



**PROJETO DE GRADUAÇÃO**

**ANÁLISE DO USO DE TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0  
NO PROJETO PARA MANTENABILIDADE**

Por,  
**Gabrielle Rodrigues Monteiro Ignácio Azevedo**

**Brasília, 18 de maio de 2021.**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia de Produção

**PROJETO DE GRADUAÇÃO**  
**ANÁLISE DO USO DE TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0**  
**NO PROJETO PARA MANTENABILIDADE**

Por,

**Gabrielle Rodrigues Monteiro Ignácio Azevedo**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção do  
grau de Engenharia de Produção

**Banca Examinadora**

Profa. Viviane Vasconcellos Ferreira Grubisic, UnB/ EPR (Orientadora)

Profa. Andréa Cristina dos Santos, UnB/ EPR

Prof. Annibal Affonso Neto, UnB/ EPR

Brasília-DF, 18 de maio de 2021.

## RESUMO

A manutenção tem se tornado um setor estratégico nas empresas, sendo essencial para aumentar a disponibilidade e a confiabilidade dos sistemas produtivos. Para que as empresas desenvolvam produtos competitivos, a manutenibilidade deve ser pensada desde o processo de desenvolvimento de produto nas empresas. A aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0) fornece inteligência às fábricas permitindo a realização de análises autônomas para prever falhas, definir o período de manutenção e se ter flexibilidade para abarcar mudanças do processo de desenvolvimento do produto. O presente trabalho busca realizar uma análise do uso de tecnologias da I4.0 no projeto para manutenibilidade em duas empresas. A análise foi realizada por meio de um estudo multicaso no que foi possível aplicar um questionário e realizar entrevistas com projetistas mecânicos de empresas do setor automotivo. Para tal, primeiramente realizou-se uma revisão de literatura sobre as fases de desenvolvimento de produto, tecnologias da I4.0, modelos de maturidade da I4.0 e manutenção. Em seguida, foram selecionados os elementos necessários da literatura para a criação do questionário e realização da análise. O questionário foi formulado e entrevistas foram realizadas permitindo entender o resultado de cada questão. A partir dos insumos aqui gerados, foram definidos os níveis de maturidade do uso de tecnologias da I4.0 no projeto para manutenibilidade em cada fase do desenvolvimento de produto e também a sua maturidade geral. Os resultados obtidos com a análise permitiram entender o nível de maturidade das empresas, como as tecnologias da Indústria 4.0 são aplicadas hoje e como pode-se aumentar a maturidade da empresa, buscando a melhoria contínua dos seus processos.

**Palavras-chave:** Projeto para manutenibilidade. Indústria 4.0. Níveis de Maturidade.

## **ABSTRACT**

Maintenance has become a strategic sector in organizations, being essential to increase the availability and reliability of production systems. In order for companies to design competitive products, maintainability must be considered since the product development process in organizations. The application of Industry 4.0 (I4.0) technologies provides intelligence to factories, allowing autonomous analysis to predict failures, to define the maintenance period and to have flexibility to embrace changes in the product development process. The present work seeks to analyze the use of I4.0 practices in the design for maintainability in two organizations. The analysis was carried out through a case study in which it was possible to apply a questionnaire and conduct interviews with mechanical designers of automotive companies. To this end, a literature review was first conducted on the product development phases, I4.0 technologies, I4.0 maturity models and maintenance. Next, the necessary elements from the literature were chosen in order to create the questionnaire and conduct the analysis. The questionnaire was formulated and interviews were conducted allowing us to understand the outcome of each question. From the inputs generated here, the maturity levels of the use of I4.0 practices in the project for maintainability in each phase of product development and also its overall maturity were defined. The results obtained from the analysis allowed us to understand the maturity level of the companies, how Industry 4.0 technologies are applied today and how we can increase the maturity of the company, seeking continuous improvement of its processes.

**Keywords:** Design for Maintainability. Industry 4.0. Maturity levels.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fases do PDP .....	14
Figura 2 – Fases do PDP segundo o modelo PRODIP .....	16
Figura 3 – Requisitos de manutenibilidade no ciclo de vida do sistema .....	18
Figura 4 – Indústria 4.0 e revoluções industriais.....	22
Figura 5 – As quatro fases que aumentam o valor agregado com adoção da I4.0 .....	23
Figura 6 – Interface da manutenção com as demais áreas da empresa.....	28
Figura 7 – Estágios de desenvolvimento da Indústria 4.0 nas empresas.....	30
Figura 8 – Áreas estruturais do modelo de maturidade.....	32
Figura 9 – As 4 áreas estruturais do modelo e como aumentar seus níveis de maturidade.....	33
Figura 10 – Classificação da pesquisa.....	38
Figura 11 – Condução do estudo de caso .....	39
Figura 12 – Q1.....	43
Figura 13 – Q2.....	44
Figura 14 – Q3.....	44
Figura 15 – Q4.....	45
Figura 16 – Q5.....	46
Figura 17 – Q6.....	46
Figura 18 – Q7.....	47
Figura 19 – Q8.....	48
Figura 20 – Q9.....	48
Figura 21 – Q10.....	49
Figura 22 – Q11.....	50
Figura 23 – Q12.....	51
Figura 24 – Q13.....	51
Figura 25 – Q14.....	52
Figura 26 – Q15.....	53
Figura 27 – Q16.....	53
Figura 28 – Q17.....	54
Figura 29 – Q18.....	54
Figura 30 – Q19.....	55

Figura 31 – Q20.....	56
Figura 32 – Q21.....	57
Figura 33 – Q22.....	58
Figura 34 – Q23.....	59
Figura 35 – Q24.....	60
Figura 36 – Q25.....	60
Figura 37 – Maturidade da empresa A.....	62
Figura 38 – Maturidade da empresa B.....	63

### **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Campos associados, dimensões e subdimensões para analisar a maturidade da Indústria 4.0.....	33
Quadro 2 – Nível de maturidade dos produtos inteligentes e serviços.....	35
Quadro 3 – Profissionais da área de desenvolvimento de produto.....	40
Quadro 4 – Relação das empresas A e B com desenvolvimento de produto.....	42

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
DFX	<i>Design for X</i>
EMBRAPII	Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
ERP	Enterprise Resource Planning
ETA	Árvore de Análise de Falhas
FFBDs	Diagramas de Blocos de Fluxo Funcionais
FTA	Árvore de Análise de Falhas
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
I4.0	Indústria 4.0
IaaS	<i>Infrastructure as a Service</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IOS	<i>Internet of Service</i>
IOT	Internet of Things
LCC	<i>Life Cycle Cost</i>
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações
MTBF	<i>Mean Time Before Failure</i>
PaaS	<i>Platform as a Service</i>
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
PIB	Produto Interno Bruto
SaaS	<i>Software as a Service</i>
SSCs	Sistemas, Subsistemas e Componentes
TPMs	<i>Technical Performance Measures</i>

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	10
1.1	OBJETIVOS .....	11
1.1.1	Objetivo Geral.....	11
1.1.2	Objetivos Específicos .....	11
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	13
2.1	PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO .....	13
2.1.1	Definição.....	13
2.1.2	Fases do PDP por Rozenfeld (2010).....	14
2.1.3	Fases do PDP por Back et al (2008) .....	16
2.1.4	Fases do PDP por Blanchard e Fabrycky (2011).....	17
2.2	INDÚSTRIA 4.0.....	21
2.2.1	Sistemas Ciber Físicos (CPS) .....	24
2.2.2	Internet das Coisas (IoT).....	24
2.2.3	Big Data e Data mining .....	25
2.2.4	Internet of Service (IOS).....	25
2.2.5	Manufatura aditiva.....	25
2.2.6	Realidade Aumentada e Realidade Virtual .....	26
2.2.7	Computação na nuvem.....	26
2.3	MANUTENÇÃO.....	27
2.3.1	Tipos de manutenção .....	28
2.3.2	Manutenção Corretiva.....	28
2.3.3	Manutenção Preventiva.....	29
2.3.4	Manutenção Preditiva .....	29
2.4	MODELOS DE MATURIDADE.....	30



2.4.1	Maturidade na Indústria 4.0 em empresas por SCHUH .....	30
2.4.2	Modelo de maturidade na indústria por USTUDANG E CEVIKCAN .....	33
2.5	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO .....	36
3	METODOLOGIA DE PESQUISA.....	37
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....	37
3.2	ESTRUTURA DA PESQUISA.....	39
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	42
4.1	PROJETO CONCEITUAL.....	42
4.2	PROJETO PRELIMINAR.....	47
4.3	PROJETO DETALHADO .....	52
4.4	PRODUÇÃO/CONSTRUÇÃO.....	55
4.5	SUPORTE AO CICLO DE VIDA .....	59
4.6	NÍVEL DE MATURIDADE DAS EMPRESAS .....	61
5	CONCLUSÃO .....	64
	REFERÊNCIAS .....	66
	APÊNDICE .....	70
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO.....	70

## 1 INTRODUÇÃO

As revoluções industriais trouxeram avanços de produtividade para as empresas. A última revolução, nomeada de Indústria 4.0 (I4.0) traz consigo novas tecnologias usadas de forma integrada e com aprendizado de máquina com fábricas inteligentes, ou seja, fábricas conectadas que usam tecnologias como Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IOT), nanotecnologia e sensores (SCHWAB, 2017). O principal propósito da Indústria 4.0 é de aprimorar processos de fabricação em termos de capacidade de resposta, eficiência de produção, manutenibilidade e competência em satisfazer rapidamente as necessidades latentes dos clientes (LYNDON, 2015).

Embora a Indústria 4.0 seja um tema de importância e notoriedade crescentes, as empresas ainda enfrentam problemas para entender os seus princípios e funcionamento (SANDERS *et al.*, 2016). Segundo Brito *et al.* (2018), a I4.0 ainda é uma realidade para apenas 1,6% das empresas brasileiras do setor industrial. As empresas possuem dificuldade para determinar o nível de maturidade dos seus processos e gestão em relação a Indústria 4.0. Dessa forma, não conseguem traçar planos de ação efetivos, necessitando de orientação e da aplicação de modelos de maturidade para traçar *roadmaps* de seus produtos (EROL *et al.*, 2016).

De acordo com a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), estima-se que haveria uma economia de R\$ 73 bilhões por ano caso fosse adotado um modelo da I4.0, divididos entre ganho de eficiência, consumo de energia e redução do custo de manutenção de maquinário (ABDI, 2019). Dessa forma, empresas, em geral, têm mostrado interesse em investir na implantação da Indústria 4.0 (GOMES, 2016). E no contexto da manutenção, a aplicação de tecnologias da I4.0 fornece inteligência às fábricas de modo a permitir a realização de análises autônomas para prever falhas, definição do período correto para a realização da manutenção e fornece flexibilidade para abarcar mudanças do processo, requisitos e demais fatores que alteram a realidade fabril (LYNDON, 2015).

Inicialmente, a manutenção era apenas uma ação corretiva de falhas, porém cada vez mais tem se tornado setor estratégico nas empresas, essencial para aumentar a disponibilidade, manutenibilidade e confiabilidade dos sistemas produtivos (TAKAHASHI; OSADA, 2015). Para que esteja integrada no dia a dia das empresas brasileiras, a manutenção deve ser pensada desde o projeto de produto, que tem forte influência sobre a qualidade do produto, seu custo, velocidade de produção, facilidade de manutenção e confiabilidade.

O Processo de desenvolvimento de Produto está situado na conexão entre a empresa e o mercado, pois ele entende o contexto e necessidades do mercado e antecipa soluções que atendam a isso. Empresas consideradas de ponta entendem o PDP como um processo que integra todas as suas áreas e sua cadeia de suprimentos sendo que este deve considerar todas as atividades do ciclo de vida do produto desde o planejamento estratégico, uso, manutenção e descarte (ROZENFELD et al., 2010).

Assim, a presente pesquisa tem como objetivo realizar uma análise de maturidade do projeto para manutenibilidade no contexto da Indústria 4.0.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Realizar uma análise do uso de tecnologias da Indústria 4.0 no projeto para manutenibilidade em duas empresas.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Apresentar os principais conceitos relacionados a Indústria 4.0;
- Eleger os elementos necessários para a análise do uso de tecnologias da Indústria 4.0 no projeto para manutenibilidade;
- Desenvolver um questionário para análise do uso de tecnologias da Indústria 4.0 no projeto para manutenibilidade;
- Aplicar o questionário a fim de verificar as condições do projeto para manutenibilidade na Indústria 4.0 em duas empresas; e
- Analisar os resultados da aplicação do questionário.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em 5 capítulos. O Capítulo 1 apresenta a Introdução do tema que foi desenvolvido e os pontos abordados no trabalho como também apresenta os objetivos que

levaram a realizá-lo. O Capítulo 2 faz um levantamento do referencial teórico sobre o processo de desenvolvimento de produto, tecnologias da Indústria 4.0, níveis de maturidade da I4.0 e manutenção. O Capítulo 3 trata sobre a metodologia de pesquisa adotada neste trabalho e apresenta a criação do questionário sobre projeto para manutenibilidade no contexto da Indústria 4.0. O Capítulo 4, por sua vez, mostra o resultado da aplicação do questionário em duas empresas e uma análise crítica. Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões e considerações finais da pesquisa em questão.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

No presente capítulo serão apresentados os principais conceitos relacionados ao processo de desenvolvimento de produto, tecnologias utilizadas na Indústria 4.0 e modelos de maturidade na I4.0. Além disso, é realizada uma revisão sobre manutenção e tecnologias associadas.

### 2.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

#### 2.1.1 Definição

O Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) é um processo de negócio que permite que as empresas criem novos produtos em menos tempo que o habitual e cada vez mais competitivos de forma a se adequar à evolução tecnológica e de mercado. As atividades no Processo de Desenvolvimento de Produto são executadas pelas diversas áreas da empresa, que atuam em conjunto. As áreas que envolvem planejamento estratégico e monitoramento de mercado são as responsáveis por manipular informações sobre o conhecimento de mercado para incorporar às estratégias e práticas da empresa para atender a esse mercado, já pesquisa e desenvolvimento é a área foco da engenharia de produto para que o item final esteja de acordo com a necessidade do cliente e qualidade esperada. Enquanto isso, a área de suprimentos auxilia diretamente a produção fornecendo sempre os insumos requisitados, enquanto o time de assistência técnica suporta a implantação do produto (ROZENFELD *et al.*, 2010).

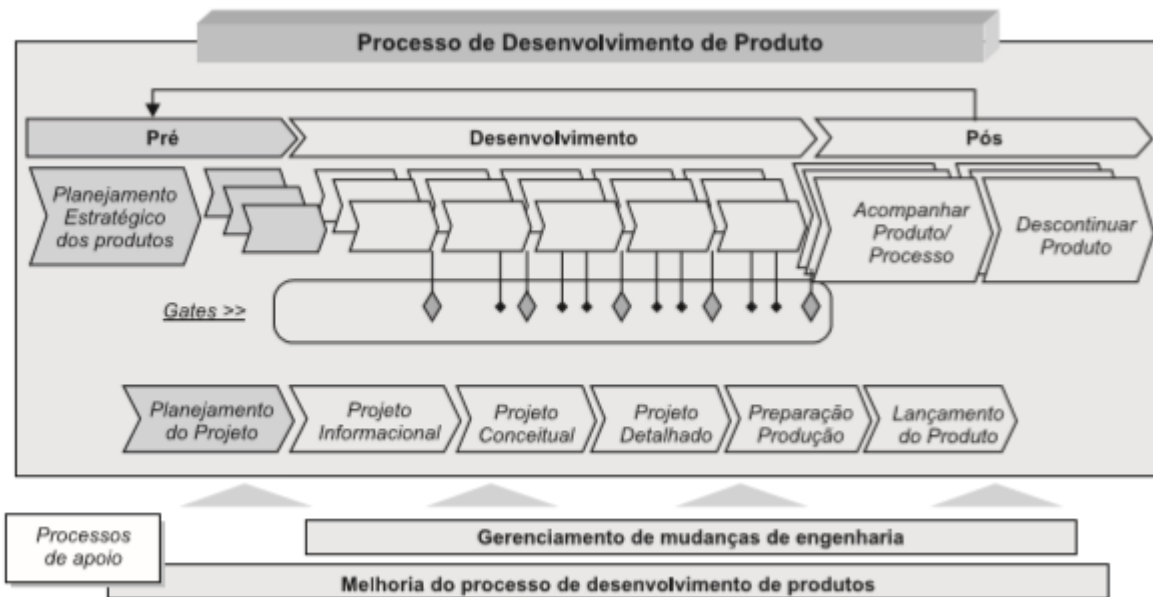
Para que seja certificada a compatibilidade com as estratégias empresariais, o PDP deve abranger por total o planejamento e gerenciamento do seu portfólio de produtos (que estão atualmente no mercado, lançados ou sendo descontinuados) e de projetos (em todas as fases), assim como deve abranger a especificação dos recursos e procedimentos de manufatura. Dessa forma, envolve-se tanto a manufatura quanto aspectos de mercado, além de entender que o produto não é apenas o item desenvolvido, mas também todo serviço ligado a ele e manutenção (ROZENFELD *et al.*, 2010).

### 2.1.2 Fases do PDP por Rozenfeld (2010)

As fases do PDP são definidas como um conjunto de entregáveis que somados marcam o novo estágio de evolução do projeto. Esses resultados são avaliados e consolidados quando a fase termina e, assim, as informações não são mais editáveis, com exceção a processos de mudança controlados. A avaliação dos resultados das fases é uma revisão ampla e detalhada do momento do projeto, sendo útil para antecipar problemas, refletir sobre o andamento do projeto e gerar aprendizado para a empresa (ROZENFELD *et al.*, 2010).

O Modelo proposto por Rozenfeld *et al.* (2010) é composto por três macrofases: pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento. O pré-desenvolvimento é dividido em duas fases: Planejamento estratégico de produtos e Planejamento do projeto. A macrofase de desenvolvimento possui as fases do projeto informacional, conceitual, detalhado e preparação para produção. Já o pós-desenvolvimento envolve o lançamento do produto e sua descontinuação, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Fases do PDP



Fonte: (ROZENFELD *et al.*, 2010)

No **planejamento estratégico de produtos** é realizada a revisão da delimitação da segmentação de mercado e quanto mais coesão houver nessa definição, mais fácil será o desenvolvimento dos produtos. Também é revisto o posicionamento no mercado, verificando como a empresa está diante da concorrência. São identificadas tendências tecnológicas e certificações ou

exigências ambientais e governamentais de produto. Além desses pontos, é verificada também a capacidade de recursos da empresa (ROZENFELD *et al.*, 2010).

Na fase do **planejamento do projeto** são previstas as necessidades de decisão e integração entre as diversas áreas em um planejamento macro do projeto de novo produto no portfólio. Ademais, são definidas informações relativas ao escopo do produto, cronograma, orçamento preliminar, definição de *stakeholders* e riscos (ROZENFELD *et al.*, 2010).

A primeira fase de desenvolvimento, o **projeto informacional**, define a partir das fases anteriores as especificações-meta do produto. Ele transforma por meio do Desdobramento da Função Qualidade (QFD) os requisitos do cliente e informações qualitativas são transformados em requisitos do produto e, então, em especificações-meta do produto (ROZENFELD *et al.*, 2010).

Em seguida, na fase de **concepção do produto** são criadas soluções de projeto que possam atender às especificações-meta. São feitas modelagens funcionais e criados princípios de solução que se transformam, mais tarde, em concepções. A equipe de projeto utiliza ferramentas de criatividade para escolher dentre todas, uma concepção ou mais que podem ser trabalhadas em paralelo e que após passar por um ciclo de detalhamento possa ser adotada uma das alternativas definidas (ROZENFELD *et al.*, 2010).

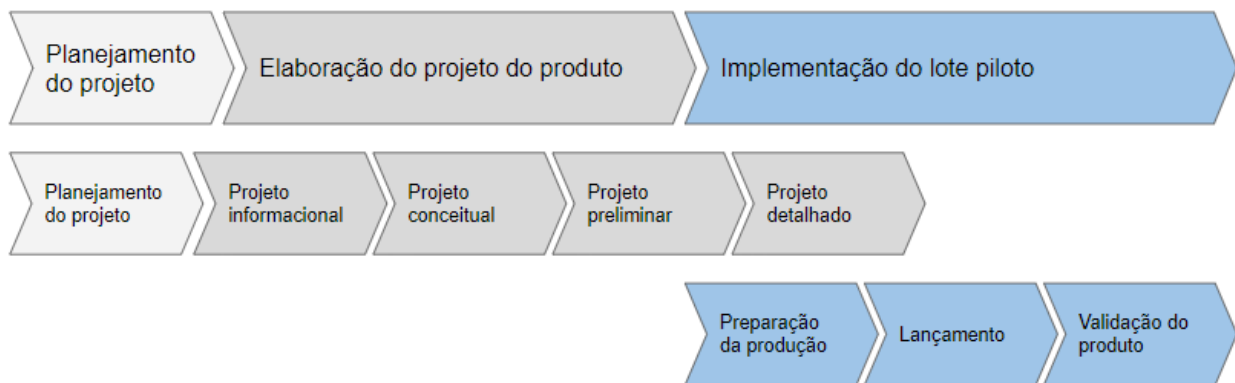
Já na fase de **projeto detalhado**, a concepção do produto terá detalhamento e será transformada em especificações finais de produto. São três ciclos principais: de detalhamento, otimização e aquisição que envolvem desde a criação e detalhamento dos SSCs, decisão de fazer ou comprar (*make or buy*), lista de materiais, desenhos iniciais e o teste de protótipos. São gerados o projeto de recursos e o plano de fim de vida para a reciclagem dos produtos. (ROZENFELD *et al.*, 2010).

Durante a **preparação da produção**, o produto é certificado com base nos resultados dos lotes piloto e ocorre concomitantemente a homologação da produção para permitir que seja liberado para a fábrica começar a funcionar com o novo produto. Em seguida, ocorre a fase de **lançamento do produto**, que termina com a emissão do documento oficial de lançamento, especificações do processo de vendas, distribuição, atendimento ao cliente e assistência técnica (ROZENFELD *et al.*, 2010).

### 2.1.3 Fases do PDP por Back et al (2008)

Back *et al.* (2008) propõem um modelo de desenvolvimento integrado de produtos denominado de PRODIP que é decomposto em três macro fases: planejamento do projeto, elaboração do projeto do produto e implementação do lote piloto. Estas por sua vez são divididas em 8 fases, iniciando-se no plano de projeto do produto e finalizando na validação do produto (Figura 3). O modelo proposto por Back *et al.* (2008) tem como base a visão de processo e se adapta ao plano de produtos da organização, assim como o seu plano estratégico. O modelo apresenta as atividades e tarefas necessárias para desenvolver um produto industrial, baseado em gerenciamento de projetos, ferramentas, métodos e documentos, além de realizar registros a cada fase. A Figura 2 mostra a sequência das atividades no tempo.

Figura 2 – Fases do PDP segundo o modelo PRODIP



Fonte: (BACK *et al.*, 2008)

A primeira fase, **planejamento do projeto**, inicia-se com um plano estratégico de produtos. Os planos de gerenciamento da qualidade, de suprimentos e segurança são definidos. São identificados os *stakeholders* e é elaborada a declaração de escopo do projeto. Os riscos são mapeados, a equipe de gerenciamento de projeto é definida, assim como suas atividades para as demais fases do PDP (BACK *et al.*, 2008).

Na fase de **projeto informacional** são definidas as especificações de projeto do produto. Para isto, são identificadas as necessidades dos clientes e usuários e o mercado é continuamente monitorado. As necessidades dos clientes são transformadas em requisitos do cliente que, por sua vez, são desdobradas em requisitos do produto e, finalmente, em especificações do projeto (BACK *et al.*, 2008).



Em seguida, no **projeto conceitual** é selecionada a concepção do produto. Para isto, são realizadas análises comparativas entre as opções considerando as especificações do projeto, metas de qualidade e segurança, assim como os riscos de desenvolvimento. Uma vez selecionada, os processos de fabricação são estudados e são combinados os prazos junto aos fornecedores, assim como as subfunções da estrutura funcional (BACK *et al.*, 2008).

Já na fase do **projeto preliminar**, o layout final é definido. Para isso, são definidos o material, as dimensões, os componentes que serão usados (sejam comprados ou desenvolvidos) e o processo de manufatura. A fase utiliza modelos numéricos, analógicos e computacionais para construir um protótipo, que é parâmetro para o custo calculado inicialmente (BACK *et al.*, 2008).

O **projeto detalhado** tem como foco aprovar o protótipo do produto, certificar os componentes e detalhar o plano de manufatura. São criados o catálogo de peças e manuais de instrução e assistência técnica. Toda a documentação gerada até esta fase, assim como os planos financeiros são revisados e o investimento total do projeto é solicitado (BACK *et al.*, 2008).

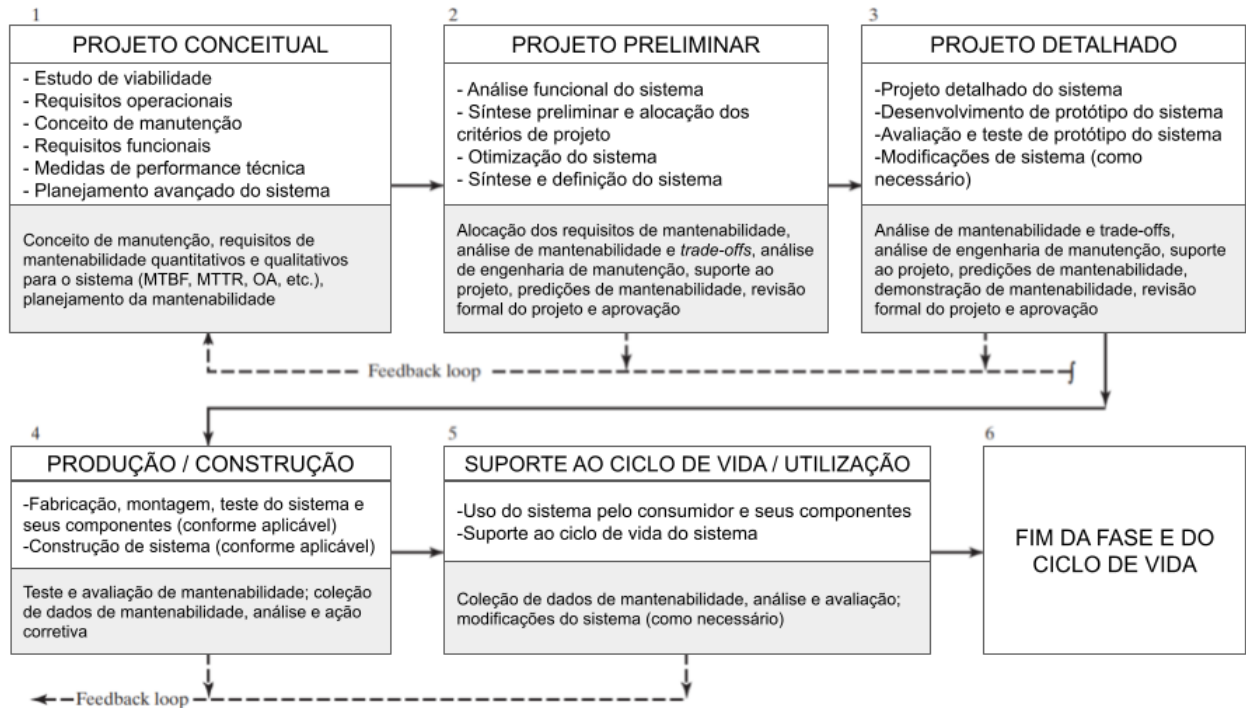
Na **preparação para produção** tem-se a implantação do lote inicial. Nele, os produtos são analisados e caso haja necessidade são realizados novos testes e ensaios de certificação. O produto é lançado no mercado na fase de **lançamento do produto**, os materiais seguem com certificações finais para produção em escala e o plano de marketing é executado. Os produtos do lote piloto passam a ser acompanhados pela equipe de pós-venda (BACK *et al.*, 2008).

A última fase, **validação do produto**, aborda a validação do produto com os usuários, clientes e auditorias. Aqui é monitorada a performance do produto, a satisfação dos usuários e a segurança no uso rotineiro. Caso tenham ocorrido problemas entre o lançamento e esta fase, é criado um plano de ações corretivas para os problemas e o planejamento para melhorar a eficiência da produção. A equipe de desenvolvimento é encerrada (BACK *et al.*, 2008).

#### **2.1.4 Fases do PDP por Blanchard e Fabrycky (2011)**

O modelo de desenvolvimento de produto voltado para o – projeto para manutenibilidade proposto por Blanchard e Fabrycky (2011) é composto de 6 fases: projeto conceitual, sistema preliminar de projeto, projeto detalhado e desenvolvimento, produção, utilização do sistema e suporte no ciclo de vida e retirada/fim de fase, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Requisitos de manutenibilidade no ciclo de vida do sistema



Fonte: Adaptado de Blanchard e Fabrycky (2011)

De acordo com a Figura 3, no **projeto conceitual** ocorre o desenvolvimento de especificações do sistema e é uma fase inicial crítica do processo de engenharia de sistemas. As etapas nesta fase são: 1) Definição do problema e identificação da necessidade; 2) Planejamento e arquitetura de sistemas avançados; 3) Projeto de sistema e análise de viabilidade; 4) Definição dos requisitos operacionais do sistema; 5) Conceito de manutenção e suporte do sistema; 6) Definição de medidas de desempenho técnico; 7) Análise funcional; 8) Análise do sistema *trade-off*; 9) Especificação do sistema; e 10) Revisão do projeto conceitual (BLANCHARD; FABRYCKY, 2011).

A primeira etapa é a definição do problema de projeto e identificação das necessidades dos clientes para o projeto de engenharia tanto qualitativamente quanto quantitativamente. Definindo-se o problema, uma análise das necessidades dos clientes é realizada e traduzida em requisitos gerais em nível de sistema. Então, tem-se o planejamento e arquitetura do sistema, iniciando-se a elaboração de um plano de gerenciamento de programa (PMP) que irá direcionar todas as atividades técnicas e de gerenciamento seguintes (BLANCHARD; FABRYCKY, 2011). No projeto de sistema e análise de viabilidade as abordagens de projeto e alternativas de solução

ponderadas de forma a selecionar as mais viáveis e em termos de desempenho, manutenibilidade, custos, entre outros no ciclo de vida do produto (BLANCHARD; FABRYCKY, 2011).

Em seguida, são definidos os requisitos operacionais como equipamentos e *softwares* a serem usados, parâmetros de confiabilidade como MTBF (*Mean Time Between Failure*), e OA – Disponibilidade operacional (*Operational Availability*). Na etapa do conceito de manutenção e suporte do sistema são definidos o tipo de manutenção a ser adotado na fase de operação ou uso do produto, políticas de reparo e responsabilidades organizacionais (BLANCHARD; FABRYCKY, 2011).

As medidas de desempenho técnico (TPMs) se referem a definição e priorização de medidas de desempenho dos atributos do projeto de acordo com o valor gerado para o cliente no produto por meio de ferramentas como a função de qualidade (QFD). As TPMs incluem a definição de valores para o MTBF, MTTR, OA e LCC (*Life Cycle Cost*). Já na análise funcional realiza-se o desdobramento de requisitos no nível do sistema até o subsistema, e usam-se diagramas de blocos de fluxo funcionais (FFBDs) para tal (BLANCHARD; FABRYCKY, 2011).

Assim, na análise de trade-offs cria-se uma configuração de sistema viável escolhendo tecnologias apropriadas, componentes comerciais de mercado, políticas de manutenção e suporte, entre outros. Finalmente, é realizada uma revisão formal do projeto conceitual (BLANCHARD; FABRYCKY, 2011).

Na fase de **projeto preliminar**, o sistema selecionado é definido e desenvolvido, assim como os requisitos atribuídos aos subsistemas e seus principais elementos. Espera-se como saída a demonstração de que o sistema cumpra todas as necessidades de desempenho e as especificações de projeto, a ser produzido com a estrutura disponível e restrições de custo e cronograma. As etapas são: 1) Determinação dos requisitos preliminares de design; 2) Preparação do desenvolvimento, produto, processo e especificações materiais aplicáveis aos subsistemas; 3) Realização da análise funcional e alocação do subsistema; 4) Estabelecimento dos critérios de projeto preliminar; 5) Atividades de engenharia; 6) Identificação e utilização de ferramentas e tecnologias de projeto de engenharia apropriadas; 7) Condução de estudos de trade-off para atingir a eficácia do projeto e operacional; e 8) Condução de revisões de projeto em pontos pré-determinados no tempo (BLANCHARD; FABRYCKY, 2011).

Os requisitos preliminares de design são os critérios que julgam quais alternativas de projeto são viáveis. São requisitos de nível inferior documentados por meio de desenvolvimento,

produto, processo e/ou especificações de materiais que devem ser diretas, completas e redigidas em termos de desempenho funcional. Realizados estudos de trade-off, tem-se a análise funcional que busca identificar os principais subsistemas, módulos e itens de configuração, mantendo rastreabilidade top-down/bottom-up dos requisitos em toda a estrutura hierárquica geral para cada sistema. Para fins de manutenção, é possível planejar a questão da manutenibilidade do sistema em termos de facilidade (BLANCHARD; FABRYCKY, 2011).

A etapa de estabelecimento de critérios de projeto preliminar aborda o ciclo de vida do produto, em termos de interoperabilidade, confiabilidade, acessibilidade econômica e manutenibilidade. Nas fases de projeto conceitual e preliminar, indivíduos qualificados são necessários para identificar e utilizar ferramentas e tecnologias de projeto de engenharia apropriadas. Essa equipe irá abstrair os requisitos de sistema e necessidades do cliente para garantir que a configuração final tenha os modelos e ferramentas analíticas necessárias para realizar estudos de trade-off e definição do projeto que atendam tais necessidades. Ao fim, é realizada uma revisão do projeto, avaliação e feedback (BLANCHARD; FABRYCKY, 2011).

A fase de **projeto detalhado e desenvolvimento do ciclo de vida do sistema** é uma continuação do processo de desenvolvimento, onde a equipe de projeto pode especificar com confiança componentes específicos e configuração do sistema. As etapas nesta fase são: 1) Desenvolver dos requisitos de projeto para todos os componentes; 2) Implementar as atividades técnicas necessárias; 3) Integrar elementos e atividades do sistema; 4) Selecionar e utilizar ferramentas e auxílios de projeto; 5) Preparar dados e documentação do projeto; 6) Desenvolver modelos de engenharia e protótipos; 7) Implementar uma capacidade de revisão, avaliação e feedback do projeto; e 8) Incorporar mudanças no projeto conforme apropriado (BLANCHARD; FABRYCKY, 2011).

Os requisitos de produto detalhado constituem um modelo físico ou réplica do sistema para teste e avaliação, com a compra, teste e integração dos seus componentes. As atividades técnicas necessárias relacionadas ao software, hardware, dados e recursos são realizadas de forma evolutiva. E esses elementos e atividades do sistema são integrados após a realização de *trade-offs* necessários para determinar a melhor abordagem/configuração de sistema. Como uma ajuda adicional ao projetista, modelos físicos ou maquetes são criados como ferramentas auxiliares de projeto (BLANCHARD; FABRYCKY, 2011).

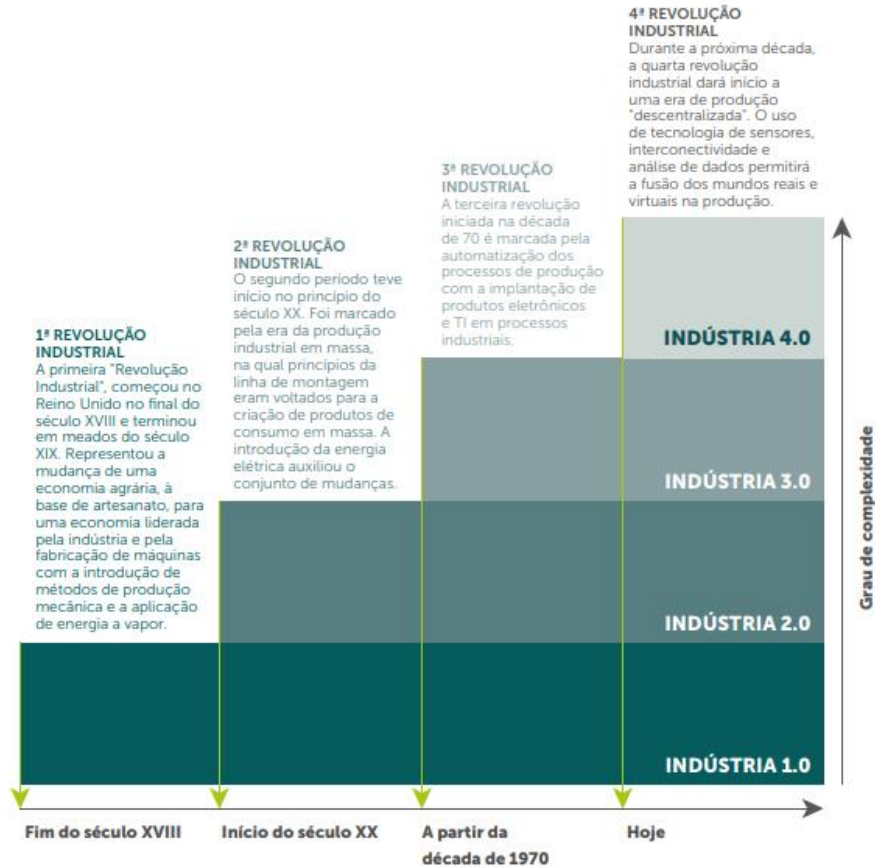
Os métodos para preparar dados e documentação do projeto envolvem o uso de bancos de dados e armazenamento de formas tridimensionais com computação gráfica. Com a ajuda de especialistas técnicos e dados externos são preparados layouts de projetos detalhados. Em algum momento da fase é apropriado desenvolver um modelo de engenharia que demonstre todas as funções finais do sistema, sendo um modelo operacional. Esse protótipo é composto do equipamento principal necessário, software operacional, dados técnicos e elementos associados da infraestrutura de manutenção e suporte. O objetivo é realizar uma quantidade específica de testes para fins de avaliação do projeto antes de entrar em uma fase formal de teste e avaliação. Ao fim, é realizada uma revisão do projeto, avaliação e feedback (BLANCHARD; FABRYCKY, 2011).

As fases de **produção e suporte ao ciclo de vida** não são detalhadas na presente literatura, mas não há prejuízo para o trabalho realizado pois o foco principal é no projeto de produto. As informações necessárias para a criação das ferramentas de avaliação das empresas estão contidas na figura X e nas demais literaturas apresentadas no trabalho.

## 2.2 INDÚSTRIA 4.0

As revoluções industriais foram possíveis graças ao desenvolvimento de novas tecnologias de produção. A Primeira Revolução Industrial ocorreu no século XVIII com o advento da máquina a vapor, em seguida a Segunda Revolução Industrial foi puxada pela produção em massa no século XX. Já a Terceira Revolução Industrial ocorreu após a Segunda Guerra Mundial com a implementação do uso de tecnologia de informação nas fábricas e de controladores lógico programáveis. Nos tempos atuais está sendo implementada a chamada Indústria 4.0, onde os componentes de um sistema de produção interagem entre si sem que seja necessária intervenção humana (KAGERMANN *et al.*, 2012). A Figura 4 mostra essas revoluções em mais detalhes até o advento da Quarta Revolução Industrial.

Figura 4 – Indústria 4.0 e revoluções industriais



Fonte: Adaptado de Deloitte (2014 apud GOMES, 2016),

Para Koch *et al.*, (2014):

O termo Indústria 4.0 representa a quarta revolução industrial. Melhor entendida como um novo nível de organização e controle sobre toda a cadeia de valor do ciclo de vida dos produtos. A I4.0 é voltada para necessidades cada vez mais individualizadas dos clientes. Este ciclo começa na ideia do produto, abrange a colocação do pedido e se estende até o desenvolvimento e fabricação, até a entrega do produto para o cliente final, e conclui com a reciclagem, abrangendo todos os serviços resultantes. A base para a quarta revolução industrial é a disponibilidade de todas as informações relevantes em tempo real, conectando todas as instâncias envolvidas na cadeia de valor. A capacidade de obter o fluxo ótimo de valor agregado a qualquer momento a partir dos dados também é vital. A conexão de pessoas, coisas e sistemas cria conexões dinâmicas, auto-organizadas, em tempo real e otimizadas, dentro e entre empresas. Estes podem ser otimizados de acordo com diferentes critérios tais como custos, disponibilidade e consumo de recursos (KOCH *et al.*, 2014, p. 1871).

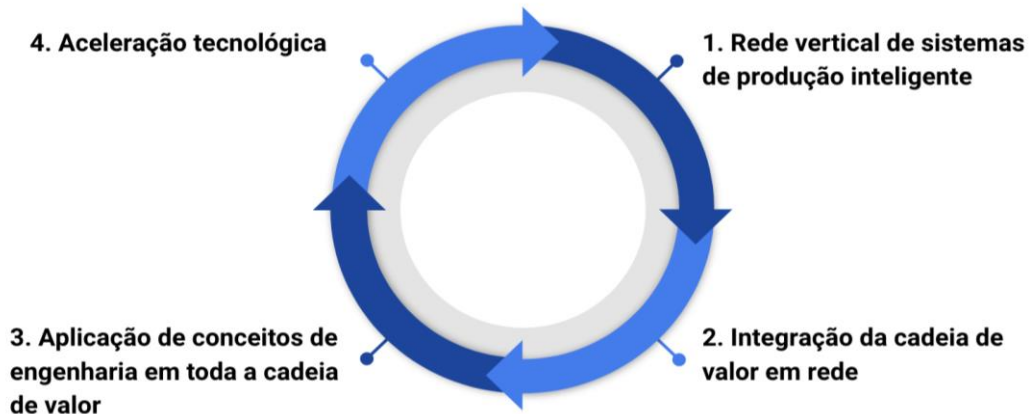
Já para Hermann *et al.*, (2016), a I4.0 é um conjunto de tecnologias e conceitos interligados dentro da cadeia de valor da empresa. As fábricas agora são entendidas como inteligentes e modularizadas, assim como usam Sistemas Ciber Físicos (CPS) para controlar processos fabris e tomar decisões descentralizadas. Outras tecnologias usadas são o IoT e IoS, sistemas que se

comunicam com os demais sistemas, assim como se comunicam com os operadores de rotina e de manutenção. O uso dessas tecnologias da Indústria 4.0 deve ser pensada desde o Processo de Desenvolvimento de Produto para maximizar a eficiência das fábricas e melhorar os seus produtos.

Para Hermann (2016), existem seis requisitos básicos para a implementação da Indústria 4.0, que são: Interoperabilidade, que permite que os sistemas se comuniquem entre redes; Virtualização, que espelha os comportamentos da fábrica em um ambiente virtual; Descentralização dos controles dos processos produtivos, visto que os sistemas embarcados irão tomar decisões baseadas em dados; Adaptação da produção em tempo real, sendo que os dados são apreciados ao mesmo tempo que são coletados; Orientação a serviços, onde a customização dos processo é mais flexível e se adaptam às especificações do cliente; Sistemas modulares dos equipamentos e linhas de produção que tornam as fábricas mais adaptáveis às alterações necessárias.

Para Gomes (2016), esses requisitos para a I4.0 podem ser organizados em quatro fases que aumentam o valor agregado para a empresa em um círculo virtuoso, conforme a Figura 5.

Figura 5 – As quatro fases que aumentam o valor agregado com adoção da I4.0



Fonte: (GOMES, 2016)

A rede vertical de sistemas de produção inteligente é a produção verticalizada aplicada aos sistemas de produção inteligentes. A Integração horizontal da cadeia de valor em rede traz maior transparência para a empresa, pois os materiais têm rastreabilidade e a empresa continua tendo controle do produto mesmo que os processos sejam terceirizados. Essa fase tem potencial para criar novos modelos de cooperação e novos modelos de negócio. As aplicações de conceitos de engenharia em toda a cadeia de valor permitem que as empresas tenham capacidade de usar dados

coletados em todas as fases do ciclo de vida do produto para realizar adaptações nos seus produtos. A aceleração tecnológica fala sobre tecnologias exponenciais e como elas atuam como catalisadoras da Indústria 4.0 sendo elas a inteligência artificial, IoT, sensores, *Big Data* e outros que irão ser usados no processamento de tarefas complexas (GOMES, 2016).

As principais tecnologias da Indústria 4.0 são apresentadas a seguir.

### **2.2.1 Sistemas Ciber Físicos (CPS)**

Yu *et al.* (2015) e Lee (2008) definem os Sistemas Físico-Cibernéticos (CPS) como a integração entre processos físicos e processos de computação. Para Kim e Kumar (2012), os CPSs são uma geração de sistemas da computação, onde o controle fabril, das tecnologias e da comunicação são interligados e controlados em paralelo. Os sistemas Ciber Físicos são redes de sensores que possuem restrições mínimas, conexão ativa com a internet e que se mostram mais eficazes que os demais sistemas (POOVERDRAN, 2010, BURMEISTER *et al.*, 2015 e).

Já para NSF (2012):

Os sistemas ciberfísicos (CPS) são sistemas de engenharia construídos a partir da integração perfeita de algoritmos computacionais e componentes físicos. Os avanços no CPS permitirão capacidade, adaptabilidade, escalabilidade, resiliência, segurança, seguridade e usabilidade que superarão de longe os atuais sistemas embarcados. A tecnologia CPS transformará o modo como as pessoas interagem com sistemas modificados - assim como a Internet transformou o modo como as pessoas interagem com a informação. O novo CPS inteligente impulsionará a inovação e a concorrência em setores como agricultura, energia, transporte, projetos e automação prediais, saúde e manufatura. (NSF, 2012).

### **2.2.2 Internet das Coisas (IoT)**

Haller (2010) interpreta IoT como um local onde toda a rede de informação da empresa é interligada aos objetos físicos e essa ligação é parte presente dos processos de negócio. Através da internet, esses chamados objetos inteligentes interagem com serviços e pode-se alterar informações associadas a esse código do item assim como seu estado, sem excluir questões como privacidade e segurança.

Para Sundmaeker *et al.* (2010) IoT é uma infraestrutura com rede dinâmica e mundial que tem poder de se configurar automaticamente baseada em protocolos de comunicação interoperáveis



e padronizados, onde todos os itens - sejam eles físicos ou virtuais - possuem sua identidade específica, utilizando para isso interfaces inteligentes e integradas em uma grande rede de informação

### **2.2.3 Big Data e Data mining**

*Big data* pode ser definida como a junção dos "3 Vs": um grande volume de dados, velocidade que os dados são acumulados e variedade, ou seja, possuir uma estrutura de dados diversificada (RUSSON, 2011). Os dados se tornam difíceis de se analisar visto sua quantidade em crescimento exponencial. Sujix (2018) descreve que *Big Data* pode ser classificado por volume, veracidade, velocidade e valor, ou seja, um compilado exponencial de dados acumulados, dificuldade de extrair valor dos dados, velocidade de produção e mecanismos que obtêm o significado real dos dados extraídos, respectivamente. Já o *Data Mining* é uma ferramenta para extração de informações e conhecimentos úteis a partir dos dados e para isso utiliza técnicas como associação, clusterização e classificação, ou seja, processos para análise de grandes volumes de dados por similaridade (SUJIX, 2018).

### **2.2.4 Internet of Service (IOS)**

A visão da IOS é permitir que diversos fornecedores possam oferecer seus serviços via Internet e estes serviços são combinados em um pacote de alto valor agregado para o usuário, que pode acessá-lo de muitos canais. Ela é composta por participantes, modelos de negócios, infraestrutura de serviços e os serviços em si, sejam eles funcionais ou técnicos (BUXMANN; HESS; RUGGABER, 2009). Esse conceito pode ser utilizado para criação de tecnologias de produção especiais, que abarquem toda a rede de valor das empresas e possa compensar ociosidades da fábrica (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

### **2.2.5 Manufatura aditiva**

Enquanto os processos padrão de fabricação envolvem a moldagem do material, seja pela fusão, remoção, conformação ou cortes, na Manufatura Aditiva a fabricação é feita por meio de

adições sucessivas de materiais em camadas. Esse processo de fabricação tem suas informações obtidas a partir de um objeto computacional em 3D de uma componente do *Computer Aided Design* (CAD) ou outros programas de modelos geométricos. O objeto em 3D é desconstruído de forma a se obter as curvas de nível em 2D que definem onde será adicionado ou não material. A construção é facilmente automatizada e rápida quando comparada com os meios tradicionais, dependendo pouco do operador durante o processo. A Manufatura Aditiva se tornou possível integrando processos já consolidados como metalurgia do pó e usinagem CNC com tecnologias de laser, feixe de elétrons e controles de movimento de alta precisão (VOLPATO, 2017).

### **2.2.6 Realidade Aumentada e Realidade Virtual**

A Realidade Aumentada refere-se à melhoria da realidade a partir da adição de itens gráficos computadorizados que a suplementam e pode ser utilizada em diversas indústrias desde entretenimento até medicina (HYUN, 2009). A Realidade aumentada é uma tecnologia que combina o mundo real com conteúdos virtuais que possuem características completas em 3D e possui gráficos interativos que respondem em tempo real a partir do ponto de vista do usuário para que as imagens sejam acuradas dentro do mundo real (AZUMA, 1997). Ao contrário da Realidade Virtual, que projeta imagens irreais e completamente imersivas, a Realidade Virtual torna mais sofisticada essa interface para interagir com o mundo real (WEISER, 1993).

### **2.2.7 Computação na nuvem**

De acordo com o Instituto Nacional de Referências e Tecnologias (NIST),

A computação em nuvem é um modelo para permitir acesso de rede onipresente, conveniente e sob demanda a um conjunto compartilhado de recursos de computação configuráveis (por exemplo, redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços) que podem ser rapidamente provisionados e liberados com o mínimo esforço de gerenciamento ou interação do provedor de serviços (MELL; GRANCE, 2009).

A possibilidade de se realizar grandes processamentos e se obter armazenamento próximo ao ilimitado por um preço baixo deu origem a grandes ganhos econômicos e técnicos a grandes companhias de tecnologia que vendem seus serviços pela internet (SPILLNER; MULLER; SCHILL, 2013). Serviços de nuvem englobam camadas de arquitetura físicas e virtuais e podem ser classificados como Software enquanto Serviço (SaaS), Infraestrutura enquanto Serviço (IaaS)

ou Plataforma enquanto Serviço (PaaS). O SaaS provisiona o funcionamento das aplicações em ambientes de Cloud, enquanto a IaaS provê armazenamento, processamento e recursos de rede, já a PaaS se estende a suporte de sistemas e desenvolvimento de software (ZHANG; CHENG; BOUTABA, 2010).

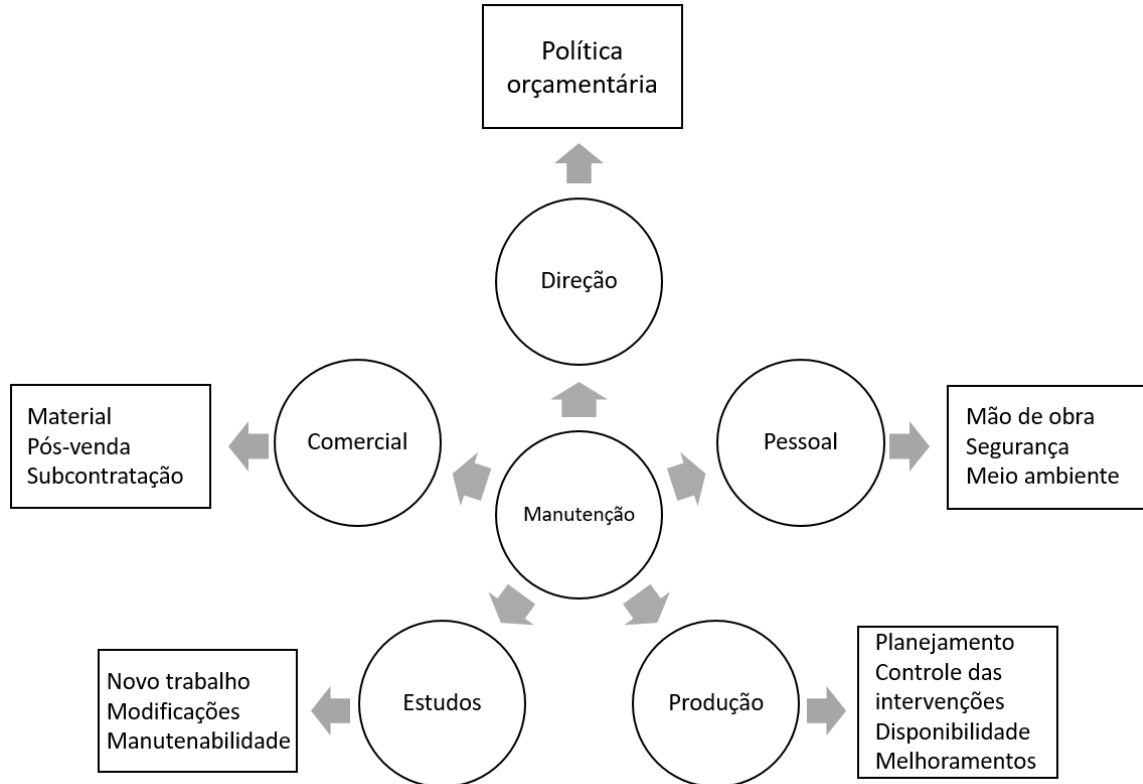
### 2.3 MANUTENÇÃO

Segundo a NBR-5462 da ABNT (1994):

Manutenção é a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. Item é qualquer parte, conjunto, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente (ABNT, 1994).

A manutenção de equipamentos é uma área estratégica para as empresas, visto que aumenta a confiabilidade do sistema e a disponibilidade das máquinas. A manutenção possui interface com outras áreas da empresa: direção, onde a companhia irá decidir sua política orçamentária e a porcentagem destinada à área de manutenção; comercial, direcionando a compra de suprimentos e a forma como o pós-venda será feito; pessoal, guiando quantas pessoas serão necessárias para o pleno funcionamento da fábrica e suas qualificações, assim como o cuidado com segurança e meio ambiente; produção, auxiliando no planejamento da produção, controlando as intervenções que causam parada na produção, assim como a disponibilidade da linha de produção e melhorias necessárias e propostas e a área de estudos, puxando os assuntos relacionados à eficiência na fábrica (Figura 6). Dessa forma, o setor da manutenção entende as necessidades industriais e otimiza o processo de produção (MONCHY, 1989).

Figura 6 – Interface da manutenção com as demais áreas da empresa



Fonte: (MONCHY, 1989).

### 2.3.1 Tipos de manutenção

A seguir será apresentado os principais tipos de manutenção.

### 2.3.2 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é aquela efetuada depois que ocorre uma pane ou desconfiguração do sistema e tem como função recolocar um item em condições de executar novamente a função requerida (ABNT, 1994). Segundo Viana (1991),

Manutenção corretiva é a atividade que existe para corrigir falhas decorrentes dos desgastes ou deterioração de máquinas ou equipamentos. São os consertos das partes que sofreram a falha, podendo ser: reparos, alinhamentos, balanceamentos, substituição de peças ou substituição do próprio equipamento (VIANA, 1991, p. 4).

Lucatelli (2002) define manutenção corretiva como o tipo de manutenção mais antigo assim como o tipo mais usado por empresas com ativos físicos, seja qual for o nível da manutenção.

### **2.3.3 Manutenção Preventiva**

A manutenção preventiva é aquela efetuada em intervalos fixos ou predeterminados, reduzindo a probabilidade de falha ou de degradação da função de um item de acordo com critérios anteriormente prescritos (ABNT NBR 5462, 1994).

Para Viana (1991), a manutenção preventiva é um conjunto de ações e procedimentos que podem ser utilizados para evitar a necessidade de manutenções corretivas, é também uma filosofia e adotá-la significa melhorar a qualidade no serviço da manutenção. Já Mirshawka (1991) define manutenção preventiva como o tipo de manutenção que usa critérios pré estabelecidos para um número pré programado de itens e em intervalos de tempo.

Kardec e Nascif (2006) explicam a manutenção preventiva como uma estratégia categórica que evita queda de desempenho, segue um plano predeterminado baseado, geralmente em tempos fixos.

### **2.3.4 Manutenção Preditiva**

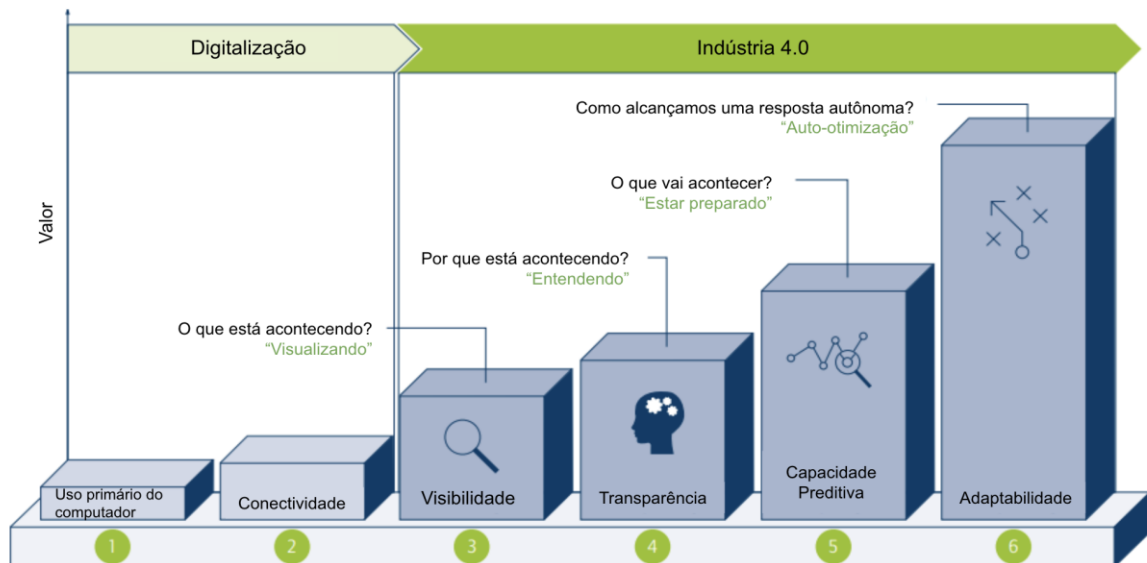
A manutenção preditiva é a estratégia de manutenção que utiliza técnicas de medição e análise para gerar a qualidade esperada do serviço, reduzindo o máximo possível a manutenção preventiva e corretiva (ABNT, 1994). Essa manutenção se baseia no monitoramento do desempenho e desgaste das máquinas, realizando manutenção apenas quando for necessário, de forma a manusear os equipamentos pelo menor tempo possível. Toda atividade que monitore e gere dados para criar analisar, entender propensões e auxiliar na tomada de decisão é denominada de de manutenção preditiva (VIANA, 1991; PINTO; XAVIER; BARONI, 2006). A manutenção preditiva pode ser também entendida como a manutenção executava no melhor momento antecedente à falha funcional do item. Por meio da manutenção preditiva é feito o monitoramento do desempenho da temperatura, ruído, pressão, vibração, entre outros parâmetros (NEPOMUCENO, 1989).

## 2.4 MODELOS DE MATURIDADE

### 2.4.1 Maturidade na Indústria 4.0 em empresas por SCHUH

O modelo de índice de maturidade descrito por Schuh (2017) é baseado em estágios de transformação a partir de requisitos básicos para a Indústria 4.0 que impactam no ambiente de negócios e na estratégia da companhia. Tal modelo traz contribuições importantes para que as empresas entendam em que degrau estão e aumentem sua maturidade. O modelo é composto por 6 degraus de desenvolvimento (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) e cobre 4 áreas essenciais da empresa.

Figura 7 – Estágios de desenvolvimento da Indústria 4.0 nas empresas



Fonte: (SCHUH *et al.*, 2017)

A etapa 1 é a **informatização**, que é utilizada para automatizar processos repetitivos na empresa. Ela oferece benefícios como maior precisão na produção e baratear os custos para padrões altos de qualidade. (SCHUH, 2017).

A etapa 2 é a **conectividade** onde, diferentemente da primeira, as tecnologias da informação são mais implantadas de forma conectada e não isoladamente. O *Internet Protocol (IP)* é uma destas tecnologias e permite que todos os componentes da linha de produção sejam conectados sem a necessidade de conversão dos endereços de rede individuais. Desta forma, projetos criados na engenharia podem enviar dados direto para produção e ter confirmação automática, assim como a

manutenção no maquinário pode ser realizada remotamente. Isso permite o uso de um mesmo maquinário por muito mais tempo (SCHUH, 2017).

Na etapa 3 de **viabilidade**, sensores são utilizados para capturar um volume alto de dados do início ao fim dos processos. Os dados devem ser coletados de todas as áreas da empresa para facilitar a tomada de decisão e garantir que haja um modelo atualizado e integrado que não se vincule com análises de dados isolados, ou seja, cria-se uma sombra digital da situação atual da companhia (SCHUH, 2017).

Na etapa 4, **transparência**, os dados capturados são analisados com conhecimento de engenharia para interpretar a sombra digital e tecnologias como *Big Data* excludi, pois será apresentado antes. são de grande valia neste momento. A fase da transparência é requisito para a manutenção preditiva, pois os parâmetros registrados refletem a condição do maquinário (SCHUH, 2017).

Já a etapa 5 é a **capacidade preditiva**. Aqui a empresa tem capacidade para simular cenários futuros, probabilidade de ocorrência de falhas, sinalizar erros recorrentes - e sua causa, e gerar recomendações que facilitam a tomada de decisão em tempo hábil. A etapa 6, **adaptabilidade** é atingida quando a empresa pode delegar decisões para os sistemas de TI e é alcançada quando pode-se utilizar todos os dados da sombra digital para gerar eficiência na decisão, o melhor resultado possível no menor tempo e sem trabalho humano (SCHUH, 2017).

Para que esse modelo seja completo, os 6 estágios de desenvolvimento explicados acima são aplicados na Estrutura de Produção e Gerenciamento da empresa, que se divide em 4 grandes áreas estruturais: recursos, sistemas de informação, cultura e estrutura organizacional, representadas nas Figuras 11 e 12. A camada mais clara é o estágio 1 de maturidade, enquanto a mais escura representa o estágio 6 (Figura 8). Quanto maior o estágio, maior é a integração e o processamento da informação na empresa (SCHUH, 2017).

Figura 8 – Áreas estruturais do modelo de maturidade



Fonte: (SCHUH, 2017).

Na área de recursos, conforme aumenta o estágio de maturidade, maior é capacidade digital e mais estruturada é a comunicação. Para chegar ao último estágio, é necessário que gradualmente sejam fornecidas competências digitais, aquisição de dados a partir de sensores, descentralização de pré-processamento dos sensores, tal qual comunicação eficiente e uma interface que tenha seu design voltado para realização de tarefas (SCHUH, 2017).

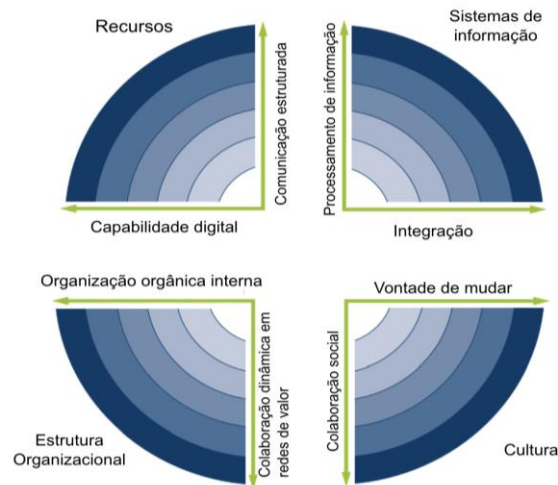
Já na área de sistemas de informação, o processamento de informação e integração são os dois fatores transversais para aumentar a maturidade de SI. Para o primeiro, quanto mais elaborados forem a análise de dados, entrega de dados contextualizados, interfaces com aplicações específicas para o usuário e uma infraestrutura de TI resiliente, maior será a maturidade. Para o segundo, os itens são segurança de TI, interfaces padronizadas para todos os processos, governança de dados e integrações verticais e horizontais, ou seja, agregar processos e expansão da empresa de forma que a fábrica opere de forma universal (SCHUH, 2017).

Quando se trata da estrutura organizacional, os níveis de maturidade aumentam conforme aumenta-se a organização interna orgânica e a colaboração dinâmica em toda a cadeia de valor. Os passos para alcançar a melhor organização são comunidades flexíveis, gerenciamento dos direitos de decisão, sistemas de metas que motivem os funcionários e uma gestão ágil da organização. Já para tornar a colaboração mais coesa, é necessário aumentar a cooperação com toda a rede e focar nos benefícios do cliente, seja ele interno e externo (SCHUH, 2017).



Na área da cultura os fatores são colaboração social e vontade de mudar. Para garantir que os funcionários atuem em conjunto torna-se necessário aumentar cada vez mais a confiança nos processos e sistemas de informação, assim como ter uma comunicação aberta e lideranças democráticas (Figura 9). Já para o segundo fator, quanto maior for o desenvolvimento contínuo dos profissionais, os aprendizados e decisões forem baseadas em dados, demonstrar abertura para inovação e reconhecer erros como algo valioso, maior será a maturidade da área (SCHUH, 2017).

Figura 9 – As 4 áreas estruturais do modelo e como aumentar seus níveis de maturidade



Fonte: (SCHUH,2017).

## 2.4.2 Modelo de maturidade na indústria por USTUDANG E CEVIKCAN

Os autores Ustadang e Cevikcan (2017) propuseram um modelo para tornar mais simples análises diferentes da maturidade da Indústria 4.0 nas empresas. O modelo possui 13 campos associados em 3 dimensões: produtos e serviços inteligentes, processos de negócio inteligentes e estratégia e organização (Quadro 1). Cada campo é uma área da empresa.

Quadro 1 – Campos associados, dimensões e subdimensões para analisar a maturidade da Indústria 4.0.

Dimensões	Sub-dimensões	Campos associados
Produtos e serviços inteligentes	Produtos e serviços inteligentes	Produtos e serviços inteligentes
	Produção e operações inteligentes	Produção, logística e compras P&D - Desenvolvimento de produto
Processos de negócio inteligentes	Operações de venda e marketing	Pós venda

	inteligentes	Precificação/promoção
		Vendas e canais de distribuição
	Operações de suporte	Recursos humanos
		Tecnologia da informação
		Finanças inteligentes
	Estratégia e organização	Estratégia e organização
Parcerias estratégicas		
Investimento em tecnologia		
Liderança e estrutura organizacional		

Fonte: (USTUNDAG; CEVIKCAN, 2017).

A dimensão de **Produtos e serviços inteligentes** tem como objetivo garantir que os recursos para produção do que será vendido estão de acordo, que cria produtos que atendam as necessidades do consumidor e para ofertar serviços impulsionados com dados de mercado e dos produtos. Os **processos de negócio inteligentes** cobrem todos os processos de produção, desde a pesquisa e desenvolvimento até a pós-venda e todas as áreas relacionadas à qualidade do produto ou serviço. Já a estratégia e organização são necessárias para a geração de modelos de negócios adequados para o público-alvo e investir em tecnologia proporciona uma estrutura organizacional e liderança com progressão rápida (USTUNDAG; CEVIKCAN, 2017).

Para apoiar as dimensões e áreas na Indústria 4.0 são propostos princípios e tecnologias associadas que criam a chance de coletar e interpretar dados para oferecer serviços. Enquanto princípios estão processos de negócios integrados, gestão de dados em tempo real, virtualização, descentralização e agilidade. Entre as tecnologias para garantir a plena execução destes fundamentos estão a inteligência artificial, sistemas embarcados, computação em nuvem, sensores, fabricação aditiva e simuladores (USTUNDAG; CEVIKCAN, 2017).

Para reconhecer o nível de maturidade da empresa em relação à Indústria 4.0 são usados em cada uma das dimensões em quatro estágios: ausência, existência, sobrevivência e maturidade, ponderados entre 0 (ausência) e 3 (maturidade). O primeiro nível é usado para as empresas que não atingiram nenhum requisito para a Indústria 4.0 ou possuem algum em nível muito baixo. O segundo é quando há iniciativas piloto nos departamentos do trabalho, há alguma inteligência, mas tanto a automação quanto integração são baixos. Já o terceiro, sobrevivência, é usado quando os produtos da empresa têm capacidade para gerenciar dados em tempo real e os processos possuem nível médio de integração e há parcerias com outras empresas ou universidades. O último estado é atingido quando todos os produtos e serviços da companhia são identificados como inteligentes, os processos podem ser descentralizados e há alta integração entre os dados e áreas, assim como a empresa gera lucro com isto. O valor da maturidade é dado pela média dos valores das questões relacionadas à área (USTUNDAG; CEVIKCAN, 2017).

Assim, o quadro 2 demonstra quais atributos devem ser considerados para cada nível de maturidade.

Quadro 2 – Nível de maturidade dos produtos inteligentes e serviços

Nível de maturidade	Produtos inteligentes e serviços
Nível 0: Ausência	A empresa não atende a nenhum dos requisitos do setor 4.0. Alguns dos requisitos estão em baixo nível.
Nível 1: Existência	Os produtos da empresa são capazes de se comunicar com outros produtos / plataformas, máquinas e sistemas externos, além de coletar dados. Os produtos podem ser rastreados à medida que se movem entre os locais de fabricação e de distribuição interna. A empresa oferece serviços / informações apenas para seus negócios, de acordo com os dados obtidos com o produto.
Nível 2: Sobrevivência	Os produtos da empresa são capazes de comunicar e coletar dados. Além disso, os produtos podem manter os dados coletados em seus sistemas ou na nuvem. Os produtos podem executar análises descritivas, diagnósticas e preditivas de dados. Os produtos podem ser rastreados conforme se movem entre a fabricação e distribuição até atingirem os clientes A empresa oferece serviço / insights para seus negócios e clientes de acordo com os dados obtidos com o produto
Nível 3: Maturidade	Os produtos da empresa são capazes de se comunicar com outros sistemas, coletar dados e mantê-los em seus sistemas ou na nuvem. Além disso, os produtos possuem uma plataforma na qual os produtos ou aplicativos em nuvem estão trabalhando. O produto pode executar diagnósticos preditivos e análises de dados prescritivas. Os produtos podem ser rastreados ao longo de seu ciclo de vida completo. A empresa oferece serviços e/ou informações para seus negócios, clientes e parceiros de acordo com os dados obtidos com as melhorias do produto

Fonte: (USTUNDAG; CEVIKCAN, 2017)

## 2.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Os três modelos de DP possuem fases similares, realizando o processo de desenvolvimento de produtos com as fases de projeto informacional, conceitual, detalhado, preparação para produção e lançamento, assim como se conectam com diversas áreas da empresa, como a área de manutenção. Como maiores diferenças, o modelo básico de Back *et al.* e Blanchard e Fabrycky têm especificada a fase de projeto preliminar com o *layout* final do produto e protótipos enquanto o de Rozenfeld *et al.* não passa possui esta fase preliminar. Já os modelos de Rozenfeld, Blanchard e Fabrycky apresentam toda a continuação do ciclo de vida do produto até sua descontinuação no mercado, enquanto o de Back *et al.* termina com o produto lançado e recebendo *feedbacks*, encerrando sua equipe de projeto neste momento. Enquanto isso, o modelo proposto por Blanchard e Fabrycky (2011) é o único que trata especificamente de sistemas técnicos e possui uma abordagem estruturada para o projeto para a manutenibilidade. Dessa forma, é o modelo selecionado para servir como base para o desenvolvimento do questionário para análise do uso de tecnologias da Indústria 4.0 no projeto para manutenibilidade.

Um caso particular de manutenção preditiva é a Manutenção Preditiva Inteligente, que é baseada em tecnologias da Indústria 4.0, a partir dos conceitos de monitoramento das condições do equipamento, diagnósticos inteligentes de falha baseados em condição e a previsão da deterioração dos equipamentos. Estes conceitos se refletem em sistemas inteligentes que utilizam tanto séries históricas quanto testes comparados com um modelo em seus momentos de falha para prevêê-la. Esses elementos podem melhorar a qualidade das decisões sobre quando e como as manutenções devem ser realizadas (YAM *et al.*, 2001). A manutenção é uma área estratégica e quando associada às tecnologias da indústria 4.0, demonstra-se o nível de maturidade estratégica da indústria em questão.

Para se realizar uma análise do uso de tecnologias da Indústria 4.0 do projeto para manutenibilidade em empresas, além de se entender as fases de desenvolvimento de produto, o papel de se projetar a manutenção e quais são de fato as tecnologias da I4.0, há a necessidade do uso de um modelo de maturidade. Para o presente trabalho, selecionou-se o modelo de Ustundag e Cevikcan (2017), que trata do nível de maturidade dos produtos inteligentes e serviços, que mostrou ter a definição mais completa sobre produtos e maturidade do uso das tecnologias da Indústria 4.0.

### 3 METODOLOGIA DE PESQUISA

O presente capítulo apresenta a metodologia de pesquisa aplicada no trabalho. São apresentadas as classificações da pesquisa, sua estrutura e o detalhamento da sua estrutura.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Existem duas bases teóricas comuns para os trabalhos científicos: o estado da arte e o referencial teórico, usadas para todas as diversas estruturas que variam de acordo com o nível acadêmico e instituição de ensino. O primeiro realiza um mapeamento profundo e extenso de um tema na literatura enquanto o segundo traça um alinhamento claro dos objetivos de pesquisa sendo construído por um ou mais tópicos (AZEVEDO, 2016).

De acordo com Ridley (2008), o referencial teórico é:

[...] onde são feitas conexões entre os textos originais nos quais você se baseia, e onde você posiciona a sua pesquisa em relação a outras fontes. [...] Você pode usar a literatura para apoiar a identificação do problema de pesquisa ou para ilustrar que existe uma lacuna nas pesquisas anteriores que precisa ser preenchida. (RIDLEY, 2008, p. 2).

As pesquisas podem ser rotuladas de acordo com sua abrangência e propósito. Em relação à abrangência, podem ser temporais por se tratar de assuntos no centro de um período definido ou podem ser temáticas quando o trabalho é realizado em cima de um recorte específico de temas geralmente profundos. Quanto ao propósito, classificam-se em analíticas quando são realizadas como um fim em si mesmas e quando aglomeradas mostram um panorama geral de uma área, ou de base, quando servem de apoio para comprovar hipóteses e ideias de pesquisas (NORONHA; FERREIRA, 2000).

Também, as pesquisas podem ser classificadas com base nos seus objetivos como exploratórias, descritivas e explicativas. As pesquisas exploratórias trazem mais proximidade com o problema de pesquisa e tem como objetivo central aprimorar ideias, construir e descobrir hipóteses. Geralmente incluem revisão bibliográfica, entrevistas com profissionais com experiência prática e análises, constituindo pesquisa bibliográfica e/ou estudo de caso. As pesquisas descritivas aspiram descrever características de populações ou fenômenos específicos e realizar correlações entre variáveis. Utilizam geralmente questionários e observação sistemática para estudar características de grupos como distribuição por sexo, escolaridade, idade etc. Assumem a forma de levantamentos. Já as explicativas procuram identificar fatores que favorecem o

acontecimento de fenômenos, sendo uma pesquisa profunda e complexa que explica as razões das coisas, assumindo a forma de pesquisas *ex-post facto* (GIL, 2008).

O método adotado para este trabalho se divide em duas partes: a primeira é de revisão teórica, classificada de acordo com os requisitos de Noronha e Ferreira (2000) como analítica e temática. A revisão se dá por meio de pesquisa de artigos, livros, jornais e periódicos. Já a segunda parte consiste em um estudo multicaso. O estudo multicaso, se dá pela criação de instrumento para análise do uso de tecnologias da Indústria 4.0 no projeto para manutenibilidade, sua aplicação e posterior análise da maturidade das empresas em relação ao tema abordado.

Aplicou-se um instrumento proposto para a coleta de informações em duas empresas com perfis diferentes: uma empresa multinacional que já tem consolidadas tecnologias da Indústria 4.0 em todos as fases do ciclo de vida do produto e uma empresa pequena que detém menos meios tecnológicos, mas está testando tecnologias. A ferramenta de análise dos resultados possui forma de gráfico radar e recolhe dados para classificar a maturidade em cada fase do desenvolvimento de produto. Assim, as estratégias de construção da presente pesquisa, de acordo com Bauer e Gaskell (2017), são qualitativas por envolver textos e interpretação.

A Figura 10 apresenta a classificação de pesquisa deste trabalho quanto à abrangência, propósito, objetivo, estratégia e método utilizado.

Figura 10 – Classificação da pesquisa



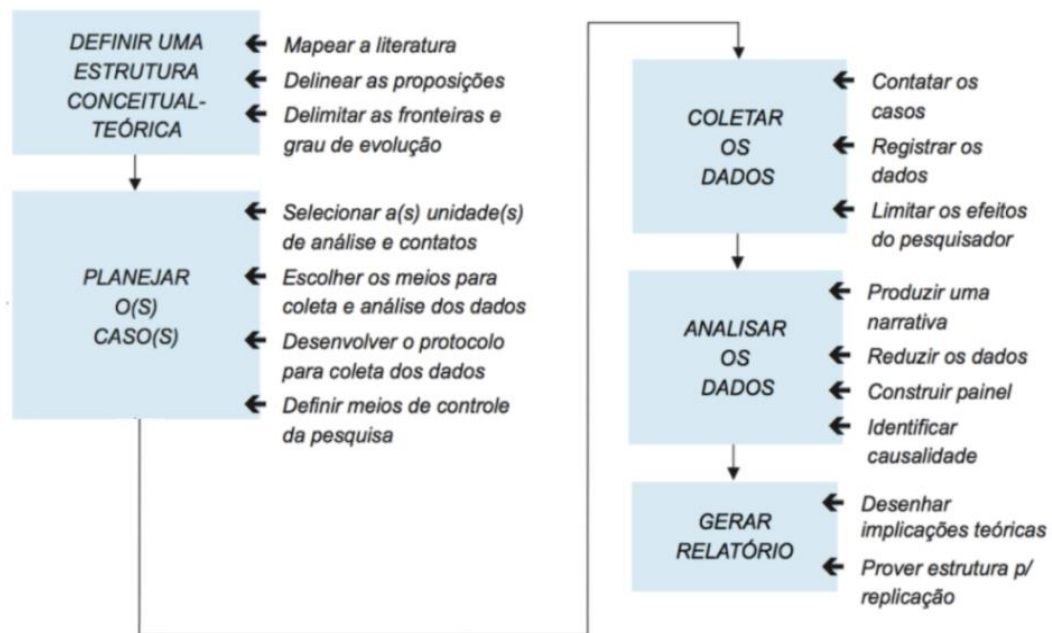
Fonte: Autora (2021)

### 3.2 ESTRUTURA DA PESQUISA

Esse projeto foi realizado por meio de pesquisa em artigos, livros e documentos sobre os temas de Indústria 4.0, desenvolvimento de produto, manutenção, modelos de maturidade na Indústria 4.0 e temas correlatos. Em seguida, foram escolhidos os elementos necessários da literatura para a realização da análise do uso de tecnologias da Indústria 4.0 no projeto para manutenibilidade. Os elementos da revisão de literatura resultaram no questionário que foi aplicado em 2 empresas (A e B) com a equipe técnica de desenvolvimento de produto.

O estudo multicaso se baseia na estrutura proposta por Cauchick (2007), mostrada na Figura 11. Primeiramente, tem-se a definição da estrutura conceitual teórica na qual foi realizada a revisão de literatura. Em seguida, as empresas foram selecionadas e o questionário para coleta de dados foi desenvolvido e o protocolo para coleta de dados foi criado. A aplicação do questionário foi realizada juntamente com entrevistas e, então, a verificação da qualidade dos dados e resultados também. Por fim, são apresentadas as conclusões e considerações finais da pesquisa em questão por meio de um relatório. O resultado esperado é que a pesquisa reproduza uma narrativa consistente com os objetivos iniciais e possa ser replicada por outros pesquisadores.

Figura 11 – Condução do estudo de caso



Fonte: Adaptado de Cauchick (2007).

O objetivo do estudo multicaso consiste em analisar o nível de maturidade do uso de tecnologias da Indústria 4.0 no projeto para manutenibilidade de duas empresas do ramo

automotivo. E, como dito anteriormente, o estudo multicaso foi aplicado com colaboradores da equipe de produto em duas empresas fabris do ramo automotivo entre março e abril de 2021 de forma virtual devido à pandemia da COVID-19.

A empresa A é uma *startup* que atua no Distrito Federal no ramo de mobilidade. Ela projeta, fabrica e aluga motos elétricas para empresas e pessoas físicas. O seu modelo de negócios é baseado em mensalidades onde a manutenção, o seguro e os impostos já estão embutidos no valor e o cliente não paga nenhum tipo de caução. A equipe é composta por 30 funcionários, sendo que a equipe de produto é composta por 5 membros. Foram entrevistados 2 Engenheiros Mecânicos Projetistas da equipe de produto sendo que o primeiro tem 2 anos e meio na função e o segundo 1 ano e 10 meses.

A empresa B é uma multinacional com uma de suas sedes em São Bernardo do Campo, São Paulo, que atua em mobilidade. Ela projeta, fabrica e vende caminhões e ônibus para empresas e pessoas físicas. Os processos são altamente padronizados, focados em gestão da qualidade e aplicam de forma consolidada tecnologias da Indústria 4.0. Embora as automações façam parte do cotidiano da empresa, elas não são implementadas quando os custos ultrapassam os benefícios.

A fábrica em São Paulo é composta por 4.500 funcionários, sendo que a equipe de desenvolvimento de produtos é dividida em diversos setores como motor de caminhão, cabinas, chassi e ônibus. Foi entrevistado um projetista de produto da equipe de desenvolvimento de ônibus que possui 3 meses na função atual de desenvolvimento de produtos, mas trabalhava diretamente com a parte mecânica do desenvolvimento de ônibus há 1 ano e 6 meses antes da sua promoção.

Mais detalhes sobre os funcionários entrevistados encontram-se no Quadro 5.

Quadro 3 – Profissionais da área de desenvolvimento de produto

Cargo	Tempo na empresa	Tempo na função	Responsabilidades
Projetista Mecânico	2 anos e 5 meses	2 anos e 5 meses	Desenhar e desenvolver componentes e sistemas de motos elétricas, realizar manutenção nas motos
Projetista Mecânico	1 ano e 10 meses	1 ano e 10 meses	Desenhar e desenvolver componentes e sistemas de motos elétricas, realizar manutenção nas motos
Projetista de Produto	1 ano e 9 meses	3 meses	Desenhar e definir o design de peças de motor de caminhão. No cargo anterior trabalhava com protótipos e testes de validação

Fonte: Autora (2021)

Para a coleta de dados, o questionário proposto baseia-se nas fases de desenvolvimento de produto de Blanchard e Fabrycky (2011), Figura 3, e no estudo realizado sobre tecnologias da



Indústria 4.0. O questionário se encontra no Apêndice A com as perguntas divididas de acordo com as fases de desenvolvimento de produto (projeto conceitual, projeto preliminar, projeto detalhado, produção/construção, suporte ao ciclo de vida).

Segundo Fonseca (2002, p. 20), “[...] a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros”. Assim, a coleta de dados principal é feita por meio do questionário e a secundária por meio de entrevista. O questionário, hospedado na ferramenta Google Sheets, foi feito de forma a se obter dados quantificáveis para a análise, utilizando a escala Likert, de 1 a 5, para definir a frequência. As perguntas abordam o momento da empresa no contexto deste trabalho, como ela aplica tecnologias da Indústria 4.0 em todo o ciclo de vida do seu produto e como é abordado o projeto para manutenibilidade.

Entrevistas foram realizadas para entender o valor dado para cada pergunta e como esses valores são desdobrados em processos e atividades da empresa. As entrevistas, realizadas via Google Meets, foram anotadas e usadas como insumo para a classificação do nível de maturidade das empresas. A maturidade é medida a partir do modelo adaptado de Ustundag e Cevickan (2017) do nível de maturidade dos produtos inteligentes e serviços, Quadro 2, apresentado no Capítulo 2.

Para analisar os dados, foram criados gráficos em barra para cada uma das perguntas do questionário de forma visualmente padronizada, explicando-se o porquê de cada valor com os insumos coletados das entrevistas. Ao final, são criados gráficos do tipo radar nos quais cada uma das 5 pontas do gráfico representam uma fase de desenvolvimento de produto e os valores alcançados representam a maturidade da fase do projeto no projeto para manutenibilidade com o uso de tecnologias da Indústria 4.0. Os valores foram obtidos a partir da média simples dos valores alcançados nas questões explicadas nas subseções 4.2 a 4.6, excluindo-se da conta a questão 16.

A presente pesquisa não tem a intenção de comparar as duas empresas, visto que são de portes, estados e modelos de negócios distintos. Os gráficos estão dispostos com as respostas em conjunto para facilitar a leitura da pesquisa da análise do estudo multicaso.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O objetivo do presente capítulo é apresentar uma análise sobre o uso de tecnologias da Indústria 4.0 no projeto para manutenibilidade em duas empresas. Por meio da aplicação de um questionário e entrevistas foram coletados dados para entender a frequência das tecnologias nesse contexto e assim, avaliar a maturidade no processo de desenvolvimento de produto. Os gráficos de barra, que representam visualmente a frequência de cada prática, usam a escala Likert com valores de 1 a 5, sendo que o valor 1 representa nunca, 2, raramente, 3, ocasionalmente, 4, frequentemente e 5, com muita frequência. Os gráficos de radar representam o valor final alcançado de maturidade pelas empresas.

A relação das empresas com desenvolvimento de produto se encontra no Quadro 4.

Quadro 4 – Relação das empresas A e B com desenvolvimento de produto

A empresa possui um setor específico de desenvolvimento de produto?	Sim
A empresa utiliza conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 no desenvolvimento de produto?	Sim
A empresa adota práticas de melhoria contínua no processo de desenvolvimento de produto?	Sim
As equipes responsáveis pela manutenção e suporte tem participação no processo de desenvolvimento de produto?	Sim

Fonte: Autora (2021)

### 4.1 PROJETO CONCEITUAL

A equipe de produto da empresa A aplica o desdobramento da função qualidade (QFD) de forma informal no projeto conceitual. As necessidades dos clientes são coletadas de forma contínua e são desdobradas em requisitos funcionais com ferramentas internas. Nesse processo são incorporados conhecimentos já adquiridos e é realizada a documentação. Já a empresa B utiliza plenamente o QFD e outras ferramentas internas para identificar as necessidades dos clientes. A Figura 12 mostra o resultado da Questão 1 (Q1) do questionário disponibilizado no Apêndice A.

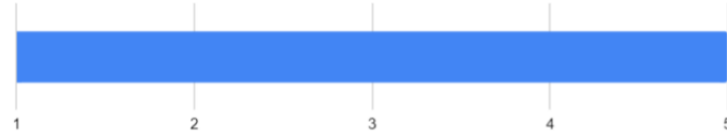
Figura 12 – Q1

A empresa adota ferramentas para identificar as necessidades dos clientes como o QFD (Quality Function Deployment - Desdobramento da Função Qualidade)?

Empresa A



Empresa B



Fonte: Autora (2021)

A manutenção é pensada em cada etapa de desenvolvimento de produto e do ciclo de vida, ciclo esse que é maximizado com foco no projeto para manutenibilidade, tendo em vista a atividade principal da empresa A é o aluguel de motos. A empresa fornece uma tabela de revisões programadas por quilômetros percorridos e tempo de uso e cada item do sistema compõe uma linha desta tabela.

O processo de desenvolvimento de produto da empresa B têm como base o projeto para confiabilidade e qualidade, sendo que o quesito manutenção é considerado durante todo o processo de desenvolvimento de produto, sendo atualizado para a aplicação personalizada de cada cliente conforme mostra a Figura 13.

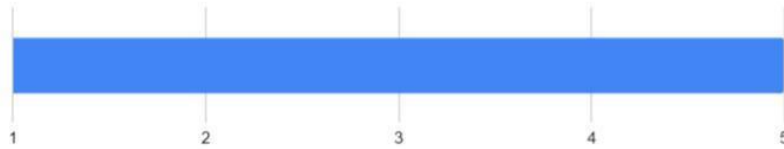
Figura 13 – Q2

É considerado o atributo manutenção no projeto do produto e na análise de viabilidade técnica / econômica do sistema?

Empresa A



Empresa B



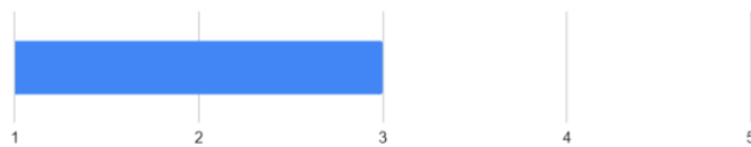
Fonte: Autora (2021)

A empresa A até o momento não realizou uma análise de critério de falha, mas já realizou análise dos componentes por meio de testes de resistência simples. Na empresa B, parâmetros como taxa de falha e MTBF são definidos com frequência (Figura 14).

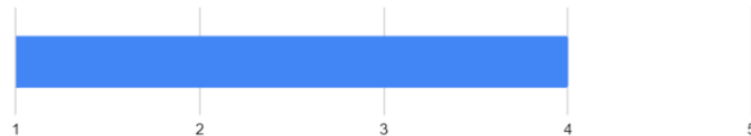
Figura 14 – Q3

São definidos parâmetros como taxa de falha ( $\lambda$ ), Tempo Médio entre Falhas (MTBF), Tempo Médio de Reparo (MTTR) e disponibilidade operacional (OA) nas especificações operacionais para caracterizar o desempenho de um dispositivo ou sistema?

Empresa A



Empresa B



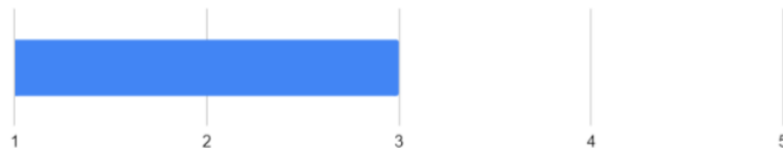
Fonte: Autora (2021)

Dentre as definições de políticas de reparos, a empresa A utiliza um sistema de gestão de frota baseado em computação em nuvem que dispara alertas caso haja necessidade iminente de reparo. Toda a frota de ônibus da empresa B possui sensores e sistemas de gerenciamento que são produzidos pela própria empresa. Os dados da frota são armazenados e comparados com o desempenho dos demais no tempo e em tempo real. As políticas de reparo são bem definidas e são baseadas nos dados históricos de uso. A Figura 15 mostra os resultados referente a essa questão.

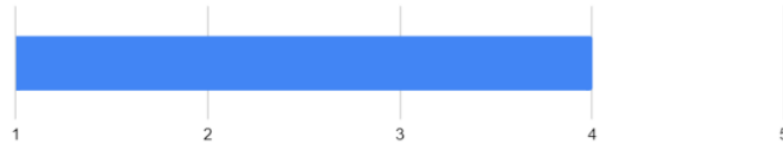
Figura 15 – Q4

São definidas políticas de reparo utilizando-se tecnologias da Indústria 4.0 como, por exemplo, Internet das Coisas (IoT) ou Computação em Nuvem?

Empresa A



Empresa B



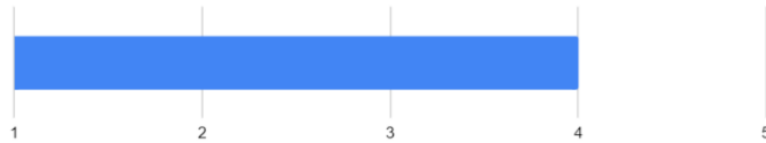
Fonte: Autora (2021)

Nessa fase de concepção a empresa A define o uso de softwares, ferramentas de computação em nuvem, impressão 3D, manufatura aditiva e programas de testes computadorizados. A empresa B define o uso das mesmas tecnologias, mas também um plano bem estruturado da implementação de *Big Data* no ambiente de uso dos seus produtos (Figura 16).

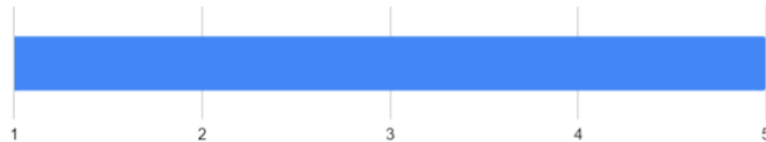
Figura 16 – Q5

Na fase de concepção do produto, são definidas tecnologias da Indústria 4.0 para o ambiente de uso do produto?

Empresa A



Empresa B



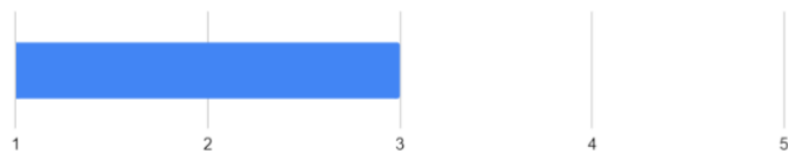
Fonte: Autora (2021)

As duas empresas coletam dados com suas tecnologias disponíveis e os utilizam como insumo para o plano de manutenção, porém possuem níveis diferentes de maturidade do uso das tecnologias. A empresa A coleta dados a partir dos sensores instalados e seu software de gestão de frota na nuvem que fornecem insumos sobre o estado das motos elétricas. Já a empresa B desenvolve softwares internos e sensores que fornecem o estado dos ônibus e também acionam os motoristas quando há necessidade de manutenção preditiva (Figura 17).

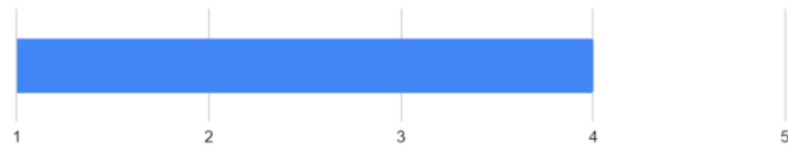
Figura 17 – Q6

Na fase de concepção do produto, é elaborado um plano de manutenção visando o uso de tecnologias da Indústria 4.0?

Empresa A



Empresa B



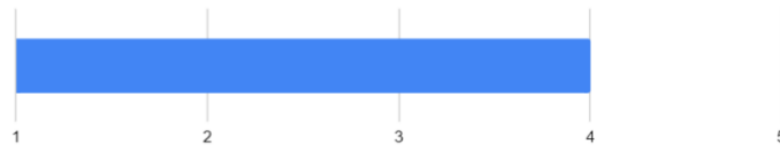
Fonte: Autora (2021)

A empresa A utiliza tecnologias assistidas como CAE e CAD, testes de exaustão, modelos já prontos na nuvem que são comparados em termos das TPMs, dos custos e das facilidades em se utilizar peças resultantes da impressão 3D, entre outros. A empresa B define cada componente, tecnologia, política e estação de manutenção a partir do uso de simulações exaustivas com *Big Data*, incluindo diversos dados externos de fontes variadas e do ambiente de uso de cada cliente (Figura 18).

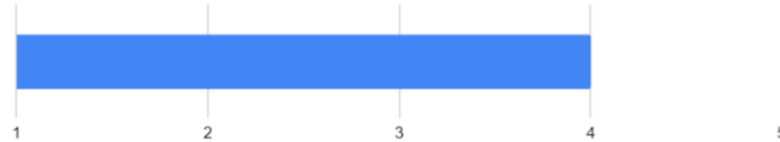
Figura 18 – Q7

São usadas tecnologias da Indústria 4.0 para analisar o trade-off entre componentes, tecnologias, políticas de manutenção/suporte, subsistemas e automação do sistema?

Empresa A



Empresa B



Fonte: Autora (2021)

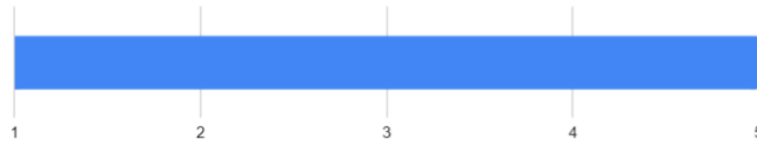
## 4.2 PROJETO PRELIMINAR

Como a empresa A na maior parte do tempo realiza melhorias incrementais a partir do uso dos dados coletados pelos sensores das motos e os *feedbacks* dos clientes, a configuração do sistema é de arquitetura aberta. Assim como a empresa B, que tem produtos de fácil atualização, reparo e suporte para qualquer parte mecânica e de tecnologia embarcada (Figura 22).

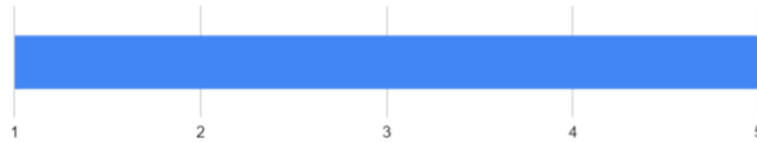
Figura 19 – Q8

É utilizado no projeto de produto uma configuração de arquitetura aberta? Ou seja, uma configuração que possa ser facilmente atualizada e suportada durante todo o seu ciclo de vida?

Empresa A



Empresa B



Fonte: Autora (2021)

A empresa A mapeia as falhas existentes para evitar sua recorrência para reduzir o número de manutenções. São realizados testes com impressão 3D e usa-se a FMEA. Algumas peças não passam por análise mecânica e não é realizada a análise FMEA por conta da experiência em projetos e intuição da equipe. A empresa B utiliza as metodologias FMEA, FTA e outras análises (Figura 20).

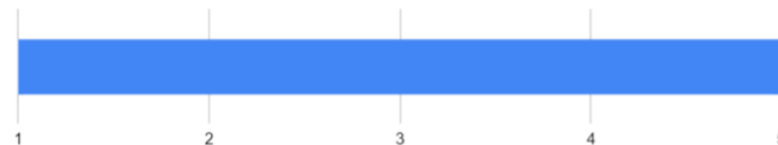
Figura 20 – Q9

São realizadas análises de falhas utilizando métodos como, por exemplo, Análise dos Modos de Falha e Seus Efeitos (FMEA) e/ou Árvore de falhas (FTA)?

Empresa A



Empresa B



Fonte: Autora (2021)

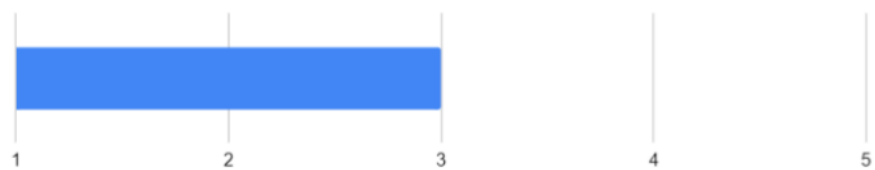


A empresa A realiza um processo próximo à Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC). Por sua vez, a empresa B possui processos consolidados de confiabilidade, mas o contato com a área de produto não é constante, dessa forma o entrevistado não pode afirmar se a MCC ou TPM são aplicadas na empresa (Figura 21).

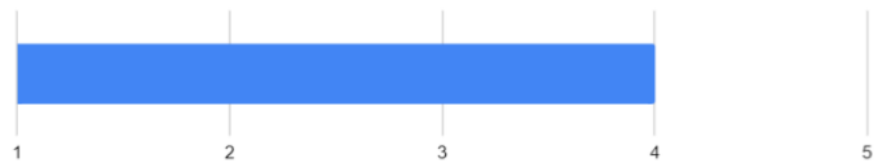
Figura 21 – Q10

São adotados programas de manutenção com Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) ou Manutenção Produtiva Total (TPM)?

Empresa A



Empresa B



Fonte: Autora (2021)

Geralmente, não há integração entre sistemas novos e antigos na empresa A. Embora existam fábricas com diferentes níveis de automação na empresa B, todos os níveis são conectados. Os equipamentos além de serem de alto valor são construídos sob medida, assim máquinas mais novas e mais antigas conversam entre si (Figura 22).

Figura 22 – Q11

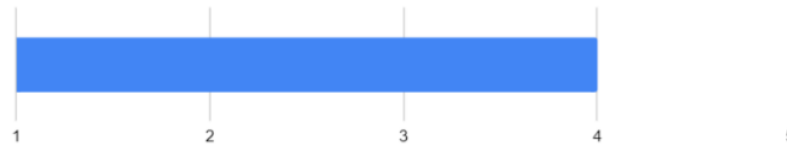
A empresa utiliza tecnologias da Indústria 4.0 no projeto para interoperabilidade?\*

\*Operar com sistemas diversos (novos e antigos) e lidar com as interferências que podem causar entre si

Empresa A



Empresa B



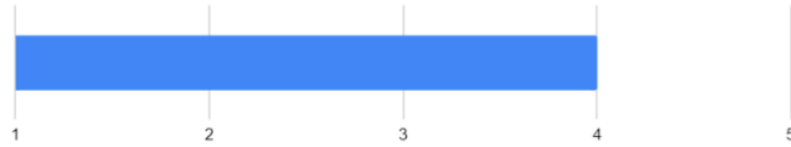
Fonte: Autora (2021)

Soluções anteriores da equipe de produto da empresa A são salvas na nuvem e bancos de dados são utilizados para obtenção de parâmetros que podem ser replicados em outros projetos. *Big Data* é uma tecnologia usada com frequência no desenvolvimento de software e o mapeamento dos resultados obtidos pelos sensores são usados em tempo real para definir ações como manutenção preditiva. A empresa B armazena na nuvem os resultados de cada simulação, que são geridos por sistemas de PLM (*Product Lifecycle Management*) de forma que, quando houver necessidade de se produzir peças com funções semelhantes, simulações antigas e dados externos servirão de input para uma nova simulação (Figura 23).

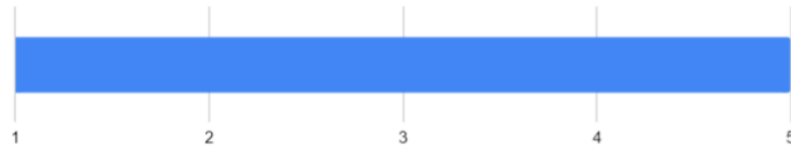
Figura 23 – Q12

A equipe de projeto utiliza tecnologias da Indústria 4.0 integradas para avaliar alternativas de solução? Por exemplo, uso de Big Data para melhorar a avaliação da modelagem analítica do sistemas e trade offs?

Empresa A



Empresa B



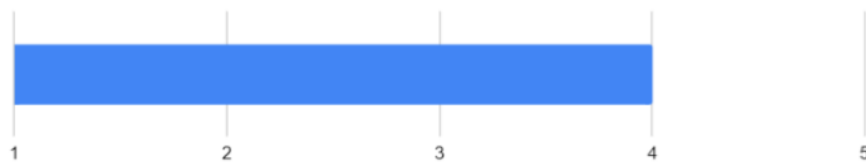
Fonte: Autora (2021)

Ambas as empresas atualizam as mudanças de projeto no sistema de suporte. Quando ocorre uma mudança no projeto, os sistemas de suporte são atualizados instantaneamente no nível de sistema e subsistemas (Figura 24).

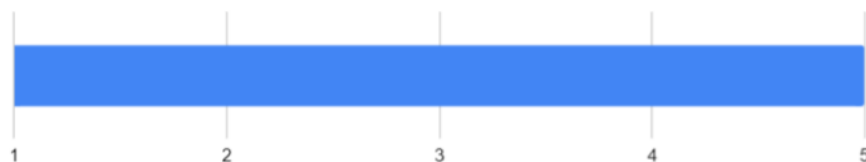
Figura 24 – Q13

Quando ocorrem mudanças no projeto, essas são atualizadas nos sistemas de suporte?

Empresa A



Empresa B



Fonte: Autora (2021)

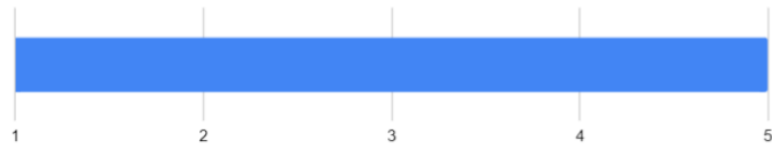
### 4.3 PROJETO DETALHADO

Embora a equipe da empresa A não se dedique no projeto detalhado de itens minuciosos, analisam itens como a tensão do motor e a rampa de desempenho de gasto energético para entender, por exemplo, se a bateria está descarregando completamente dentro do esperado. A empresa B utiliza os itens manutenção e capacidade de suporte como *feedback* para as equipes de manutenção, qualidade e produto (Figura 25).

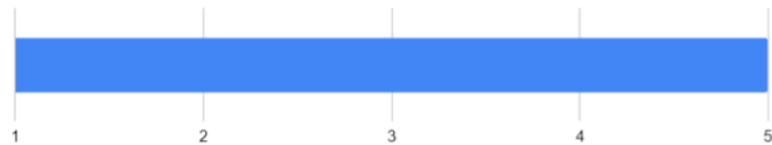
Figura 25 – Q14

Os itens do ciclo de vida (1) manutenção e (2) capacidade de suporte são usados como feedback e assim criadas ações corretivas para a próxima versão do produto?

Empresa A



Empresa B



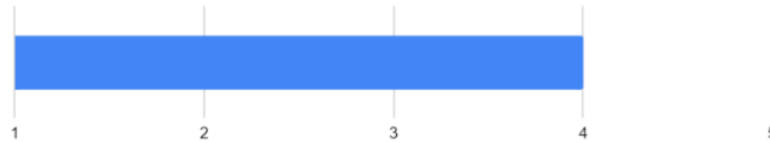
Fonte: Autora (2021)

Na empresa A, a documentação do projeto é guardada na nuvem, incluindo no formato de Realidade Virtual. Na empresa B, a documentação está disponível com o uso das tecnologias da Indústria 4.0 já citadas no capítulo, incluindo também realidade virtual e realidade aumentada (Figura 26).

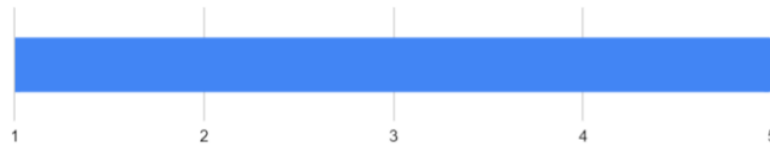
Figura 26 – Q15

A documentação do projeto é atualizada e disponível utilizando tecnologias da Indústria 4.0 como, por exemplo, Big data e Realidade Virtual?

Empresa A



Empresa B



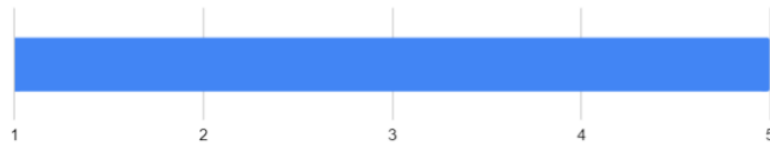
Fonte: Autora (2021)

Embora parte de seus componentes sejam criados com impressão 3D e manufatura aditiva, a maioria das peças da empresa A são de fornecedores externos para reduzir os riscos técnicos associados. Enquanto isso, a empresa B embora compre diversas peças no mercado, têm um grande volume de componentes que são desenvolvidos internamente. Isso é importante porque é possível atender às diferentes demandas dos clientes de forma customizada (Figura 31).

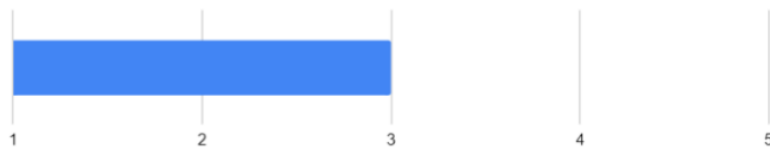
Figura 27 – Q16

São utilizados componentes comerciais já disponíveis no mercado (sem necessidade de adaptação ou fabricação) para reduzir o custo, aumentar o tempo de disponibilidade do item e reduzir riscos técnicos associados?

Empresa A



Empresa B



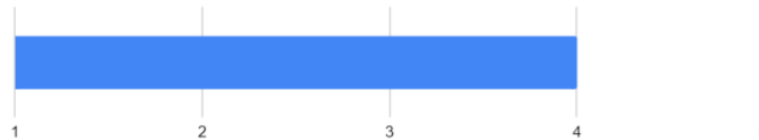
Fonte: Autora (2021)

São realizados vários testes no produto para rastrear as medidas de desempenho técnico de confiabilidade e manutenção nas duas empresas (Figura 28).

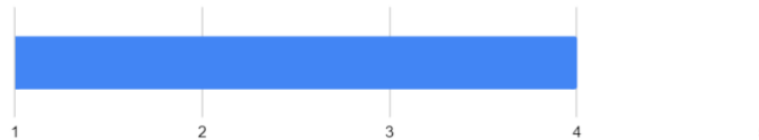
Figura 28 – Q17

São usadas ferramentas para rastrear medidas de desempenho técnico em termos de confiabilidade e manutenção durante todo o processo de projeto?

Empresa A



Empresa B



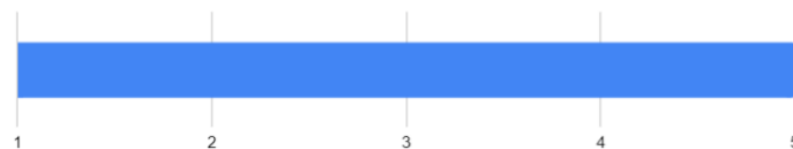
Fonte: Autora (2021)

A empresa A realiza testes para verificar o atingimento das demais especificações metas em campo como, por exemplo, testes para metrificar autonomia, velocidade, sensação de direção e falha de componentes eletrônicos ligados à placa. A empresa B, frequentemente usa ferramentas para rastrear todas as especificações meta desejadas em conjunto com o time de qualidade (Figura 32).

Figura 29 – Q18

São usadas ferramentas para rastrear o atingimento das especificações meta desejadas?

Empresa A



Empresa B



Fonte: Autora (2021)

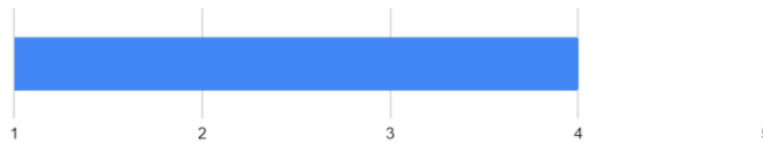
#### 4.4 PRODUÇÃO/CONSTRUÇÃO

A empresa A usa impressão 3D e manufatura aditiva no projeto piloto, assim como telemetria em tempo real e o sistema de gestão de frotas na nuvem. Para a criação e testes de protótipos, a empresa B utiliza computação em nuvem, *Big Data* com dados internos e externos à companhia e tecnologias assistidas, sendo que todas as tecnologias têm coleta e análise de dados em tempo real. Algumas fábricas utilizam realidade virtual para entender se uma nova peça tem especificações que tornam possível sua montagem na linha de produção atual sem que a equipe de produto precise ir fisicamente na fábrica (Figura 30 e Figura 31).

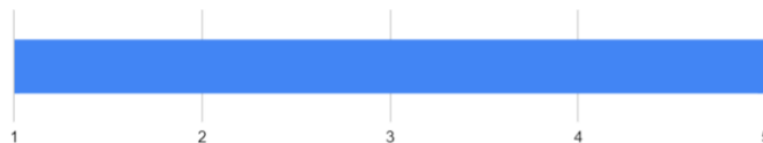
Figura 30 – Q19

São usadas tecnologias da Indústria 4.0 para a criação de protótipos, realização dos testes e validações?

Empresa A



Empresa B

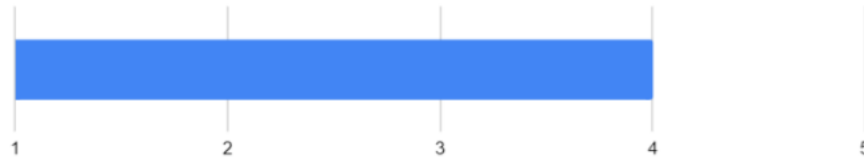


Fonte: Autora (2021)

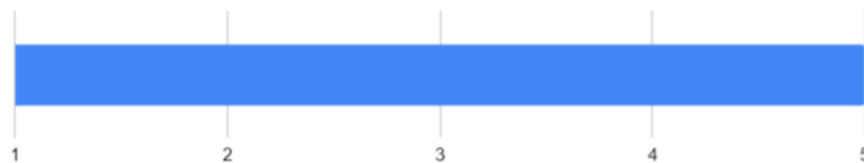
Figura 31 – Q20

São coletados dados em tempo real na fase de testes e/ou validações do projeto?

Empresa A



Empresa B



Fonte: Autora (2021)

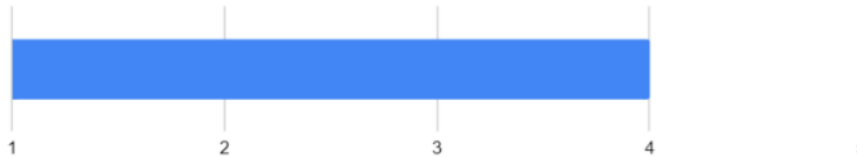
Por conta do sistema de gerenciamento de frota, a equipe da empresa A conhece a localização da moto, assim quando é necessário realizar ações corretivas. Pelas informações dos sensores sabe-se, por exemplo, que o suporte do farol quebrou e assim, a equipe pode buscar o seu modelo no software próprio, reprojetar, imprimir, testar e corrigir a falha da moto. Na empresa B, os dados são coletados pelos sensores nos ônibus e é possível entrar em contato com o dono do automóvel assim que algum problema que requer manutenção ocorre. O local de manutenção mais próximo é instantaneamente selecionado no GPS (Figura 32).



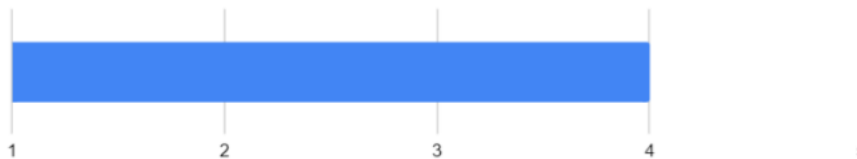
Figura 32 – Q21

A empresa realiza ações corretivas no projeto utilizando ferramentas da Indústria 4.0?

Empresa A



Empresa B

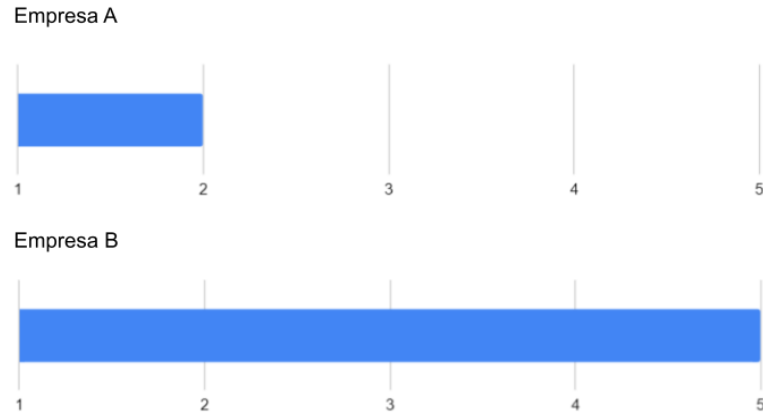


Fonte: Autora (2021)

A linha de montagem da empresa A é manual, sendo que cerca de 20 componentes da moto são produzidos via impressão 3D como, por exemplo, a dobradiça de compartimento, as presilhas de freio e alguns acabamentos plásticos. A empresa B utiliza *tags* de radiofrequência na produção (um método de identificação automática por sinais de rádio que troca informações entre as etiquetas e uma base transmissora), assim se sabe exatamente quais peças estão passando pela linha de produção. Além disso, utilizam metrologia óptica, ou seja, quase todas as linhas possuem medição de peças via scanner para garantir conformidade de produção. Esse insumo é usado diretamente pela equipe de qualidade para melhoria do produto (Figura 33).

Figura 33 – Q22

Para o monitoramento e controle da produção são usadas tecnologias de comunicação interligadas?



Fonte: Autora (2021)

A empresa A não possui processos que dão início à produção sem interferência humana, exceto casos de agendamento de impressões 3D. Quando o cliente compra um produto da empresa B, essa informação é imediatamente enviada para todas as fábricas, que possuem processos sem interferência humana. As fábricas são preparadas para o exato dia da chegada de cada parte do ônibus e elas são todas conectadas (existe uma fábrica que produz as cabinas, uma que produz os chassis e uma que monta as partes do automóvel). Para a montagem dos automóveis, as fábricas já têm a informação de qual cabina está chegando, de qual cor deve ser pintada, assim como qual pneu será colocado em cada ônibus customizado. Parte dos funcionários ficam alocados nas fábricas para caso algo saia do planejado, mas todos os detalhes da linha de produção podem ser acessados do escritório (Figura 34).

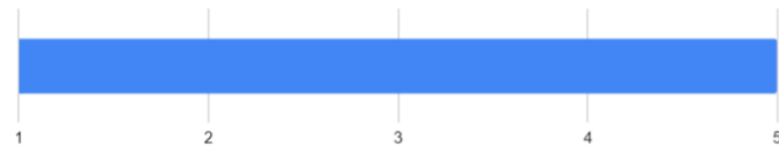
Figura 34 – Q23

A empresa utiliza sistemas inteligentes voltados para o início da produção sem a interferência humana?

Empresa A



Empresa B



Fonte: Autora (2021)

#### 4.5 SUPORTE AO CICLO DE VIDA

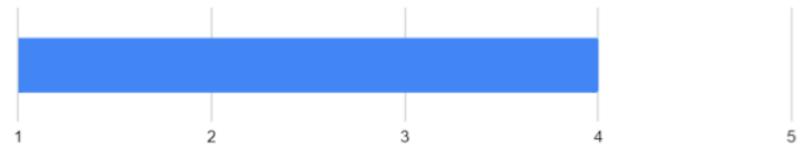
A equipe da empresa A valoriza um processo de desenvolvimento de produto prático, então o fato de o produto já estar em uso é uma vantagem competitiva para a coleta e análise de dados. Além de todos os sistemas já citados neste capítulo, também são coletados dados das manutenções agendadas, erros críticos e feedbacks diretos dos clientes. Um exemplo de modificação do sistema a partir do retorno de um cliente foi um caso de uso onde o usuário da moto realizada rondas de segurança em escala de plantão durante 24 horas. Este relatou um problema de geometria e ergonomia do banco, assim, com esse input, a equipe iniciou um novo processo de desenvolvimento de produto (Figura 39).

Todos os indicadores de uso dos ônibus da empresa B são coletados em tempo real. Assim, a área de manutenção recebe um alerta de quantas manutenções serão realizadas em um dado período de tempo. Os sistemas não são completamente flexíveis para se incorporar mudanças de curto prazo, mas todos os dados coletados pelos indicadores da frota de ônibus e da linha de produção e feedbacks da fábrica são usados para melhoria de processos e insumo para o processo PDCA (*Plan Do Check and Act*) (Figura 35 e Figura 36).

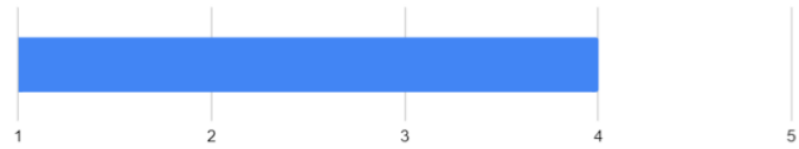
Figura 35 – Q24

São coletados dados de confiabilidade, disponibilidade e manutenção e realizadas análises do sistema na fase de uso ou operação?

Empresa A



Empresa B

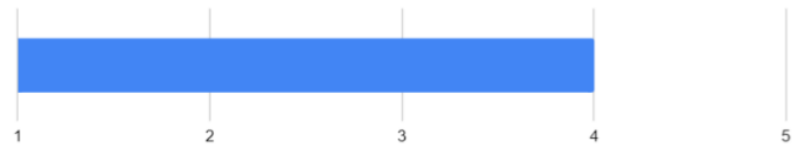


Fonte: Autora (2021)

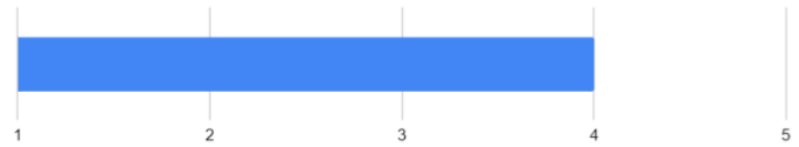
Figura 36 – Q25

Os dados coletados são usados de forma contínua para avaliar e modificar o sistema, caso necessário?

Empresa A



Empresa B



Fonte: Autora (2021)

#### 4.6 NÍVEL DE MATURIDADE DAS EMPRESAS

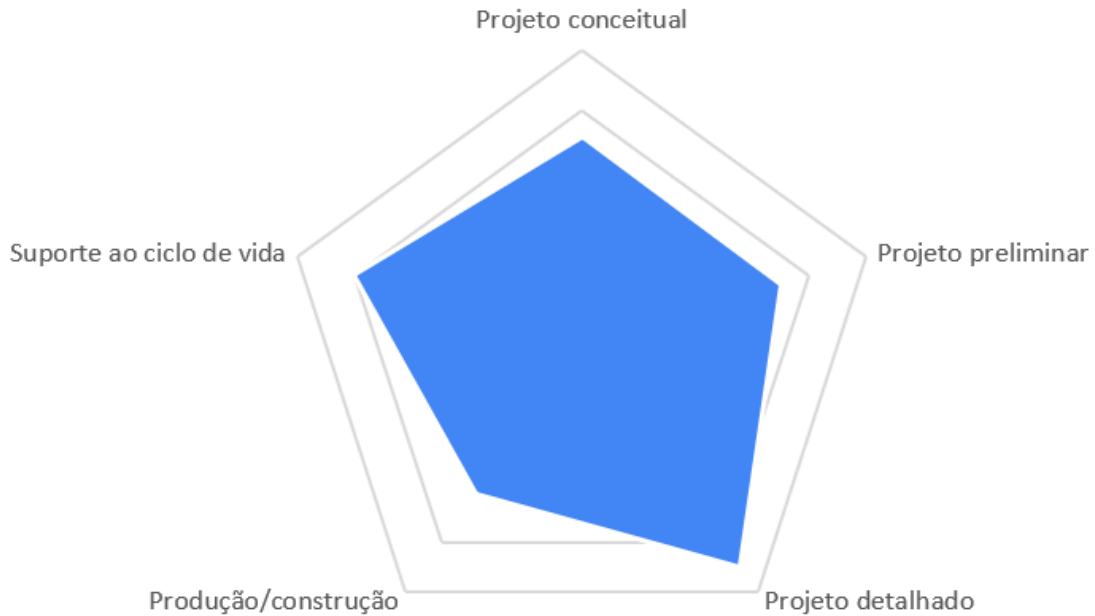
Com base nas respostas do questionário, cada fase do desenvolvimento de produto é analisada no modelo de maturidade, em uma escala de 0 a 3, onde 0 representa ausência, 1 existência, 2 sobrevivência e 3 maturidade, conforme o Quadro 2. A questão 16 foi desconsiderada na análise, pois a necessidade de compra de itens já prontos de mercado varia de acordo com a empresa e seus casos de uso. Dessa forma, o valor de frequência do uso de componentes manufaturados pela própria empresa não é usado na presente análise.

A empresa A tem o nível de maturidade no projeto para manutenibilidade no contexto na Indústria 4.0 de “sobrevivência”, alcançando a nota média geral de 3.71. Embora existam aplicações das tecnologias da I4.0 no projeto do produto e a equipe tenha contato próximo com a área de manutenção, faltam implementar processos mais estruturados, padronizados e conectados para avançar para o próximo nível de maturidade. A Figura 37 demonstra graficamente a maturidade de cada fase do projeto da empresa A.

Em relação ao projeto conceitual, de nota 3.57, e ao projeto preliminar, de nota 3.5, percebe-se que as ferramentas de projeto têm baixa maturidade de tecnologias da I4.0 e são aplicadas de modo informal e não sistemático. Além disso, o conhecimento não extensivo da equipe de produto em relação às demais tecnologias usadas pela equipe de software gera a necessidade de maior integração entre as áreas.

Um diferencial importante na empresa A é o fato de realizarem melhorias incrementais constantes com um produto de arquitetura aberta. Dessa forma, o projeto detalhado atingiu a nota de 4.5. O produto por si e os usuários trazem grandes *insights* que são usados para melhorar cada vez mais o produto e mantê-lo durável e confiável, sendo que a fase de suporte ao ciclo de vida alcançou a nota de 4.0. A produção ainda é manual e baseada em expertise acumulada da equipe, com processos e documentações que não estão 100% integrados, atingindo a nota de 3.0. Essa fase é a que requer mais desenvolvimento, que será possível com uma linha de produção automatizada e escalável.

Figura 37 – Maturidade da empresa A

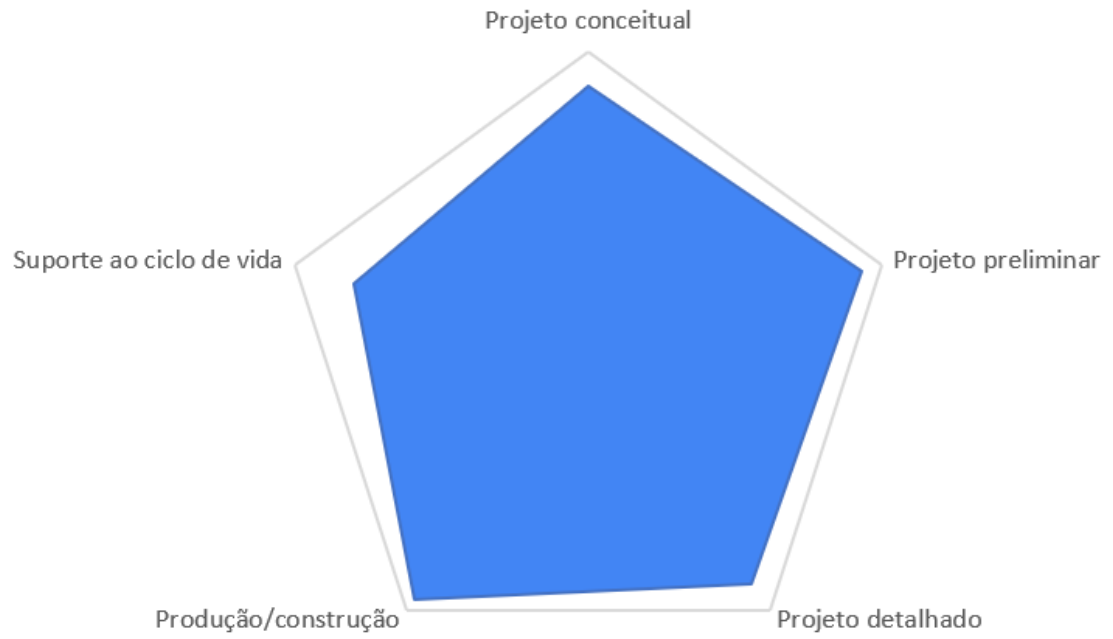


Fonte: Autora (2021)

Por sua vez, a empresa B tem o nível de maturidade no projeto para manutenibilidade no contexto na Indústria 4.0 de “maturidade”, alcançando a nota média geral de 4.48. A empresa possui seus processos altamente padronizados, planos de manutenção bem definidos e uma estrutura forte de tecnologias integradas. Em todos os níveis atingiu a maturidade, como representado na Figura 38. A maior nota, 4.8, é relativa à fase de produção/construção dos automóveis, que é referência na sede localizada em São Bernardo dos Campos, assim como na sede principal da empresa em Södertälje, na Suécia.

Com relação à nota mais baixa, alcançando a nota 4 na fase em suporte ao ciclo de vida, o projetista teve dúvidas para selecionar o nível que mais se adequa. Dessa forma, sugere-se que os processos de como os dados são utilizados na fase de uso e suporte ao ciclo de vida sejam melhor divulgados na empresa. Por conta do atingimento da maturidade em todas as fases de desenvolvimento e ciclo de vida, não há necessidade em se modernizar ainda mais todos os processos, caso isso incorra em custos mais altos que os resultados que podem ser coletados.

Figura 38 – Maturidade da empresa B



Fonte: Autora (2021)

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, o objetivo geral de se realizar uma análise do uso das tecnologias da Indústria 4.0 no projeto para manutenibilidade em duas empresas foi plenamente atingido. Os objetivos específicos de apresentar os principais conceitos relacionados à Indústria 4.0, processo de desenvolvimento de produto, modelos de maturidade e manutenção foram igualmente atingidos. Com esta revisão, a seleção de elementos da literatura foi cumprida, resultando no desenvolvimento do questionário apresentado neste presente trabalho.

O questionário, fundamentado no projeto para manutenibilidade de Blanchard e Fabrycky e nas definições das tecnologias da Indústria 4.0, foi criado e todas as empresas que possuem uma área de desenvolvimento de produto e algum grau de uso de tecnologias pode realizar uma autoavaliação a partir da sua aplicação, assim como avaliar pontos de melhoria.

A realização das entrevistas permitiu entender como alcançaram cada pontuação na análise de maturidade, especificando as tecnologias usadas, seus processos de projeto e produção e a conexão com as demais áreas da empresa. As entrevistas foram um ponto chave, inclusive, para que os funcionários da empresa refletissem sobre como aplicam no trabalho diário as tecnologias da Indústria 4.0 e como entendem a manutenibilidade em todo o ciclo de vida do produto.

Na empresa A, de nível de maturidade “sobrevivência”, teve sua maior nota no projeto detalhando, alcançando nessa etapa de projeto o nível “maturidade” no modelo proposto. Isso é interessante porque permite que os testes e melhorias do sistema sejam realizadas de forma mais simples e rápida. Já a empresa B atingiu o nível “maturidade” em todas as fases de desenvolvimento de produto. Isso quer dizer que a empresa já possui processos que podem ser usados como modelo para outras companhias do setor e até mesmo de outros setores, sendo um ótimo *benchmark* para boas tecnologias no tema.

Desenvolver produtos é cada vez mais importante e essencial para a competitividade das empresas. Novos produtos são requisitados para atender segmentos de mercado, devendo se integrar a outros produtos e serviços assim como incorporar tecnologias escaláveis e diversas (ROZENFELD et al, 2010). Assim, entender onde a empresa se encontra, como as tecnologias da Indústria 4.0 se aplicam hoje e como pode-se aumentar a maturidade da empresa, traz como saída a melhoria contínua dos seus processos e a busca por melhorias.



Para a continuação do trabalho, é proposto que o questionário seja aplicado e entrevistas sejam realizadas em outras empresas para se criar um panorama mais detalhado de como as empresas aplicam tecnologias da I4.0 no projeto para manutenibilidade. Além disso, essa pesquisa auxiliará o refinamento da forma como a maturidade foi avaliada, podendo-se adicionar, excluir ou modificar os parâmetros usados.

## REFERÊNCIAS

ABDI. A Indústria 4.0 pode economizar 73 bilhões ao ano para o Brasil, 2019. Disponível em: <<https://www.abdi.com.br/postagem/industria-4-0-pode-economizar-r-73-bilhoes-ao-ano-para-o-brasil>>. Acesso em jul 2019.

ALMEIDA, P. **Manutenção mecânica industrial - conceitos básicos e tecnologia aplicada**. Editora Érica, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-5462**: confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

AZEVEDO, D. **Revisão de Literatura, Referencial Teórico, Fundamentação Teórica e Framework Conceitual em Pesquisa – diferenças e propósitos**. [S. l.]: Working paper, 2016.

AZUMA, R., NEUMANN, U., YOU, S. **Orientation tracking for outdoor augmented reality registration**. Computer Graphics and Applications, [S. l.]: IEEE, p.36-42, 1999.

BACK, N., OGLIARI, A., DIAS, A., SILVA, J. **Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem**. Barueri: Manole, 2008.

BAUER, Martin W.; GASKELL, George. **Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático**. [S. l.]: Editora Vozes Limitada, 2017.

BLANCHARD, B.S.; FABRYCKY, W.J. **Systems Engineering and Analysis**. 5. ed. [S. l.]: Pearson Prentice Hall, 2011. 846 p.

BRITTO, J. *et al.* **Disruptive technologies and industry**. Brasília: [s. n.], 2018.

BURMEISTER, C.; LÜTTGENS, D.; PILLER, F. Business model innovation for Industrie 4.0: why the “Industrial Internet” mandates a new perspective on innovation. **Die Unternehmung**, v. 70, n. 2, [s. l.], p. 124-152, 2016.

BUXMANN, P., RUGGABER, R.. Internet of services. **Business & Information Systems Engineering**, 5, [s. l.], p.341–342, 2019.

CAUCHICK, M. **Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução**. Production, v. 17, n. 1, p. 216, 2007.

EROL, S.; SCHUMACHER, A.; SIHN, W. Strategic guidance towards Industry 4.0—a three-stage process model. *In: International conference on competitive manufacturing*. [S. l.]: 2016, p. 495-501.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da Pesquisa Científica**. 2002.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos e pesquisa**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, B. **Indústria 4.0: Panorama da Inovação**. Publicações Firjan: Cadernos SENAI de inovação, São Paulo, v. 1, n. 1, abr. 2016, p.1-20.

HALLER, S. The things in the internet of things. **Poster at the (IoT 2010)**, v. 5, n. 8, Tokyo-Japan, nov. 2010, p. 26-30.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design principles for industry 4.0 scenarios**. Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, mar. 2016, p. 3928–3937.

HYUN, M. Y., LEE, S., and HU, C. Mobile-mediated virtual experience in tourism: Concept, typology and applications. **Journal of Vacation Marketing**, v. 15, n. 2, p. 149-164, 2009.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELD, J.; (Orgs.): **Bericht der Promotorengruppe Kommunikation**. Im Fokus: Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Forschungsunion, 2012.

KARDEC, A.; NASCIF, J. Manutenção: função estratégica. 3ª edição. **Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás**, 2006.

KIM, K; KUMAR, P., R. Cyber–physical systems: A perspective at the centennial. **Proceedings of the IEEE**, v. 100, n. Special Centennial Issue, p. 1287-1308, 2012.

KOCH, V., *et al.* Industry 4.0: Opportunities and challenges of the industrial internet. **Strategy & PwC**, [S. l.]: 2014.

LEE, E.. Cyber physical systems: Design challenges. In: **2008 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC)**. IEEE, 2008. p. 363-369.

LUCATELLI, M. V. **Proposta de Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em Equipamentos Médico-Hospitalares**, 2002. Dissertação – (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

LYDON, B. Industry 4.0: Intelligent and flexible production. **ISA InTech Magazine**, 2016.

MELL, P., GRANCE, T. The NIST: definition of cloud computing. **National Institute of Standards and Technology**, 50p., 2009. Tradução livre.

MIRSHAWKA, V. **Manutenção Preditiva: Caminho para zero defeitos**, São Paulo: Makron Books do Brasil Editora Ltda. 318 p., 1991.

MONCHY, F. **A Função Manutenção - Formação para a Gerência da Manutenção Industrial**. São Paulo: Editora Durban Ltda., 1989, p. 40.

- NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de manutenção preditiva**. São Paulo: Edgard Blücher, 1989.
- NFS. Cyber-Physical Systems (CPS), 2012 disponível em: <<http://www.nsf.gov/funding/pgmsumm.jsp?pimsid=503286>>, acesso em jul 2019.
- NORONHA, D.; FERREIRA, S. *Revisões da Literatura*. In: Campello, B.S., Cendón, B.v. e Kremer, J.M. **Fontes de Informação para Pesquisadores e Profissionais**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, p. 191-198, 2000.
- PINTO, A. K.; XAVIER, J. A. N.; BARONI, T. A. **Gestão estratégica e técnicas preditivas**. Rio de Janeiro: Qualitymark – ABRAMAN, 2006.
- POOVENDRAN, R. Cyber–physical systems: Close encounters between two parallel worlds [point of view]. **Proceedings of the IEEE**, v. 98, n. 8, p. 1363-1366, 2010.
- QIN, J; LIU, Y; GROSVENOR, Roger. A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. **Procedia Cirp**, v. 52, p. 173-178, 2016.
- RIDLEY, D. *The Literature Review: A Step-by-step Guide for Students*. London: Sage, 2008.
- ROZENFELD, H. *et al.* **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.
- SANDERS, A; ELANGESWARAN, C; WULFSBERG, J. Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. **Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)**, v. 9, n. 3, p. 811-833, 2016.
- SCHUH, G *et al.* **Industrie 4.0 Maturity Index**. Managing the Digital Transformation of Companies. Munich: Herbert Utz, 2017.
- SCHUMACHER, A; EROL, S; SIHN, Wilfried. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. **Procedia Cirp**, v. 52, p. 161-166, 2016.
- SCHWAB, K. **The fourth industrial revolution**. Currency, 2017.
- SPILLNER, J.; MULLER, J.; SCHILL, A. **Creating optimal cloud storage systems**. *Future Gener. Comput. Syst.*, 2013, p. 1062–1072.
- SUJIX, S. Environment management through meditation: A sustainable approach. *In: Emerging Trends in Engineering, Science and Technology for Society, Energy and Environment* (p. 913-922). CRC Press, 2018.
- SUNDMAEKER, H. *et al.* Vision and challenges for realising the Internet of Things. **Cluster of European Research Projects on the Internet of Things, European Commission**, v. 3, n. 3, p. 34-36, 2010.
- TAKAHASHI, Y.; OSADA, T. **Manutenção Produtiva Total**. São Paulo: IMAM Editora e Comércio Ltda, 2015.

TAVARES, L. **Excelência na Manutenção** – Estratégias Otimização e Gerenciamento. Salvador: Casa da Qualidade Editora Ltda., 1996, p. 12.

USTUNDAG, A; CEVIKCAN, E. **Industry 4.0: managing the digital transformation**. Springer, 2017.

VIANA, L. **HI Seminário de Manutenção - Trabalhos Técnicos** - seção regional VII - Paraná e Santa Catarina. Curitiba: ABRAMAN - Associação Brasileira de Manutenção, 1991, p. 4.

VOLPATO, N. **Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D**. [S. l.]: Editora Blucher, 2017.

WEISER, M. **Hot topics-ubiquitous computing**. Computer, v. 26, n. 10, p.71–72, 1993.

YAM, R. C. M., TSE, P. W., LI, L., TU, P. **Intelligent predictive decision support system for condition-based maintenance**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2001, pg 383-391.

YU, C; XU, X; LU, Y. Computer-integrated manufacturing, cyber-physical systems and cloud manufacturing—concepts and relationships. **Manufacturing letters**, v. 6, p. 5-9, 2015.

ZHANG, Q.; CHENG, L.; BOUTABA, R. **Cloud computing: state-ofthe-art and research challenges**. Journal of internet services and applications, p. 7-18, 2010.

## APÊNDICE

### APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO

<b>Identificação</b>
Setor de atuação da empresa:
Porte da empresa (quantidade de funcionários):
Cargo que exerce na empresa:
Tempo no cargo:

<b>Parte 1</b>	<b>Relação Empresa x Desenvolvimento de Produto</b>
Q1	A empresa possui um setor específico de desenvolvimento de produto?
Q2	A empresa utiliza conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 no desenvolvimento, fabricação e no ciclo de vida do produto?
Q3	A empresa adota práticas de melhoria contínua no processo de desenvolvimento de produto?
Q4	As equipes responsáveis pela manutenção e suporte tem participação no processo de desenvolvimento de produto?

<b>Parte 2</b>	<b>Processo de Desenvolvimento de Produto</b>
<b>Projeto conceitual</b>	
Q1	A empresa adota ferramentas para identificar as necessidades dos clientes como o QFD (Quality Function Deployment - Desdobramento da Função Qualidade)?
Q2	É considerado o atributo manutenção no projeto do produto e na análise de viabilidade técnica / econômica do sistema?
Q3	São definidos parâmetros como taxa de falha ( $\lambda$ ), Tempo Médio entre Falhas (MTBF), Tempo Médio de Reparo (MTTR) e disponibilidade operacional (OA) nas especificações operacionais para caracterizar o desempenho de um dispositivo ou sistema?

Q4	São definidas políticas de reparo utilizando-se tecnologias da Indústria 4.0 como, por exemplo, Internet das Coisas (IoT) ou Computação em Nuvem?
Q5	Na fase de concepção do produto, são definidas tecnologias da Indústria 4.0 para o ambiente de uso do produto?
Q6	Na fase de concepção do produto, é elaborado um plano de manutenção visando o uso de tecnologias da Indústria 4.0?
Q7	São usadas tecnologias da Indústria 4.0 para analisar o trade-off entre componentes, tecnologias, políticas de manutenção/suporte, subsistemas e automação do sistema?
<b>Projeto preliminar</b>	
Q8	É utilizado no projeto de produto uma configuração de arquitetura aberta? Ou seja, uma configuração que possa ser facilmente atualizada e suportada durante todo o seu ciclo de vida?
Q9	São realizadas análises de falhas utilizando métodos como, por exemplo, Análise dos Modos de Falha e Seus Efeitos (FMEA) e/ou Árvore de falhas (FTA)?
Q10	São adotados programas de manutenção com Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) ou Manutenção Produtiva Total (TPM)?
Q11	A empresa utiliza tecnologias da Indústria 4.0 no projeto para interoperabilidade?* *Operar com sistemas diversos (novos e antigos) e lidar com as interferências que podem causar entre si
Q12	A equipe de projeto utiliza tecnologias da Indústria 4.0 integradas para avaliar alternativas de solução? Por exemplo, uso de Big Data para melhorar a avaliação da modelagem analítica do sistemas e trade offs?
Q13	Quando ocorrem mudanças no projeto, essas são atualizadas nos sistemas de suporte?
<b>Projeto detalhado</b>	
Q14	Os itens do ciclo de vida (1) manutenção e (2) capacidade de suporte são usados como feedback e assim criadas ações corretivas para a próxima versão do produto?
Q15	A documentação do projeto é atualizada e disponível utilizando tecnologias da Indústria 4.0 como, por exemplo, Big data e Realidade Virtual?
Q16	São utilizados componentes comerciais já disponíveis no mercado (sem necessidade de adaptação ou fabricação) para reduzir o custo, aumentar o tempo de disponibilidade do item e reduzir riscos técnicos associados?
Q17	São usadas ferramentas para rastrear medidas de desempenho técnico em termos de confiabilidade e manutenção durante todo o processo de projeto?
Q18	São usadas ferramentas para rastrear o atingimento das especificações meta desejadas?
<b>Produção/construção</b>	

Q19	São usadas tecnologias da Indústria 4.0 para a criação de protótipos, realização dos testes e validações?
Q20	São coletados dados em tempo real na fase de testes e/ou validações do projeto?
Q21	A empresa realiza ações corretivas no projeto utilizando ferramentas da Indústria 4.0?
Q22	Para o monitoramento e controle da produção são usadas tecnologias de comunicação interligadas?
Q23	A empresa utiliza sistemas inteligentes voltados para o início da produção sem a interferência humana?
<b>Suporte ao ciclo de vida</b>	
Q24	São coletados dados de confiabilidade, disponibilidade e manutenção e realizadas análises do sistema na fase de uso ou operação?
Q25	Os dados coletados são usados de forma contínua para avaliar e modificar o sistema, caso necessário?