paradas ( <i>Smaller amount of idling and minor stoppages</i> )
Funcionamento lento	Evitar funcionamento lento ( <i>Avoid reduced speed</i> )
Defeito de produção	Eliminar defeitos e retrabalho ( <i>Eliminate defects and rework</i> )
Rendimento reduzido	Zero rendimento reduzido ( <i>Zero start-up losses</i> )

Com os cursos de ação definidos, o nível motivacional com nível estratégico fica como na Figura 24.

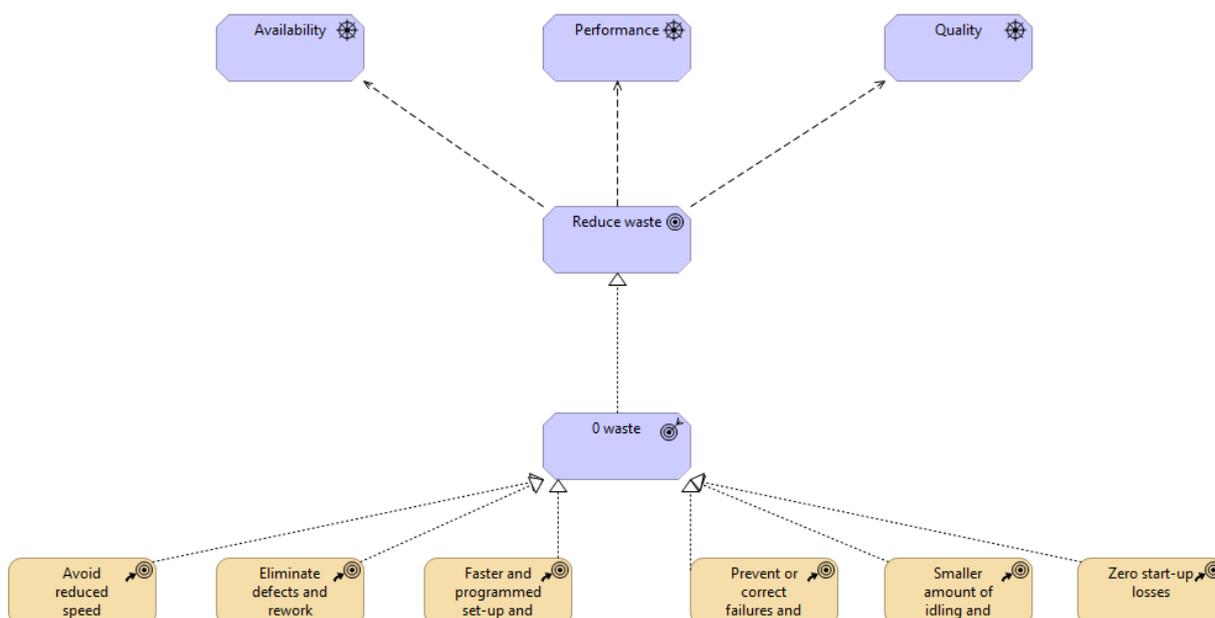


Figura 24- Nível de motivação do modelo com nível estratégico.

#### 4.3.2.2 Nível Tecnológico

Apesar do fluxo do Archimate definir que o próximo nível, por ordem, seria o nível de negócios, durante a modelagem do M4.0EAF foi definido que, para efeito de construção, o nível dois seria o nível tecnológico e após isso a construção seguiria o fluxo baixo-cima.

O nível tecnológico do *framework* diz respeito a aquisição e ao tratamento dos dados provenientes dos ativos. Este nível foi baseado no *framework* RAMI 4.0 e na pirâmide 5C (seção 3.1.1) e no fluxo de informação mostrado na seção anterior. Este nível é constituído do nó *Facility* (que imita o mundo real e possui duas máquinas e um computador ligado a um CMMS), o nó *Data acquisition* (que recebe os dados e realimenta a nuvem), baseando-se nas três maneiras de recebimento de dados de Lee e Bagheri (2015) e finalmente o nível ciber-físico (onde ficam alocadas a maior parte das tecnologias digitais e onde a informação é convertida, tratada e configurada). O nível ciber-físico imita exatamente o comportamento de um sistema ciber-físico, e é o nó de maior importância do M4.0EAF, pois recebe, trata e distribui todo o fluxo de informação do modelo.

As tecnologias escolhidas para integrar o *framework* são as mesmas que figuram no *mind map* do capítulo 03. Essas tecnologias são as mais relevantes para o setor de manutenção, e estão divididas da seguinte maneira:

Nó ciber-físico: Possui as tecnologias completamente digitais- *Big Data*, *Analytics*, Inteligência Artificial e *Cloud Computing*;

Nível de aplicação: Tecnologias físico-digitais- *Mobile*, *M2M* (Comunicação Máquina-máquina), Realidade Aumentada e Impressão 3D.

A Figura 25 contém o Nível Tecnológico completo do M4.0EAF.

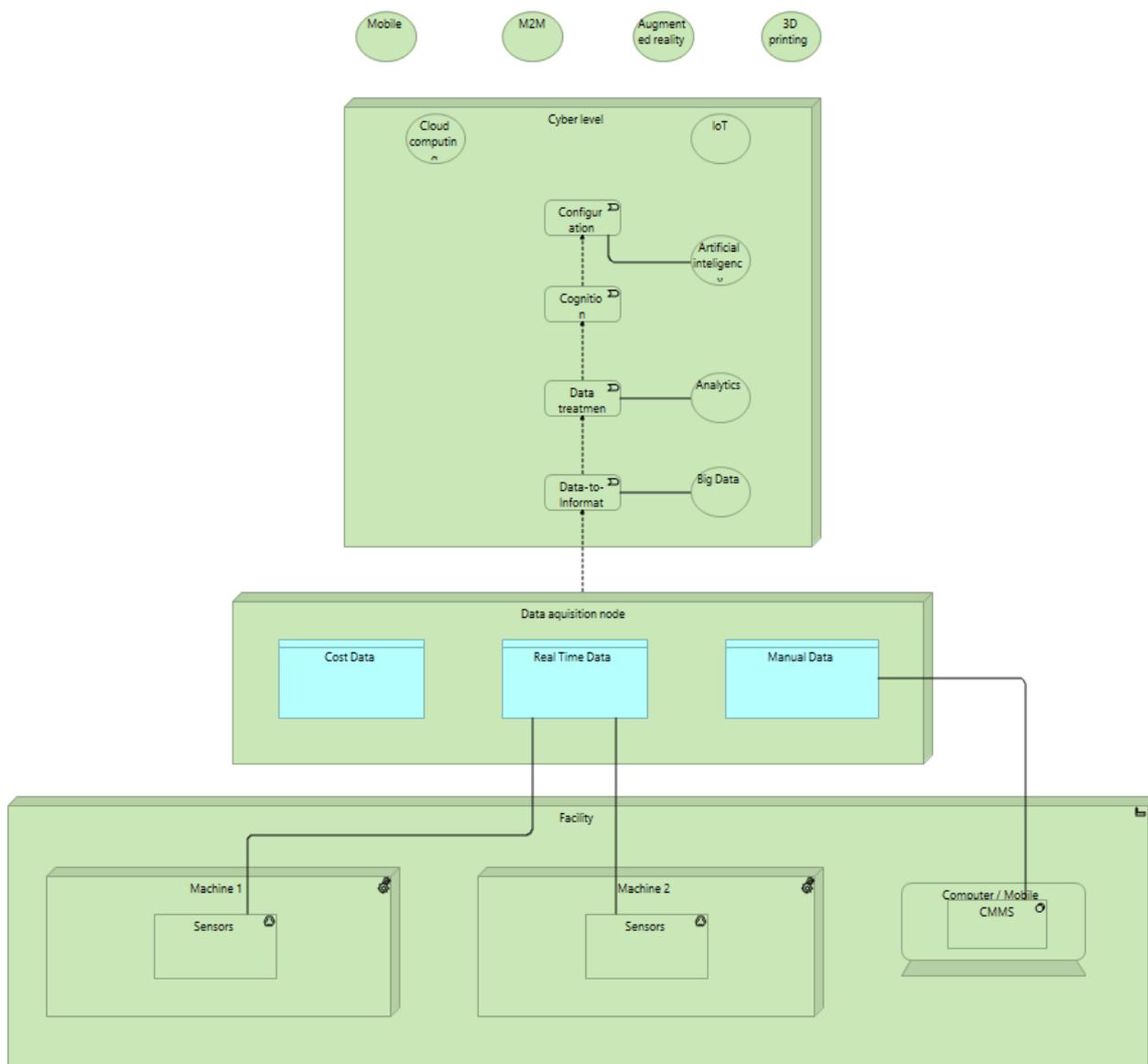


Figura 25 - Nível de motivação do modelo com nível estratégico.

#### 4.3.2.3 Nível de Aplicação

O nível de aplicação é o mais prático e independente entre todos os níveis do modelo, e também o mais difícil de definir. Como a aplicação prática das funções de

manutenção tem pouca visibilidade acadêmica/ científica e varia bastante, dependendo da estratégia adotada pela organização, fica difícil construir um modelo genérico adequado. Uma saída para esse problema pode ser personalizar este nível do modelo dependente da organização interessada na implementação.

A aplicação diz respeito aos meios de se conseguir aplicar as técnicas de manutenção, que podem ser padronizadas ou aplicações únicas, dependendo da empresa em questão. O nível de aplicação possui itens dos tipos: Componentes, colaboração, interface, função, interação, processo, evento, serviço ou objeto de dados. No M4.0EAF, estes itens são divididos da seguinte maneira:

- Interface de aplicação:
  - *Dashboards* - Interface utilizada para comunicar ao operador o status de certo ativo;
- Função de aplicação:
  - Planejamento semanal (*Weekly plan*) - Planejamento de ações, geralmente diz respeito a manutenção preventiva;
  - Melhoria Contínua dos Ativos (*Asset Continuous Improvement*) - Faz parte das metas do setor;
  - Parâmetros de manutenção autônoma (*Autonomous Maintenance Parameters*) – Função fundamental para bom funcionamento da automação;
  - Monitoramento de condição (*Condition Monitoring*) – Função fundamental para tomada de decisão;
- Processo de aplicação:
  - Gestão de peças (*Spare Part Management*) – Processo essencial para gestão de ativos;
  - Estimativa de recursos (*Resource estimation*) - Processo essencial para gestão de ativos;
- Evento de aplicação:
  - EWO – Ordem de trabalho emergencial;
  - Análise de prioridade (*Priority analysis*) – Evento a ser realizado pela inteligência artificial;
  - Análise de causa raiz (*Root Cause analysis*) - Evento a ser realizado pela inteligência artificial;

- Análise de serviço (*Service analysis*) - Evento a ser realizado pela inteligência artificial;
- Aprovação de serviço (*Service approval*) - Evento a ser realizado pela inteligência artificial;
- Serviço de aplicação:
  - Solicitação de serviço (*Service solicitation*) - Evento a ser realizado pela inteligência artificial;
  - Disponibilidade de manufatura aditiva (*Addictive manufacturing available*) – Serviço de impressão 3D disponível;
  - Serviço de aplicação (*Application service*) – Serviço de aplicação propriamente dito;
  - Disponibilidade de suporte digital (*Digital support available*) – Serviço de realidade aumentada disponível;
  - Agente móvel (*Mobile agent*) Serviço de agente móvel disponível;
  - Monitoramento em tempo real (*Real time condition monitor*) – Disponibilidade de acompanhamento do fluxo através de monitoramento ao vivo;
  - Execução de serviço (*Service execution*) - Evento a ser realizado pelo mantenedor responsável;

O nível de aplicação possui inúmeros tipos de utilização e é adaptável a cada realidade. Seus itens são sempre convocados pelos dois últimos níveis do nó ciber-físico (cognição ou configuração) e, a partir de um gatilho específico, desenvolvem  $n$  atividades determinadas.

Nas Figuras 26 e 27, exemplos de utilização do nível de aplicação.

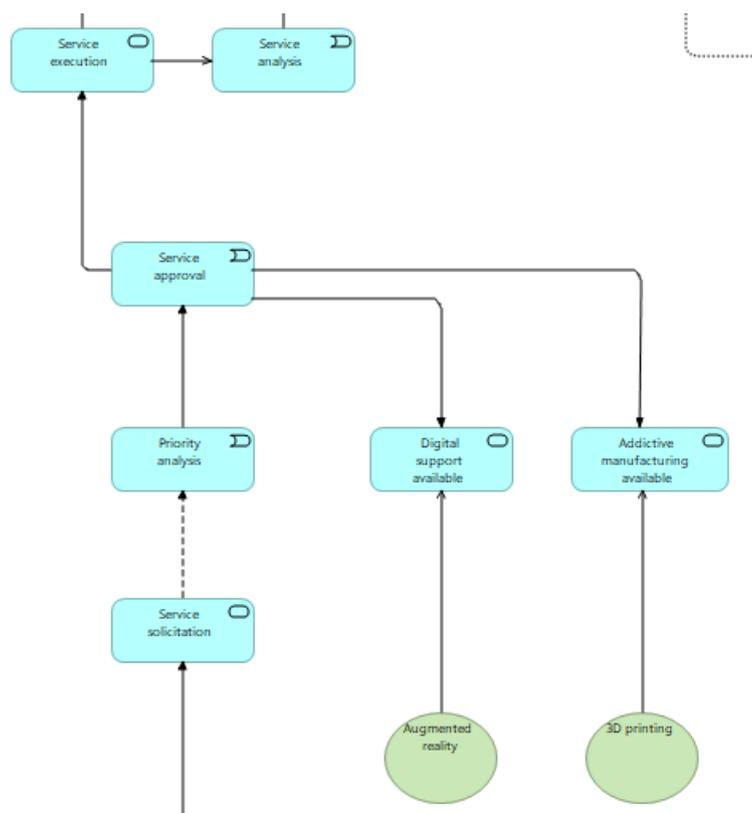


Figura 26- Exemplo de aplicação: solicitação de serviço.

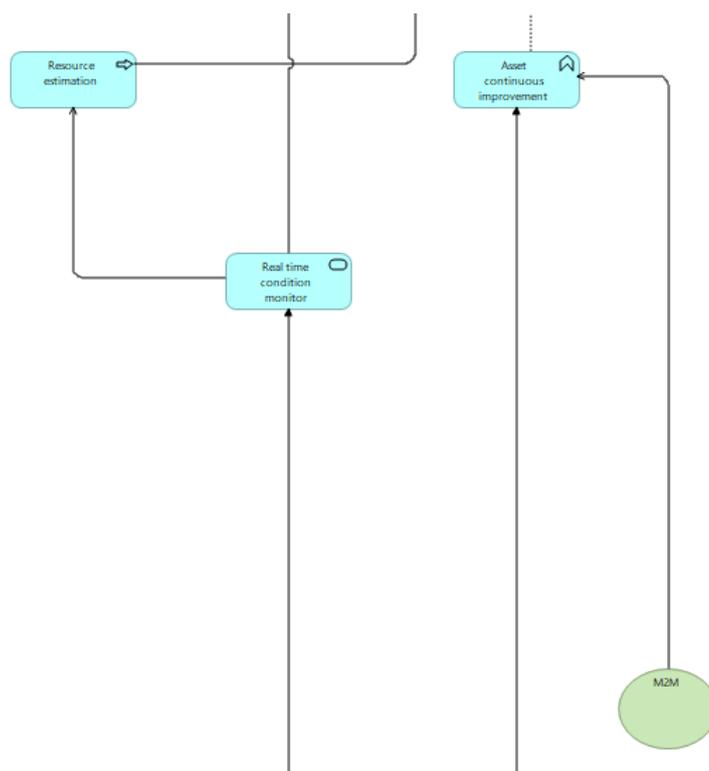


Figura 27- Exemplo de aplicação: monitoramento em tempo real.

#### 4.3.2.4 Nível de negócios

O nível de negócios ocupa posição crucial dentro do modelo proposto. Isso porque é neste nível da arquitetura que estão alocadas as ações de manutenção: Reativa (ou corretiva), Preventiva e Preditiva. Além disso, é um nível antes dos cursos de ação (todos os cursos de ação, inclusive, partem de todas as ações de manutenção) fazendo com que este nível seja indispensável para o planejamento da estratégia organizacional. O nível de negócios possui itens dos tipos: Atores, papéis, colaboração, interface, processo, função, interação, evento, serviço e objeto. No M4.0EAF, estes itens são divididos da seguinte maneira:

- Atores de negócios (*Business actors*):
  - Mantenedor (*Maintainer*) – Responsável por aplicar a manutenção;
  - Planejamento (*Planner*) – Responsável por planejar a manutenção;
- Processos de negócios (*Business process*):
  - Detalhamento de programação semanal (*Detailed weekly schedule*) – Auxilia na programação estratégica;

- Educação e treinamento (*Education and training*) – Essencial para auxílio da evolução natural dos negócios;
- Indicadores de eficiência (*Efficiency indicators*) – Auxilia na programação estratégica;
- Planejamento de upgrade de equipamento (*Equipment upgrade planning*) – Serve de base no processo de evolução;
- Supervisão de KPIs (*KPIs supervision*) – Essencial para ações preventivas;
- Calendário de treinamento (*Training calendar*) – Auxilia na programação estratégica;
- Ação reativa (*Corrective action*) – Base conceitual da manutenção;
- Ação Preventiva (*Preventive action*) – Base conceitual da manutenção;
- Ação Preditiva (*Predictive action*) – Base conceitual da manutenção;
- Função de negócios (*Business functions*):
  - Tomada de decisão (*Decision making*) – Base da alimentação retroativa do modelo;
  - Manutenção autônoma (*Autonomous maintenance*) – Essencial na automação dos processos do setor;
  - Ajustes corretivos (*Corrective adjustments*) – Útil para situações de emergência;
  - Otimização de custo (*Cost optimization*) – Essencial na automação dos processos do setor;
  - Reavaliação de equipamento (*Equipment reliability*) – Faz parte da estratégia preventiva;
  - Rotina de inspeção (*Inspection routine*) – Faz parte da estratégia preventiva;
  - Comunicação M2M (*Machine to machine communication*) – Função estratégica autônoma de grande importância;
- Eventos de negócios (*Business events*):
  - Ajustes JIT (*JIT adjustments*) – Essencial para manter bons KPIs;
  - Testes de validação (*Validation tests*) – Estratégico para o pós-manutenção;
  - Integração dos sistemas de manutenção (*Maintenance system integration*) – Base da evolução programada dos equipamentos;

- Serviços de negócios (*Business services*):
  - Gestão de inventário (*Inventory management*) – Base da estratégia de redução de custos;
  - Definição prioritária (*Priority definition*) – Útil com sobrecarga de trabalho;
  - Monitoramento qualitativo (*Quality monitoring*) – Faz parte das estratégias de qualidade;
  - Gestão de relatórios (*Report management*) – Estratégia de tomada de decisão;

Os itens de negócios sempre são convocados a partir de um gatilho disparado por um item de aplicação, e desenvolvem alguma ação antes ou depois das ações de manutenção. Após finalização de suas ações, o fluxo de informação passa pela tomada de decisão que realimenta o modelo conforme necessário.

As Figuras 28 e 29 são exemplos de utilização do nível de negócios.

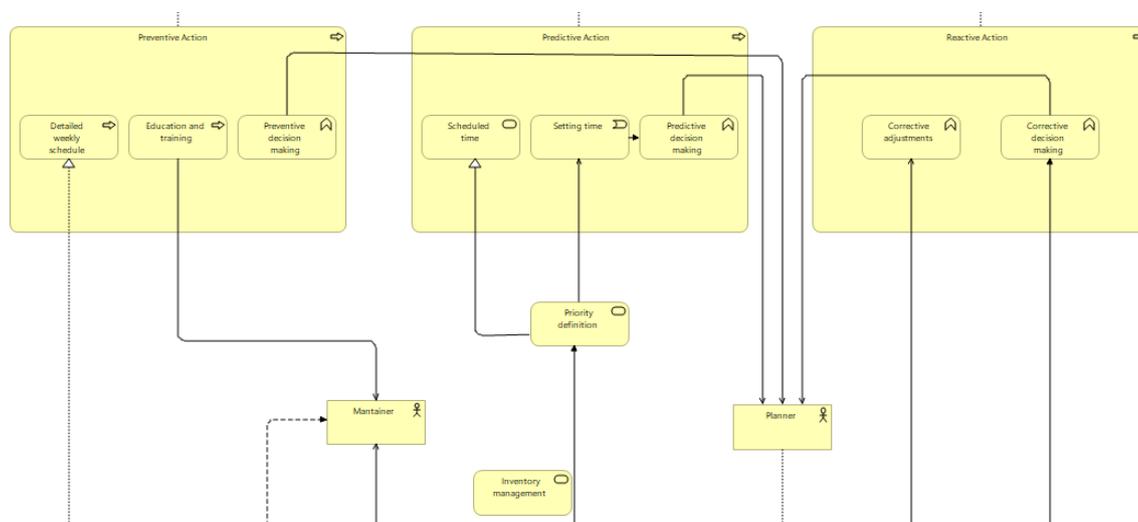


Figura 28- Exemplo de negócios: ações de manutenção.

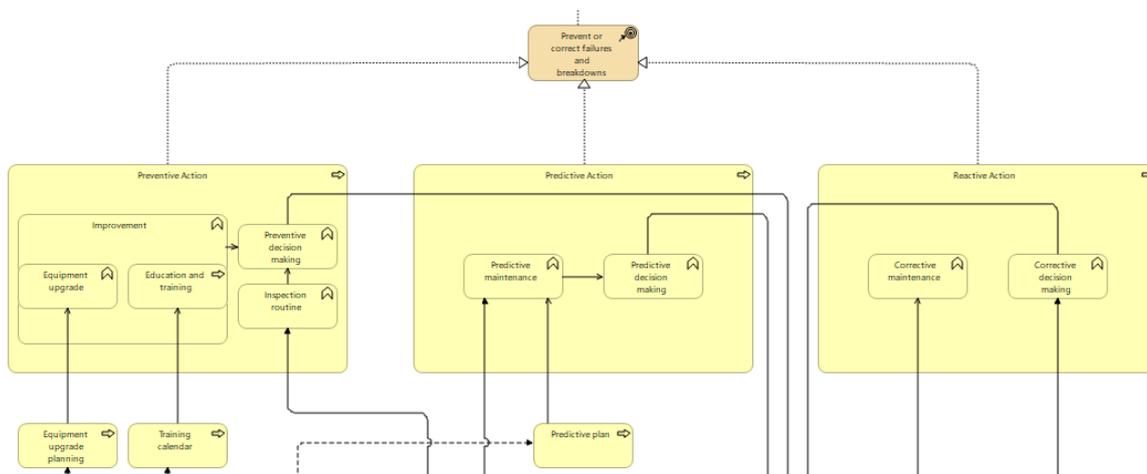


Figura 29- Exemplo de negócios: link com curso de ação.

#### 4.3.2.5 Comportamento

A ideia principal do M4.0EAF é de que seja um modelo retroalimentado, adaptável e inclusivo, tendo como base um fluxo de informação cada vez maior e mais conectado, e dependendo do conjunto de tomada de decisão dos atores envolvidos, das condições dos ativos e da cognição da inteligência artificial instalada. Se adaptado a condições reais a qual for submetido, o *framework* promete transformar a organização e criar condições favoráveis para o desenvolvimento da Indústria 4.0.

A Figura 30, apesar de ser apenas um *overview*, dá uma ideia da versão final e total do M4.0EAF.

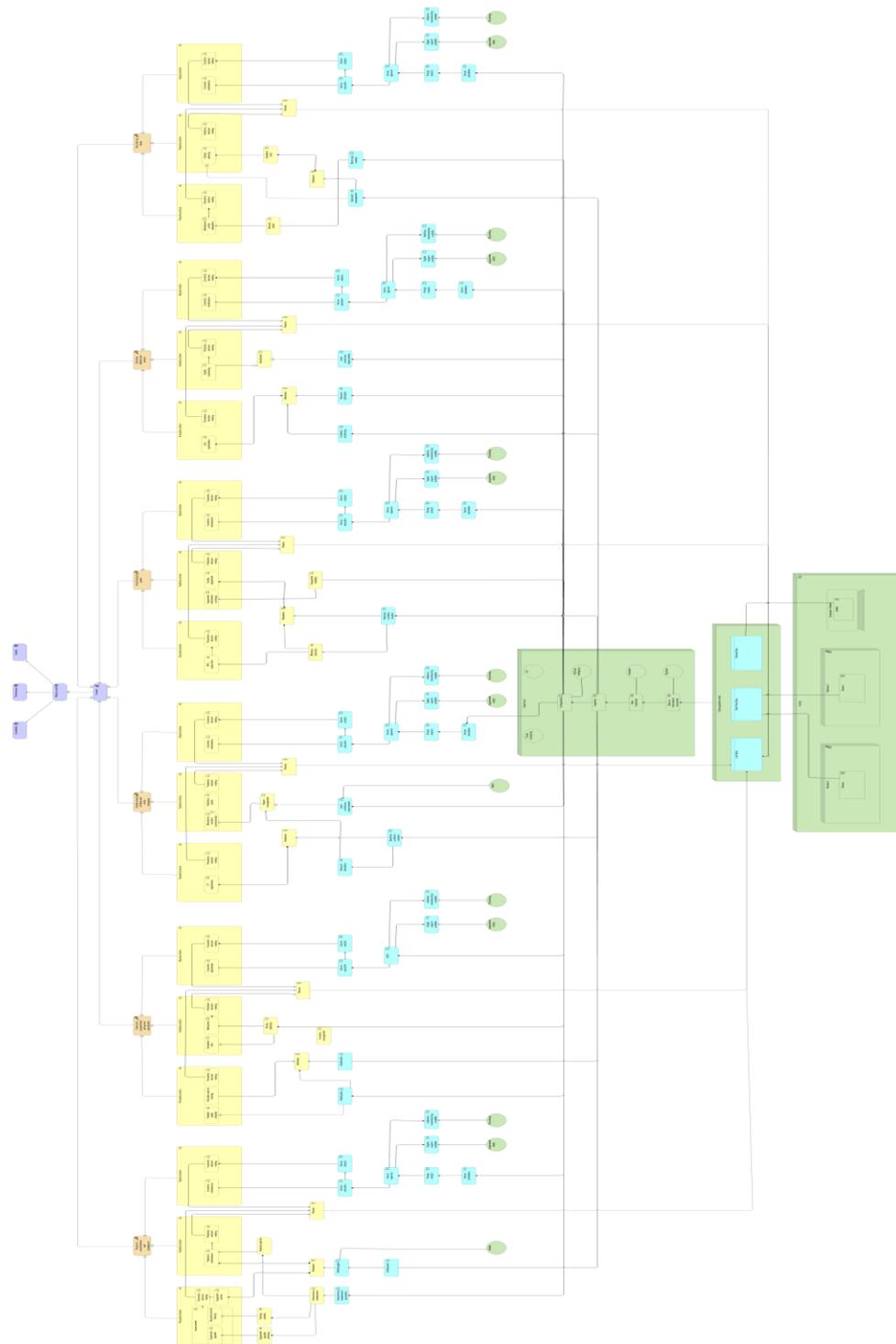


Figura 30- Overview do M4.0EAF

## 5 AVALIAÇÃO

Com o Framework completamente modelado, fica intrínseca a necessidade de uma avaliação de comportamento para validar sua principal promessa: transformar a organização e criar condições favoráveis para o desenvolvimento da Indústria 4.0. A ideia da avaliação é coletar dados, opiniões de especialistas e identificar, já em um primeiro momento, pontos fortes e pontos de melhoria do modelo. Para explanar a avaliação, dentro deste capítulo, serão utilizadas 4 seções. A seção 5.1 revelará todo o roteiro utilizado nas entrevistas. Na seção 5.2, serão feitos comentários sobre o perfil dos entrevistados, e quais foram os critérios utilizados para decidir qual perfil era mais compatível com a entrevista. Na seção 5.3 serão abordados os resultados das avaliações, bem como comentários pertinentes dos entrevistados e, por fim, na seção 5.4 será realizada uma síntese com os principais feedbacks das avaliações.

### 5.1 ROTEIRO

O primeiro passo da avaliação é garantir que a empresa selecionada faça parte do grupo de interesse da avaliação. Para isso, foi definido que a empresa deve obrigatoriamente ser comprometida com a transformação digital e estar buscando meios de realização desta transformação em seus setores de manutenção, visando uma melhoria significativa na interoperabilidade e automatização dos processos.

A avaliação total tem duração média de 75 minutos, e o roteiro é dividido em três partes principais, conforme subseções a seguir.

#### 5.1.1 Sensibilização

Na primeira parte da avaliação, com duração aproximada de 20 minutos, o entrevistador sensibiliza o entrevistado no que se refere aos assuntos tratados pelo Framework. Isso é necessário para que todos os entrevistados estejam alinhados com relação aos conceitos apresentados e as definições dos pilares conceituais e assim seja possível ter um resultado mais homogêneo e menos propenso a falhas de

entendimento. Neste caso, o entrevistador começa falando sobre todos os conceitos demonstrando o *mind-map* (Figura 7), dá um rápido briefing sobre os sistemas ciberfísicos, a pirâmide 5C (Figura 11), e as tecnologias relacionadas (indústria 4.0) em um primeiro momento.

Após isso, o entrevistador fala sobre a motivação do modelo, demonstrando os conceitos de OEE que norteiam o fluxo da arquitetura (Tabela 2), suas perdas (Tabela 3), e como isso foi transformado no curso de ação do modelo (Figura 24).

Por último, o entrevistador passa pelo fluxo de dados do modelo conceitual (Figura 22) e finaliza a sensibilização dando um overview do modelo completo (Figura 30) demonstrando todos os níveis, a convergência da motivação, as aplicações, a camada business e a camada tecnológica.

Se não restarem dúvidas quanto ao funcionamento do modelo, a avaliação passa para seu segundo nível: Análise de situação atual.

### **5.1.2 Análise de situação atual**

Na análise de situação atual, com duração média de 20 minutos, o entrevistado se depara com as primeiras sete questões (neste nível, em formato de resposta aberta) que visam entender melhor a situação atual da organização da qual o entrevistado faz parte. Estas questões têm como objetivo avaliar a disponibilidade da organização em receber uma possível prova de conceito (ou seja, modelo prático que possa provar o conceito teórico estabelecido por esta pesquisa) do modelo proposto e definir em que estágio se encontram os projetos de transformação digital e o nível de desenvolvimento do setor de manutenção. São elas:

#### **1. Os fluxos e processos de manutenção seguem hoje o mesmo padrão pré-CMMS atual? O que mudou? Havia outro CMMS?**

Um CMMS é o primeiro passo rumo a digitalização dos processos de manutenção de uma organização. Sem este advento, provavelmente os processos de manutenção não estão alinhados aos conceitos de uma boa prática da manutenção e precisam ser revistos antes de se pensar em uma transformação digital.

#### **2. A organização possui um modelo formalizado de arquitetura organizacional?**

Se a organização já possui um modelo formalizado de AO, o M4.0EAF pode ser mais facilmente integrado a realidade dos setores de manutenção.

**3. O setor de manutenção segue algum padrão, framework ou metodologia (exemplo: WCM, TPM, Lean Manufacturing) aplicada aos seus processos?**

Caso possua alguma metodologia bem embasada, principalmente TPM, é muito provável que já siga um fluxo bem semelhante ao do modelo.

**4. Com relação ao gerenciamento da manutenção, a organização define equipes específicas para delegar fluxos relacionados aos 3 tipos de manutenção (corretiva, preventiva e preditiva) ou possui apenas uma equipe responsável por todo esse fluxo?**

A divisão das equipes pode demonstrar o nível de importância dado a cada tipo de manutenção, preparando assim terreno para uma possível implementação dirigida.

**5. A equipe de manutenção possui um “planner” específico, ou seja, uma pessoa responsável pela tomada de decisão referente aos retornos dos indicadores (KPIs) do setor ou este planejamento é realizado por uma equipe? Qual a importância dos indicadores na tomada de decisão.**

O responsável pela tomada de decisão tem papel crucial na realimentação das informações do modelo. Para implementação deste framework, é de extrema importância que este papel esteja bem resolvido dentro da organização.

**6. A organização possui algumas das tecnologias listadas no setor de manutenção? Qual a importância desta (s) tecnologia (s) atualmente para o processo de manutenção?**

Já estar trabalhando com alguma das tecnologias listadas pode ser um atrativo e um facilitador para a implementação do Framework como um todo.

## 7. Existe algum plano definido de desenvolvimento da indústria 4.0 na organização? E no setor de manutenção?

Ter um planejamento definido para desenvolvimento dos conceitos da Indústria 4.0 na organização pode ajudar ou não a implementação do M4.0EAF.

### 5.1.3 Análise de utilidade

A análise de utilidade tem duração média de 35 minutos e é dividida em duas partes: Factibilidade e Utilidade.

A avaliação de Factibilidade tem como objetivo descobrir se a motivação do trabalho, as tecnologias e as aplicações estão de acordo com o dia a dia da organização.

A avaliação de Utilidade tem como objetivo verificar se, em um primeiro momento, o Framework parece utilizável se inserido nos processos do setor de manutenção da organização avaliada.

#### 5.1.3.1 Factibilidade

A avaliação de Factibilidade verifica a pertinência dos conceitos apresentados. Para essa avaliação, o entrevistado deve responder apenas com **Pertinente/Não pertinente**.

1. **Pertinência das tecnologias apresentadas.**
2. **Pertinência dos tipos de manutenção apresentados.**
3. **Pertinência da motivação apresentada.**
4. **Pertinência das aplicações.**

#### 5.1.3.2 Utilidade

Para a avaliação de Utilidade, o entrevistador coloca o entrevistado em uma posição de responsabilidade quanto a tomada de decisão. Cabe ao entrevistado

responder as questões com **Sim/Não** e, se achar necessário, completar a resposta com itens específicos. As questões são:

**1. Em um primeiro momento, o Framework parece útil para o desenvolvimento dos processos de manutenção?**

O entrevistado pode responder por quê.

**2. A utilização de uma arquitetura de desenvolvimento bem definida pode ajudar ou deve atrapalhar a evolução dos processos de manutenção?**

O entrevistado pode responder por quê.

**3. É possível ver utilidade para todas as tecnologias apresentadas no framework?**

O entrevistado pode responder quais tecnologias tem utilidade.

**4. Com relação aos processos de negócio da empresa (camada estratégica), o framework pode auxiliar o controle e desenvolvimento do setor de manutenção?**

O entrevistado pode responder por quê.

**5. Com relação a camada operacional (chão de fábrica), é possível, em um primeiro momento, visualizar benefícios com a utilização do Framework?**

O entrevistado pode responder por quê.

**6. Em um primeiro momento, tendo como base os processos atuais de manutenção da empresa, existe algum ponto visível de melhoria deste framework?**

O entrevistado pode responder quais pontos.

## 5.2 PERFIL DOS ENTREVISTADOS

Os entrevistados foram escolhidos levando em consideração vários critérios de classificação. Desde o início das avaliações, a ideia foi sempre manter um número

parecido de pessoas de cargos estratégicos e de cargos operacionais. Os entrevistados devem obrigatoriamente trabalhar em manutenção ou áreas correlatas e a organização da qual fazem parte deve obrigatoriamente estar buscando meios de se transformar digitalmente.

**Tabela 5- Perfil dos entrevistados.**

<b>Entrevistado</b>	<b>Cargo</b>	<b>Experiência</b>	<b>Organização</b>
<b>A e B (realizaram a entrevista em conjunto)</b>	A: Cargo estratégico- Gerente de manutenção e gerente de WCM B: Cargo estratégico- Gerente de TI	A: 15 anos de experiência B: 5 anos de experiência	Multinacional automobilística da região de Contagem (MG)
<b>C</b>	Cargo operacional- Supervisor de linha de produção	3 anos de experiência	Multinacional automobilística da região de Curitiba (PR)
<b>D</b>	Cargo operacional- Engenheiro de testes	2 anos de experiência	Multinacional da região de Chang Sha, província de Hunan (China)
<b>E</b>	Cargo estratégico- Gerente de logística	Mais de 20 anos de experiência	Multinacionais automobilísticas da região de Curitiba (PR)

## 5.3 RESULTADOS

### 5.3.1 Análise de situação atual

Tabela 6- Análise de situação atual A e B.

<b>Entrevistados A e B</b>	
<b>Questão</b>	<b>Resposta</b>
<b>1</b>	Não, o controle antigo era feito por planilhas em MS EXCEL. Mudanças em eficiência e controle de histórico de informações.
<b>2</b>	Não, apenas organogramas e fluxogramas.
<b>3</b>	Sim, WCM, Lean Manufacturing, TPM, e OEE.
<b>4</b>	Apenas uma equipe responsável por todas as funções de manutenção, dividindo responsabilidade entre mantenedores.
<b>5</b>	A responsabilidade é do gerente de manutenção, a equipe ainda possui planejadores que compilam os dados e organizam entregas e prioridades.
<b>6</b>	Sim, IoT, Cloud, Analytics, Impressão 3D, Realidade aumentada, Big Data, Mobile. Atualmente apenas auxiliam os mantenedores em manutenção preditiva e corretiva.
<b>7</b>	Sim, a organização já possui roadmaps específicos para cada área, inclusive para manutenção. Além disso alguns projetos dentro do roadmap já possuem um cronograma definido.

Tabela 7- Análise de situação atual C.

<b>Entrevistado C</b>	
<b>Questão</b>	<b>Resposta</b>
<b>1</b>	Não. A empresa está em fase de integração do CMMS. Por enquanto, os fluxos são realizados por meio de software MS EXCEL.
<b>2</b>	Não, apenas organogramas, cronogramas e fluxogramas.
<b>3</b>	Não sabe dizer.

<b>4</b>	Sim, uma equipe apenas para manutenção preditiva e outra equipe para manutenção preventiva e corretiva.
<b>5</b>	A equipe possui um supervisor de manutenção responsável pela tomada de decisão.
<b>6</b>	Sim, Impressão 3D, Realidade aumentada, Mobile e M2M. Atualmente todas em fase de testes (prova de conceito).
<b>7</b>	A empresa possui vários POCs em fase embrionária. O setor de manutenção trabalha com alguns deles.

Tabela 8- Análise de situação atual D.

<b>Entrevistado D</b>	
<b>Questão</b>	<b>Resposta</b>
<b>1</b>	Não, controle totalmente realizado por meio de planilhas em MS EXCEL e registrado na nuvem da unidade fabril.
<b>2</b>	Não, apenas organogramas e fluxogramas.
<b>3</b>	Apenas o padrão da organização, nenhuma metodologia de fora.
<b>4</b>	A mesma pessoa dentro do setor é responsável por todas as funções de manutenção.
<b>5</b>	A responsabilidade total é do gerente de projeto da área.
<b>6</b>	Sim, <i>Cloud e Analytics</i> .
<b>7</b>	A empresa possui muitos planos em fase inicial. O setor não possui.

Tabela 9- Análise de situação atual E.

Entrevistado E	
Questão	Resposta
1	Não. Sempre trabalhou com CMMS.
2	Não. O setor possui apenas organogramas.
3	Sim. A metodologia WCM é muito forte. Também trabalha com <i>Lean Manufacturing</i> .
4	Sim. A equipe possui 8 pessoas: duas para preventiva e quatro para corretiva. A equipe não realiza manutenção preditiva.
5	Sempre realizada pelo planejador de manutenção. Reportava ao supervisor da área e este supervisor reportava ao entrevistado.
6	Não. O setor não possuía nenhuma tecnologia listada.
7	Sim. Como gerente de logística, trabalhava com a implementação direta de tecnologias da Indústria 4.0, com plano já definido.

### 5.3.2 Análise de utilidade- factibilidade

Tabela 10- Análise de utilidade- factibilidade.

Entrevistado/ Questão	1	2	3	4
A e B	Pertinente	Pertinente	Pertinente	Pertinente
C	Não pertinente	Pertinente	Pertinente	Não pertinente
D	Pertinente	Pertinente	Pertinente	Pertinente
E	Pertinente	Pertinente	Pertinente	Não pertinente

### 5.3.3 Análise de utilidade

Tabela 11- Análise de utilidade 1.

Entrevistado	Em um primeiro momento, o Framework parece útil para o desenvolvimento dos processos de manutenção?
<b>A e B</b>	Sim.
<b>C</b>	Sim.
<b>D</b>	Sim.
<b>E</b>	Sim.

Tabela 12- Análise de utilidade 2.

Entrevistado	A utilização de uma arquitetura de desenvolvimento bem definida pode ajudar ou deve atrapalhar a evolução dos processos de manutenção?
<b>A e B</b>	Não. Para o desenvolvimento dos processos em primeiro momento, o framework parece muito inflexível ou engessado.
<b>C</b>	Não. Em um primeiro momento uma arquitetura inflexível pode atrapalhar o desenvolvimento.
<b>D</b>	Sim. A cultura chinesa se ajusta bem a uma arquitetura bem definida.
<b>E</b>	Não. Em curto e médio prazo, atrapalha, pois o setor de manutenção precisa de definições flexíveis e aptas a modificações.

Tabela 13- Análise de utilidade 3.

Entrevistado	É possível ver utilidade para todas as tecnologias apresentadas no framework?
<b>A e B</b>	Sim. Acrescentaria em IA, além de configuração dos fluxos, tomada de decisão para automanutenção.
<b>C</b>	Não, não é possível ver utilidade para Realidade aumentada e <i>Cloud</i> .
<b>D</b>	Não, para o setor em questão, não é possível ver utilidade para Realidade aumentada e Impressão 3D.

<b>E</b>	Sim. Algumas mais do que outras no nível atual de desenvolvimento.
----------	--

Tabela 14- Análise de utilidade 4.

<b>Entrevistado</b>	<b>Com relação aos processos de negócio da empresa (camada estratégica), o framework pode auxiliar o controle e desenvolvimento do setor de manutenção?</b>
<b>A e B</b>	Sim. Apenas precisa proporcionar uma visão mais completa sobre os custos dos processos.
<b>C</b>	Sim. Agilizará o processo.
<b>D</b>	Não. Para o setor do entrevistado, os processos de negócio não se aplicam.
<b>E</b>	Sim. Se o processo de negócio é bem definido, vai muito bem. O problema é que os processos geralmente não são bem definidos.

Tabela 15- Análise de utilidade 5.

<b>Entrevistado</b>	<b>Com relação a camada operacional (chão de fábrica), é possível, em um primeiro momento, visualizar benefícios com a utilização do Framework?</b>
<b>A e B</b>	Sim. Principalmente com a utilização das tecnologias relacionadas ao <i>Mobile</i> .
<b>C</b>	Sim. Tecnologias relacionadas ao <i>Mobile</i> , informação em tempo real.
<b>D</b>	Sim. É possível ver benefícios, principalmente com relação ao compartilhamento de informações.
<b>E</b>	Sim. Apesar disso, os benefícios devem vir a médio e longo prazo.

Tabela 16- Análise de utilidade 6.

Entrevistado	Em um primeiro momento, tendo como base os processos atuais de manutenção da empresa, existe algum ponto visível de melhoria deste framework?
<b>A e B</b>	Sim. As aplicações estão alinhadas com o que existe hoje. O ganho está em uma maior utilização da tecnologia.
<b>C</b>	Sim, apenas a médio e longo prazo, já que atualmente os processos não estão prontos pra receber o <i>Framework</i> .
<b>D</b>	Sim. Ajudaria muito se focasse mais no retrabalho.
<b>E</b>	Sim. O <i>framework</i> parece ser muito inflexível, necessita de mais adequações.

#### 5.4 SÍNTESE

Segundo o dicionário Michaelis (Michaelis, 2019) uma avaliação pode ser definida como o ato ou efeito de avaliar-se ou apreciação, cômputo ou estimativa da qualidade de algo ou da competência de alguém. Ao avaliar a qualidade e a utilidade do modelo proposto, é realizada uma espécie de ponte ou ligação entre a teoria e a prática, criando laços entre o *framework* e o usuário alvo, ou seja, a parte interessada em efetivamente aplicar a teoria criada em prol de desenvolvimento para o objeto de estudo.

Ao longo do período de avaliação do M4.0EAF, foi possível identificar alguns padrões de opinião que refletem possíveis qualidades e pontos de melhoria do *framework*, e assim definir com maior precisão quais são os anseios do mercado quanto a integração das novas tecnologias no ambiente de trabalho atual.

As próximas seções analisam, um a um, os níveis da avaliação realizada e suas contribuições, individuais e gerais, para a continuidade do trabalho proposto.

##### 5.4.1 Análise de situação atual

Ao avaliar a situação atual das organizações, foi possível identificar padrões quanto a disponibilidade da organização em receber uma possível prova de conceito do modelo proposto e definir em que estágio se encontram os projetos de

transformação digital e o nível de desenvolvimento dos setores avaliados. Abaixo a síntese de algumas conclusões, questão a questão.

1. Via de regra, as organizações ainda não possuem todos os processos de manutenção mapeados e bem definidos em um CMMS. Isso dificulta a integração do modelo porque falta as empresas um controle total do seu setor de manutenção. O controle digitalizado exigido pela indústria 4.0 precisa ser melhor desenvolvido antes de designar as decisões das aplicações de manutenção as novas tecnologias.
2. A partir das respostas para a pergunta número 2, é possível concluir que a falta de uma arquitetura organizacional bem definida pode impactar negativamente nos projetos de desenvolvimento da transformação digital nas empresas. Todas as organizações alvo da pesquisa se organizam apenas com organogramas e fluxogramas, que não possuem todas as dimensões necessárias para uma análise mais profunda da situação dos processos da empresa, dificultando a visualização destes processos.
3. Ao possuir uma metodologia consolidada como padrão, a empresa desenvolve estudos e documentação relacionados aos seus processos, o que pode facilitar muito a visualização de problemas e a integração do modelo proposto.
4. É possível identificar que, geralmente, as empresas ainda trabalham com uma ou no máximo duas equipes de manutenção, dando ênfase a manutenção corretiva e preventiva.
5. Uma ou mais pessoas responsáveis pela tomada de decisão do retorno de informação do fluxo do modelo (e do fluxo da manutenção como um todo) são indispensáveis para manter a confiabilidade do processo. Neste caso todas as empresas parecem estar bem desenvolvidas.
6. As tecnologias da Indústria 4.0 estão em fase de testes em todas as organizações avaliadas. Isso mostra certo comprometimento com a inserção destas tecnologias no fluxo de trabalho.
7. Todas as empresas avaliadas possuem, mesmo que em estágio embrionário, alguma espécie de plano para o desenvolvimento da Indústria 4.0.

#### 5.4.2 Análise de utilidade- factibilidade

Ao analisar a pertinência das tecnologias, tipos de manutenção, motivação e aplicações previstas pelo modelo, é possível concluir que, majoritariamente, são bastante pertinentes. As exceções se dão com o entrevistado C que não concorda que todas as tecnologias da Indústria 4.0 e nem todas as aplicações serão pertinentes para o desenvolvimento de seu trabalho e o entrevistado E, que acha que nem todas as aplicações do modelo são pertinentes para seu trabalho.

#### 5.4.3 Análise de utilidade

Por fim, a utilidade do modelo foi colocada a prova. Esta é a parte mais complicada da avaliação porque, de certa forma, os avaliados ainda não conseguem contemplar em um primeiro momento todas as mudanças que se farão necessárias com a implementação do *framework*. É difícil, sem um estudo mais profundo e dentro de um universo de poucos minutos de avaliação, estimar o bem ou o mal que o modelo fará aos processos da organização. Apesar disso, a avaliação trouxe resultados muito satisfatórios. É consenso que o *framework* parece útil para o desenvolvimento dos processos de manutenção. Apesar disso, os entrevistados acreditam que, via de regra, a utilização de um *framework* bem definido deve atrapalhar o desenvolvimento dos processos de manutenção. Isso acontece porque o setor de manutenção é muito dinâmico, e precisa acompanhar as tendências do mercado, evoluindo e mudando constantemente. Um modelo deste porte, inicialmente, parece um pouco inflexível. Ser mais dinâmico e personalizável pode ser um ponto de melhoria do *framework*.

Nem todas as tecnologias são consenso entre os entrevistados. Dependendo das condições e limitações específicas de cada posto de trabalho, algumas jamais serão. A avaliação da utilidade de todas as tecnologias, sem exceção, é mais confiável se realizada apenas com profissionais com cargos mais estratégicos, que conseguem visualizar todo o fluxo de manutenção de maneira holística. Isso aplica também aos processos de negócios da empresa, apesar de bons resultados na avaliação, com destaque para a possibilidade de agilização do processo e de uma visão mais completa de todo o fluxo de trabalho. Com relação a camada operacional, é consenso que o modelo pode auxiliar em seu desenvolvimento, trazendo a tecnologia e um fluxo bem definido para o chão de fábrica das organizações.

Por fim, os entrevistados avaliam que existem alguns pontos de melhoria do framework, como maior utilização da tecnologia, a necessidade de um grande projeto para implementação do modelo, foco maior em gaps pontuais de seus setores e melhora na flexibilidade e dinâmica do M4.0EAF. Os quatro pontos citados acima são passíveis de revisão do modelo. Citando o último como maior reclamação, se faz necessária uma visão mais dinâmica e menos “engessada” dos fluxos e das aplicações de manutenção. Isso ocorre porque geralmente os setores de manutenção não seguem um padrão de qualidade, ficando muitas vezes dependentes dos fluxos e processos de outros setores. Quanto a necessidade de um grande projeto de implementação, o esforço acaba sendo apenas inicial, visto que a implementação da tecnologia pode ser passível de tempo e investimento. Outra saída para liquidar todos os pontos de melhoria poderia ser modularizar o framework, e implementar a partir de *sprints* pontuais. Neste caso, um estudo preliminar deve ser feito para definir prioridades.

## 6 CONCLUSÃO

A indústria 4.0, sem sombra de dúvida, mudará para sempre a relação entre homem e seus meios e processos de produção. Máquinas cada vez mais inteligentes, conectadas e modulares desenvolverão produtos cada vez mais flexíveis, personalizados e confiáveis. Porém, para alcançar o estado da arte da manufatura digitalizada, há um longo caminho a percorrer.

O setor de manutenção, por ser atualmente peça chave na sustentação das operações organizacionais, e por, assim como a Indústria 4.0, depender fortemente de informação, está na vanguarda dessa transformação digital. Paralelamente, este trabalho visa desenvolver um *Framework* de Arquitetura Organizacional, que auxiliará as organizações a evoluir não apenas seus setores de manutenção, mas alinhar estes setores com as estratégias corporativas vigentes.

No capítulo 01, foi possível entender melhor a dificuldade das organizações em reconhecer os padrões vigentes de transformação digital e entender o impacto destas mudanças em seu dia a dia. Uma estratégia muito discutida aqui e que parece extremamente promissora é alinhar conceitos e tecnologias com fluxos e metodologias já existentes para tornar a transformação digital um processo menos burocrático e mais tranquilo.

No capítulo 02 foi apresentado o esboço da ideia por trás do *Framework* aqui proposto. Baseando-se na premissa de que o setor de manutenção pode ser o mais vantajoso para se iniciar uma revolução industrial doméstica, foi possível modelar fluxos e definir três pilares conceituais que se unem de maneira homogênea e possibilitam total alinhamento entre a inserção de novas tecnologias e conceitos e a disponibilidade organizacional para absorver essas tecnologias e conceitos de maneira simples e eficaz.

O capítulo 03 definiu parâmetros úteis na utilização desses três pilares conceituais citados acima, e deu um norte na busca pelo modelo perfeito de *EA* de manutenção. A partir de novíssimos conceitos de sistemas ciber-físicos, *IoT* e inteligência artificial, alinhados a uma gama cada vez mais robusta de definições de funções de manutenção, foi possível alinhar conceitos que antes pareciam conflitantes em uma grande massa de funções automatizadas.

No capítulo 04, foram grandes os desafios de integração e modelagem, com a preocupação constante de modelar o *framework* mais robusto, inclusivo e avançado que pudesse ser feito, sem deixar de ser simples, arrojado e dinâmico. Em um futuro não muito distante, será possível observar as máquinas realizarem todo o trabalho com uma mínima interação humana, inclusive tomando decisões e realimentando sistemas, coisas que hoje em dia são muito complicadas sem uma interface com o homem. É importante frisar que o estado da arte da manutenção é preditivo, talvez a única maneira de se aproximar de indicadores perfeitos conhecida.

O capítulo 05 reiterou algumas opiniões que os autores tinham sobre os principais pontos fortes e os pontos de melhoria do *Framework*. É interessante analisar a percepção de cada pessoa dentro de uma organização e como o cargo e local de trabalho e a função exercida podem mudar totalmente a maneira pela qual as pessoas enxergam problemas e oportunidades. A avaliação mostrou algumas limitações do trabalho que até então haviam passado despercebidas. Como citado acima, o framework em um primeiro momento é pouco dinâmico e não aceita alterações, o que pode ser um problema quando se trata de um setor tão dinâmico como o da manutenção. Além disso, o modelo só é totalmente válido com todas as tecnologias da indústria 4.0 citadas completamente implementadas e funcionais, e isso pode atrasar um possível projeto de integração. O fato dos processos do setor de manutenção não serem completamente definidos e documentados pode também atrapalhar a implementação, visto que é necessário um conhecimento holístico de todo o setor. Uma possível implementação sem que essas condições estejam supridas pode acarretar resultados não satisfatórios para a organização.

## 6.1 OBJETIVOS DE PESQUISA

Todo o desenvolvimento deste estudo foi norteado pelo problema definido na seção 1.1: “*Como as novas tecnologias associadas a indústria 4.0 podem ser aplicadas em um contexto de manutenção.*”

Este problema deu origem a três objetivos. O primeiro deles era identificar os principais requisitos e critérios para o funcionamento da função de manutenção, com foco na coleta de informações, armazenamento, troca e processamento. Este objetivo deu uma base bastante robusta de conhecimento para que o M4.0EAF ficasse robusto e factível com a realidade dos *players* interessados. A partir da revisão de literatura,

foi possível definir todos os requisitos e critérios necessários para o funcionamento do modelo.

O segundo objetivo era identificar tecnologias e conceitos da indústria 4.0 que poderiam ser aplicados para melhorar esses requisitos e critérios. Um objetivo fundamental para que o trabalho seja considerado realmente um avanço na implementação da indústria 4.0. Muitas tecnologias e muitos conceitos foram testados, e apenas alguns priorizados para o setor de manutenção, tendo como objetivo a otimização das aplicações específicas deste setor.

Finalmente, o terceiro objetivo era propor uma Arquitetura Organizacional envolvendo as tecnologias e os conceitos para o desenvolvimento de funções de manutenção mais colaborativas, conectadas e inteligentes. Este objetivo foi concluído com sucesso e, além disso, foi possível avaliar a arquitetura organizacional com pessoas diretamente interessadas pelo desenvolvimento deste estudo. As avaliações resultaram em prósperos feedbacks, que serão utilizados para melhorar ainda mais o M4.0EAF.

## 6.2 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que, visando futuros trabalhos e estudos baseados neste, sejam desenvolvidas novas maneiras de flexibilizar o modelo, dinamicamente considerando o ambiente envolvido na implementação, os problemas e as vantagens de cada organização específica, e que sejam levadas em conta novas tecnologias que possam surgir com o advento da Indústria 4.0, e diferentes aplicações dos fluxos de manutenção que estejam em alta ou que estejam alinhadas com os valores da organização. Existe também a possibilidade de adicionar novas funções de manutenção, como a manutenção baseada na condição ou baseada no risco. Novas aplicações envolvidas, à medida que forem sendo validadas pelas organizações, e considerar também o capital humano da organização. No estado atual, o modelo considera apenas os mantenedores e os responsáveis pela tomada de decisão, com papéis bem definidos. Porém, pode vir a considerar a participação das plataformas comunitárias das organizações, sempre prezando pela diversidade de ideias e pela confiabilidade do *framework*. É possível também adaptar o modelo criado para outras áreas de interesse da organização, mantendo a postura de inovação e integração com

as novas tecnologias digitais, sempre priorizando a motivação do trabalho e a motivação da manutenção: a busca pela produção sem falhas e sem perdas.

## 7 REFERÊNCIAS

- Acatech Position Paper. Cyber-physical systems. Driving force for innovation in mobility, health, energy, and production. *Acatech—National Academy of Science and Engineering*. 2011.
- Azevedo, C.LB.; Iacob, M.E.; Almeida, J.P.A.; Sinderen, M.V.; Pires, L.F.; Guizzardi, G. An ontology-based well-founded proposal for modeling resources and capabilities in ArchiMate In: *Proceedings of the 17th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference (EDOC)*, pp. 39–48. 2013.
- Bagheri, B.; Yang, S.; Kao, H.A.; Lee, J. Cyber-physical Systems Architecture for Self-Aware Machines in Industry 4.0 Environment. *IFAC-PapersOnLine*. v. 48, Issue 3. p. 1622-1627. 2015.
- Bamber, C. *Factors affecting Successful implementation of Total Productive Maintenance*. Msc. Research dissertation, University of Salford, UK. 1998.
- Barreto, L.; Amaral, A.; Pereira, T. Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*. V. 13. p. 1245-1252. 2017.
- Bokrantz, J.; Skoogh, A.; Berlin, C.; Stahre, J. Maintenance in digitalised manufacturing: Delphi-based scenarios for 2030. *International Journal of Production Economics*. 191. p.154–169. 2017.
- Brezinski, G., Venâncio, A., Gorski, E., Deschamps, F., & Loures, E. R. (2018). Proposal of a maintenance function enterprise architecture model in an Industry 4.0 context, (*The 9th International Conference on Production Research – Americas 2018*), 0–5.
- Brown, T. *The value of Enterprise Architecture*, Zachman Institute for Framework Advancement (ZIFA). 2014. Disponível em: <http://www.zifa.com>. Acesso em 13 jan. 2019.

CAPGEMINI CONSULTING. *Industry 4.0 – The Capgemini Consulting View. Capgemini*. 2014. Disponível em: [www.capgemiconsulting.com](http://www.capgemiconsulting.com). Acesso em: 17 jan. 2019.

Colombo, A. W.; Karnouskos, S.; and T. Bangemann, “A System of Systems view on Collaborative Industrial Automation” *IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, 2013.

Consortium II. (2013). Disponível em: [http://www.iiconsortium.org/docs/IIC\\_FACT\\_SHEET.pdf](http://www.iiconsortium.org/docs/IIC_FACT_SHEET.pdf). Acesso em: 15 ago. 2019.

Daft, Richard L. *Organizações: teoria e projetos*. 11.ed. São Paulo: *Pioneira Thomson Learning*, 2012.

De Man, J.C.; Strandhagen, J.O. An Industry 4.0 Research Agenda for Sustainable Business Models. *Procedia CIRP*. V. 63, p. 721-726. 2017.

Dunn, R.L. Advanced maintenance technologies. *Plant Eng*. 1987.

Engell, S.; Paulen, R.; Reniers, C.; Sonntag, A.; Thompson, “Core Research and Innovation Areas in Cyber-Physical Systems of Systems,” *International Workshop on Cyber-Physical Systems (CyPhy)*, Amsterdam, The Netherlands. Springer, 2015, pp. 40–55.

Ericsson, J. Disruption Analysis: An Important Tool in Lean Production. *Department of Production and Materials Engineering*, Lund University, Lund, 1997.

Garza-Reyes, J.A. An investigation of OEE and development of the improved measures of performance OEE and ORE for manufacturing process management, *PhD thesis, Manchester Business School, The University of Manchester*, Manchester, 2008.

Garza-Reyes, J.A., Eldridge, S., Barber, K.D., Archer, E. and Peacock, T., “Overall resource effectiveness (ORE) – an improved approach for the measure of manufacturing effectiveness and support for decision-making”, *Proceedings of the 18th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM)*, Skövde, Sweden, 2008.

Gao R, Wang L, Teti R, Dornfeld D, Kumara S, Mori M, Helu M. Cloud enabled prognosis for manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 2015; 64/2:749-772.

Giachetti, Ronald E. Design of enterprise systems. 1.ed. *Taylor & Francis Group*, 2010.

Goethals, F.; Lemahieu, W.; Snoeck, M.; Vandenbulcke, J. An overview of enterprise architecture framework deliverables. In: R.K.J. Banda (Ed.), *Enterprise Architecture- An Introduction*, 2006.

Harmon, P. Developing an Enterprise Architecture, *Business process trends: Whitepaper*. 2003.

Hermann M, Pentek T, Otto B. Design Principles for industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. Disponível em: [http://www.snom.mb.tu-dortmund.de/cms/de/forschung/Arbeitsberichte/Design-Principles-for-Industrie-4\\_0-Scenarios.pdf](http://www.snom.mb.tu-dortmund.de/cms/de/forschung/Arbeitsberichte/Design-Principles-for-Industrie-4_0-Scenarios.pdf). Acesso em: 05 jun. 2019.

Howell, K. An Introduction to the Philosophy of Methodology. *London SAGE Publications Ltd*, 2013.

M. Jamshidi, Ed., Systems of Systems Engineering: Principles and Applications. *CRC Press*. 2008.

Kagermann, H.; Helbig, J.; Hellinger, A.; Wahlster, W. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry; Final Report of the industrie 4.0 Working Group. *Forschungsunion*. 2013.

Kodali, R.; Mishra, R.; Anand, G. Justification of world-class maintenance systems using analytic hierarchy constant sum method. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 15(1):47-77. 2009.

Lapalme, J.; de Guerre, I. An open socio-technical systems approach to enterprise architecture. In: J. Gotze, A. Jensen-Waud (Eds.), *Beyond Alignment: Applying Systems Thinking to Architecting Enterprises*, 1st ed. vol. 2, no. 3 *College Publications*, London 2013.

Lee, J., Ardakani, H. D., Yang, S., & Bagheri, B. (2015). Industrial big data analytics and cyber-physical systems for future maintenance & service innovation. *The Fourth International Conference on Through-Life Engineering Services Industrial*, 38, 3–7. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.026>

Lee, J.; Bagheri, B.; Kao, H. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing system. *Manufacturing Letters*. 3: 18–23. 2015.

Lee, J.; Bagheri, B.; Lapira, E.; Kao, H. Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. *Manufacturing Letters*. 138–41

Lee, J., Kao, H., & Yang, S. (2014). Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. *Product Services Systems and Value Creation. Proceedings of the 6th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems*, 16, 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.02.001>

Lopes, I.; Senra, P.; Vilarinho, S.; Sá, V.; Teixeira, C.; Lopes J.; Alves, A.; Oliveira, J.A.; Figueiredo, M. Requirements specification of a computerized maintenance management system – a case study. *Procedia CIRP*. 52 p.268 – 273. 2016.

McKinsey Company. Industry 4.0: how to navigate digitization of the manufacturing sector. *World mobility leadership form*. 2016, Detroit. Michigan, USA.

Monostori, L.; Kádár, B.; Bauernhansl, T.; Kondoh, S.; Kumara, S.; Reinhart, G.; Sauer, O.; Schuh, G.; Sihn, W.; Ueda, K. Cyber-physical systems in manufacturing. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 65(2), pp.621-641. 2016

Mori M, Fujishima M, Komatsu M, Zhao B, Liu Y. Development of remote monitoring and maintenance system for machine tools. *CIRP Annals-Manufacturing technology* 2008; 57:433-436.

Mosterman, P. J.; Zander, J. Industry 4.0 as a Cyber-Physical System study. *Software and Systems Modeling*. 15(1). 2015.

Mourtzis, D, Zogopoulos, V., & Vlachou, E. Augmented reality application to support remote maintenance as a service in the Robotics industry. *CIRP Conference on Manufacturing Systems Augmented*, 63, 46–51, 2017.

Nachiappan, R.M. Anantharam, N. Evaluation of overall line effectiveness (OLE) in a continuous product line manufacturing system, *Journal of Manufacturing Technology Management*. v. 17, n.7, p. 987-1008, 2006.

Nakajima, S. Introdução ao TPM: Total Productive Maintenance. São Paulo: *IMC Internacional Educativos*, 1989

Nakajima, S. TPM an Introduction to Total Productive Maintenance. *Productivity Press*, Cambridge, MA. 1988.

Neugebauer, R., Hippmann, M. *Procedia CIRP- 57* (2016) 2–7.

Pellegrino, C.; Faleschini, F. Sustainability Improvements in the Concrete Industry. *Springer International Publishing*. 1ed. 2016.

Pereira, A. C.; Romero, F. A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Manufacturing Engineering Society International Conference 2017*.

Ramos, L.F.P. Framework para implementação ágil de provas de conceitos (POCS) voltadas a indústria 4.0 que impactam em projetos de transformação digital. 2018. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção e sistemas) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 2018.

Rafael, Reif, Ann Jackson Shirley, and Andrew Liveris. Report to The President Accelerating U.S. Advanced Manufacturing. Washington, DC: *The President's Council of Advisors on Science and Technology*, 2014.

Rastegari, S.; Hingston, P.; Lam, C. P. Evolving statistical rulesets for network intrusion detection. *Applied Soft Computing*, 33, 348-359. 2015.

Rouhani, B.D.; Mahrin, M.N.; Nikpay, F.; Ahmad, R.B.; Nikfard, P. A systematic literature review on enterprise architecture implementation methodologies. *Information and Software Technology*. 62: 1–20. 2011.

Roy, R, Stark, R.; Tracht, K.; Takata, S.; Mori, M. Continuous maintenance and the future - Foundations and technological challenges. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. V. 65, p. 667-688. 2016.

Shafiee, M. Maintenance strategy selection problem : an MCDM overview.  
<https://doi.org/10.1108/JQME-09-2013-0063> 2015.

Sherwin, D. A review of overall models for maintenance management. *Journal Of Quality in Maintenance Engineering*, v. 6, n.3, p. 137-64, 2000.

Sipsas, K., Alexopoulos, K., Xanthakis, V., & Chryssolouris, G. Collaborative Maintenance in flow-line Manufacturing Environments: An Industry 4.0 Approach. *Procedia CIRP*, 55, 236–241. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.09.013> 2016.

Sandengen OC, Estensen LA, Rodseth H, Schjolberg P. High Performance Manufacturing – An Innovative Contribution towards Industry 4.0. In: *International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation (IWAMA)*. 2016.

Saturno, M.; Pertel, V.M.; Deschamps, F.; Loures, E.F.R. Proposal of an automation solutions architecture for industry 4.0. *24th International Conference on Production Research (ICPR)* 2017.

Schmidt, R.; Mohring, M.; Harting, C.H.; Reichstein, C.; Neumaier, P.; Jozinovic, P. Industry 4.0- Potentials for creating Smart products: Empirical Research Results. In: *18th International Conference on Business Information Systems*. 18. Poznań, Poland, June 24-26, 2015.

Takata S, Kimura F, Houten FJAM., Westkämper E, Shpitalni M, Ceglarek D, Lee J. Maintenance: Changing Role in Life Cycle Management. *CIRP Annals-Manufacturing technology* 2004; 36/2:643.

Tsang, A.H.C. Condition-based maintenance: tools and decision making. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, V. 1 Issue: 3, pp.3-17. 1995.

Vaisnys, P., Contri, P., Rieg, C. and Bieth, M., “Monitoring the effectiveness of maintenance programs through the use of performance indicators”, *summary report, Institute for Energy, European Commission, Petten*. 2006.

VDI. (2017). Transformação Digital. Disponível em:  
<http://www.vdibrasil.com/transformacao-digital/>. Acesso em: 09 jul. 2019.

Waeyenbergh, G. and Pintelon, L. Maintenance Concept Development: A Case Study. *International Journal of Production Economics*, 89, 395-405. 2004.

Wegmann, A.; Balabko, P.; Le, L.S.; Regev, G.; Rychkova, I. A method and tool for business-IT alignment in enterprise architecture. In: *Proceedings of the CAiSE05 Forum*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal 6, 2005.

Zachman, J. A framework for information systems architecture. *IBM Systems Journal*, V. 26 No. 3, 1987.

ZVEI. Platform industrie 4.0. *Referencial Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0)*. 2016. Disponível em: <http://www.plattform40.de/I40/Navigation/EN/InPractice/Online-Library/online-library.html>. Acesso em 08 nov. 2018.

## APÊNDICE

